

POLITECHNIKA POZNAŃSKA



WYDZIAŁ ARCHITEKTURY

PRACA DOKTORSKA

**KONTEKSTOWE KSZTAŁTOWANIE OŚWIETLЕНИЯ PRZESTRZENI
PUBLICZNYCH - KRYTERIA JAKOŚCI OŚWIETLЕНИЯ ORAZ MODEL
WSPOMAGANIA DECYZJI PROJEKTOWYCH.**

TOM 1

AUTOR:

mgr inż. Piotr Ratajkiewicz

PROMOTOR:

dr hab. inż. arch. Hanna Michalak, prof. PP

POZNAŃ 2026

Podziękowania

Pragnę serdecznie podziękować wszystkim osobom,
które wspierały mnie w czasie pracy
nad niniejszą rozprawą doktorską.

Szczególne podziękowania kieruję do Pani Promotor,
dr hab. inż. arch. Hanny Michalak, prof. PP,
za opiekę naukową, zaufanie, cierpliwość
oraz cenne uwagi, które miały istotny wpływ
na ostateczny kształt pracy.

Współpraca z Panią Profesor była dla mnie zaszczytem
i ważnym doświadczeniem naukowym.

Dziękuję Pani Profesor Annie Januchcie-Szostak
za prowadzenie seminarium doktoranckiego,
życzliwość, otwartość oraz stworzenie atmosfery
sprzyjającej rozwojowi naukowemu.

Dziękuję Norbertowi Wasserfurthowi-Grzybowskiemu
za inspirację i skierowanie mojej uwagi ku dobremu światłu.

Słowa wdzięczności kieruję do moich Rodziców
za stworzenie mi warunków do rozwoju,
przekazane wartości oraz wiarę w moje możliwości.

Osobne podziękowania składam wszystkim osobom,
które w różny sposób przyczyniły się
do powstania tej rozprawy – poprzez rozmowy,
uwagi, pomoc organizacyjną, wsparcie merytoryczne,
wiarę w powodzenie i życzliwą obecność w kolejnych etapach pracy.

Na końcu, w sposób szczególny,
dziękuję mojej Żonie Alicji oraz Synkowi Bartkowi
za miłość, cierpliwość i wyrozumiałość.

*„Dobre miasto jest jak dobre przyjęcie,
ludzie zostają dłużej aniżeli potrzebują,
ponieważ dobrze się w nim czują...”*

[Jan Gehl, 2013]

Spis treści

Streszczenie (pl)	8
Abstract (en)	11
1 Wstęp	14
1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu	15
1.2 Cel pracy.....	17
1.3 Teza badawcza.....	18
1.4 Struktura rozprawy.....	19
1.5 Stan badań i identyfikacja luk badawczych	23
1.6 Przedmiot badań i metodologia	26
2 Analiza problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych	33
2.1 Identyfikacja przedmiotu decyzji w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych	36
2.2 Wielowymiarowość celów i funkcji oświetlenia przestrzeni publicznych.....	41
2.3 Zmienność potrzeb oświetleniowych w zależności od czasu, użytkowania i sytuacji przestrzennej ..	43
2.4 Podsumowanie i wnioski z analizy problemu decyzyjnego dla budowy modelu oceny i doboru oświetlenia.....	46
3 Strukturyzacja kontekstu przestrzennego dla potrzeb modelowania decyzji projektowych .	50
3.1 Problem klasyfikacji przestrzeni z punktu widzenia potrzeb oświetleniowych.....	52
3.1.1 Ograniczenia normatywne i funkcjonalnego ujmowania przestrzeni	52
3.1.2 Cechy przestrzeni i sposób jej użytkowania jako podstawa różnicowania potrzeb oświetleniowych	53
3.2 Percepcja nocnej przestrzeni oraz rola światła w organizacji jej odbioru.....	54
3.3 Kompozycja wnętrza urbanistycznego i definiowanie przestrzeni projektowanej w oświetleniu jako podstawa opisu kontekstu.	59
3.3.1. Kompozycja wnętrza urbanistycznego jako podstawa opisu kontekstu	60
3.3.2. Jednostka analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia	66
3.4 Elementy struktury przestrzeni publicznej jako nośniki potrzeb oświetleniowych	71
3.4.1 Warstwy przestrzeni publicznej pod kątem oświetlenia światłem sztucznym	72
3.4.2 Różnicowanie znaczenia elementów przestrzeni w zależności od kontekstu i użytkowania	74
3.5 Typowe układy przestrzeni publicznych i ich zróżnicowane potrzeby oświetleniowe	76
3.6 Uwarunkowania krajobrazowe, historyczne i konserwatorskie jako czynniki modyfikujące potrzeby oświetleniowe.....	82
3.7 Klasyfikacja kontekstu przestrzennego według cech i potrzeb oświetleniowych	87
3.7.1 Założenia klasyfikacji kontekstu przestrzennego	87
3.7.2 Znaczenie klasyfikacji dla badań własnych i modelu decyzyjnego	90
4 Wymiary projektowe i techniczne oceny oświetlenia przestrzeni publicznych	93
4.1 Projektowanie oświetlenia jako wybór wariantu	93
4.2 Warstwa architektoniczna w projektowaniu światła	97
4.3 Kompozycja świetlna i jakość nocnego obrazu przestrzeni.....	100
4.4 Normy, zalecenia ilościowe i odniesienia prawne	105
4.5 Infrastruktura i technologie oświetleniowe	110
4.6 Strategiczne planowanie oświetlenia i masterplany	116
4.7 Światło kreatywne	121
5 Uzasadnienie wielokryterialnej oceny oświetlenia publicznego	127
5.1 Światło jako czynnik bezpieczeństwa, aktywności i atrakcyjności przestrzeni publicznych	128
5.2 Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy.....	131
5.3 Efektywność energetyczna.....	137
5.4 Ekonomiczny wymiar decyzji oświetleniowej	141
5.5 Jakość przestrzeni, estetyka i wizerunek miejsca.....	147
5.6 Zrównoważony rozwój i zarządzanie oświetleniem publicznym.....	151
5.7 Dobór metody wielokryterialnej do problemu oceny wariantów oświetlenia publicznego	154

6 Badania empiryczne i ich wyniki.....	161
6.1 Założenia metodologiczne i rola badań empirycznych w budowie modelu.....	161
6.2 Badanie terenowe jako etap weryfikacji klasyfikacji kontekstu i kalibracji materiału empirycznego	163
6.2.1 Cele i rola badania terenowego w budowie modelu decyzyjnego	165
6.2.2 Założenia doboru przypadków i zasada maksymalizacji zróżnicowania kontekstów	167
6.2.3 Zakres pomiarów, sposób opisu przypadków i procedura porównawcza	169
6.2.4 Odniesienie wyników pomiarów do wymagań normatywnych i poziomów referencyjnych ...	175
6.2.5 Wyniki badania terenowego i ich znaczenie dla wyodrębnienia przypadków ankietowych ...	181
6.3 Badanie ankietowe oczekiwań wobec oświetlenia – konstrukcja, materiał i przebieg.....	187
6.4 Wyniki badania ankietowego – struktura oczekiwań wobec oświetlenia	195
6.4.1 Wyniki zbiorcze badania ankietowego.....	195
6.4.2 Wyniki i wnioski cząstkowe dla 21 analizowanych przypadków badawczych	201
6.5 Wnioski z badań empirycznych dla dalszej syntezy modelowej.....	214
7 Synteza badań własnych i formalizacja modelu decyzyjnego	218
7.1 Synteza badań własnych w kontekście klasyfikacji przestrzeni publicznych	220
7.2 Synteza badań własnych w kontekście oczekiwań wobec oświetlenia	224
7.3 Przejście od wyników badań do struktury modelu decyzyjnego	227
7.4 Założenia autorskiego modelu decyzyjnego	228
7.5 Klasyfikacja kontekstu przestrzennego	232
7.6 Kryteria szczegółowe i deskryptory oceny	236
7.7 Preferencje nadrzędne i logika wag	247
7.8 Formalizacja modelu MCDA/PROMETHEE.....	255
7.9 Model wspomagania decyzji projektowych: procedura oceny wariantów oświetleniowych.....	258
7.10 Weryfikacja działania modelu na wybranych przykładach projektowych.....	265
7.10.1 Założenia weryfikacji modelu	265
7.10.2 Weryfikacja aplikacyjna na rzeczywistych przypadkach projektowych.....	266
7.10.3 Analiza czułości wag	268
7.10.4 Test scenariuszowy wpływu kryterium kosztowego	271
7.10.5 Wnioski z weryfikacji modelu.....	274
7.11 Zakres stosowalności i znaczenie modelu dla rozwiązania problemu badawczego	275
8 Dyskusja.....	279
8.1 Najważniejsze ustalenia badawcze	280
8.2 Znaczenie wyników dla teorii projektowania oraz praktyki zarządzania oświetleniem publicznym.....	282
8.3 Ograniczenia przeprowadzonych badań i modelu	284
8.4 Kierunki dalszego rozwijania metody	285
9 Podsumowanie i wnioski	288
9.1 Końcowe wnioski rozprawy.....	288
9.2 Wkład rozprawy w rozwój wiedzy o projektowaniu i ocenie oświetlenia publicznego	289
9.3 Perspektywy dalszych badań i doskonalenia modelu	291
10 Bibliografia	294
11 Spis rycin z wykazem źródeł.	305
12 Indeks Tabel	310

Streszczenie I pl I

Przedmiotem rozprawy jest problem kontekstowego kształtowania oświetlenia sztucznego przestrzeni publicznych rozpatrywany w perspektywie architektonicznej, urbanistycznej, użytkowej, środowiskowej i decyzyjnej. Punktem wyjścia do przedstawionych badań było stwierdzenie, że współczesna praktyka projektowania oświetlenia w znacznym stopniu opiera się na podejściu redukcyjnym, kształtowanym głównie przez wymagania normatywne oraz ekonomiczne. Ujęcie takie, choć konieczne, okazuje się niewystarczające wobec złożoności przestrzeni publicznych, których jakość po zmroku zależy nie tylko od poziomu światła, lecz także od struktury przestrzeni, sposobu jej użytkowania, widoczności granic wnętrza urbanistycznego, ekspozycji elewacji i zieleni, czytelności miejsca, poczucia bezpieczeństwa użytkowników, jakości nocnego obrazu oraz oddziaływania światła na środowisko.

Celem rozprawy było opracowanie podstaw metodologicznych oraz autorskiego modelu wspomagania decyzji projektowych w zakresie doboru rozwiązań oświetleniowych dla przestrzeni publicznych. W pracy przyjęto, że potrzeby oświetleniowe nie mają charakteru uniwersalnego, lecz wynikają z cech przestrzeni, jej funkcji, sposobu użytkowania oraz uwarunkowań krajobrazowych, środowiskowych i społecznych. Z tego względu świadome projektowanie oświetlenia zostało ujęte jako problem wielokryterialny, wymagający równoczesnego uwzględnienia aspektów bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, percepcji, estetyki, ekologii, zarządzalności infrastruktury, trwałości oraz ekonomiki rozwiązania.

W rozprawie postawiono tezę, że cechy przestrzeni oraz sposób jej użytkowania stanowią podstawę doboru adekwatnych rozwiązań oświetleniowych, a ich uporządkowanie w modelu wielokryterialnego wspomagania decyzji umożliwia bardziej trafną ocenę i porównywanie wariantów projektowych niż podejście oparte wyłącznie na kryteriach normatywnych i techniczno-ekonomicznych. Dla realizacji celu pracy zastosowano wieloetapową procedurę badawczą, obejmującą analizę literatury, analizę problemu decyzyjnego, strukturyzację kontekstu przestrzennego, badania terenowe, pomiary luminancyjne, badanie ankietowe oraz syntezę modelową z wykorzystaniem metod MCDA/PROMETHEE. Istotną część badań własnych była analiza przypadków pomiarowych oraz badanie ankietowe oparte na 21 rzeczywistych przykładach przestrzeni publicznych, uporządkowanych w 7 typologiach i zestawionych w 3 wariantach ilościowych oświetlenia. Taki układ badań umożliwił połączenie trzech porządków oceny: pomiarowego, percepcyjnego i decyzyjnego. Badania terenowe pozwoliły opisać rzeczywiste parametry oświetlenia, badanie ankietowe ujawniło sposób odbioru tych parametrów przez użytkowników, natomiast model wielokryterialny umożliwił transfer wiedzy na procedurę porównywania wariantów projektowych.

Przeprowadzone analizy wykazały, że bezpieczeństwo ruchu drogowego i zapewnienie podstawowej widoczności w nocy, choć pozostają warunkami koniecznymi, nie wyczerpują problemu jakości oświetlenia przestrzeni publicznych. Wyniki badań wskazują, że użytkownicy oceniają przestrzeń nocną nie tylko przez pryzmat warstwy komunikacyjnej, lecz także poprzez sposób oświetlenia elewacji, stref wejściowych, zieleni. Istotna dla użytkownika jest widoczność elementów wspierających

orientację, identyfikację miejsca oraz ogólny odbiór estetyczny. Jakość oświetlenia zależy zatem od ilości światła, jak i od jego rozmieszczenia, hierarchii, kontroli oraz relacji z przestrzenią. W pracy wykazano, że poprawność ilościowa i zgodność z wymaganiami normowymi nie gwarantują automatycznie wysokiej jakości nocnego wizerunku miejsca, a zwiększanie ilości światła nie musi prowadzić do poprawy oceny przestrzeni.

Efektem rozprawy jest autorski model wspomagania decyzji projektowych, który porządkuje ocenę wariantów oświetleniowych. Model prowadzi od rozpoznania cech przestrzeni do określenia wag i porównania wariantów z wykorzystaniem metody MCDA/PROMETHEE. Ujawnia przesłanki wyboru, które w praktyce często pozostają nieformalne, intuicyjne albo podporządkowane pojedynczemu kryterium, najczęściej ekonomicznemu. Działanie modelu sprawdzono na rzeczywistych przypadkach projektowych, a weryfikacja obejmowała porównanie rekomendacji z decyzjami inwestorskimi, analizę czułości wag oraz test wpływu kryteriów związanych z kosztami. Wyniki potwierdziły, że model pozwala wskazać wariant rekomendowany, ocenić stabilność rekomendacji oraz kontrolować wpływ kosztów na końcowy ranking.

Wkład naukowy dysertacji polega na powiązaniu problematyki projektowania przestrzeni publicznej, jakości oświetlenia oraz wielokryterialnego wspomagania decyzji projektowych. W pracy opisano kryteria jakości inwestycji oświetleniowej oraz wypracowano procedurę przejścia od diagnozy kontekstowej miejsca do rekomendacji wyboru wariantu projektowego. W tym sensie wynik pracy stanowi możliwą do zastosowania metodę postępowania projektowego, w której oświetlenie publiczne przestaje być wyłącznie infrastrukturą techniczną, a staje się narzędziem świadomego kształtowania jakości przestrzeni nocnej.

Rozprawa ma charakter poznawczy i aplikacyjny. Przesuwa ocenę oświetlenia z poziomu pojedynczych parametrów technicznych na poziom relacji między światłem, przestrzenią, użytkownikiem i decyzją projektową. Zaproponowany model decyzyjny stanowi narzędzie wspomagające bardziej transparentny i uzasadniony wybór wariantów oświetleniowych, odpowiadających zarówno wymaganiom technicznym, jak i charakterowi konkretnego miejsca. Pozwala także przełożyć ideę zrównoważonego rozwoju na konkretne aspekty decyzji projektowej: podnoszenie jakości przestrzeni po zmroku, racjonalne wykorzystanie technologii, odpowiedzialne gospodarowanie zasobami, trwałość i zarządzalność infrastruktury, efektywność eksploatacyjną oraz ograniczanie negatywnego oddziaływania światła na środowisko. Projektowanie oświetlenia publicznego oznacza świadome kształtowanie widoczności przestrzeni po zmroku: określenie, które jej elementy wymagają ekspozycji, w jakim stopniu, w jakim czasie oraz z jakiego uzasadnienia przestrzennego, użytkowego i środowiskowego.

słowa kluczowe: oświetlenie przestrzeni publicznych, projektowanie oświetlenia miejskiego, kontekstowe projektowanie oświetlenia, jakość oświetlenia, nocny obraz miasta, percepcja przestrzeni nocnej, bezpieczeństwo po zmroku, zrównoważone oświetlenie, wielokryterialne wspomaganie decyzji, MCDA, PROMETHEE, model wspomagania decyzji projektowych, oświetlenie uliczne

Abstract I en I

The dissertation addresses the issue of context-based design of artificial lighting in public spaces, considered from architectural, urban planning, user-oriented, environmental and decision-making perspectives. The point of departure for the research was the observation that contemporary lighting design practice is still largely based on a reductive approach, shaped primarily by normative and economic requirements. Although such an approach remains necessary, it proves insufficient in view of the complexity of public spaces, whose quality after dark depends not only on light levels, but also on spatial structure, patterns of use, the visibility of urban interior boundaries, the illumination of façades and greenery, spatial legibility, users' sense of safety, the quality of the night-time image, and the environmental impact of light.

The aim of the dissertation was to develop methodological foundations and an original design decision-support model for selecting lighting solutions for public spaces. The study assumes that lighting needs are not universal, but arise from the characteristics of a space, its function, patterns of use, and landscape, environmental and social conditions. For this reason, conscious lighting design is framed as a multi-criteria problem requiring the simultaneous consideration of safety, spatial quality, perception, aesthetics, ecology, infrastructure manageability, durability and the economic aspects of the solution.

The dissertation advances the thesis that the characteristics of space and the way it is used constitute the basis for selecting appropriate lighting solutions, and that their structuring within a multi-criteria decision-support model enables a more accurate assessment and comparison of design variants than approaches based solely on normative and techno-economic criteria. To achieve this aim, a multi-stage research procedure was applied, including a literature review, an analysis of the decision problem, the structuring of spatial context, field studies, luminance measurements, a questionnaire survey and model synthesis using MCDA/PROMETHEE methods.

A significant part of the empirical research consisted of an analysis of measurement cases and a questionnaire survey based on 21 real examples of public spaces, organised into 7 typologies and presented in 3 quantitative lighting variants. This research design made it possible to combine three orders of assessment: measurement-based, perceptual and decision-oriented. The field studies described actual lighting parameters, the questionnaire survey revealed how these parameters were perceived by users, and the multi-criteria model enabled this knowledge to be translated into a procedure for comparing design variants.

The analyses demonstrated that road safety and the provision of basic night-time visibility, although necessary conditions, do not exhaust the problem of lighting quality in public spaces. The results indicate that users assess night-time space not only through the transport and pedestrian layer, but also through the illumination of façades, entrance zones and greenery. The visibility of elements supporting orientation, place identification and the overall aesthetic perception of space is also important. Lighting quality therefore depends both on the quantity of light and on its distribution, hierarchy, control and

relationship with space. The dissertation shows that quantitative correctness and compliance with normative requirements do not automatically guarantee a high-quality night-time image of a place, and that increasing the amount of light does not necessarily improve the assessment of a space.

The outcome of the dissertation is an original design decision-support model that structures the assessment of lighting variants. The model leads from the recognition of spatial characteristics to the determination of weights and the comparison of variants using the MCDA/PROMETHEE method. It reveals the premises of choice that, in practice, often remain informal, intuitive or subordinated to a single criterion, most often an economic one. The model was tested on real design cases, and the verification included a comparison of model recommendations with decisions made by project clients, a sensitivity analysis of weights, and a test of the impact of cost-related criteria. The results confirmed that the model makes it possible to identify a recommended variant, assess the stability of the recommendation and control the influence of costs on the final ranking.

The scientific contribution of the dissertation lies in linking the issues of public space design, lighting quality and multi-criteria support for design decisions. The study defines quality criteria for lighting investments and develops a procedure for moving from a contextual diagnosis of a place to a recommendation for selecting a design variant. In this sense, the result of the work is an applicable design procedure in which public lighting ceases to be understood solely as technical infrastructure and becomes a tool for consciously shaping the quality of night-time space.

The dissertation is both research-oriented and applied in character. It shifts the assessment of lighting from the level of individual technical parameters to the level of relationships between light, space, the user and the design decision. The proposed decision-support model provides a tool for a more transparent and justified selection of lighting variants that respond both to technical requirements and to the character of a specific place. It also makes it possible to translate the idea of sustainable development into specific aspects of the design decision: improving the quality of space after dark, making rational use of technology, managing resources responsibly, ensuring the durability and manageability of infrastructure, improving operational efficiency, and reducing the negative environmental impact of light. In this approach, public lighting design means the conscious shaping of the visibility of space after dark: determining which elements require exposure, to what extent, at what time, and on the basis of what spatial, user-related and environmental justification.

keywords: public space lighting, urban lighting design, context-based lighting design, lighting quality, urban nightscape, night-time spatial perception, perceived safety, sustainable lighting, multi-criteria decision analysis, MCDA, PROMETHEE, decision support model, street lighting

1

Wstęp

1 Wstęp

Projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych wymaga uwzględnienia wielu współzależnych uwarunkowań: cech miejsca, sposobu jego użytkowania, potrzeb społecznych, wymagań środowiskowych, możliwości technicznych oraz ograniczeń ekonomicznych związanych zarówno z realizacją inwestycji, jak i późniejszą eksploatacją infrastruktury. Pomimo rosnącego znaczenia jakości oświetlenia w kształtowaniu współczesnych przestrzeni miejskich, w praktyce nadal brakuje spójnego podejścia, które pozwalałoby w sposób uporządkowany i uzasadniony łączyć te przesłanki w procesie podejmowania decyzji projektowych. Problem ten jest szczególnie istotny w odniesieniu do przestrzeni publicznych, których wartość nie wynika wyłącznie z parametrów funkcjonalnych, lecz również z relacji przestrzennych, kompozycji urbanistycznej, czytelności układu oraz sposobu, w jaki przestrzeń jest postrzegana i doświadczana przez użytkowników (Arefi & Aelbrecht, 2022; Gehl, 2010; Lynch, 1960). Z tej potrzeby wynika zasadniczy kierunek niniejszej rozprawy, skoncentrowanej na poszukiwaniu kryteriów jakości oraz budowie modelu wspomagania decyzji projektowych dla oświetlenia przestrzeni publicznych. Przyjęto założenie, że dobór rozwiązań oświetleniowych powinien pozostawać w ścisłym związku z kontekstem przestrzennym, funkcjonalnym, krajobrazowym i środowiskowym danej przestrzeni. W tym ujęciu oświetlenie należy rozpatrywać nie tylko jako środek zapewnienia widzialności, lecz także jako narzędzie modelowania nocnego obrazu miasta, wzmacniania tożsamości miejsca, porządkowania hierarchii przestrzennej oraz budowania warunków percepcji architektury, krajobrazu urbanistycznego i naturalnego (Cullen, 1961; Michalak&Suchanek, 2021; Michalak 2020; Norberg-Schulz, 1980; Wasserfurth-Grzybowski, 2018).

Potrzeba opracowania takiego podejścia wynika zarówno z przesłanek naukowych, jak i z praktyki projektowej. Współczesne decyzje dotyczące oświetlenia publicznego są często podejmowane pod wpływem czynników doraźnych: presji redukcji kosztów związanej ze wzrostem cen energii (Wojnicki et al., 2016), uproszczonych reakcji na problem zanieczyszczenia światłem albo przeciwnie – tendencji do nadmiernego doświetlania przestrzeni bez pogłębionej analizy rzeczywistych potrzeb. Takie podejście sprzyja rozwiązaniom fragmentarycznym, podporządkowanym pojedynczym kryteriom, a nie całościowej ocenie jakości przestrzeni publicznej po zmroku. W rezultacie światło bywa traktowane redukcyjnie – jako parametr techniczny lub koszt eksploatacyjny – podczas gdy w rzeczywistości współkształtuje strukturę nocnego krajobrazu, warunki orientacji przestrzennej, odbiór granic wewnątrz urbanistycznych, czytelność, relacje pomiędzy planami widokowymi oraz percepcję bezpieczeństwa i komfortu użytkowników (Bartnicka, 2017; Martyniuk-Pęczek, 2014). W tym kontekście zasadne staje się opracowanie modelu postępowania wspierającego uczestników procesu inwestycyjnego w bardziej świadomym, przejrzystym i kontekstowo uzasadnionym wyborze rozwiązań oświetleniowych. Złożoność współczesnych procesów inwestycyjnych sprawia bowiem, że oświetlenie publiczne powinno być rozpatrywane jako element kształtowania jakości przestrzeni, wymagający podejścia

wielokryterialnego, kontekstowego i zintegrowanego z logiką projektowania urbanistycznego.

Celem pracy jest opracowanie metodologicznie uporządkowanego podejścia do kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych, umożliwiającego lepsze dopasowanie rozwiązań oświetleniowych do specyfiki miejsca oraz bardziej świadome podejmowanie decyzji projektowych. W takim rozumieniu kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych oznacza dobór rozwiązań dostosowanych do cech miejsca i potrzeb jego użytkowników, wspierany przez model wspomagania decyzji projektowych.

1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu

Oświetlenie przestrzeni publicznych stanowi ważny element kształtowania warunków funkcjonowania przestrzeni po zmroku. Jego rola wykracza poza zapewnienie widzialności i bezpieczeństwa obejmując również współtworzenie jakości przestrzeni, czytelności układów funkcjonalnych i przestrzennych, odbioru architektury oraz sposobu doświadczania otoczenia przez użytkowników (Gehl, 2010; Lynch, 1960; Martyniuk-Pęczek, 2014). Dotyczy to zarówno struktur miejskich, jak i przestrzeni podmiejskich, obszarów infrastrukturalnych, stref przemysłowych oraz terenów o mniejszym stopniu urbanizacji, w tym krajobrazów otwartych i obszarów zieleni. Poszczególne typy przestrzeni różnią się funkcją, sposobem użytkowania, znaczeniem krajobrazowym i wrażliwością środowiskową, a tym samym generują odmienne potrzeby oświetleniowe. W pracy pojęcie przestrzeni publicznych i ogólnodostępnych stosowane jest łącznie, aby objąć zarówno klasyczne przestrzenie publiczne miasta, jak i inne przestrzenie dostępne dla użytkowników.

Oświetlenie przestrzeni publicznych umożliwiło ludziom efektywne i bezpieczne funkcjonowanie po zmroku (Martyniuk-Pęczek, 2014), pomaga upiększać miasta (Rogińska-Niesłuchowska, 2010), zachęca do turystyki (Eldridge & Smith, 2019; Giordano & Ong, 2017) oraz wspiera tworzenie wizerunku miejsca (Wasserfurth-Grzybowski, 2018). Jednocześnie, jak każda forma przekształcenia środowiska, oddziałuje na ludzi, florę i faunę, a także pośrednio na środowisko poprzez emisję zanieczyszczeń związanych z produkcją energii wykorzystywanej do oświetlenia (Briggs, 2006; Gaston et al., 2015; International Astronomical Union, 2018; International Energy Agency, 2016). Z tego względu w projektowaniu oświetlenia coraz większe znaczenie przypisuje się minimalizacji emisji CO₂ w infrastrukturze drogowej i transporcie (Attahiru et al., 2019; Doulos et al., 2019; Javid et al., 2014; Seo & Kim, 2013), a także aspektem ekonomicznym związanym z realizacją inwestycji i późniejszym utrzymaniem infrastruktury (Haffaf et al., 2020; Valetti et al., 2023).

Współczesna rewolucja technologiczna przyniosła wiele korzyści, ale ujawniła też nowe problemy związane z jakością projektów oświetleniowych (Pizzuti et al., 2013; Skarżyński & Wiśniewski, 2024; Traverso et al., 2017). Wiele nowych realizacji budzi kontrowersje lub niezadowolenie mieszkańców (Gorzelańczyk & Miśkowski, 2022).

Doświadczenie projektowe autora wskazuje, że precyzja opraw LED¹ często prowadzi do zubożenia czytelności przestrzeni przez koncentrację głównie na oświetlaniu powierzchni poziomych. Tymczasem zarówno praktyka projektowa, jak i wyniki badań wskazują, że dla właściwej percepcji przestrzeni publicznej decydujące jest również oświetlenie pionowych powierzchni pierzei zabudowy oraz innych elementów budujących granice i strukturę przestrzeni (Markvica et al., 2019; Burattini et al., 2024). Problem ten nie doczekał się dotychczas ujęcia w praktycznych zaleceniach projektowych wykraczających poza podstawowe wymagania dla oświetlenia drogowego.

Jednym z podstawowych celów oświetlenia publicznego pozostaje zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników w porze nocnej (Michalak & Ratajkiewicz, 2020). Badania podjęte w pracy odnoszą się do problemów współczesnych przestrzeni publicznych, które z jednej strony wymagają poprawy jakości użytkowania i odbioru po zmroku, a z drugiej muszą uwzględniać aspekty środowiskowe związane ze zużyciem energii, zanieczyszczeniem światłem oraz wpływem sztucznego światła na organizmy żywe (Dominoni et al., 2016; Ustawa z dnia 7 października 2022 r.). Podjęta problematyka ma zatem charakter interdyscyplinarny, łącząc elementy urbanistyki, architektury, technologii oświetleniowej, środowiskowych skutków eksploatacji światła oraz zagadnień związanych z percepcją i użytkowaniem przestrzeni. W praktyce projektowej widoczny jest zarazem brak spójnych wytycznych, które pozwalałyby łączyć wymagania techniczne, potrzeby użytkowników, uwarunkowania środowiskowe oraz ekonomiczne konsekwencje inwestycji i eksploatacji. Wymagania normatywne dotyczące oświetlenia ulicznego i drogowego (PN-EN 13201-1, 2016; PN-EN 13201-2, 2016; PN-EN 13201-3, 2016; PN-EN 13201-4, 2016; PN-EN 13201-5, 2016) są w dużym stopniu podporządkowane logice ruchu drogowego i bezpieczeństwa komunikacyjnego. Chociaż piesi i rowerzyści są w nich uwzględnieni, wytyczne te nie stanowią wystarczającej podstawy do całościowego projektowania jakości zróżnicowanych przestrzeni publicznych po zmroku. Dotyczy to zwłaszcza miejsc, w których ważne są nie tylko funkcje transportowe, lecz także przebywanie, obserwacja otoczenia, identyfikacja miejsca, odbiór krajobrazu i architektury. Holistyczne myślenie o projektowaniu oświetlenia i jego późniejszej eksploatacji nie jest nadal powszechne; brakuje jasnych wytycznych uwzględniających wymagania różnych użytkowników, różne typy przestrzeni oraz zasadność budowania jakości także w porze nocnej (Thiel et al., 2017; Dincel et al., 2024).

Szczególne znaczenie nabiera fakt, że przedmiotem pracy nie są wyłącznie zwarte przestrzenie miejskie. Przestrzenie publiczne obejmują obszary podmiejskie, strefy przemysłowe, tereny infrastrukturalne, krajobrazy rolne, leśne, niezabudowane oraz różnego rodzaju przestrzenie przejściowe. Innych przesłanek projektowych wymagają place, ulice śródmiejskie i parki, a innych strefy tranzytowe, obrzeża osadnicze, przestrzenie przemysłowe czy obszary otwarte. Ta różnorodność jest jednym z podstawowych uzasadnień podjęcia tematu i prowadzi do odejścia od ujęcia uniwersalnego na rzecz podejścia kontekstowego.

¹ LED – ang. light-emitting diode; dioda elektroluminescencyjna, stosowana jako źródło światła w oprawach oświetleniowych.

Doświadczenie zawodowe autora wskazuje na konieczność uwzględniania zmian w czasie dotyczących sposobów użytkowania przestrzeni oraz reakcji światła na zmieniające się potrzeby użytkowników (Haans & de Kort, 2012; Dwimirnani et al., 2017). Określenie wpływu oświetlenia pionowego i poziomego na poczucie bezpieczeństwa oraz postrzeganie przestrzeni publicznej może stanowić zasadnicze wsparcie dla projektantów oświetlenia, architektów, urbanistów i innych uczestników procesu inwestycyjnego (Boomsma & Steg, 2014; Van Rijswijk & Haans, 2018). W urbanistyce sztuczne oświetlenie nocą można traktować jako narzędzie porządkowania i interpretowania przestrzeni. Współczesna praktyka projektowa zbyt często upraszcza światło do realizacji tylko wytycznych dla oświetlenia poziomego jezdni, chodników czy ścieżek rowerowych, pomijając aspekty estetyczne, percepcyjne i krajobrazowe.

Miasta tworzone są przez układ komunikacyjny, ale przede wszystkim budują je ludzie, architektura, zieleń i krajobraz, które razem współtworzą jakość życia (Petelewicz & Drabowicz, 2016). Dobre oświetlenie powinno więc uwzględniać potrzeby różnych użytkowników i odnosić się do charakteru konkretnej przestrzeni. Redukowanie przestrzeni publicznej do technicznego pola spełnienia normy oświetleniowej i ekonomizacji decyzji projektowych prowadzi do zawężenia problemu projektowego (Wojnicki & Kotulski, 2018). Kompleksowe myślenie o oświetleniu umożliwi ograniczyć współczesne błędy projektowe i ich konsekwencje: wysokie zużycie energii, zanieczyszczenie świetlne, negatywny wpływ sztucznego światła na organizmy żywe oraz podporządkowanie rozwiązań oświetleniowych niemal wyłącznie potrzebom ruchu samochodowego (Davoudian, 2011; Dominoni et al., 2016).

Uzasadnienie podjęcia tematu wynika zatem z potrzeby opracowania podejścia umożliwiającego bardziej świadome i kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych. Celem jest uporządkowanie kryteriów jakości i przesłanek decyzyjnych, tak aby dobór rozwiązań oświetleniowych mógł być lepiej dostosowany do charakteru miejsca, sposobu jego użytkowania oraz związanych z nim konsekwencji funkcjonalnych, środowiskowych i ekonomicznych. Podjęta problematyka ma charakter zarówno naukowy, jak i aplikacyjny, a jej rezultatem jest propozycja modelu wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych.

1.2 Cel pracy

Celem pracy jest opracowanie modelu wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych. Model ten ma opierać się na rozpoznaniu cech przestrzeni, sposobów jej użytkowania oraz wynikających z nich potrzeb oświetleniowych, a następnie na zdefiniowaniu, opisanie i uporządkowaniu kryteriów oceny wariantów projektowych. Punktem wyjścia pracy było założenie, że potrzeby oświetleniowe można wiązać przede wszystkim z ogólną funkcją miejsca. W toku analiz przyjęto jednak, że o zróżnicowaniu potrzeb oświetleniowych w większym stopniu decydują cechy przestrzeni oraz sposób jej użytkowania niż sama ogólna funkcja miejsca. W konsekwencji celem pracy stało się nie tyle przypisanie rozwiązań oświetleniowych do prostych kategorii funkcjonalnych, ile rozpoznanie tych właściwości

przestrzeni, które mają znaczenie dla określania zapotrzebowania na światło i dla oceny jakości oświetlenia.

Cel pracy obejmuje zatem:

- rozpoznanie cech przestrzeni i sposobów jej użytkowania ważnych z punktu widzenia potrzeb oświetleniowych,
- określenie oczekiwań dotyczących widoczności i ekspozycji elementów układu przestrzennego po zmroku,
- zidentyfikowanie kryteriów oceny oświetlenia oraz przypisanych im wag i deskryptorów,
- opracowanie modelu MCDA wspomagającego porównanie wariantów i wskazanie wariantu rekomendowanego w ramach przyjętych założeń.

W pracy sformułowano następujące **pytania badawcze**:

- 1. W jakim stopniu cechy przestrzeni oraz sposób jej użytkowania różnicują potrzeby oświetleniowe?**
- 2. Jakie elementy układu przestrzennego powinny być widoczne po zmroku w różnych typach przestrzeni publicznych?**
- 3. W jaki sposób uporządkować kryteria oceny oświetlenia tak, aby umożliwić porównanie wariantów projektowych i wskazanie wariantu rekomendowanego?**

Za **cele szczegółowe** pracy przyjęto:

1. Wyodrębnienie typów przestrzeni publicznych oraz określenie ich cech istotnych z punktu widzenia potrzeb oświetleniowych,
2. Rozpoznanie oczekiwań dotyczących widoczności elementów układu przestrzennego po zmroku, w tym nie tylko powierzchni poziomych, lecz także wybranych elementów pionowych i zieleni,
3. Ustalenie kryteriów oceny oświetlenia oraz przypisanego im znaczenia w procesie podejmowania decyzji projektowych,
4. Opracowanie modelu wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych.

1.3 Teza badawcza

Oświetlenie przestrzeni publicznych w trzeciej dekadzie XXI wieku podlega intensywnym przemianom technologicznym, organizacyjnym i środowiskowym. Jednym z głównych motorów tych zmian pozostaje dążenie do redukcji kosztów energii i poprawy efektywności energetycznej systemów oświetleniowych. Równocześnie rosną wymagania dotyczące jakości przestrzeni publicznych, bezpieczeństwa użytkowników, ochrony środowiska oraz ograniczania negatywnego wpływu sztucznego światła na człowieka, faunę i florę. Sytuacja ta stawia nowe wyzwania przed decydentami i projektantami, ponieważ decyzje oświetleniowe nie mogą być obecnie podejmowane wyłącznie na podstawie kryteriów technicznych lub ekonomicznych.

W związku z tym zasadne jest wypracowanie modelu decyzyjnego, który uwzględni wieloaspektowy charakter zagadnienia oświetlenia i umożliwi bardziej świadome, kontekstowe oraz uzasadnione projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych.

W pracy sformułowano następującą **tezę badawczą**:

Cechy przestrzeni oraz sposób jej użytkowania stanowią podstawę doboru rozwiązań oświetleniowych w przestrzeniach publicznych. Ich uporządkowanie w modelu wielokryterialnego wspomaganie decyzji umożliwia ocenę wariantów oraz wskazanie rozwiązania najlepiej równoważącego wymagania funkcjonalne, społeczne, środowiskowe i ekonomiczne.

1.4 Struktura rozprawy

Struktura rozprawy została podporządkowana logice stopniowego przechodzenia od rozpoznania problemu badawczego i identyfikacji braków w badaniach dotyczących poszczególnych obszarów decyzyjnych, przez uporządkowanie podstaw analitycznych i empirycznych, do sformułowania autorskiego modelu wspomaganie decyzji projektowych w obszarze oświetlenia przestrzeni publicznych. Taki układ wynika z przyjętego założenia metodologicznego, zgodnie z którym trafne kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych wymaga uprzedniego rozpoznania relacji zachodzących pomiędzy kontekstem przestrzennym, jakością nocnego odbioru przestrzeni, wymaganiami użytkowymi, ograniczeniami techniczno-normatywnymi oraz wynikami badań odnoszących się do rzeczywistych oczekiwań i sposobów korzystania z przestrzeni po zmroku. Struktura pracy odzwierciedla porządek dochodzenia do rozwiązania problemu, który w praktyce projektowej ujawnia się jako problem złożony, wielowymiarowy i trudny do rozstrzygnięcia przy zastosowaniu kryteriów jednowymiarowych. Potrzeba takiego ujęcia wynika zarówno ze stanu badań, jak i z doświadczeń praktyki zawodowej, w której decyzje dotyczące oświetlenia przestrzeni publicznych bardzo rzadko podejmowane są w warunkach jednoznaczności. Przeciwnie, są one zwykle efektem konieczności godzenia odmiennych, a niekiedy konkurencyjnych oczekiwań, odnoszących się równocześnie do bezpieczeństwa, orientacji przestrzennej, komfortu użytkowania, czytelności struktury miejsca, ograniczeń środowiskowych, kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, a także wymagań estetycznych i zarządczych. Z perspektywy praktyki projektowej szczególnie wyraźnie widoczny jest brak narzędzia, które pozwalałoby te przesłanki porządkować, hierarchizować i porównywać w sposób przejrzysty, a zarazem dostosowany do charakteru konkretnej przestrzeni.

Z tego względu przyjęta struktura rozprawy została zorganizowana w taki sposób, aby prowadzić od rozpoznania i uporządkowania zmiennych kluczowych dla decyzji projektowej, przez ich empiryczne zweryfikowanie, do opracowania procedury analizy i porównywania wariantów. Logikę tę syntetycznie przedstawia schemat struktury rozprawy i kolejnych etapów postępowania badawczego, w którym poszczególne etapy pozostają względem siebie funkcjonalnie powiązane.

„Kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych, kryteria jakości oraz model wspomaganie decyzji projektowych.”

Kontekst i założenia pracy

Brak narzędzi pozwalających kształtować oświetlenie w sposób kontekstowy.

Dominacja podejść technicznych, normatywnych lub kosztowych.

Opracowanie modelu wspomaganie decyzji projektowych dotyczących oświetlenia przestrzeni publicznych.

Uwzględnienie kontekstu i kryteriów jakości pozwala trafniej dobierać rozwiązania oświetleniowe.

Analiza problemu, strukturyzacja kontekstu, badania terenowe i ankietowe, synteza wyników.

Metoda analiz i porównań oparta na MCDA/PROMETHEE.

1. Cele badawcze	2. Analiza problemu decyzyjnego	3. Projekt badań i metodologia
1 Model wspomaganie decyzji projektowych dla oświetlenia przestrzeni publicznych. 2 Identyfikacja cech kontekstu przestrzennego. 3 Określenie kryteriów jakości i parametrów odniesienia. 4 Rozpoznanie potrzeb na podstawie badań terenowych i ankietowych. 5 Budowa i weryfikacja modelu opartego na MCDA.	1 Wielowymiarowość celów i funkcji oświetlenia. 2 Zmienność potrzeb zależna od czasu, użytkowania i sytuacji przestrzennej. 3 Konfliktowość wymagań: bezpieczeństwo, percepcja, środowisko, ekonomia, zarządzanie.	1 Analiza problemu i podstaw teoretycznych. 2 Badania terenowe: materiał pomiarowy, dobór przypadków, analiza wyników. 3 Badanie ankietowe oczekiwań wobec oświetlenia. 4 Synteza wyników i formalizacja modelu.
Pytania badawcze	Strukturyzacja kontekstu przestrzennego	4. Badania empiryczne i wyniki
1 Jakie cechy kontekstu przestrzennego różnicują potrzeby oświetleniowe? 2 Jakie kryteria jakości i parametry odniesienia powinny być uwzględniane w ocenie? 3 Jak zintegrować kontekst, dane empiryczne i kryteria jakości w modelu decyzyjnym?	1 Percepcja nocnej przestrzeni. 2 Rola światła w organizacji i hierarchizacji przestrzeni. 3 Jednostka analizy, warstwy i typologia przestrzeni. 4 Klasyfikacja kontekstu według potrzeb oświetleniowych.	1 Wyniki badań terenowych i ich znaczenie dla klasyfikacji kontekstu. 2 Wyniki badań ankietowych i struktura oczekiwań wobec oświetlenia. 3 Wnioski przekrojowe z analizy przypadków. 4 Synteza danych jako podstawa budowy wag, kryteriów i deskryptorów.
Hipoteza badawcza	Kryteria jakości i parametry odniesienia	5. Synteza modelu i wnioski
Kontekstowe ujęcie oświetlenia oraz zastosowanie wielokryterialnej procedury oceny pozwala trafniej dobierać warianty projektowe.	1 Analiza norm i zaleceń jako źródła parametrów oceny. 2 Identyfikacja cech technologicznych, środowiskowych, ekonomicznych i zarządczych. 3 Wyprowadzenie kryteriów jakości i parametrów dla oceny wariantów.	1 Klasyfikacja kontekstu, preferencje nadrzędne, kryteria i deskryptory. 2 Metoda analiz i porównań wariantów oparta na MCDA/PROMETHEE. 3 Weryfikacja aplikacyjna modelu na wybranych przykładach. 4 Analiza czułości wag i test wpływu kryteriów kosztowych. 5 Końcowe wnioski, ograniczenia i kierunki dalszego rozwoju metody

Ryc. 1. Schemat pracy doktorskiej. Opracowanie własne.

Przedmiotowa tematyka dysertacji została podzielona na cztery kolejne etapy. Pierwszy z nich obejmuje rozpoznanie problemu badawczego, określenie celu pracy, sformułowanie tezy oraz identyfikację luki badawczej. Drugi ma charakter analityczno-koncepcyjny i służy identyfikacji oraz uporządkowaniu tych cech przestrzeni publicznych, uwarunkowań projektowych i parametrów odniesienia, które mają znaczenie dla późniejszej budowy modelu. Trzeci etap ma charakter empiryczny i obejmuje badania własne, w tym badania terenowe oraz badanie ankietowe. Czwarty etap ma charakter syntetyczno-modelowy i prowadzi do formalizacji metody, analizy i porównań wariantów oświetleniowych opartej na podejściu MCDA/PROMETHEE². Taki układ odpowiada zarówno logice wywodu naukowego, jak i praktyce projektowej, w której rozpoznanie problemu, diagnoza uwarunkowań, zebranie danych oraz wybór rozwiązania stanowią kolejne, wzajemnie zależne fazy procesu decyzyjnego. (Belton & Stewart, 2002; Brans & Mareschal, 2005).

Rozdział pierwszy pełni funkcję porządkującą i wyznaczającą ramy całej rozprawy. Przedstawiono w nim uzasadnienie podjęcia tematu, cel pracy, tezę badawczą, stan badań oraz identyfikację luk badawczych oraz metodologię. Funkcją tej części jest wykazanie, że zasadniczy problem badawczy dotyczy braku spójnego sposobu łączenia cech przestrzeni publicznej, kryteriów jakości oświetlenia oraz procedury podejmowania decyzji projektowych. Już na tym etapie pracy ujawnia się więc zasadnicza oś wywodu, prowadząca od pytania o to, jakie cechy przestrzeni i jakie kryteria powinny być uwzględniane w decyzji dotyczącej oświetlenia, do pytania jak przełożyć je na uporządkowany model oceny i wyboru wariantów.

Rozdział drugi poświęcono analizie problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych. Jego zadaniem jest sporządzenie szerokiego przeglądu literatury oraz wyodrębnienie tych wymiarów problemu, które mają znaczenie w budowie modelu. W rozdziale tym wykazano, że oświetlenie przestrzeni publicznych to zagadnienie wielowymiarowe, w którym nakładają się na siebie cele funkcjonalne, przestrzenne, środowiskowe, ekonomiczne i zarządcze, a rzeczywiste potrzeby oświetleniowe nie mają charakteru uniwersalnego, lecz zależą od sposobu użytkowania przestrzeni, jej struktury oraz sytuacji kontekstowej. Ma to znaczenie w praktyce projektowej, w której decyzje oświetleniowe zbyt często sprowadzane bywają do poziomu spełnienia wymagań technicznych albo ograniczeń budżetowych, podczas gdy realny problem projektowy ma zakres znacznie szerszy i obejmuje jakość nocnego obrazu przestrzeni, relację użytkownika z miejscem oraz społeczne i środowiskowe konsekwencje przyjętych rozwiązań. Z tego względu rozdział drugi jest etapem identyfikacji problemu decyzyjnego.

Rozdział trzeci ma charakter analityczno-strukturyzujący i służy identyfikacji cech kontekstu przestrzennego istotnych z punktu widzenia potrzeb oświetleniowych oraz późniejszej formalizacji modelu decyzyjnego. Omówiono w nim zagadnienia percepcji nocnej przestrzeni, rolę światła w organizacji i hierarchizacji struktury urbanistycznej, problem jednostki analizy w projektowaniu oświetlenia, a także warstwy i typy przestrzeni

² MCDA/PROMETHEE – skrót od ang. Multi-Criteria Decision Analysis oraz Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations. Oznacza wielokryterialną analizę decyzyjną prowadzoną z zastosowaniem metody PROMETHEE, służącej do porządkowania wariantów decyzyjnych na podstawie relacji preferencji pomiędzy nimi.

publicznych. Szczególne znaczenie ma tu klasyfikacja kontekstu przestrzennego według potrzeb oświetleniowych, która stanowi jedno z zasadniczych ogniw dalszej redukcji złożonego problemu projektowego do zestawu elementów możliwych do operacjonalizacji. W praktyce projektowej to właśnie ten poziom rozpoznania okazuje się rozstrzygający, gdyż o potrzebach oświetleniowych nie decyduje wyłącznie rodzaj zastosowanej infrastruktury, lecz przede wszystkim sposób ukształtowania przestrzeni, relacje pomiędzy jej warstwami, intensywność i charakter użytkowania oraz rola, jaką światło ma pełnić w odbiorze i organizacji miejsca.

Rozdział czwarty i piąty poświęcony jest podstawom oceny jakości oświetlenia przestrzeni publicznych. W rozdziale czwartym przedstawiono projektowe i techniczne wymiary oceny, obejmujące zmienne związane z kształtowaniem rozwiązań oświetleniowych, parametry odniesienia, normy oraz uwarunkowania technologiczne i infrastrukturalne. Funkcją tej części jest wyodrębnienie tych cech wariantów projektowych, które mogą podlegać dalszej ocenie i porównywaniu. Normy i zalecenia traktowane są jako jedno ze źródeł parametrów odniesienia, warunków brzegowych i wskaźników, które mogą zostać włączone do szerszej struktury oceny. Uzasadniona została konieczność przyjęcia podejścia wielokryterialnego, wskazując, że ocena oświetlenia przestrzeni publicznych wymaga jednoczesnego uwzględnienia wymiarów użytkowych, środowiskowych, ekonomicznych, estetycznych i zarządczych, które nie tylko współwystępują, lecz w praktyce bardzo często pozostają względem siebie w relacjach napięcia lub częściowej konkurencyjności.

Rozdział szósty obejmuje etap empiryczny rozprawy i służy zgromadzeniu materiału badawczego potrzebnego do dalszej budowy modelu wspomagania decyzji projektowych. Przedstawiono w nim założenia metodologiczne badań empirycznych, wyniki badania terenowego oraz wyniki badania ankietowego dotyczącego oczekiwań wobec oświetlenia przestrzeni publicznych. Taki układ wynika z przyjętego założenia, że rozpoznanie potrzeb oświetleniowych wymaga uwzględnienia zarówno cech przestrzeni i parametrów rozwiązań oświetleniowych, jak i sposobu ich odbioru przez użytkowników. Badanie terenowe ma na celu weryfikację zasadności przyjętej klasyfikacji przestrzeni oraz rozpoznanie rzeczywistych stanów oświetlenia w odniesieniu do poziomów normowych, natomiast badanie ankietowe ma służyć rozpoznaniu oczekiwań użytkowników wobec ilości światła i jakości nocnego odbioru przestrzeni. Wyniki obu etapów mają stanowić podstawę dalszej syntezy modelowej.

Rozdział siódmy ma charakter syntetyczno-modelowy i tworzy zasadniczy wkład autorski rozprawy. Na podstawie wcześniejszych analiz oraz wyników badań własnych dokonano w nim redukcji złożonego problemu projektowego do zestawu klas kontekstu, preferencji nadrzędnych, kryteriów oceny i deskryptorów, a następnie sformalizowano model wspomagania decyzji projektowych oparty na metodzie MCDA/PROMETHEE. Rozdział obejmuje również procedurę oceny wariantów oraz weryfikację aplikacyjną modelu na wybranych przykładach. Znaczenie tego etapu ma szczególnie silne uzasadnienie praktyczne, ponieważ właśnie na poziomie rzeczywistych decyzji projektowych ujawnia się potrzeba przejścia od zbioru rozproszonych przesłanek do uporządkowanej procedury porównywania wariantów. Rozdział siódmy stanowi operacyjne domknięcie wcześniejszych analiz, prowadzące do opracowania narzędzia,

które może znaleźć zastosowanie zarówno w projektowaniu, jak i w zarządzaniu oświetleniem przestrzeni publicznych.

Rozdział ósmy zawiera dyskusję wyników, w której omówiono znaczenie uzyskanych rezultatów dla teorii i praktyki projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych, a także wskazano ograniczenia przeprowadzonych badań oraz możliwości dalszego rozwijania metody. Rozdział dziewiąty ma charakter podsumowujący i obejmuje końcowe wnioski rozprawy, wskazanie jej wkładu w rozwój wiedzy oraz perspektywy dalszych badań. Całość uzupełniają bibliografia oraz aneksy zawierające materiał dokumentacyjny, zestawienia pomiarowe, narzędzie ankietowe oraz elementy formalizacji modelu.

1.5 Stan badań i identyfikacja luk badawczych

W celu rozpoznania stanu badań przeprowadzono wstępne wyszukiwanie publikacji indeksowanych w bazie Scopus³, koncentrując się na problematyce oświetlenia publicznego, oświetlenia ulicznego, oceny oświetlenia oraz kryteriów decyzyjnych. Analiza miała charakter orientacyjny i służyła rozpoznaniu skali zainteresowania Badaczy oraz identyfikacji głównych nurtów publikacyjnych. Wyniki wyszukiwania potwierdziły, że problematyka oświetlenia zewnętrznego jest obecna w literaturze, jednak w znacznie większym stopniu odnosi się do oświetlenia ulicznego niż do szerzej rozumianego oświetlenia przestrzeni publicznych. Zestawienie wyników przedstawiono w

Tabela

1.

Już na poziomie ogólnego rozpoznania materiału źródłowego można zauważyć, że badania dotyczące oświetlenia publicznego rozwijają się nierównomiernie. Dominują publikacje odnoszące się do oświetlenia ulicznego, rozpatrywanego przede wszystkim jako zagadnienie techniczne, eksploatacyjne lub energetyczne, natomiast zdecydowanie rzadziej spotykane są opracowania poświęcone ocenie jakości oświetlenia w szerszym kontekście przestrzeni publicznych. Jeszcze rzadziej prace odnoszące się do kryteriów decyzyjnych, oceny wariantowej lub metod wspomagania decyzji projektowych. Rozkład wyników wyszukiwania sugeruje, że literatura dotycząca oświetlenia przestrzeni zewnętrznych jest rozwinięta przede wszystkim w obszarach infrastrukturalnych i technicznych, natomiast znacznie słabiej obejmuje zagadnienia związane z kontekstowym doбором rozwiązań oświetleniowych.

Analiza treści publikacji daje podstawę do stwierdzenia, że najsilniej reprezentowany nurt badań koncentruje się na efektywności energetycznej, ekonomice eksploatacji oraz modernizacji istniejącej infrastruktury oświetleniowej. Dotyczy to zarówno opracowań poświęconych optymalizacji doboru opraw i parametrów technicznych, jak i badań odnoszących się do kosztów funkcjonowania systemów oświetleniowych oraz ich wpływu na zużycie energii i środowisko (Carli et al., 2018; Cristea et al., 2018; Doulos et al., 2019; Gasparovsky et al., 2011; Neves et al., 2018). W tego typu badaniach oświetlenie traktowane jest najczęściej jako element infrastruktury technicznej, którego parametry

³ Scopus - międzynarodowa baza bibliograficzno-abstraktowa indeksująca recenzowane publikacje naukowe oraz umożliwiającą analizę ich cytowań.

można optymalizować pod kątem efektywności energetycznej, ekonomicznej lub środowiskowej. Podejście to ma wartość praktyczną, jednak nie prowadzi do pełnego uchwycenia relacji pomiędzy charakterem przestrzeni, sposobem jej użytkowania a adekwatnością przyjętych rozwiązań oświetleniowych. W rezultacie analiza koncentruje się głównie na systemie technicznym, a nie na przestrzeni publicznej jako złożonym środowisku użytkowym, percepcyjnym i kompozycyjnym.

Słowa kluczowe:	Ilość publikacji:
Public Lighting oświetlenie publiczne	568
Public Lighting and Outdoor oświetlenie publiczne ORAZ zewnętrzne	45
Public Lighting AND Outdoor AND assessment oświetlenie publiczne ORAZ zewnętrzne ORAZ ocena	3
Public Lighting AND decision AND criteria oświetlenie publiczne ORAZ decyzja ORAZ kryteria	3
Street Lighting oświetlenie uliczne	2014
Street Lighting AND assessment oświetlenie uliczne ORAZ ocena	2
Street Lighting AND decision AND criteria oświetlenie uliczne ORAZ decyzja ORAZ kryteria	8

Tabela 1. Zestawienie liczby publikacji indeksowanych w bazie Scopus dla wybranych kombinacji słów kluczowych. Opracowanie własne.

Drugi wyraźny nurt badań dotyczy zagadnień środowiskowych, w tym zwłaszcza ograniczania negatywnych skutków sztucznego światła w środowisku nocnym oraz oceny zjawisk związanych z emisją światła ku niebu i światłem przeszkadzającym. Badania te dają ważny wkład do dyskusji nad odpowiedzialnym kształtowaniem systemów oświetleniowych. Pokazują, że problem jakości oświetlenia nie może być rozpatrywany wyłącznie przez pryzmat skuteczności oświetlania powierzchni czy redukcji zużycia energii. Jednocześnie nurt środowiskowy koncentruje się zazwyczaj na wybranym aspekcie oceny i stosunkowo rzadko odnosi go do zróżnicowanych potrzeb użytkowników konkretnych przestrzeni publicznych (Sánchez-Lozano et al., 2021). Perspektywa środowiskowa, choć konieczna, bywa analizowana w oderwaniu od pełnego problemu projektowego. Kolejną grupą są opracowania wykorzystujące podejścia wielokryterialne lub narzędzia zbliżone do nich metodologicznie. Z badań tych wynika, że problematyka oświetlenia publicznego może być rozpatrywana w kontekście zrównoważonego rozwoju, modernizacji systemów miejskich, efektywności zarządzania lub oceny infrastruktury technicznej (Goldrath et al., 2015; Neves et al., 2018; Thiel et al., 2017). W większości przypadków oświetlenie stanowi jednak jeden z elementów większego systemu oceny albo przedmiot analizy zredukowanej do kilku uprzednio zdefiniowanych wskaźników. W efekcie proponowane modele mają charakter uniwersalny lub sektorowy, ale nie uwzględniają w sposób wystarczający zróżnicowania

przestrzeni publicznych, ich struktury funkcjonalno-przestrzennej, potrzeb użytkowników ani jakości nocnego obrazu miejsca. Zasadnicze pozostaje rozróżnienie pomiędzy narzędziami wspierającymi decyzje modernizacyjne w systemach infrastrukturalnych a narzędziami wspomagającymi decyzje projektowe odnoszące się do konkretnych typów przestrzeni publicznych.

W literaturze pojawiają się ponadto badania wyraźniej zwracające uwagę na społeczne, percepcyjne i jakościowe aspekty oświetlenia. Szczególne znaczenie mają tu opracowania wskazujące, że potrzeba bezpieczeństwa nie wyczerpuje problemu jakości oświetlenia zewnętrznego, a jego ocena powinna obejmować dodatkowo orientację przestrzenną, estetykę miejsca, komfort użytkowania, odbiór emocjonalny oraz możliwość zróżnicowanego wykorzystywania przestrzeni po zmroku (Boomsma & Steg, 2014; Rozman Cafuta, 2021; Turekulova et al., 2020; van Rijswijk & Haans, 2018). Nurt ten jest szczególnie użyteczny dla rozprawy, gdyż zbliża problematykę oświetlenia do realnych doświadczeń użytkowników przestrzeni publicznych. Wymienione opracowania, mimo swojej wartości poznawczej, nie prowadzą do sformułowania spójnej procedury wspomagania decyzji projektowych, która integrowałaby dane percepcyjne, cechy przestrzenne oraz kryteria ilościowe i jakościowe w ramach jednego modelu. Zbliżone wnioski odnajdziemy w badaniach odnoszących się do subiektywnej oceny mieszkańców jakości oświetlenia oraz doświadczeń użytkowników związanych z korzystaniem z przestrzeni miejskiej w nocy (Castilla et al., 2024; Markvica et al., 2019).

Na odrębną uwagę zasługują badania dotyczące oświetlenia architektonicznego, artystycznego oraz systemów sterowania oświetleniem jako elementu inteligentnych systemów miejskich (Hovorov et al., 2022; Pizzuti et al., 2013). Opracowania te poszerzają zakres refleksji nad rolą światła w mieście, jednak koncentrują się przede wszystkim na zarządzaniu systemem, technologii lub strukturze sterowania, nie rozwiązując problemu doboru systemów oświetleniowych w zależności od typu przestrzeni publicznej i jej specyficznych potrzeb. Podobnie badania dotyczące oceny jakości oświetlenia na etapie projektowym pokazują, że możliwe jest formułowanie procedur bardziej zintegrowanych niż tradycyjne podejścia czysto normatywne, jednak także w tym obszarze punkt ciężkości przesuwają się zwykle ku ocenie rozwiązań technicznych lub wybranych parametrów projektowych, a rzadziej ku powiązaniu tych ocen z typem przestrzeni publicznej i jej rzeczywistym sposobem użytkowania (Pracki, 2020; Skarżyński, 2022).

Przeprowadzona analiza stanu badań prowadzi do wniosku o właściwym określeniu potrzeb badawczych. Dotychczasowe badania rozwijają się głównie w obrębie odrębnych nurtów, koncentrujących się na pojedynczych aspektach decyzyjnych, a rzadziej prowadzą do ujęcia, które umożliwiłoby równoczesne rozpoznanie specyfiki przestrzeni publicznej, zróżnicowania potrzeb oświetleniowych oraz zasad doboru adekwatnych rozwiązań projektowych. Na tym tle ujawnia się przede wszystkim brak uporządkowanego rozpoznania, w jaki sposób cechy kontekstu przestrzennego – rozumianego jako struktura przestrzeni, jej warstwy, sposób użytkowania i funkcja w układzie miejskim – różnicują potrzeby oświetleniowe. W literaturze słabo rozwinięty pozostaje etap analityczny, który pozwalałby przełożyć złożoność przestrzeni publicznych na zestaw cech aplikacyjnych dla projektowania i oceny oświetlenia. Jest to bezpośrednie uzasadnienie dla analitycznej części niniejszej rozprawy, obejmującej identyfikację i strukturyzację kontekstu przestrzennego.

Drugi niedostatecznie rozwinięty obszar dotyczy integracji kryteriów ilościowych i jakościowych. W dostępnych opracowaniach parametry techniczne, wymagania normatywne, aspekty percepcyjne, środowiskowe, ekonomiczne i użytkowe są najczęściej analizowane rozłącznie albo podporządkowane jednemu dominującemu celowi, najczęściej energetycznemu lub eksploatacyjnemu (Carli et al., 2018; Doulos et al., 2019; Sanchez et al., 2021). W efekcie brakuje podejścia umożliwiającego budowę takiej struktury oceny, która odpowiadałaby rzeczywistej złożoności problemu projektowego. Uzasadnia to część rozprawy, która służy wyodrębnieniu kryteriów jakości oraz parametrów odniesienia dla oceny rozwiązań oświetleniowych.

Dotychczasowe badania empiryczne odnoszące się do realnych przestrzeni nie są wystarczająco powiązane z procesem formułowania decyzji projektowych. Opisane w dostępnej literaturze badania terenowe, analizy infrastrukturalne oraz opracowania odnoszące się do percepcji i oczekiwań użytkowników, jednak znacznie rzadziej dane te są zestawiane w taki sposób, aby mogły stanowić bezpośrednią podstawę budowy narzędzia oceny i porównywania wariantów oświetleniowych (Castilla et al., 2024; Rozman Cafuta, 2021; Turekulova et al., 2020). Nadal niewystarczająco rozpoznane pozostaje przejście od diagnozy empirycznej do operacyjnej struktury decyzji. Luka ta stanowi bezpośrednie uzasadnienie dla badań własnych przeprowadzonych w niniejszej rozprawie. W konsekwencji za zasadniczą lukę badawczą należy uznać brak narzędzia, które pozwalałoby przełożyć zróżnicowane przesłanki projektowe na uporządkowaną, wielokryterialną procedurę wspomagania decyzji, uwzględniającą równocześnie specyfikę miejsca, potrzeby użytkowników oraz zespół kryteriów jakościowych i ilościowych. Ten brak wypełnia niniejsza rozprawa poprzez opracowanie modelu wspomagania decyzji projektowych w zakresie oświetlenia przestrzeni publicznych, opartego na analizie kontekstu przestrzennego, wynikach badań własnych oraz formalizacji procedury oceny i porównywania wariantów z wykorzystaniem podejścia MCDA (Belton & Stewart, 2002; Brans & Mareschal, 2005).

1.6 Przedmiot badań i metodologia

W pracy przyjęto metodologię wieloetapową, łączącą studia literaturowe, analizy opisowe, badania terenowe, pomiary luminancyjne, badanie ankietowe, etap syntezy modelowej z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomagania decyzji oraz weryfikację działania modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych. Przyjęcie takiej procedury wynika z natury problemu badawczego. Problem projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych ujawnia się bowiem na styku porządku: przestrzennego, funkcjonalnego, percepcyjnego, środowiskowego, ekonomicznego i zarządczego. W konsekwencji przyjęta metodologia została podporządkowana logice dochodzenia do narzędzia projektowego, zdolnego porządkować złożony problem decyzyjny w sposób przejrzysty, porównywalny i operacyjny (Belton & Stewart, 2002; Boyce, 2014; Brans & Mareschal, 2005; Niezabitowska, 2014).

Przedmiotem badań jest oświetlenie przestrzeni publicznych rozumiane jako element współkształtujący sposób użytkowania, odbioru i oceny nocnej przestrzeni miasta (Ryc.2). W takim ujęciu badaniu podlega infrastruktura oświetleniowa i jej parametry techniczne,

jak i relacja pomiędzy kontekstem przestrzennym, charakterem miejsca, potrzebami użytkowników oraz wpływem światła na czytelność, bezpieczeństwo, orientację, kompozycję i percepcję przestrzeni publicznej. Przedmiot pracy został więc określony szerzej niż w klasycznych opracowaniach dotyczących oświetlenia ulicznego, ponieważ obejmuje wymiar techniczny, normatywny, przestrzenny, percepcyjny i decyzyjny. W centrum zainteresowania znajduje się problem projektowy polegający na doborze adekwatnych rozwiązań świetlnych do określonego typu przestrzeni publicznej, z uwzględnieniem jej funkcji, budowy, użytkowników, środowiska oraz znaczenia w strukturze miasta. Taki sposób zdefiniowania przedmiotu badań pozostaje bezpośrednio związany z celem rozprawy, którym jest opracowanie metodologii modelowania i oceny oświetlenia przestrzeni publicznych oraz zbudowanie modelu wspomagania decyzji projektowych.

Zakres problemowy badań obejmuje trzy wzajemnie powiązane obszary. Pierwszy dotyczy identyfikacji i strukturyzacji kontekstu przestrzennego, a więc rozpoznania cech przestrzeni publicznych różnicujących potrzeby oświetleniowe. Drugi obejmuje określenie kryteriów jakości i parametrów odniesienia służących ocenie rozwiązań oświetleniowych w wymiarze ilościowym i jakościowym. Trzeci dotyczy budowy narzędzia wspomagania decyzji projektowych, które pozwala przełożyć zróżnicowane przesłanki projektowe, normatywne, środowiskowe i percepcyjne na uporządkowaną procedurę oceny i porównywania wariantów oświetlenia z wykorzystaniem podejścia wielokryterialnego. Taki układ odpowiada logice praktyki projektowej, w której najpierw rozpoznaje się miejsce i jego uwarunkowania, następnie określa przesłanki i ograniczenia decyzji, a dopiero w dalszej kolejności porównuje możliwe warianty działania.

Złożony materiał badawczy obejmuje kilka komplementarnych grup źródeł. Pierwszą są studia literaturowe, analizy dokumentów planistycznych i źródeł normatywnych, wykorzystane do rozpoznania stanu badań, identyfikacji klas przestrzeni publicznych, określenia wymagań oświetleniowych oraz wyodrębnienia kryteriów oceny. Analizy te objęły funkcje i cele oświetlenia, percepcję nocnej przestrzeni, rolę światła w strukturze urbanistycznej, typologię przestrzeni publicznych, wymagania normatywne oraz środowiskowe, ekonomiczne i społeczne konsekwencje stosowania sztucznego światła. W rezultacie wyodrębniony zostaje zestaw przesłanek, które stanowią podstawę klasyfikacji kontekstu przestrzennego, określenia kryteriów oceny oraz formalizacji modelu decyzyjnego.

Drugą grupę materiału badawczego to badania terenowe i pomiary prowadzone w rzeczywistych przestrzeniach publicznych. W ich ramach wykonano dokumentację porównawczą przestrzeni publicznych w dzień i w nocy oraz pomiary luminancyjne w 245 przypadkach. Obejmują one zróżnicowane sytuacje przestrzenne i funkcjonalne. Materiał terenowy uporządkowano z uwzględnieniem cech morfologicznych, funkcjonalnych i kompozycyjnych badanych miejsc, takich jak rodzaj wnętrza urbanistycznego, funkcja przestrzeni, typ użytkowników, obecność zieleni, sposób użytkowania oraz rodzaj i skala zabudowy. Celem tej części badań było określenie ilościowych relacji pomiędzy poziomem i rozkładem światła a poszczególnymi elementami przestrzeni, w szczególności elewacjami, posadzkami, zielenią, dominantami i elementami orientacyjnymi. Pomiary luminancyjne mają tu zasadnicze znaczenie, gdyż ujmują przestrzeń jako układ widzialnych jasności, a nie wyłącznie jako układ natężeń

oświetlenia. Jest to perspektywa bliższa rzeczywistemu doświadczeniu obserwatora i bardziej użyteczna w projektowaniu nocnego obrazu miejsca. W praktyce projektowej to relacje luminancyjne, kontrast, hierarchia jasności oraz rozkład światła na poszczególnych warstwach przestrzeni decydują o tym, czy nocna przestrzeń jest czytelna, zrównoważona i adekwatna do swojej funkcji, a nie sam fakt spełnienia jednego parametru ilościowego (Boyce, 2014; CIE, 2010; CIE, 2014; EN 13201; Żagan, 2021).



Ryc.2 Nocna przestrzeń miasta. Widok na miasto Riva Del Garda (IT).Fot.P. Ratajkiewicz.

Trzecią grupę materiału stanowi badanie ankietowe (Tom2 Rozprawy, Załącznik nr 3: „Kwestionariusz ankiety dotyczącej oczekiwań widoczności w przestrzeniach publicznych”) służące do zbadania oczekiwań widoczności i oceny nocnego odbioru przestrzeni publicznych. Badanie zaprojektowano tak, aby uchwycić relacje pomiędzy ilością światła, typem przestrzeni oraz jakością jej odbioru przez użytkowników. Materiał oparto na 21 rzeczywistych przykładach przestrzeni publicznych, pogrupowanych w 7 kategoriach typologicznych. W każdej grupie uwzględniono 3 warianty porównawcze: przypadek właściwy, prześwietlony i niedoświetlony. Konstrukcja ta pozwoliła jednocześnie uchwycić różnice wynikające z charakteru przestrzeni oraz różnice wynikające z nadmiaru lub niedoboru światła. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia praktyki projektowej. Decyzje oświetleniowe rzadko dotyczą samej ilości światła w oderwaniu od morfologii miejsca, sposobu użytkowania i relacji pomiędzy warstwami przestrzeni. Narzędzie badawcze przyjęło postać ankiety internetowej.

W badaniu zastosowano dwa zasadnicze bloki pomiarowe. Pierwszy dotyczył oceny oczekiwanej ilości światła dla poszczególnych składowych przestrzeni, między innymi jezdni, ciągów pieszych, elewacji, zieleni niskiej i wysokiej. Drugi obejmował ocenę jakości nocnego odbioru przestrzeni w relacji do dnia, w trzech podstawowych wymiarach: czytelności i orientacji, estetyki oraz poczucia bezpieczeństwa. W obu blokach zastosowano skale pięciostopniowe Likerta. Tak zbudowane narzędzie odpowiada praktyce projektowania światła, w której decyzje podejmowane są na

poziomie warstw przestrzeni, a nie wyłącznie w odniesieniu do ogólnej oceny całego miejsca. Badanie umożliwia równoległą analizę ilości światła oraz jakości nocnego odbioru przestrzeni, co pozwala uniknąć uproszczenia, w którym większa ilość światła jest automatycznie utożsamiana z poprawą jakości miejsca.

W badaniu zebrano 181 odpowiedzi. Macierzowa konstrukcja narzędzia, polegająca na ocenie 21 przypadków badawczych przez każdą osobę, pozwoliła zgromadzić łącznie 3801 jednostkowych ocen przypadków, rozumianych jako ocena jednego przypadku przez jednego respondenta. Taka konstrukcja badania zwiększa zasób materiału analitycznego i umożliwia porównywanie ocen zarówno pomiędzy różnymi typami przestrzeni, jak i pomiędzy wariantami oświetleniowymi w obrębie tej samej typologii. Jednocześnie należy podkreślić, że obserwacje te nie mają charakteru w pełni niezależnego statystycznie, gdyż pochodzą od tej samej grupy respondentów, dlatego ich interpretacja powinna uwzględniać macierzowy i powtarzalny charakter pomiaru. Materiał poddano weryfikacji pod względem kompletności oraz spójności struktury danych. Dobór respondentów miał charakter nielosowy i ochotniczy, a uzyskane wyniki należy interpretować jako wyniki badania empirycznego o charakterze eksploracyjno-porównawczym, a nie jako próbę probabilistycznego uogólnienia na populację generalną. Ograniczenie to zostało jednak częściowo zrównoważone przez świadomie zaprojektowany dobór materiału badawczego, oparty na reprezentatywności typologicznej przypadków oraz układzie właściwy / przeświełony / niedoświełony w każdej kategorii. W części właściwej ankiety obejmującej 169 pozycji Likerta przeprowadzono dodatkowo kontrolę wzorca odpowiedzi, w celu identyfikacji potencjalnego straight-liningu⁴. Nie stwierdzono respondentów udzielających wyłącznie odpowiedzi neutralnych we wszystkich pytaniach, a analiza wrażliwości dla obserwacji o najwyższym udziale odpowiedzi neutralnych potwierdziła stabilność ogólnych wyników. Materiał ankietowy stanowi jedno z podstawowych źródeł przesłanek do późniejszej budowy deskryptorów jakościowych i różnicowania logiki wag w modelu.

Czwartą grupę materiału badawczego są opracowania modelowe dotyczące wielokryterialnej oceny wariantów oświetlenia z wykorzystaniem metody PROMETHEE oraz weryfikacja działania modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych. W przyjętym ujęciu analiza wielokryterialna nie jest dodatkiem do badań właściwych, lecz ich finalnym etapem syntetyzującym i aplikacyjnym. Jej zadaniem jest przełożenie wyników wcześniejszych analiz i badań na strukturę decyzji projektowej, obejmującą klasyfikację przestrzeni, preferencje nadrzędne, kryteria oceny, deskryptory, procedurę rankingu wariantów oraz sprawdzenie stabilności uzyskanej rekomendacji.

W modelu założono trzy, logicznie rozdzielone i wzajemnie powiązane kroki: klasyfikację przestrzeni publicznej na podstawie cech kontekstowych, wyznaczenie wag kryteriów oceny oraz ocenę wariantów oświetlenia z wykorzystaniem metody PROMETHEE. Rozdzielenie tych etapów ma znaczenie metodologiczne, gdyż zapobiega mieszanemu opisowi kontekstu przestrzennego, preferencji oraz oceny wariantów technicznych. W modelu przyjęto 11 kryteriów oceny (C1-C11), 5 preferencji nadrzędnych (P1-P5) oraz 6 grup cech kontekstowych (K1-K6).

⁴ Straight-lining – zjawisko polegające na mechanicznym zaznaczaniu tej samej odpowiedzi w kolejnych pytaniach lub pozycjach skali, bez różnicowania ocen pomiędzy analizowanymi stwierdzeniami lub przypadkami.

PROCEDURA BADAWCZA

od rozpoznania kontekstu i kryteriów do rekomendowanego wariantu oświetlenia

Schemat przedstawia logikę postępowania badawczego. Jego osią jest przejście od rozpoznania miejsca i wyprowadzenia kryteriów decyzyjnych do zbudowania wielokryterialnej procedury, która – po uwzględnieniu preferencji inwestora lub decydenta – wskazuje wariant rekomendowany.

ŹRÓDŁA DANYCH

- literatura i źródła normatywne
- analiza urbanistyczna i krajobrazowa
- badania terenowe dzień–noc
- pomiary luminancyjne
- badanie ankietowe i oczekiwania widoczności
- przypadki projektowe i weryfikacja modelu

1 Rozpoznanie problemu i zakresu decyzji

- identyfikacja luki badawczej i zakresu problemu
- określenie, że oświetlenie jest problemem przestrzennym, percepcyjnym i decyzyjnym
- wyznaczenie celu: model wspomagania decyzji projektowych



2 Strukturyzacja kontekstu przestrzennego

- analiza warstw przestrzeni, typów miejsc i jednostki analizy
- rozpoznanie cech różnicujących potrzeby oświetleniowe
- klasyfikacja kontekstu jako podstawa dalszej oceny



3 Wyprowadzenie kryteriów i deskryptorów

- identyfikacja parametrów ilościowych i jakościowych
- budowa kryteriów oceny oraz deskryptorów
- przejście od opisu miejsca do macierzy decyzyjnej



4 Badania własne

- badania terenowe i pomiary luminancyjne
- badanie ankietowe oczekiwań wobec widoczności i jakości odbioru
- połączenie danych przestrzennych, pomiarowych i percepcyjnych



5 Synteza modelowa MCDA / PROMETHEE

- formalizacja K1–K6, P1–P5 i C1–C11
- uwzględnienie preferencji inwestora / decydenta
- ranking wariantów i wskazanie rozwiązania rekomendowanego
- analiza czułości wag i wpływu kryteriów kosztowych

WYNIK KOŃCOWY PROCEDURY

Model wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych, pozwalający porównywać warianty, wskazywać rozwiązanie rekomendowane oraz sprawdzać stabilność rekomendacji w zależności od cech miejsca, kryteriów jakości i preferencji inwestora lub decydenta.

MATERIAŁ I MODEL

245

przypadków pomiarowych

21

przypadków ankietowych

7

typologii przestrzeni

3

warianty w typologii

181

respondentów

3801

ocen przypadków

169

pozycji Likerta

11

kryteriów oceny

5

preferencji

6

grup cech kontekstu

6

rzeczywistych przypadków projektowych

Ryc.3 Schemat procedury badawczej. Opracowanie własne.

Taki układ umożliwia zachować formalną przejrzystość procedury i powiązać model z realnymi cechami miejsca oraz praktyką projektową. Szczególne znaczenie ma fakt, że model nie redukuje decyzji do logiki kosztowej, lecz umożliwia jawne modelowanie kompromisów pomiędzy bezpieczeństwem, estetyką, ekologią, ekonomią i zarządzalnością systemu. Z tego względu etap modelowy uzupełniono o analizę czułości wag oraz test scenariuszowy wpływu kryteriów kosztowych. Pozwala to sprawdzić, czy rekomendacja wariantu pozostaje stabilna przy zmianie priorytetów decyzyjnych oraz czy koszt nie przejmuje funkcji jedynego kryterium rozstrzygającego. Z metodologicznego punktu widzenia ma to znaczenie podstawowe, gdyż konfliktowość celów stanowi najważniejsze uzasadnienie dla zastosowania podejść MCDA, a w dalszej kolejności dla wyboru PROMETHEE jako metody rankingowej o wysokiej użyteczności aplikacyjnej (Behzadian et al., 2010; Belton & Stewart, 2002; Brans & Mareschal, 2005; Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Papathanasiou & Ploskas, 2018).

Ogólna procedura badawcza została zorganizowana w pięciu etapach. Pierwszy obejmuje rozpoznanie stanu badań, podstaw teoretycznych, luki badawczej i zakresu problemu. Drugi służy strukturyzacji kontekstu przestrzennego poprzez identyfikację typów przestrzeni oraz ich cech morfologicznych, funkcjonalnych i kompozycyjnych ważnych dla potrzeb oświetleniowych. Trzeci obejmuje określenie kryteriów jakości i parametrów odniesienia, z uwzględnieniem wymagań normatywnych, technicznych, percepcyjnych, środowiskowych i ekonomicznych. Czwarty etap, empiryczny, obejmuje badania terenowe i ankietowe nad relacją między ilością światła, typem przestrzeni oraz oceną nocnego odbioru miejsca. Piąty etap ma charakter syntetyczno-modelowy i prowadzi do formalizacji modelu MCDA/PROMETHEE, jego weryfikacji na rzeczywistych przypadkach projektowych, analizy czułości wag oraz testu wpływu kryteriów kosztowych. Taki układ odpowiada logice przejścia od rozpoznania problemu i zebrania danych do porównania wariantów, oceny stabilności rekomendacji i wyboru rozwiązania.

Tak zorganizowana metodologia prowadzi do opracowania modelu decyzyjnego wspierającego ocenę i dobór rozwiązań oświetleniowych dla różnych typów przestrzeni publicznych. Wynikiem badań jest rozpoznanie zależności pomiędzy charakterem przestrzeni a oczekiwaniami wobec oświetlenia oraz wypracowanie i aplikacyjne sprawdzenie modelu zdolnego integrować dane przestrzenne, pomiarowe, percepcyjne i wielokryterialne w jednej procedurze wspomaganie decyzji projektowych. Przyjęta procedura badawcza odpowiada podstawowemu założeniu rozprawy: świadome kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych wymaga przełożenia rozpoznanych cech miejsca i potrzeb użytkowników na uporządkowany model decyzji projektowej.

2

Analiza problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych

2 Analiza problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych

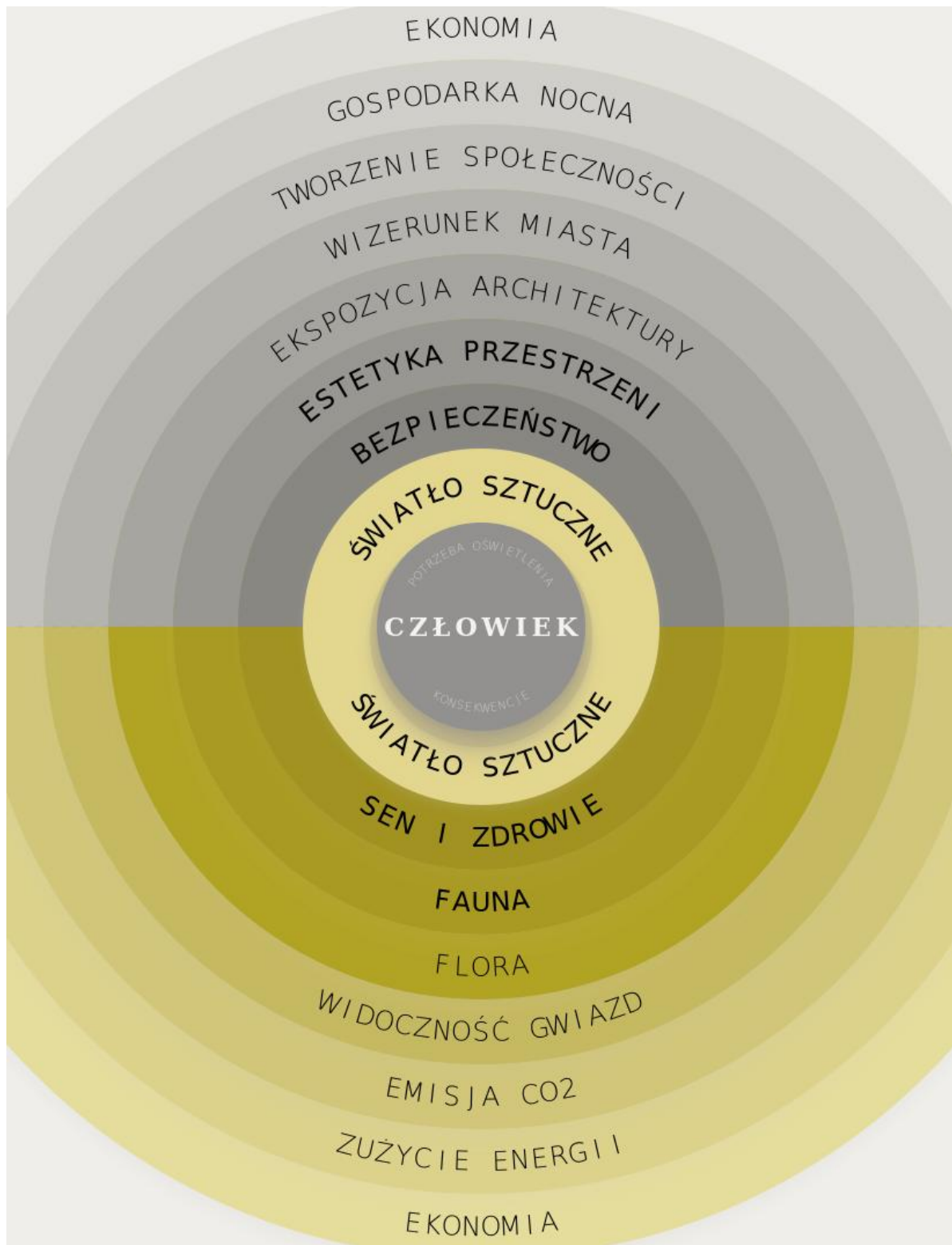
Projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych jest zagadnieniem znacznie bardziej złożonym niż mogłoby to wynikać z uproszczonego, wciąż dość powszechnego w praktyce, utożsamiania go z doбором opraw oświetleniowych, osiągnięciem wymaganych parametrów świetlnych pod kątem ograniczenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Takie podejście, choć częściowo uzasadnione technicznie, nie oddaje rzeczywistej natury problemu. Oświetlenie nie funkcjonuje w oderwaniu od przestrzeni, lecz współtworzy sposób jej odbioru, warunki użytkowania po zmroku, relacje między elementami kompozycji urbanistycznej oraz zakres aktywności możliwych do prowadzenia w danym miejscu. Przedmiotem rozstrzygnięcia projektowego jest dobór takiego sposobu kształtowania środowiska świetlnego, który będzie adekwatny do charakteru miejsca, jego funkcji, struktury przestrzennej, sposobu użytkowania oraz potrzeb różnych grup użytkowników.

W literaturze urbanistycznej i architektonicznej od dawna podkreśla się, że jakość przestrzeni publicznej wynika z układu relacji pomiędzy czytelnością przestrzeni, jej skalą, kompozycją, dostępnością, możliwością orientacji oraz sposobem, w jaki jest odbierana przez użytkowników (Lynch, 1960; Cullen, 1961; Wejchert, 1984; Carmona et al., 2010; Gehl, 2010). Oświetlenie stanowi w tym układzie jeden z istotnych instrumentów kształtowania przestrzeni, ponieważ poza samą widzialnością wpływa na nocny obraz miasta, hierarchię jego elementów, odczytywanie granic i wnętrz urbanistycznych, a w konsekwencji na to, czy dana przestrzeń jest po zmroku postrzegana jako czytelna, bezpieczna, przyjazna i warta użytkowania. Jednocześnie należy podkreślić, że obowiązujące normy i wytyczne oświetleniowe, choć są niezbędnym punktem odniesienia w projektowaniu i ocenie rozwiązań, nie wyczerpują całego zakresu problemu decyzyjnego. Normy porządkują wymagania dotyczące warunków widzialności i bezpieczeństwa ruchu, a także pozwalają obiektywizować część parametrów świetlnych, jednak nie odpowiadają w pełni na pytanie, jak należy kształtować oświetlenie przestrzeni publicznej rozumianej jako złożone środowisko użytkowania i percepcji? (CIE, 2010; Polski Komitet Normalizacyjny, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e). Rozwiązanie poprawne pod względem klasy oświetleniowej lub efektywności energetycznej nie musi być rozwiązaniem najlepszym dla jakości przestrzeni, jej nocnej czytelności, poczucia bezpieczeństwa użytkowników ani relacji między warstwą komunikacyjną, architektoniczną i krajobrazową. Problem ten ma znaczenie w odniesieniu do przestrzeni publicznych, które są zróżnicowane względem funkcji, struktury, sposobu użytkowania po zmroku. Złożoność ta wynika z wielości celów, jakie oświetlenie przestrzeni publicznych powinno realizować. Z jednej strony światło ma umożliwiać bezpieczne poruszanie się, wspierać orientację przestrzenną, ułatwiać rozpoznawanie przeszkód, innych użytkowników i elementów otoczenia, a tym samym wpływać na bezpieczeństwo rzeczywiste i odczuwane. Z drugiej strony współtworzy ono obraz przestrzeni po zmroku, może porządkować jej kompozycję, wzmacnia tożsamość

miejsca, eksponuje wybrane elementy architektoniczne, a także buduje warunki sprzyjające aktywności społecznej i korzystaniu z przestrzeni w porze nocnej (Bartnicka, 2017; Martyniuk-Pęczek, 2014; Żagan, 2021). Równocześnie światło sztuczne wiąże się z określonym zużyciem energii, kosztami utrzymania, wpływem na środowisko nocne oraz z konsekwencjami zdrowotnymi i ekologicznymi. Te ostatnie aspekty szczególnie w ostatnich latach są przedmiotem coraz większego zainteresowania badawczego i praktycznego (Briggs, 2006; Gaston et al., 2015; Dominoni et al., 2016). W konsekwencji cele projektowania oświetlenia nie mają charakteru jednowymiarowego, lecz tworzą układ częściowo zgodny, a częściowo konfliktowy. Właśnie ta częściowa konfliktowość celów sprawia, że projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych należy traktować jako problem decyzyjny, a nie jedynie zadanie obliczeniowe. Zwiększenie ilości światła może poprawiać widoczność i subiektywne poczucie bezpieczeństwa, ale równocześnie powodować wzrost zużycia energii, nadmierne rozjaśnienie przestrzeni, zaburzenie nocnego krajobrazu lub zwiększenie oddziaływania na środowisko (Ryc.4). Z kolei koncentracja wyłącznie na redukcji mocy zainstalowanej i kosztów eksploatacyjnych może prowadzić do sytuacji, w której przestrzeń pozostaje formalnie poprawna, lecz nie odpowiada na rzeczywiste potrzeby użytkowników i nie wykorzystuje potencjału światła jako narzędzia kształtowania jakości przestrzeni. Tego rodzaju napięcia pomiędzy bezpieczeństwem, ekonomią, ekologią, estetyką i zarządzalnością są typowe dla problemów wielokryterialnych, w których nie istnieje jedno kryterium pozwalające w sposób wystarczający opisać jakość rozwiązania, a wybór wariantu wymaga jednoczesnego uwzględnienia kilku perspektyw (Belton & Stewart, 2002; Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005; Behzadian et al., 2010).

W praktyce problem ten ujawnia się szczególnie wyraźnie w działaniach jednostek samorządu terytorialnego, które odpowiadają za znaczną część decyzji dotyczących budowy, modernizacji i utrzymania oświetlenia przestrzeni publicznych. Decyzje te podejmowane są zazwyczaj w warunkach ograniczonych środków finansowych, presji na obniżanie kosztów zakupu energii, oczekiwań mieszkańców dotyczących poprawy bezpieczeństwa i komfortu, a jednocześnie rosnącej wrażliwości na kwestie środowiskowe oraz zjawisko zanieczyszczenia światłem. W takiej sytuacji naturalna staje się pokusa upraszczania problemu i sprowadzania go do jednego dominującego wymiaru, najczęściej ekonomicznego lub technicznego. Tymczasem literatura dotycząca zarządzania oświetleniem ulicznym i oceny wariantów wskazuje jednoznacznie, że racjonalne decyzje w tym obszarze powinny uwzględniać efektywność energetyczną ale i jakość użytkową, trwałość, warunki utrzymania, oddziaływanie środowiskowe oraz oczekiwania użytkowników (Pizzuti et al., 2013; Thiel et al., 2017; Carli et al., 2018; Doulos et al., 2019; Pracki, 2020).

Na tym tle szczególnego znaczenia nabiera kwestia kontekstowości potrzeb oświetleniowych. Nie istnieje bowiem jeden uniwersalny model oświetlenia, który mógłby zostać zastosowany w jednakowy sposób do wszystkich przestrzeni publicznych. Innych rozwiązań wymaga przestrzeń osiedlowa, innych ulica handlowa, plac miejski, park, ciąg pieszy, przestrzeń rekreacyjna czy obszar reprezentacyjny. Zmienność ta dotyczy zarówno poziomu światła, jak i jego rozkładu, relacji pomiędzy oświetleniem poziomym i pionowym, znaczenia elewacji, zieleni, ciągów ruchu oraz stref przebywania.



Ryc.4. Grafika złożoności problemu decyzyjnego. Opracowanie własne.

Badania poświęcone percepcji bezpieczeństwa i komfortu po zmroku pokazują, że użytkownicy reagują nie tyle na samą ilość światła, ile na sposób jego rozmieszczenia, możliwość rozpoznawania innych osób, czytelność granic przestrzeni, relacje pomiędzy miejscami otwartymi i osłoniętymi oraz łatwość orientacji w otoczeniu (Boomsma & Steg,

2014; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018; Markvica et al., 2019; Castilla et al., 2024; Burattini et al., 2025). Problem projektowy nie może być redukowany do jednego wskaźnika ilościowego, lecz wymaga analizy kontekstu przestrzennego i sposobu użytkowania miejsca. Właściwym przedmiotem decyzji projektowej nie jest wybór pojedynczych urządzeń ani osiągnięcie założonych wartości obliczeniowych samo w sobie, lecz świadome ukształtowanie środowiska świetlnego konkretnej przestrzeni. Obejmuje to zarówno warstwę komunikacyjną, jak i warstwę architektoniczną, granice przestrzeni, elementy zieleni, miejsca zatrzymania i orientacji, a także relacje pomiędzy tymi składowymi. Oświetlenie staje się więc narzędziem porządkowania i różnicowania przestrzeni, a nie jedynie środkiem technicznego jej doświetlenia. Tak rozumiane projektowanie wymaga łączenia wiedzy z zakresu techniki świetlnej, urbanistyki, architektury, badań percepcji, ochrony środowiska i zarządzania publicznego, a więc wykracza poza tradycyjnie rozumiany warsztat obliczeniowy.

Z przedstawionych przesłanek wynika, że analiza problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych jest koniecznym etapem poprzedzającym budowę modelu oceny i doboru rozwiązań. Celem autora jest uporządkowanie podstawowych kwestii, od których zależy dalsza logika pracy, a więc określenie, co rzeczywiście podlega decyzji projektowej, jakie cele i funkcje powinny być uwzględniane, dlaczego potrzeby oświetleniowe nie są stałe, lecz zależą od czasu, użytkowania i sytuacji przestrzennej, oraz jakie wymagania powinien spełniać model wspomagający wybór wariantu. Dopiero tak przeprowadzona analiza umożliwi przejście do dalszych etapów pracy, w których możliwe będzie sformułowanie kryteriów oceny, określenie ich wzajemnych relacji oraz budowa kontekstowego modelu wspomagania decyzji projektowych w zakresie oświetlenia przestrzeni publicznych.

2.1 Identyfikacja przedmiotu decyzji w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych

Warunkiem poprawnego rozpoznania problemu decyzyjnego w projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych jest ustalenie, czego w istocie dotyczy podejmowana decyzja. W praktyce bywa ona zawężana do wyboru urządzeń, parametrów technicznych lub wariantu spełniającego wymagania normowe przy możliwie niskim koszcie. W urbanistycznym ujęciu przedmiotem decyzji projektowej jest dobór takiego sposobu kształtowania środowiska świetlnego, który będzie adekwatny do charakteru miejsca, jego funkcji, struktury przestrzennej, sposobu użytkowania oraz potrzeb użytkowników (Carmona et al., 2010; Cullen, 1961; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Wejchert, 1984). Takie podjęcie problemu znajduje potwierdzenie we wcześniejszych opracowaniach poświęconych relacji między kryteriami oceny a rzeczywistymi konsekwencjami przestrzennymi, społecznymi i środowiskowymi decyzji oświetleniowych (Michalak & Ratajkiewicz, 2020; Ratajkiewicz & Michalak, 2019, 2023, 2024). W odniesieniu do przestrzeni publicznej oznacza to, że decyzja projektowa obejmuje nie tylko dobór parametrów i urządzeń, lecz także rozstrzygnięcie, czy dana przestrzeń lub jej poszczególne elementy powinny być objęte oddziaływaniem światła, a jeśli tak, to w jakim celu, w jakim zakresie i w jaki sposób. Zakres tej decyzji wykracza zatem poza

sam dobór rozwiązań technicznych i obejmuje sposób dystrybucji światła pomiędzy różne warstwy przestrzeni, relację infrastruktury do geometrii miejsca, jej formę i skalę, przewidywane koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, warunki utrzymania oraz skutki środowiskowe wynikające z przyjętego wariantu. Oświetlenie staje się w tym ujęciu nie tylko środkiem zapewniania widzialności, lecz także narzędziem organizowania nocnego środowiska przestrzennego, którego konsekwencje ujawniają się zarówno w obrazie miasta, jak i w funkcjonowaniu systemu w całym cyklu jego życia.

Takie rozszerzone rozumienie przedmiotu decyzji nie jest jednak w literaturze dominujące. W badaniach dotyczących oświetlenia publicznego i ulicznego wielokrotnie podejmowano problem wyboru rozwiązań, lecz najczęściej w sposób częściowy. Część opracowań koncentrowała się na zarządzaniu systemem oświetleniowym, jego efektywności oraz miernikach oceny funkcjonowania, ujmując decyzję głównie jako problem techniczno-eksploatacyjny (Thiel et al., 2017). Podobnie Carli, Dotoli i Pellegrino wskazują, że liczba badań podejmujących optymalne strategie decyzyjne dla modernizacji oświetlenia ulicznego przy współwystępowaniu wielu, częściowo sprzecznych celów była ograniczona, a proponowane narzędzia koncentrowały się na optymalizacji energetycznej przy zachowaniu wymagań użytkowych (Carli et al., 2018). W innych pracach opisywano systemy wspomagania decyzji dla przetargów i modernizacji, jednak najczęściej z przewagą wskaźników energetycznych, środowiskowych i kosztowych. Doulos i współautorzy opracowali system wspomagania decyzji dla oceny przetargów na oświetlenie uliczne, oparty na wskaźnikach efektywności energetycznej oraz kryteriach środowiskowych, co stanowi ważny krok w stronę bardziej złożonej oceny wariantów. Zakres tej analizy pozostaje jednak związany przede wszystkim z oceną ofert i modernizacji, a nie z pełnym ujęciem przestrzeni publicznej jako przedmiotu projektowania (Doulos et al., 2019). Zbliżony charakter mają opracowania dotyczące oceny jakości oświetlenia na etapie projektu. Pracki wykazał, że mimo dużego zróżnicowania instalacji możliwe jest wypracowanie wspólnej podstawy dla oceny rozwiązań na etapie projektowym, jednak sama procedura pozostaje podporządkowana ocenie rozwiązań świetlnych, a nie szerszemu modelowi decyzji osadzonemu jednocześnie w kontekście przestrzennym, użytkowym, ekonomicznym, eksploatacyjnym i zarządczym (Pracki, 2020). W literaturze widoczny jest więc problem nie tyle braku refleksji decyzyjnej, ile jej fragmentaryczności. Badania najczęściej dotyczą jednej wybranej dziedziny, rzadziej natomiast traktuje się przedmiot decyzji jako całość obejmującą jednocześnie warstwę ruchu, architekturę, zieleni, rozmieszczenie infrastruktury, estetykę urządzeń, koszty realizacji i utrzymania, trwałość rozwiązań oraz ich oddziaływanie środowiskowe.

Miasto nie jest dwuwymiarowe i nie składa się z jednej płaszczyzny wymagającej równomiernego doświetlenia, lecz z szeregu wzajemnie powiązanych składowych, takich jak warstwa ruchu, elewacje, granice przestrzeni, strefy wejść, miejsca zatrzymania, zieleni oraz elementy orientacyjne. Decyzja projektowa dotyczy więc zarówno ilości światła jak i jego oddziaływania na poszczególne komponenty miejsca, rodzaju oraz rozmieszczenia infrastruktury, standardu estetycznego urządzeń, racjonalności ekonomicznej przyjmowanych rozwiązań oraz ich skutków w perspektywie długookresowej (Michalak & Ratajkiewicz, 2020; Ratajkiewicz & Michalak, 2019) (Tabela 2).

Wymiar decyzji	Przedmiot rozstrzygnięcia	Znaczenie dla projektu
Warstwy przestrzeni	Określenie, które elementy przestrzeni powinny być oświetlone: jezdnia, chodnik, droga rowerowa, elewacje, wejścia do budynków, zieleń, dominanty przestrzenne, elementy orientacyjne.	Pozwala odejść od traktowania oświetlenia wyłącznie jako doświetlenia powierzchni poziomych i uwzględnić pełną strukturę nocnego obrazu przestrzeni.
Rozmieszczenie infrastruktury	Dobór lokalizacji słupów, opraw, zasilania, szaf sterowniczych oraz elementów pomocniczych.	Wpływa na równomierność oświetlenia, komfort użytkowników, kolizje przestrzenne, jakość kompozycji oraz późniejszą obsługę systemu.
Forma urządzeń	Wybór typu opraw, słupów, wysięgników, proporcji, kolorystyki, skali i sposobu wpisania infrastruktury w otoczenie.	Decyduje o estetyce przestrzeni zarówno w dzień, jak i w nocy, a także o zgodności rozwiązania z charakterem miejsca.
Parametry świetlne	Dobór poziomu luminancji lub natężenia oświetlenia, równomierności, temperatury barwowej, oddawania barw, ograniczenia olśnienia i rozsyłu światła.	Zapewnia warunki widzenia, bezpieczeństwa, orientacji oraz zgodność z wymaganiami normowymi, ale nie wyczerpuje pełnej oceny jakości rozwiązania.
Koszty inwestycyjne	Określenie kosztów zakupu, montażu, robót budowlanych, zasilania, sterowania i uruchomienia systemu.	Wpływa na realność wdrożenia wariantu oraz decyzje inwestora, ale nie powinien być jedynym kryterium wyboru rozwiązania.
Koszty eksploatacyjne	Ocena kosztów energii, opłat dystrybucyjnych, serwisu, wymiany elementów oraz przewidywanego cyklu życia systemu.	Pozwala ocenić długoterminowe konsekwencje przyjętego rozwiązania i porównać warianty nie tylko na etapie realizacji, lecz także użytkowania.
Utrzymanie i serwis	Określenie dostępności części, trwałości opraw, łatwości konserwacji, odporności mechanicznej i warunków pracy systemu.	Ma znaczenie dla niezawodności oświetlenia, ciągłości działania oraz ograniczenia kosztów i ryzyk eksploatacyjnych.
Oddziaływanie środowiskowe	Ocena zużycia energii, emisji światła niepożądanego, wpływu na faunę, florę, mieszkańców oraz krajobraz nocny.	Umożliwia ograniczanie negatywnych skutków sztucznego światła i włącza projekt oświetlenia w szerszą logikę zrównoważonego rozwoju.
Zarządzanie systemem	Dobór sposobu sterowania, redukcji mocy, scen świetlnych, monitoringu, diagnostyki i możliwości adaptacji do zmiennych warunków użytkowania.	Pozwala dostosowywać oświetlenie do czasu, natężenia ruchu, funkcji miejsca i potrzeb użytkowników, zwiększając elastyczność oraz efektywność systemu.

Tabela 2. Zakres przedmiotu decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych.
Opracowanie własne.

Z praktycznego punktu widzenia zasadne jest więc odróżnienie decyzji technicznej od decyzji projektowej (Ryc.5). Decyzja techniczna odpowiada na pytanie, jakie środki należy zastosować, aby osiągnąć określony efekt świetlny. Decyzja projektowa jest wcześniejsza i bardziej fundamentalna, ponieważ określa, jaki efekt świetlny jest w danym miejscu pożądany, które elementy przestrzeni powinny zostać objęte oddziaływaniem światła, jak rozmieścić infrastrukturę, jaką formę powinny mieć urządzenia, jaki standard trwałości i utrzymania należy przyjąć oraz jakie skutki ekonomiczne i środowiskowe będą akceptowalne. Projektant nie rozstrzyga wyłącznie o rozmieszczeniu urządzeń, ale o zakresie i charakterze interwencji świetlnej w przestrzeni publicznej oraz o jej konsekwencjach w całym cyklu życia rozwiązania. Taki kierunek jest zbieżny z wnioskami

płynącymi z badań nad zarządzaniem oświetleniem, oceną rozwiązań oświetleniowych na etapie projektu oraz decyzjami modernizacyjnymi, ale jednocześnie wykracza poza ich najczęściej sektorowy zakres (Boyce, 2014; Pracki, 2020; Thiel et al., 2017; Żagan, 2021). Przestrzeń publiczna nie jest przy tym neutralnym tłem dla infrastruktury oświetleniowej. Ma ona własną geometrię, kompozycję, dominanty, osie widokowe, wnętrza urbanistyczne, strefy ruchu i zatrzymania oraz własną logikę użytkowania. Dlatego oświetlenie, jeżeli ma być projektowane świadomie, powinno być odnoszone nie do „terenu” rozumianego geometrycznie, lecz do konkretnego układu urbanistyczno-architektonicznego. Jednocześnie infrastruktura oświetleniowa sama staje się elementem tej przestrzeni: jest widoczna za dnia, organizuje rytm ulicy i placu, wpływa na porządek wizualny, a niekiedy konkuruje z innymi elementami wyposażenia. W rezultacie przedmiotem decyzji projektowej jest nie tylko to, jak świeci system, ale również to, jak zostaje on wpisany w przestrzeń, jaką posiada skalę, formę i materialność oraz czy wspiera, czy zakłóca kompozycję miejsca.



Ryc.5. Przedmiot decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych. Opracowanie własne.

Na podobny problem decyzyjny wskazuje także perspektywa strategiczna. Po zapadnięciu zmroku obraz miasta ulega zasadniczej zmianie: struktura obiektów staje się mniej czytelna, granice przestrzeni trudniejsze do rozpoznania, a naturalne mechanizmy orientacji słabną. W tych warunkach sztuczne oświetlenie rekompensuje niedobór światła dziennego oraz współtworzy nocny obraz miasta, wpływa na sposób jego użytkowania i w dużym stopniu determinuje jego nocny wizerunek. Jednocześnie planowanie krajobrazu nocnego w sposób całościowy pozostaje zadaniem trudnym, z uwagi na to, że oświetlenie jest projektowane, finansowane, utrzymywane i kontrolowane przez wiele podmiotów, kierujących się odmiennymi celami i zakresem odpowiedzialności. Z tego względu decyzje dotyczące oświetlenia, ujmowane w strategiach oświetlenia lub

masterplanach, nie powinny być rozumiane wyłącznie jako dokumenty techniczne, lecz jako narzędzia porządkowania wiedzy o oświetleniu jako integralnym elemencie urbanistyki oraz tworzenia ram decyzyjnych umożliwiających bardziej świadomy i zrównoważony rozwój systemu oświetleniowego miasta (CIE, 2019; Zielińska-Dąbkowska, 2022).



Ryc.6. Wpływ sposobu rozmieszczenia infrastruktury oświetleniowej na nocny obraz przestrzeni w zabudowie mieszkaniowej wielorodzinnej: a) rozwiązanie lepiej zintegrowane z kompozycją przestrzeni i jej użytkowaniem; b) rozwiązanie podporządkowane przede wszystkim oświetleniu warstwy komunikacyjnej. Od lewej: ul. Chłapowskiego, ul. Taczaka, Poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.

Właściwym przedmiotem decyzji projektowej staje się zatem kształt nocnego środowiska przestrzennego (Ryc.6), rozumiany jako rezultat rozstrzygnięć dotyczących zakresu i hierarchii oświetlania, rozmieszczenia i formy infrastruktury, parametrów technicznych, kosztów realizacji i eksploatacji, zasad utrzymania oraz oddziaływania na środowisko. Dopiero na tym tle sensu nabiera wybór konkretnych klas oświetleniowych, urządzeń i rozwiązań materiałowo-technologicznych. Tak rozumiana identyfikacja przedmiotu decyzji jest niezbędna dla dalszych rozważań, gdyż dopiero po ustaleniu, że decyzja dotyczy nie pojedynczego urządzenia ani pojedynczego parametru, lecz całego układu relacji przestrzennych, technicznych, ekonomicznych, eksploatacyjnych i środowiskowych, możliwe staje się przejście do kolejnego pytania, a więc do określenia, jakie cele i funkcje takie oświetlenie powinno realizować.

2.2 Wielowymiarowość celów i funkcji oświetlenia przestrzeni publicznych

Po ustaleniu, że przedmiotem decyzji projektowej nie jest pojedyncze urządzenie ani pojedynczy parametr techniczny, lecz całość nocnego środowiska przestrzennego, konieczne staje się rozpoznanie, jakie cele i funkcje oświetlenie przestrzeni publicznych ma w istocie realizować. Zagadnienie to ma znaczenie podstawowe, ponieważ właśnie na poziomie celów ujawnia się rzeczywista złożoność problemu decyzyjnego. W praktyce oświetlenie bywa nadal ujmowane przede wszystkim jako narzędzie zapewnienia widzialności i bezpieczeństwa ruchu, uzupełnione ewentualnie o postulat oszczędności energii. Takie podejście, choć częściowo uzasadnione, okazuje się niewystarczające w odniesieniu do współczesnych przestrzeni publicznych, których wartość nie wynika wyłącznie z technicznej sprawności infrastruktury, a także z jakości odbioru, czytelności układu, charakteru miejsca, sposobu użytkowania po zmroku oraz skutków środowiskowych i ekonomicznych przyjmowanych rozwiązań (Boomsma & Steg, 2014; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018; Markvica et al., 2019).

Wraz z wydłużeniem czasu aktywności człowieka i upowszechnieniem sztucznego światła miasta uzyskały możliwość funkcjonowania po zmroku w sposób znacznie bardziej intensywny niż wcześniej. Oświetlenie stało się więc warunkiem dostępności przestrzeni publicznych, umożliwiając przemieszczanie się, korzystanie z usług, uczestnictwo w życiu społecznym i kulturalnym oraz podtrzymywanie aktywności miejskiej niezależnie od długości dnia. Tę logikę dobrze oddają wcześniejsze opracowania poświęcone nocnemu funkcjonowaniu miasta, w których podkreślano, że wraz z rozwojem aktywności po zmroku oświetlenie staje się warunkiem dostępności przestrzeni publicznych oraz czynnikiem współkształtującym ich nocny obraz. Jednocześnie, skoro miasto składa się z budynków, ulic, placów i przestrzeni zielonych, a każde z tych ogniw posiada określoną wartość i znaczenie, to w powiązaniu ze światłem może ono zyskać wartość dodatkową poprzez wzmocnienie oddziaływania na użytkowników oraz zmianę wzajemnych relacji i hierarchii pomiędzy elementami nocnego obrazu miasta. Z tej perspektywy oświetlenie przestrzeni publicznych należy traktować jako narzędzie realizacji wielu współistniejących celów, które mają charakter częściowo komplementarny, a częściowo konfliktowy. Do celów podstawowych należy niewątpliwie bezpieczeństwo, rozumiane zarówno jako bezpieczeństwo ruchu, jak i bezpieczeństwo przebywania i poruszania się w przestrzeni publicznej. Cele te nie są tożsame. Bezpieczeństwo ruchu drogowego odnosi się przede wszystkim do warunków widzialności, dostrzegania przeszkód, ograniczania oślnienia i prawidłowego odczytywania sytuacji ruchowych, natomiast bezpieczeństwo odczuwane przez użytkownika przestrzeni pieszej lub rekreacyjnej wiąże się dodatkowo z możliwością rozpoznawania innych osób, czytelnością granic przestrzeni, relacją pomiędzy miejscami otwartymi i osłoniętymi oraz ogólnym poczuciem kontroli nad otoczeniem. Badania eksperymentalne pokazują, że rozkład światła wpływa na postrzeganie ukrycia, możliwości ucieczki i bezpieczeństwa, a więc na cechy, których nie da się sprowadzić do samego poziomu oświetlenia. Podobnie badania nad oceną przestrzeni miejskich wskazują, że oświetlenie oddziałuje nie tylko na widzialność, ale również na sposób poruszania się i odbiór przestrzeni publicznej. W konsekwencji rozwiązanie poprawne z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu nie musi jeszcze

odpowiadać na potrzeby użytkownika pieszego, który oczekuje rozpoznawalności innych osób, czytelności otoczenia i poczucia kontroli nad sytuacją przestrzenną. Widzialność to warunek konieczny, ale niewystarczający. Pozwala ograniczyć podstawowe ryzyka związane z ruchem i orientacją, nie przesądza jednak jeszcze o tym, czy przestrzeń będzie odbierana jako bezpieczna i czy będzie użytkowana po zmroku. Dobrze potwierdzają to badania, w których subiektywny komfort środowiskowy i poczucie bezpieczeństwa wizualnego stają się równie ważne jak parametry ilościowe. Nowsze opracowania wskazują także, że ocena oświetlenia w przestrzeniach otwartych powinna uwzględniać zgodność z oczekiwaniami użytkowników, ponieważ to właśnie odbiór warunkuje realną użyteczność nocnej przestrzeni (Boomsma & Steg, 2014; Castilla et al., 2024; Markvica et al., 2019).

Cele oświetlenia wykraczają poza zapewnienie widzialności. Oświetlenie przestrzeni publicznych pełni funkcję organizującą i kompozycyjną: porządkuje relacje przestrzenne, wydobywa hierarchię planów, wzmacnia dominanty, podkreśla osie widokowe i definiuje granice wewnątrz urbanistycznych. Wspiera korzystanie z przestrzeni po zmroku, a zarazem kształtuje jej nocny obraz, charakter miejsca i spójność doświadczenia przestrzennego. Funkcje przestrzenne i estetyczne nie są dodatkiem do funkcji użytkowych, lecz stanowią jeden z zasadniczych wymiarów jakości oświetlenia przestrzeni publicznych. Potwierdzają to zarówno klasyczne opracowania urbanistyczne i architektoniczne, jak i nowsze badania poświęcone percepcji oświetlonych przestrzeni, ich czytelności, wizerunkowi oraz wpływowi na sposób korzystania z miasta po zmroku. Oświetlenie może więc wspierać identyfikację miejsca, podnosić jego atrakcyjność, wzmacniać funkcje reprezentacyjne i turystyczne oraz wpływać na rozwój lokalny. W dotychczasowych opracowaniach dotyczących roli światła w przestrzeni publicznej wyraźnie pojawia się zestaw celów związanych z poprawą atrakcyjności przestrzeni, wzmacnianiem harmonii architektonicznej i przestrzennej, podnoszeniem prestiżu miejsca oraz wspieraniem funkcji społecznych i kulturalnych. Cele te wykraczają poza logikę techniczną, ale pozostają składnikiem jakości przestrzeni publicznej po zmroku.

Równolegle oświetlenie realizuje cele ekonomiczne i eksploatacyjne. Dotyczą one kosztów budowy instalacji, kosztów jej utrzymania, zużycia energii, trwałości komponentów, niezawodności działania, łatwości serwisu i możliwości zarządzania systemem w czasie. Współczesna praktyka samorządowa bardzo silnie akcentuje właśnie ten wymiar, niekiedy czyniąc z niego główny, a nawet dominujący punkt odniesienia przy wyborze rozwiązań. W literaturze i praktyce zarządczej wielokrotnie wskazywano, że decyzje w sprawach oświetlenia publicznego są szczególnie podatne na dominację aspektów ekonomicznych, z uwagi na to, że są one najprostsze do uchwycenia, porównania i obrony formalnej, przez co przesłaniają inne konsekwencje decyzji. Takie spłaszczenie problemu do kosztu zakupu i kosztu zużycia energii zostało później jednoznacznie rozpoznane jako jedno z najważniejszych ograniczeń praktyki zarządczej, wymagające zastosowania podejścia wielokryterialnego. Ten ekonomiczny wymiar nie może być pomijany. Przeciwnie, powinien zostać włączony do procesu decyzyjnego jako jeden z pełnoprawnych celów. Oświetlenie publiczne jest infrastrukturą finansowaną i utrzymywaną w warunkach realnych ograniczeń budżetowych, a jego projektowanie musi uwzględniać zarówno koszt instalacji, jak i koszt eksploatacji. Jednak uznanie znaczenia kosztów nie oznacza, że mogą one stanowić jedyny lub nadrzędny punkt odniesienia.

Nowsze badania nad planowaniem wymian i modernizacji oświetlenia pokazują, że decyzje muszą integrować środowisko, ekonomię, trwałość i efektywność, a same kryteria energetyczne nie wystarczają do wskazania rozwiązania optymalnego.

Szczególne znaczenie we współczesnej refleksji nad oświetleniem przestrzeni publicznych zyskał wymiar środowiskowy. Oświetlenie nocne wpływa na zużycie energii i związane z nim emisje, ale także na skalę zanieczyszczenia światłem, funkcjonowanie rytmów dobowych człowieka oraz stan flory i fauny. W nowszej literaturze zagadnienia te traktowane są już nie jako uboczne konsekwencje techniczne, ale jako integralny element oceny jakości rozwiązań oświetleniowych. Wymiar środowiskowy powinien być traktowany jako równorzędny, a nie pomocniczy element procesu decyzyjnego.

W tym miejscu szczególnie wyraźnie ujawnia się konfliktowość celów, która uzasadnia dalszą budowę modelu decyzyjnego. Dążenie do maksymalizacji bezpieczeństwa przez zwiększanie ilości światła może stać sprzeczności z celami środowiskowymi i energooszczędnościowymi. Dążenie do minimalizacji kosztów może prowadzić do uproszczeń przestrzennych, obniżenia jakości kompozycyjnej, zaniedbania oświetlenia pionowego i osłabienia poczucia bezpieczeństwa użytkowników. Z kolei silne akcentowanie celów estetycznych, reprezentacyjnych lub wizerunkowych bez odpowiedniej kontroli może prowadzić do nadmiernej emisji światła i nieuzasadnionych kosztów utrzymania. W konsekwencji wielowymiarowość celów i funkcji oświetlenia przestrzeni publicznych musi zostać uznana za przesłankę metodologiczną dalszej części pracy. Skoro oświetlenie realizuje jednocześnie cele bezpieczeństwa, orientacji, komfortu percepcyjnego, estetyki, tożsamości miejsca, efektywności ekonomicznej, trwałości eksploatacyjnej i odpowiedzialności środowiskowej, to nie może być oceniane przy zastosowaniu jednego dominującego kryterium. Konieczne staje się zatem zidentyfikowanie najistotniejszych kryteriów decyzyjnych, właściwe ich opisanie oraz włączenie do uporządkowanej struktury oceny.

2.3 Zmienność potrzeb oświetleniowych w zależności od czasu, użytkowania i sytuacji przestrzennej

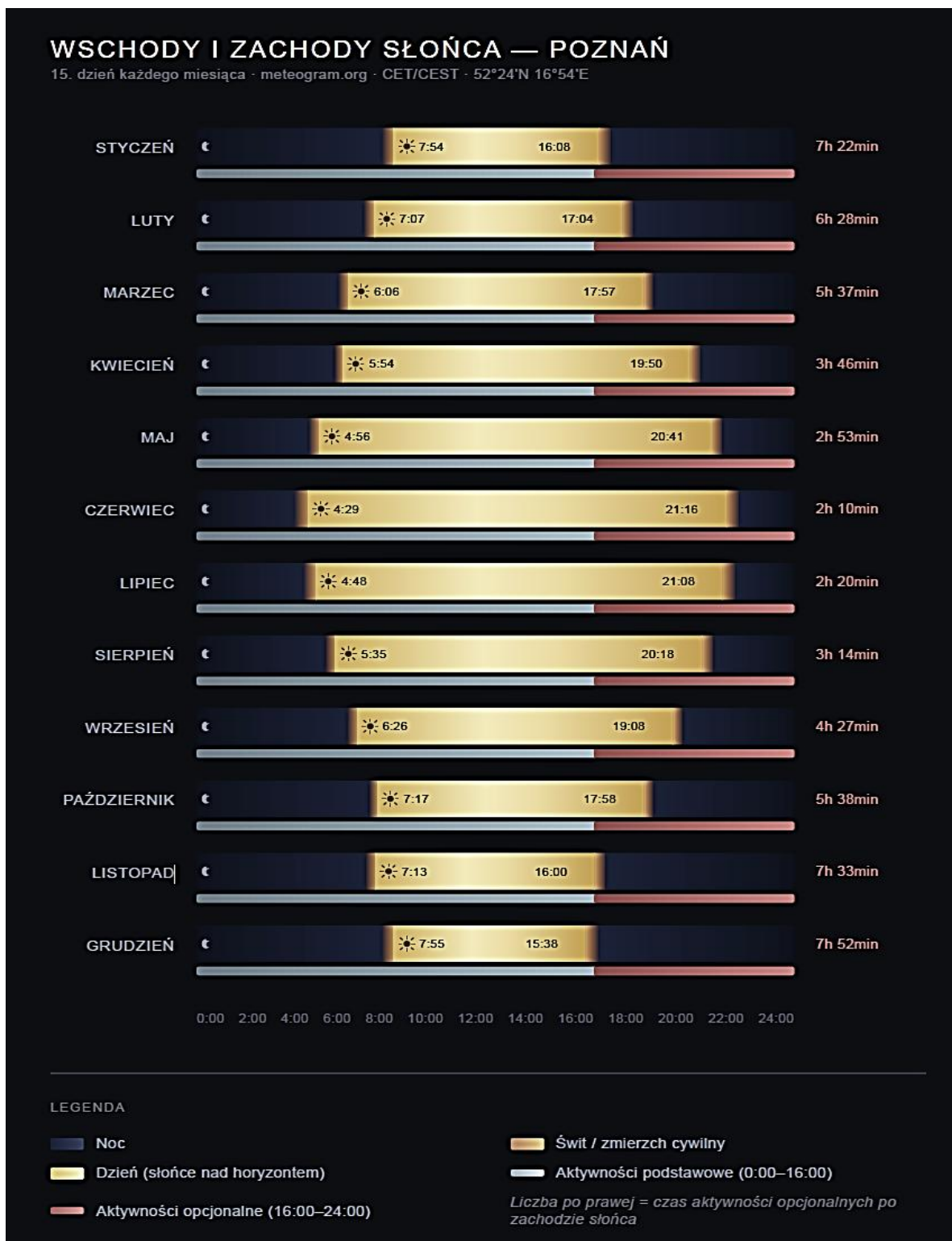
Jednym z zasadniczych ograniczeń tradycyjnego podejścia do projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych jest założenie, że potrzeby oświetleniowe mają charakter względnie stały, a raz przyjęty standard może być uznany za adekwatny niezależnie od czasu, sposobu użytkowania miejsca i zmieniających się aktywności jego użytkowników. Założenie to trudno utrzymać zarówno w świetle obserwacji praktyki miejskiej, jak i ustaleń badawczych. Przestrzeń publiczna nie jest układem statycznym. Zmienia się w czasie doby, w rytmie tygodnia i roku, pod wpływem pogody, wydarzeń, sezonowości, trybu pracy usług i lokali oraz sposobu życia mieszkańców. W konsekwencji zmienne pozostają potrzeby oświetleniowe, których nie można definiować raz na zawsze, w oderwaniu od rzeczywistego użytkowania miejsca. Tę zmienność dobrze opisują wcześniejsze opracowania poświęcone nocnemu życiu miasta i dynamice aktywności publicznych, w których wskazywano, że sposób korzystania z przestrzeni publicznej podlega wahaniom zależnym od pory dnia, dnia tygodnia, pory roku, wydarzeń, czasu otwarcia usług oraz warunków pogodowych. Okres realizowania aktywności

opcjonalnych nie trwa przez całą noc, a w określonych godzinach dana lokalizacja może przestać wymagać dostępu do „pełnej scenografii”, pozostając sprowadzoną do funkcji czysto komunikacyjnych. Różne obszary publiczne funkcjonują z niejednorodną intensywnością, a samo oświetlenie powinno podążać za potrzebami użytkowników, zamiast utrzymywać jeden, sztywny model oświetlania przez cały czas. Wniosek ten pozostaje spójny z klasycznym rozróżnieniem Jana Gehla na aktywności konieczne i opcjonalne. Aktywności konieczne, takie jak codzienne przemieszczanie się, realizowane są zwykle niezależnie od jakości przestrzeni. Inaczej jest z aktywnościami opcjonalnymi, rekreacyjnymi i społecznymi, które w znacznie większym stopniu zależą od jakości otoczenia, jego atrakcyjności, czytelności i poczucia bezpieczeństwa. Im wyższa jakość przestrzeni, tym większe prawdopodobieństwo, że będzie ona użytkowana zarówno z konieczności, jak i z wyboru. Przestrzeń publiczna po zmroku nie powinna być rozumiana wyłącznie jako układ komunikacyjny, lecz jako potencjalne środowisko realizacji aktywności opcjonalnych (Ryc.7), których czas występowania przypada bardzo często właśnie na godziny popołudniowe, wieczorne i nocne (Gehl, 2010, 2013). Pozostaje to spójne z obserwacją, że kultura, rekreacja, sport, spotkania towarzyskie, spacerzy czy aktywności turystyczne realizowane są w dużej mierze poza godzinami pracy i nauki, a więc wtedy, gdy jakość nocnej przestrzeni nabiera znaczenia szczególnego.

Zmienność potrzeb oświetleniowych wynika więc z cyklu dobowego, jak i również z samej natury aktywności miejskich. W ciągu dnia znaczna część użytkowania miasta podporządkowana jest działaniom koniecznym i celowym. Wieczorem oraz nocą rośnie natomiast znaczenie aktywności swobodnych, związanych z konsumpcją czasu wolnego, spotkaniami, kulturą, ruchem dla przyjemności, obserwacją miasta czy eksploracją jego nocnej odsłony. Zmiana ta nie jest jedynie ilościowa, lecz jakościowa. O ile za dnia od przestrzeni oczekuje się często przede wszystkim sprawności i wygody przemieszczania, o tyle po zmroku wzrasta znaczenie atmosfery miejsca, atrakcyjności, komfortu przebywania oraz jakości krajobrazu nocnego. Tak różnorodnych i zmiennych potrzeb użytkowników, nie zapewnią standardy projektowania dla ruchu drogowego czy tras komunikacji pieszej.⁵ Zmienność potrzeb ma także wymiar przestrzenny. Nie wszystkie przestrzenie publiczne są wykorzystywane w ten sam sposób i nie wszystkie wymagają tych samych warunków świetlnych. Ciąg tranzytowy, ulica handlowa, plac miejski, park, skwer, aleja spacerowa, strefa wejść do usług i przestrzeń reprezentacyjna wymagają odmiennych rozwiązań oświetleniowych. Różnice dotyczą nie tylko poziomu światła, lecz także jego dystrybucji, znaczenia powierzchni pionowych, roli orientacyjnej elementów przestrzeni, obecności zieleni oraz relacji między strefami ruchu i przebywania.

W dotychczasowych opracowaniach wskazywano, że tylko nieliczne obszary miasta wymagają stałych warunków oświetlenia nocnego, podczas gdy większość obszarów funkcjonalnych działa z niejednorodną intensywnością, a krajobraz miejski podlega dynamizacji zarówno przez ruch ludzi i pojazdów, jak i przez światło dzienne oraz sztuczne.

⁵ Nowsza literatura dotycząca nocnej gospodarki miejskiej, turystyki i aktywności nocnych potwierdza, że miasto po zmroku staje się odrębnym polem użytkowania, w którym światło współtworzy rangę wydarzeń, wspiera funkcje społeczne i wpływa na sposób eksploracji przestrzeni (Eldridge & Smith, 2019; Giordano & Ong, 2017).



Ryc.7. Sezonowa zmienność okresu aktywności po zmroku (dla czasów miasta Poznania). Zestawienie godzin wschodów i zachodów słońca dla 15. dnia każdego miesiąca oraz czasu aktywności opcjonalnych po zachodzie słońca, przy założeniu przedziału aktywności opcjonalnych 16:00–24:00. Opracowanie własne na podstawie danych meteogram.org.

Rozpoznanie to ma znaczenie metodologiczne. Jeżeli intensywność użytkowania, charakter aktywności i oczekiwania wobec przestrzeni ulegają zmianie, nie można zakładać istnienia jednego, uniwersalnego modelu potrzeb oświetleniowych. Ujmowano

to jako potrzebę zapewnienia światła tam, gdzie jest potrzebne, w takiej ilości, w jakiej jest potrzebne, i w takim czasie, w jakim jest potrzebne, a także jako potrzebę budowy matrycy potrzeb i wymagań oświetleniowych dla konkretnych jednostek krajobrazowych.

Zróznicowanie potrzeb oświetleniowych w czasie wymaga traktowania oświetlenia przestrzeni publicznych jako elementu powiązanego z rytmem użytkowania miejsca. Normy i wytyczne drogowe stanowią podstawę określania klas i parametrów bezpieczeństwa, jednak w projektowaniu przestrzeni publicznych powinny być uzupełniane analizą zmienności aktywności, funkcji i oczekiwań użytkowników w różnych porach doby. Dotychczasowe badania nad oświetleniem ulicznym dostarczają ustaleń dotyczących efektywności energetycznej, bezpieczeństwa ruchu, sterowania instalacją i modernizacji infrastruktury. Dla niniejszej pracy szczególne znaczenie ma powiązanie tych zagadnień z czasową zmiennością funkcji miejsca oraz możliwością dostosowania scen świetlnych do rytmu użytkowania przestrzeni publicznych (Pizzuti et al., 2013; Thiel et al., 2017; Haans & de Kort, 2012; Dwimirnani et al., 2017). Zasadne staje się ujęcie wymagań oświetleniowych w relacji do sposobu wykorzystania przestrzeni, widoczności warstw pionowych, czytelności granic wnętrza urbanistycznego oraz poczucia bezpieczeństwa użytkowników. Zmienność potrzeb oświetleniowych należy rozumieć szerzej niż jako zmianę natężenia ruchu. Obejmuje ona także zmiany oczekiwań wobec jakości przestrzeni. Dobrze zaprojektowana przestrzeń nocna łączy bezpieczeństwo i czytelność z atrakcyjnością, spójnością kompozycyjną oraz przyjemnością przebywania. Jednocześnie w godzinach późnonocnych, kiedy aktywności przechodzą ponownie w tryb konieczny, wystarczające może pozostać zachowanie bezpieczeństwa komunikacyjnego oraz widoczności kluczowych znaków orientacyjnych. Potrzeby zmieniają się jakościowo: od potrzeby scenografii i wysokiej atrakcyjności miejsca do potrzeby podstawowej orientacji i bezpiecznego przemieszczania.

Jeżeli potrzeby oświetleniowe są zmienne w zależności od czasu, sposobu użytkowania i sytuacji przestrzennej, nie mogą być opisane za pomocą jednego stałego zestawu wymagań. Nie wystarcza więc posługiwanie się wyłącznie ogólnymi kategoriami normowymi lub arbitralnie przyjętym układem priorytetów. Konieczne staje się rozpoznanie, które kryteria zmieniają swoje znaczenie w zależności od kontekstu oraz w jaki sposób zmienność ta powinna być odzwierciedlona w strukturze narzędzia decyzyjnego. Pokazuje ona, że projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych nie może być oparte na rozwiązaniach jednolitych, statycznych i ahistorycznych, lecz wymaga narzędzia zdolnego do reagowania na kontekst i różnicowania wymagań. Tylko takie podejście pozwala powiązać nocny obraz miasta z jego rzeczywistym rytmem życia, potrzebami użytkowników oraz warunkami odpowiedzialnego gospodarowania energią i środowiskiem.

2.4 Podsumowanie i wnioski z analizy problemu decyzyjnego dla budowy modelu oceny i doboru oświetlenia

Przeprowadzona analiza prowadzi do wniosku, że traktowanie projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych jako zagadnienia wyłącznie technicznego lub prostego zadania optymalizacyjnego, sprowadzonego do spełnienia wymagań

normatywnych i ograniczenia kosztów, okazuje się niewystarczające wobec rzeczywistej złożoności decyzji projektowej. Obejmuje ona bowiem jednocześnie bezpieczeństwo, jakość percepcyjną i przestrzenną, wpływ na środowisko, trwałość i utrzymanie systemu, koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz sposób zarządzania infrastrukturą w czasie. Wielokryterialność nie jest więc wtórną cechą zagadnienia, lecz jego właściwością podstawową.

Analiza literatury i praktyki projektowej wskazuje zarazem, że dotychczasowe ujęcia problemu decyzyjnego w oświetleniu są częściowe. Jedne badania i procedury koncentrują się na bezpieczeństwie ruchu oraz parametrach widzialności, inne na kosztach i efektywności energetycznej, a jeszcze inne na sterowaniu systemem, lub na wybranych aspektach percepcyjnych lub środowiskowych. Choć każde z tych podejść wnosi istotny wkład, żadne z nich nie daje wystarczająco pełnej podstawy do budowy narzędzia służącego doborowi oświetlenia w przestrzeniach publicznych ujmowanych jako złożone środowiska użytkowania, percepcji i zarządzania. Problem nie polega więc na braku wiedzy częściowej, lecz na jej rozproszeniu, niejednorodności i ograniczonej operacyjności z punktu widzenia decyzji projektowej (Belton & Stewart, 2002; Carli et al., 2018; Doulos et al., 2019; Pracki, 2020; Thiel et al., 2017). Z metodologicznego punktu widzenia niewystarczające jest proste przejęcie istniejących kryteriów z literatury, norm lub praktyki przetargowej. Część z nich ma charakter użyteczny i może zostać włączona do modelu. Część wymaga doprecyzowania, hierarchizacji lub przekształcenia. Część obszarów pozostaje natomiast nadal rozpoznana zbyt słabo, aby mogła zostać bezpośrednio wykorzystana w narzędziu decyzyjnym. Dotyczy to zwłaszcza tych aspektów, które w praktyce projektowej i odbiorze użytkowników okazują się kluczowe, lecz w literaturze nie zostały opisane w sposób dostatecznie jednoznaczny, porównywalny i przydatny dla formalnej oceny wariantów. W tym miejscu ujawnia się zasadnicza rola badań własnych. Ich celem jest udowodnienie tezy, że projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych oraz podejmowanie decyzji jest zagadnieniem wielowymiarowym.

Dalsza część pracy zostaje ukierunkowana na dwa komplementarne zadania. Pierwszym jest uzupełnienie tych obszarów wiedzy, w których literatura nie dostarcza jasnych i wystarczających podstaw do budowy modelu. Drugim jest identyfikacja, wybór i opis kryteriów, które mogą zostać wykorzystane w ocenie wielokryterialnej wariantów oświetlenia. Badania własne nie stanowią dodatku do części teoretycznej, lecz są jej koniecznym rozwinięciem. To one mają doprowadzić do takiego uporządkowania problemu, które pozwoli przełożyć złożoność decyzji projektowej na strukturę modelu.

Kolejne badania ukierunkowano w celu:

- rozpoznania tych obszarów problemu oświetlenia przestrzeni publicznych, w których aktualny stan wiedzy pozostaje niewystarczający dla budowy narzędzia decyzyjnego,
- identyfikacji kryteriów ilościowych i jakościowych możliwych do wykorzystania w porównawczej ocenie wariantów oświetlenia,
- wyboru kryteriów adekwatnych do logiki modelu wielokryterialnego, obejmujących bezpieczeństwo, jakość przestrzenną i percepcyjną, ekonomię, ekologię, trwałość, utrzymanie i zarządzanie,

- opracowania deskryptorów tych kryteriów w taki sposób, aby były jednoznaczne, porównywalne i możliwe do zastosowania w procedurze oceny,
- wypracowania kategorii przestrzeni publicznych, którym można przypisać zróżnicowane wymagania oświetleniowe.

Błędne byłoby definiowanie kryteriów w oderwaniu od typu przestrzeni, podobnie jak ich opisywanie wyłącznie w sposób abstrakcyjny. Ważne jest, aby ustalone kryteria odnieść do realnych sytuacji projektowych oraz do konkretnych kategorii miejsc. To pozwoli na przypisanie im deskryptorów, które wynikają z logiki użytkowania i odbioru danej przestrzeni. Wówczas wypracowany model oceny i doboru oświetlenia będzie formalnie poprawny i przede wszystkim projektowo przydatny. Pojawia się potrzeba przejścia od ogólnego opisu przestrzeni miejskiej do takiej typologii, która pozwoli powiązać określone cechy morfologiczne, funkcjonalne i użytkowe z określonymi oczekiwaniami wobec oświetlenia. Ten element należy uwzględnić w dalszej metodologii pracy. Kryteria decyzyjne projektu muszą być powiązane z przestrzenią tak by odzwierciedlać realne sytuacje projektowe. Wtedy możliwe będzie przypisanie im deskryptorów, które wynikają z logiki użytkowania i odbioru danej przestrzeni. Badania własne pełnią funkcję podwójną. Z jednej strony służą uzupełnieniu luk poznawczych i weryfikacji tego, które aspekty mają rzeczywiście znaczenie dla użytkowników i jakości przestrzeni. Z drugiej strony umożliwiają przełożenie tych ustaleń na język modelu, a więc na deskryptory, skale ocen i relacje pomiędzy kryteriami. Jest to krok niezbędny, ponieważ bez takiego przejścia nie da się zbudować narzędzia, które byłoby jednocześnie osadzone w rzeczywistości przestrzeni publicznych i zdolne do formalnej oceny wariantów.

Skutkuje to potrzebą budowy macierzy decyzyjnej wychodzącej z typów przestrzeni, ich cech morfologicznych, funkcjonalnych i użytkowych z odpowiadającymi im potrzebami oświetleniowymi, a opartej na zdefiniowanych kryteriach oceny oraz deskryptorami możliwymi do zastosowania w rzeczywistych sytuacjach projektowych

3

Strukturyzacja kontekstu przestrzennego dla potrzeb modelowania decyzji projektowych

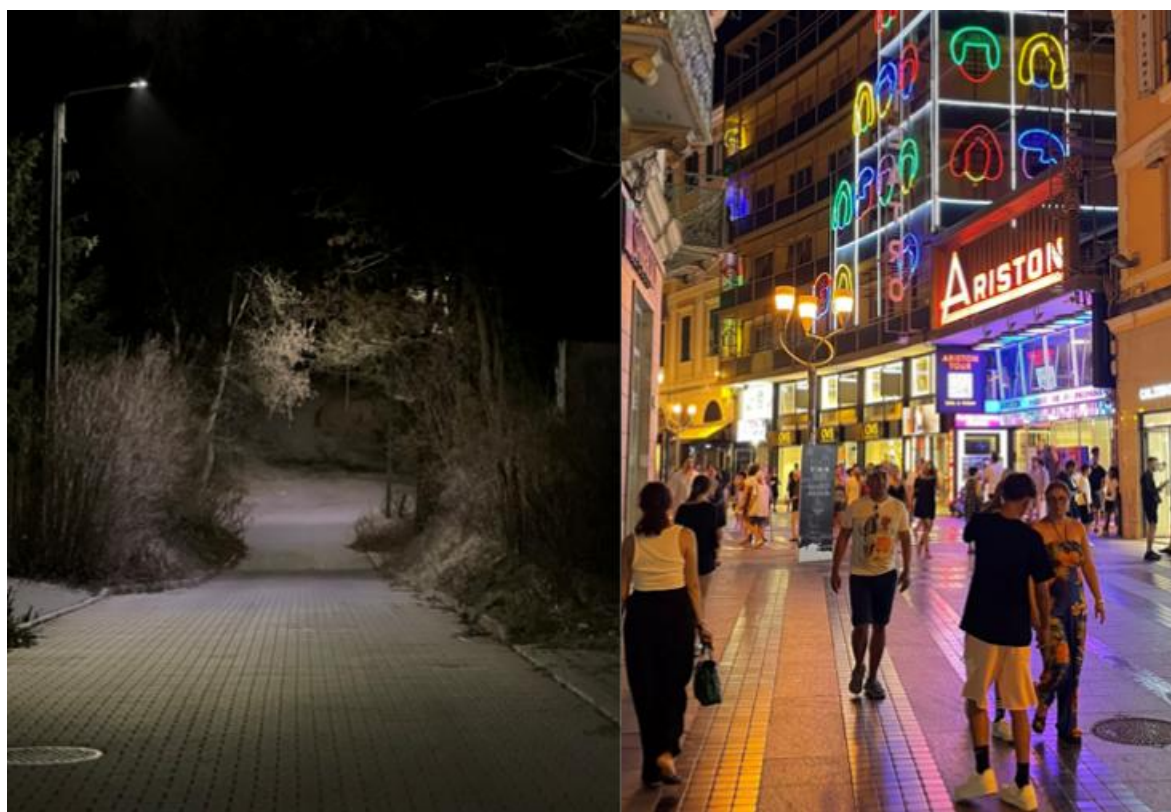
3 Strukturyzacja kontekstu przestrzennego dla potrzeb modelowania decyzji projektowych

Oświetlenie współkształtuje z przestrzenią warunki jej użytkowania po zmroku, jej czytelność, hierarchię, odbiór estetyczny, poczucie bezpieczeństwa, relacje pomiędzy elementami kompozycji urbanistycznej oraz zakres oddziaływania środowiskowego. Dalszy tok pracy wymaga doprecyzowania jak opisywać samą przestrzeń, aby możliwe było rozpoznanie zróżnicowanych potrzeb oświetleniowych i ich późniejsze wykorzystanie w modelu decyzyjnym. Niniejszy rozdział pełni funkcję analityczno-strukturyzującą: jego zadaniem jest identyfikacja tych cech kontekstu przestrzennego, które mają znaczenie dla decyzji projektowych dotyczących oświetlenia (Niezabitowska, 2014; Wejchert, 1984).

Autor zakłada, że stosowane obecnie sposoby ujmowania przestrzeni dla potrzeb projektowania oświetlenia pozostają niewystarczające. Z jednej strony Normy oświetlenia drogowego porządkują podstawowe sytuacje ruchowe i umożliwiają dobór klas oświetleniowych dla dróg, stref konfliktowych oraz obszarów pieszych, jednak czynią to w sposób uproszczony, podporządkowany przede wszystkim zadaniom widzenia i parametrom technicznym. Podejście techniczno-normatywne jest zatem konieczne, lecz nie wyczerpuje złożoności problemu projektowego⁶. Klasyfikacje funkcjonalne i planistyczne dokładniej opisują przeznaczenie terenów niż normy oświetleniowe, lecz nie przesądzają o rzeczywistym zapotrzebowaniu na światło. W praktyce jedna przestrzeń uliczna może pozostawać w relacji z zabudową mieszkaniową, usługową, przemysłową lub terenami zieleni, a sposób użytkowania miejsca po zmroku może być odmienny od jego formalnej kwalifikacji funkcjonalnej. Pomiędzy pogłębioną analizą urbanistyczną a uproszczeniem obecnym w normach istnieje więc rozbieżność, która utrudnia formułowanie wymagań oświetleniowych adekwatnych do realnej sytuacji przestrzennej (Dymnicka, 2013; Martyniuk-Pęczek, 2010; Martyniuk-Pęczek, 2014). W konsekwencji sama nazwa typu przestrzeni, podobnie jak sama kategoria normatywna, nie może być uznana za wystarczającą podstawę decyzji projektowej. Przedmiotem decyzji nie jest abstrakcyjna „ulica”, „plac” czy „park”, lecz konkretne miejsce o określonej morfologii, kompozycji, strukturze użytkowników, rytmie użytkowania, relacjach widokowych, udziale zieleni oraz wrażliwości środowiskowej. Jakość przestrzeni publicznej wynika z relacji pomiędzy formą, sposobem użytkowania, dostępnością, możliwością orientacji oraz charakterem aktywności podejmowanych w danym miejscu, a nie z samego przypisania terenu do jednej funkcji (Carmona et al., 2003; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Mehta, 2014). Powstaje konieczność przesunięcia akcentu z pytania „do jakiego typu przestrzeni należy dane miejsce?” na pytanie „jakie cechy tej przestrzeni mają znaczenie dla określenia jej

⁶ Seria norm PN-EN13201 rozwija model doboru klas oświetleniowych dla ruchu zmotoryzowanego, stref konfliktowych i przestrzeni pieszych, a także uwzględnia możliwość stosowania oświetlenia adaptacyjnego zależnego od warunków ruchu i czasu. Równocześnie zalecenia CIE wskazują, że projektowanie oświetlenia zewnętrznego musi obejmować także ocenę skutków środowiskowych i oddziaływania na otoczenie (CIE, 2003; CIE, 2010; Polski Komitet Normalizacyjny, 2016a; Polski Komitet Normalizacyjny, 2016b; Żagan, 2021).

potrzeb oświetleniowych?” Ma to znaczenie w odniesieniu do przestrzeni użytkowanych po zmroku. Nocny odbiór miejsca zależy od ilości światła oraz sposobu, w jaki światło współtworzy orientację, czytelność granic, hierarchię planów, rozpoznawalność sylwetek i twarzy oraz ogólny obraz przestrzeni. Rozkład światła, relacje pomiędzy oświetleniem poziomym i pionowym oraz sposób kształtowania otoczenia wpływają na orientację, poczucie bezpieczeństwa i odbiór przestrzeni (Boyce, 2014; Boyce et al., 2000; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018). W przestrzeni publicznej znaczenie mają poziomy oświetlenia na powierzchniach komunikacyjnych, relacje między warstwą poziomą i pionową, udział elementów kompozycyjnych, obecność zieleni, charakter otoczenia oraz aktywności użytkowników. To właśnie dlatego potrzeby oświetleniowe nie mogą być wyprowadzane wyłącznie z jednej kategorii funkcjonalnej ani z jednego zestawu parametrów technicznych (Ryc.8) (Markvica et al., 2019; Martyniuk-Pęczek, 2010; Martyniuk-Pęczek, 2014).



Ryc.8. Ulice (po lewej: ul. Morenowa, Puszczykowo; po prawej Via Giacomo Matteotti, San Remo, IT), podlegają normatywnie tym samym wytycznym projektowym, ograniczając projekt do powierzchni posadzek. Fot. P. Ratajkiewicz.

Klasyfikacja przestrzeni dla potrzeb projektowania oświetlenia musi być rezultatem wcześniejszej analizy cech kontekstu przestrzennego. Tak rozumiany kontekst obejmuje cechy morfologiczne, funkcjonalne, kompozycyjne, społeczne, środowiskowe i czasowe, które współdecydują o tym, jakie cele powinno realizować oświetlenie w danym miejscu oraz jakie relacje pomiędzy warstwami przestrzeni należy uznać za projektowo istotne. Klasyfikacja jest narzędziem porządkowania problemu projektowego i przygotowania dalszych etapów analizy. Opis i klasyfikacja kontekstu muszą poprzedzać ocenę wariantów. Dopiero rozpoznanie właściwości miejsca pozwala trafnie określić, jakie

aspekty oświetlenia mają w danym przypadku znaczenie podstawowe, a jakie wtórne (Niezabitowska, 2014; Rapoport, 1977; Rapoport, 1982).

W rozdziale zastosowano analizę krytyczną literatury urbanistycznej i oświetleniowej, analizę porównawczą norm oraz klasyfikacji funkcjonalnych, a następnie procedurę redukcji pojęciowej prowadzącą do wyodrębnienia tych cech kontekstu, które mogą zostać wykorzystane jako operacyjne klasyfikatory w dalszych etapach pracy. Wywód ma charakter problemowy i strukturyzujący: zmierza do uporządkowania tych właściwości miejsca, które rzeczywiście różnicują potrzeby oświetleniowe. Przyjęta struktura ma charakter analityczno-porządkujący i podlega późniejszej weryfikacji w badaniach własnych oraz w syntezie modelowej (Gehl & Svarre, 2021; Niezabitowska, 2014).

3.1 Problem klasyfikacji przestrzeni z punktu widzenia potrzeb oświetleniowych

Klasyfikacja przestrzeni stanowi element właściwego rozpoznania problemu badawczego. Jeżeli bowiem przyjąć, że potrzeby oświetleniowe nie mają charakteru uniwersalnego, lecz zależą od właściwości miejsca i sposobu jego użytkowania, to kluczowe staje się ustalenie, według jakich cech przestrzeń powinna być opisywana i różnicowana. W dalszym wywodzie poddano więc krytycznej analizie normatywne oraz funkcjonalne sposoby ujmowania przestrzeni, a zbadano, czy właściwą podstawą jej różnicowania powinny być cechy kontekstu przestrzennego oraz sposób użytkowania miejsca po zmroku.

3.1.1 Ograniczenia normatywne i funkcjonalnego ujmowania przestrzeni

Jednym z podstawowych problemów projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych jest sposób ujmowania samej przestrzeni jako przedmiotu decyzji projektowej. W praktyce projektowej najczęściej stosowane są dwa porządki opisu. Pierwszy ma charakter techniczno-normatywny a drugi ma charakter funkcjonalny lub planistyczny. Oba te podejścia są potrzebne, lecz żadne z nich nie daje wystarczającej podstawy do określania rzeczywistych potrzeb oświetleniowych konkretnego miejsca. Normatywne ujęcie przestrzeni pozwala przypisywać wymagania ilościowe do sytuacji związanych z ruchem pojazdów, ruchem pieszym, rowerowym oraz do stref konfliktowych, a więc pełni istotną funkcję w zakresie bezpieczeństwa, standaryzacji i weryfikacji rozwiązań projektowych⁷. Podejście normatywne jest jednak z natury rzeczy selektywne. Koncentruje się ono na tych aspektach przestrzeni, które mogą zostać jednoznacznie opisane w kategoriach ruchu, widzialności i parametrów technicznych.

⁷ Seria Norm PN-EN 13201, wraz z dokumentami towarzyszącymi, porządkuje zasady doboru klas, wymagania eksploatacyjne, metody obliczeń i pomiarów, a także kwestie efektywności energetycznej, przez co stanowi podstawowy warsztat współczesnego projektowania oświetlenia drogowego (Polski Komitet Normalizacyjny, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e). Równocześnie źródła CIE wskazują, że projektowanie oświetlenia zewnętrznego wymaga także kontroli światła uciążliwego i ograniczania jego skutków dla otoczenia, co dodatkowo rozszerza zakres odpowiedzialności projektowej poza samą widzialność jezdni i ciągów komunikacyjnych (CIE, 2003).

Tym samym dobrze odpowiada potrzebom techniki świetlnej, lecz nie wyczerpuje złożoności przestrzeni publicznej jako środowiska przebywania, orientacji, obserwacji i odbioru miejsca. W odniesieniu do przestrzeni miejskiej parametry przypisywane do jezdni, stref konfliktowych lub obszarów pieszych nie rozstrzygają jeszcze o tym, w jaki sposób powinny być traktowane elewacje, granice wewnątrz urbanistycznych, zieleni, dominanty widokowe, relacje pionowe czy elementy budujące nocny obraz miasta. Problem ten był wielokrotnie sygnalizowany w literaturze dotyczącej oświetlenia obszarów miejskich, w której podkreślano, że przestrzeń zurbanizowana nie daje się sprowadzić wyłącznie do infrastruktury komunikacyjnej, a środowisko nocne wymaga ujęcia bardziej zintegrowanego (Martyniuk-Pęczek, 2014; Żagan, 2021).

Równie ograniczone jest ujmowanie przestrzeni wyłącznie przez klasyfikacje funkcjonalne i planistyczne. Precyzyjniej rozróżniają one przeznaczenie terenów oraz dominujące formy zagospodarowania, lecz nie określają rzeczywistego zapotrzebowania na światło. Jedna przestrzeń uliczna może pozostawać jednocześnie w relacji z zabudową mieszkaniową, usługową, przemysłową lub terenami zieleni, a sposób użytkowania miejsca po zmroku może znacząco odbiegać od jego formalnej kwalifikacji funkcjonalnej. Przypisanie miejsca do jednej kategorii przeznaczenia terenu nie daje jeszcze wystarczającej podstawy do określenia, jakie cele powinno realizować oświetlenie i które warstwy przestrzeni mają w nim znaczenie podstawowe. W projektowaniu oświetlenia istnieje wyraźna luka między pogłębioną analizą urbanistyczną a uproszczeniem obecnym w normach i klasyfikacjach funkcjonalnych, co utrudnia formułowanie wymagań adekwatnych do rzeczywistej sytuacji przestrzennej (Dymnicka, 2013; Martyniuk-Pęczek, 2010; Martyniuk-Pęczek, 2014). Norma i etykieta funkcjonalna pozostają ważnymi punktami odniesienia, ale nie wystarczają jako samodzielna podstawa decyzji projektowej. Nie opisują bowiem relacji kluczowych dla jakości nocnej przestrzeni publicznej: struktury miejsca, sposobu jego użytkowania oraz roli światła w organizacji odbioru przestrzeni.

3.1.2 Cechy przestrzeni i sposób jej użytkowania jako podstawa różnicowania potrzeb oświetleniowych

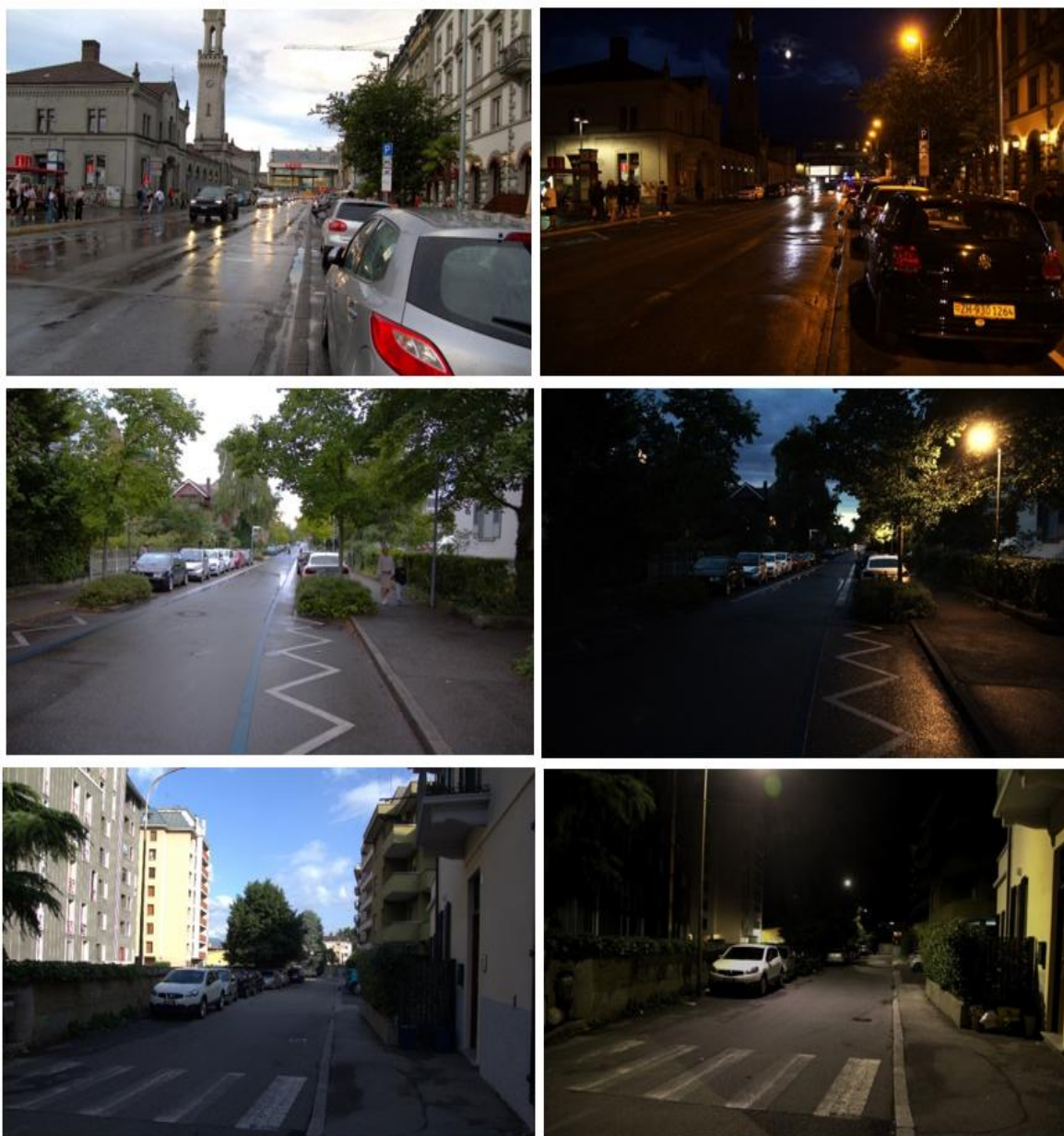
Uznając, że norma i klasyfikacja funkcjonalna nie wyczerpują problemu, konieczne staje się przyjęcie innego punktu wyjścia. W niniejszej pracy założono, że o potrzebach oświetleniowych decydują nie tyle same typy przestrzeni, ile układ ich cech oraz sposób użytkowania po zmroku. Przedmiotem decyzji projektowej jest konkretne miejsce o określonej morfologii, kompozycji, strukturze użytkowników, rytmie aktywności, relacjach widokowych, udziale zieleni oraz wrażliwości środowiskowej. To właśnie taki zestaw właściwości tworzy kontekst przestrzenny, który powinien być traktowany jako rzeczywista podstawa różnicowania potrzeb oświetleniowych. Podejście to pozostaje zgodne z ustaleniami urbanistyki i teorii przestrzeni publicznej. Przestrzeń publiczna jest układem złożonym, w którym forma i użytkowanie współtworzą warunki percepcji oraz codziennych praktyk społecznych (Carmona et al., 2003; Dymnicka, 2013; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Mehta, 2014). Z perspektywy oświetlenia klasyfikacja powinna być rozumiana jako wynik wcześniejszej analizy tych cech miejsca, które mają znaczenie dla nocnego użytkowania i odbioru. Szczególnego znaczenia nabiera tu sposób, w jaki

przestrzeń jest doświadczana po zmroku. Nocny odbiór miejsca zależy od tego w jaki sposób światło współtworzy orientację, czytelność granic, hierarchię planów, rozpoznawalność sylwetek i twarzy, a także ogólny obraz przestrzeni. Badania nad percepcją środowiska nocnego pokazują, że rozkład światła, relacje pomiędzy oświetleniem poziomym i pionowym oraz sposób kształtowania otoczenia wpływają zarówno na poczucie bezpieczeństwa, jak i na odbiór jakości miejsca (Boyce et al., 2000; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018). Potrzeby oświetleniowe poza parametrami ilościowymi dla powierzchni komunikacyjnych muszą uwzględniać także strukturę granic, obecność elementów pionowych, udział zieleni, skalę wnętrza urbanistycznego i charakter aktywności podejmowanych przez użytkowników. W tym miejscu klasyfikacja przestrzeni zyskuje nowy sens- jest narzędziem porządkującym problem projektowy na podstawie cech kontekstu. Taka klasyfikacja musi obejmować co najmniej cechy morfologiczne, funkcjonalne, kompozycyjne, społeczne, środowiskowe i czasowe. Powinna więc odpowiadać na pytania: jak przestrzeń jest ukształtowana, jakie aktywności w niej dominują, kto z niej korzysta, w jakim rytmie jest użytkowana, jakie elementy budują jej czytelność po zmroku oraz jakie ograniczenia środowiskowe lub krajobrazowe należy uwzględnić. Dopiero taki opis umożliwia trafnie rozpoznać, które cele oświetlenia są w danym miejscu podstawowe, a które wtórne (Niezabitowska, 2014; Rapoport, 1977; Rapoport, 1982). Takie stanowisko pozostaje spójne z logiką przyjętej procedury badawczej i uzasadnia potrzebę budowy narzędzia badawczego, które uwzględnia zarówno ilość światła jak i sposób odbioru przestrzeni po zmroku. Wzmacnia to tezę, że klasyfikacja przestrzeni powinna wynikać z analizy cech kontekstu, a nie poprzedzać ją w sposób arbitralny (Ewing & Handy, 2009; Gehl & Svarre, 2021). W świetle powyższego zasadne staje się przyjęcie, że typy przestrzeni zachowują znaczenie porządkujące, lecz nie mogą być traktowane jako samowystarczalny fundament klasyfikacji. Ich rola polega raczej na wskazaniu typowych konfiguracji cech, które powracają w praktyce projektowej i badawczej. Tak rozumiana klasyfikacja staje się następnie podstawą dalszych etapów pracy, w których opis kontekstu zostaje powiązany z preferencjami nadrzędnymi, kryteriami oceny oraz procedurą wyboru wariantu oświetlenia.

3.2 Percepcja nocnej przestrzeni oraz rola światła w organizacji jej odbioru

Przyjmując, że potrzeby oświetleniowe nie mogą być wyprowadzane wyłącznie z formalnej funkcji miejsca ani z przypisanej mu kategorii normowej, konieczne staje się rozpoznanie sposobu, w jaki przestrzeń jest rzeczywiście odbierana i użytkowana po zmroku. W niniejszej pracy przyjęto, że percepcja nocnej przestrzeni stanowi jedno z podstawowych ogniw wyjaśniających, dlaczego to samo miejsce może wymagać odmiennych rozwiązań oświetleniowych w zależności od swojej struktury, sposobu użytkowania oraz oczekiwań użytkowników. Światło jest czynnikiem, który współtworzy sposób jej postrzegania, porządkuje hierarchię widocznych elementów, wzmacnia albo osłabia orientację i współdecyduje o tym, jakie znaczenia przypisywane są miejscu po zmroku. Percepcja przestrzeni miejskiej zależy od bodźców wizualnych, od sposobu ich

interpretacji, doświadczeń i oczekiwań obserwatora. Widzenie jest więc procesem aktywnym, kształtowanym przez czynniki obiektywne i subiektywne, co podkreślał Strzemiński, wskazując na jego uwarunkowania historyczne, kulturowe i psychologiczne (Strzemiński, 1958). W architekturze oznacza to, że przestrzeń odbierana jest przez formę, pamięć, emocje oraz sposób użytkowania. Znaczenie mają elementy materialne, takie jak układ ulic, zabudowa i zieleń, oraz niematerialne: znajomość miejsca, relacje społeczne i kontekst kulturowy (Arefi & Aelbrecht, 2022; Gehl, 2010; Lynch, 1960).



Ryc.9. Przestrzeń ulic w Konstancji (DE) oraz (na dole) w Lecco (IT) w ujęciach dziennym i nocnym – przykład redefinicji percepcji przestrzeni przez światło sztuczne. Fot. P. Ratajkiewicz.

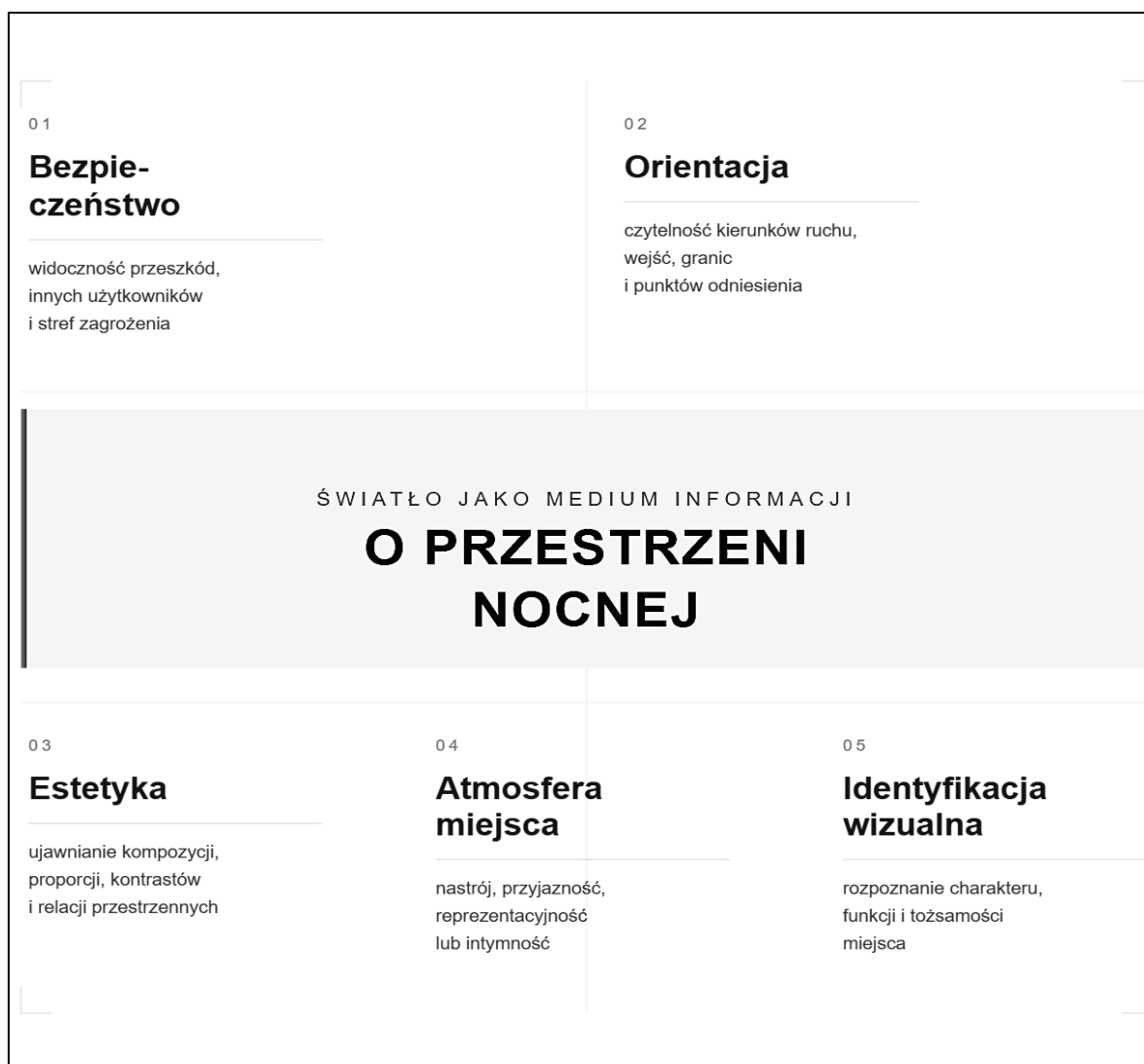
W przestrzeni miejskiej kluczowe jest rozróżnienie między opisem obiektywnym a percepcją subiektywną. To samo miejsce może być różnie odbierane przez planistę, mieszkańca czy turystę. Nawet przestrzenie o podobnych parametrach mogą być postrzegane odmiennie w zależności od kontekstu, obecności ludzi czy warunków

pogodowych. Pomijanie tej zmienności prowadzi do niepełnego opisu przestrzeni, co ma znaczenie m.in. w projektowaniu oświetlenia. W warunkach nocnych znaczenie tych zależności ulega wzmocnieniu, gdyż światło sztuczne przejmując funkcję podstawowego medium informacji o przestrzeni (Ryc.9). Dzięki światłu elementy wnętrza będą widoczne lub pozostaną w cieniu, niektóre zyskają rangę dominant, a inne utracą swą rolę w obrazie miejsca. W nocy przestrzeń nie jest po prostu słabiej widoczną wersją dziennego otoczenia, lecz bywa przestrzenią zdefiniowaną na nowo. Obraz wykreowany przez oświetlenie może być zbieżny z widokiem dziennym, ale może znacząco się od niego różnić, prowadząc do odmiennego rozpoznania układu, innych reakcji emocjonalnych oraz innego sposobu użytkowania miejsca. Dla obserwatora nocny obraz przestrzeni publicznej jest źródłem informacji o otoczeniu i bodźcem emocjonalnym. Te same przestrzenie, zależnie od ilości, rozkładu i treści światła, mogą być odbierane w odmienny sposób. Światło ma więc wymiar użytkowy i emocjonalny, wpływający na odbiór miejsca oraz jego nocną atmosferę (Martyniuk-Pęczek, 2010; Martyniuk-Pęczek, 2014; Wasserfurth-Grzybowski & Enders, 2018). Znaczenie tego problemu potwierdza literatura dotycząca percepcji środowiska nocnego. Według autorów publikacji dla odbioru przestrzeni ważna jest nie tylko ilość światła, lecz również jego rozkład, relacja pomiędzy oświetleniem poziomym i pionowym, widoczność granic wnętrza, możliwość dostrzeżenia innych ludzi oraz poziom kontrastów w polu widzenia. Boyce (2014) podkreślał, że warunki widzenia po zmroku należy rozpatrywać nie tylko przez pryzmat detekcji przeszkód, ale także przez możliwość odczytywania otoczenia i rozpoznawania innych osób. Badania Boyce'a i współautorów (2000), Haans i de Kort (2012), van Rijswijk i Haans (2018) oraz Boomsmy i Steg (2014) wskazują, że poczucie bezpieczeństwa i komfort odbioru przestrzeni zależą od szerszego układu percepcyjnego niż tylko poziom natężenia oświetlenia. Wartość projektową ma więc nie sama obecność światła, lecz sposób, w jaki organizuje ono warunki widzenia i rozpoznawania przestrzeni.

W praktyce miejskiej szczególnego znaczenia nabiera rola światła w budowaniu bezpieczeństwa i komfortu przebywania. Odpowiednio zaprojektowane oświetlenie zwiększa poczucie bezpieczeństwa użytkowników, redukuje niepewność związaną z poruszaniem się po zmroku, ułatwia rozpoznawanie przeszkód i innych ludzi oraz wspiera orientację przestrzenną. Światło może zachęcać do korzystania z przestrzeni, wydłużać czas jej użytkowania i wzmacniać aktywność społeczną. Jakość oświetlenia kształtuje widzialność, gotowość do przebywania w przestrzeni oraz sposób wartościowania miejsca przez użytkowników. Ocenę oświetlenia należy więc prowadzić nie tylko przez ilość światła, lecz także przez czytelność, orientację, estetykę i poczucie bezpieczeństwa. Rola światła wykracza poza funkcję techniczną: organizuje całłościowy odbiór miejsca. Poprawność techniczna nie wystarcza do uznania przestrzeni za dobrze rozwiązaną, gdyż jakość nocnego odbioru zależy od rozkładu światła między warstwami przestrzeni oraz ich udziału w budowaniu obrazu miejsca.

Drugim ważnym wymiarem jest estetyka i identyfikacja wizualna miasta. Poprzez rozmieszczenie opraw, dobór intensywności, kierunków padania światła i zakresu akcentów można podkreślać walory architektoniczne budynków, pomników, pierzei, zieleni czy przestrzeni publicznych o szczególnej randze. Oświetlenie budynków, mostów, placów i skwerów tworzy nocne punkty orientacyjne, które pomagają w budowaniu obrazu miasta i jego rozpoznawalności. Oświetlenie ujawnia istniejące

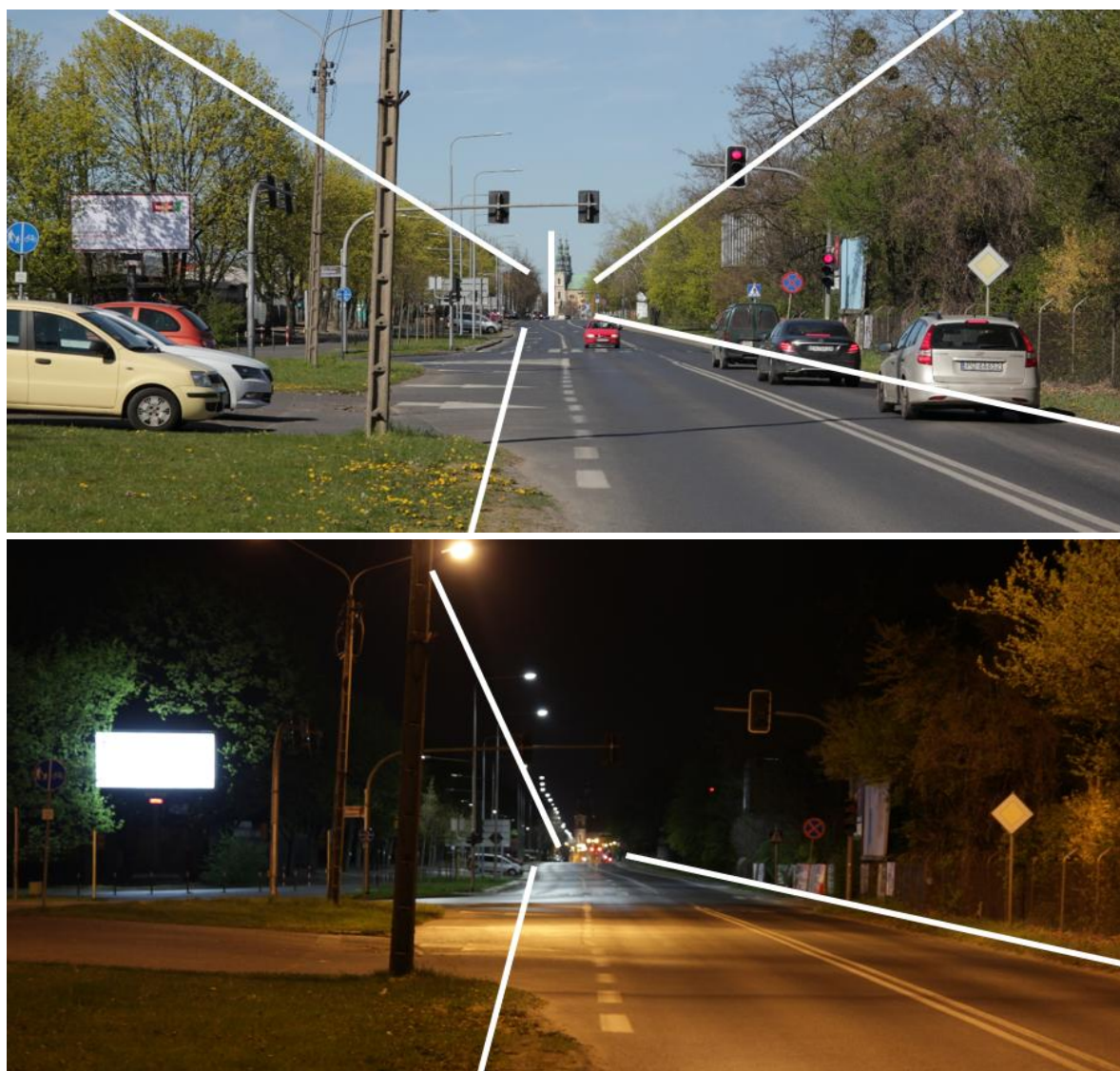
wartości, może je wzmacniać, porządkować albo osłabiać. Miasto nocą bywa przy tym bardziej czytelne niż za dnia, jeżeli kompozycja świetlna została podporządkowana strukturze przestrzeni i właściwej hierarchii akcentów. Jeżeli jednak poszczególne światła są lokowane w ramach odrębnych, niepowiązanych decyzji, mogą konkurować ze sobą i zamiast podkreślać walory miejsca, prowadzić do jego wizualnej trywializacji, nadmiernej ekspozycji albo utraty spójności nocnego obrazu (Bartnicka, 2017). Z tego punktu widzenia przedmiotem decyzji projektowej nie jest infrastruktura techniczna sama w sobie, lecz świadomie komponowany nocny obraz miejsca, a więc relacja pomiędzy światłem, przestrzenią i użytkownikiem. Relacja ma charakter wielowarstwowy, ponieważ miasto nie składa się z jednej płaszczyzny podlegającej doświetleniu, lecz z szeregu powiązanych komponentów, takich jak jezdnie, chodniki, elewacje, zieleń, strefy wejść, miejsca zatrzymania i elementy orientacyjne, które pod wpływem światła zmieniają wzajemne relacje, rangę i siłę oddziaływania na użytkownika.



Ryc.10. Funkcje światła w organizacji percepcji przestrzeni nocnej. Opracowanie własne.

Elementem decydującym o odbiorze nocnej przestrzeni jest również jej dynamika. Przestrzeń publiczna rzadko jest doświadczana statycznie. W większości przypadków

użytkownik przemieszcza się przez nią w określonym celu i z określoną prędkością, co sprawia, że obraz miejsca jest odbierany sekwencyjnie, a nie jednocześnie. Dotyczy to zarówno aktywności koniecznych, takich jak praca, edukacja, usługi czy zakupy, jak i aktywności opcjonalnych, takich jak rekreacja, kultura, spacer, sport, spotkania towarzyskie czy turystyka. W warunkach szerokości geograficznej Polski znaczna część tych aktywności odbywa się po zmroku, co oznacza, że projektowanie oświetlenia powinno uwzględniać typowe sposoby przemieszczania się, zatrzymywania i obserwacji przestrzeni oraz wynikające z nich potrzeby wzrokowe i percepcyjne. Inaczej odbiera przestrzeń pieszy, który może zatrzymać się i doświadczyć pełni wrażeń oferowanych przez dane wnętrze, inaczej rowerzysta, pasażer komunikacji zbiorowej, a jeszcze inaczej kierowca pojazdu mechanicznego. Im większa jest prędkość poruszania się, tym bardziej ubogi obraz dociera do obserwatora, a tym samym tym większego znaczenia nabiera czytelność linii prowadzących, dominant oraz zamknięć sekwencji widokowej.



Ryc.11. Obraz linii prowadzących dla tej samej przestrzeni w dzień i w nocy. Poznań ul. Droga Dębińska, Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

W tym kontekście znaczenia nabiera pojęcie sekwencji widokowej i związanej z nią krzywej wrażeń. W trakcie przemieszczania się obserwator doświadcza następujących po sobie obrazów, które różnią się intensywnością bodźców, czytelnością układu, stopniem napięcia i charakterem emocjonalnym. Wejchert (1984) wskazywał, że zapis tego typu zmienności może przyjąć postać krzywej wrażeń, która odzwierciedla subiektywne, ale nieprzypadkowe reakcje na kolejne fragmenty przestrzeni. W obrazie tym szczególną rolę odgrywają elementy fizjonomii miasta opisane przez Lyncha, takie jak ciągi, krawędzie, węzły, obszary i akcenty, ponieważ to one pomagają porządkować sekwencję i umożliwiają mapowanie przestrzeni przez obserwatora (Lynch, 1960; Wejchert, 1984). Adekwatne zastosowanie światła i ciemności może tę strukturę wzmacniać, zwiększając widoczność kluczowych elementów fizjonomii miasta, sprzyjając orientacji i poczuciu bezpieczeństwa oraz zachęcając użytkownika do dalszej eksploracji przestrzeni. Czas obserwacji jest kluczowym elementem w zakresie decyzji dotyczących wymaganej ilości światła do możliwości zaobserwowania szczegółów otoczenia.

W warunkach nocnych szczególnie wyraźnie ujawnia się problem zmiany kompozycji widoku. Na podstawie analizy problemu oraz obserwacji wstępnych można wskazać kilka powtarzalnych zjawisk prowadzących do osłabienia czytelności sekwencji: zanikanie elementów wprowadzających linie prowadzące, zanikanie linii wertykalnych przez niedostateczne oświetlenie dominant lub innych obiektów organizujących widok oraz wprowadzanie nowych linii wertykalnych i prowadzących poprzez nadmierną dominację opraw oświetleniowych, masztów i widocznych źródeł światła. Zjawiska tego rodzaju należy uznać za niekorzystne, ponieważ mogą prowadzić do dezorientacji, fragmentaryzacji obrazu nocnego i osłabienia relacji pomiędzy elementami tworzącymi całość przestrzeni. Dynamika przestrzeni staje jednym z jego warunków określenia wymagań projektowych. Światło może bowiem wspierać ciągłość sekwencji i wzmacniać logikę przemieszczania się albo przeciwnie – wprowadzać zakłócenia, które dezorganizują odbiór miejsca.

Znaczenie analizy percepcji nocnej i roli światła w organizacji odbioru przestrzeni pozwala przejść od ogólnego stwierdzenia o zróżnicowaniu potrzeb oświetleniowych do bardziej precyzyjnego pytania: jakie cechy przestrzeni i jakie mechanizmy jej odbioru rzeczywiście wpływają na te potrzeby. W dalszej części rozdziału konieczne staje się przejście do analizy kompozycji wnętrza urbanistycznego oraz do zdefiniowania jednostki analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia. współorganizuje odbiór przestrzeni, dlatego istotne jest określenie, jakie elementy tworzą strukturę przestrzeni i co stanowi obiekt badania oraz projektowania.

3.3 Kompozycja wnętrza urbanistycznego i definiowanie przestrzeni projektowanej w oświetleniu jako podstawa opisu kontekstu.

W niniejszej pracy przyjęto, że jednym z kluczowych etapów takiego rozpoznania struktury przestrzeni jest analiza kompozycji wnętrza urbanistycznego. Pozwolić ma to opisać przestrzeń jako całość organizowaną przez granice, osie, kierunki widokowe, dominanty, relacje pomiędzy planami oraz stopień otwarcia lub zamknięcia układu (Cullen, 1961; Lynch, 1960; Norberg-Schulz, 1980; Wejchert, 1984). Dla projektowania

oświetlenia ma to znaczenie podstawowe. Światło nie działa w oderwaniu od formy przestrzennej, lecz ujawnia jej układ, wzmacnia albo osłabia czytelność przestrzeni, porządkuje hierarchię elementów i współdecyduje o sposobie odbioru miejsca po zmroku (Ryc.12) (Bartnicka, 2017; Carmona et al., 2010; Martyniuk-Pęczek, 2014; Wasserfurth-Grzybowski & Enders, 2018). Światło należy rozpatrywać jako narzędzie modelowania nocnego obrazu miasta, wzmacniania tożsamości miejsca, porządkowania hierarchii przestrzennej oraz budowania warunków percepcji architektury i krajobrazu urbanistycznego (Carmona et al., 2010; Cullen, 1961; Norberg-Schulz, 1980). Analiza kompozycji wnętrza urbanistycznego pełni funkcję operacyjną. Na tej podstawie możliwe staje się zdefiniowanie przestrzeni projektowanej, rozumianej jako jednostka analizy wystarczająco spójna pod względem formy, funkcji, sposobu użytkowania i odbioru, aby mogła stanowić przedmiot porównań, badań i oceny projektowej.

3.3.1. Kompozycja wnętrza urbanistycznego jako podstawa opisu kontekstu

W urbanistyce pojęcie wnętrza urbanistycznego należy do podstawowych narzędzi opisu przestrzeni, ponieważ pozwala ujmować ją nie jako zbiór odrębnych obiektów, lecz jako całość odbieraną przez użytkownika w relacji do granic, kierunków, dominant, tła i sekwencji widokowych. Przestrzeń publiczna jest więc obszarem pomiędzy budynkami, układem, którego tożsamość, czytelność i sposób użytkowania wynikają ze wzajemnego oddziaływania płaszczyzny posadzki, ścian wnętrza, elementów zamknięcia, stopnia otwartości oraz relacji pomiędzy pierwszym planem, tłem i dominantami (Cullen, 1961; Lynch, 1960; Trancik, 2003; Wejchert, 1984). Takie ujęcie ma szczególne znaczenie w pracy poświęconej oświetleniu, gdyż światło sztuczne poza zapewnieniem warunków widzenia współuczestniczy w interpretacji przestrzeni. Może ono wzmacniać granice wnętrza, eksponować kierunki widokowe, porządkować hierarchię elementów, ujawniać relacje pomiędzy planami albo przeciwnie – prowadzić do ich osłabienia, rozproszenia lub zaniku (Bartnicka, 2017; Carmona et al., 2010; Karpenko, 2021; Martyniuk-Pęczek, 2014). Tak rozumiana kompozycja wnętrza urbanistycznego nie powinna być traktowana wyłącznie jako zagadnienie estetyczne. Jej znaczenie jest znacznie szersze. Wpływa na możliwość orientacji przestrzennej, sposób rozpoznawania miejsca, odczytywanie kierunków ruchu, poczucie osłonięcia lub ekspozycji oraz ogólny sposób doświadczania przestrzeni po zmroku. Lynch (1960) wiązał czytelność miasta z możliwością rozpoznawania jego podstawowych elementów i budowania spójnego obrazu mentalnego. Cullen (1961) podkreślał znaczenie sekwencyjnego oglądu miasta oraz napięć wizualnych powstających w trakcie przemieszczania się. Wejchert (1984) zwracał uwagę na rolę osi, zamknięć, otwarć, dominant i linii prowadzących w organizowaniu obrazu przestrzeni. Uzupełniając Montgomery (1998) i Carmona et al. (2010) wskazują, że czytelność, intensywność użytkowania i miejskość przestrzeni wynikają ze współdziałania formy, aktywności i znaczeń, a nie z samego układu geometrycznego.

Szczególnego znaczenia w kompozycji nabierają osie widokowe, zamknięcia, otwarcia, linie i płaszczyzny. Oś nie musi być rozumiana wyłącznie jako monumentalny układ geometryczny. W praktyce miejskiej może przyjmować postać subtelnej linii kierunku poruszania się, sekwencji fasad, rytmu drzew, szeregu opraw albo układu elementów małej architektury prowadzących wzrok ku określonemu punktowi. Zamknięcia i otwarcia

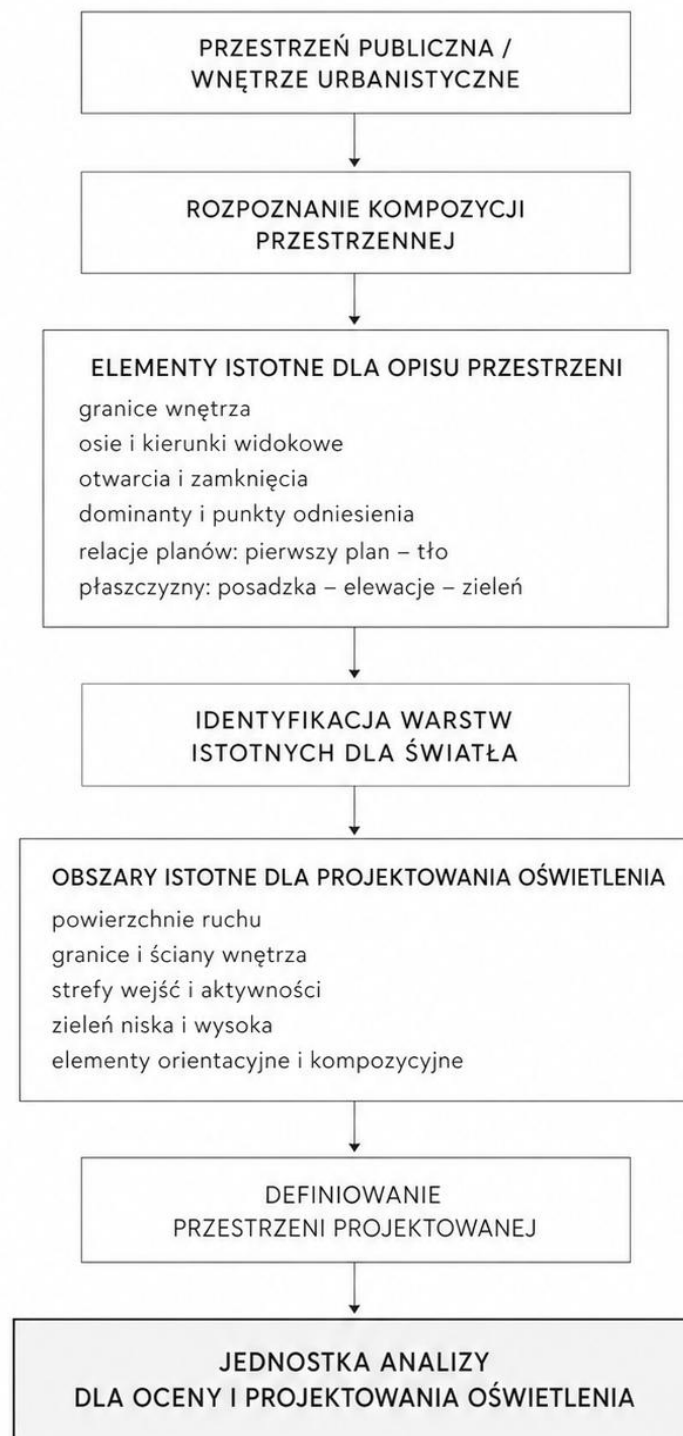
decydują natomiast o stopniu domknięcia wnętrza, o zasięgu widoków oraz o tym, czy użytkownik doświadcza przestrzeni jako osłoniętej, ekspozycyjnej czy przejściowej.

Linie i płaszczyzny współtworzą strukturę porządkującą, dzięki której możliwe jest odczytywanie relacji pomiędzy pierwszym planem, tłem, dominantami oraz granicami wnętrza. Typologia wnętrz otwartych, półotwartych, zamkniętych, osiowych i nieregularnych wzmacnia tę perspektywę, ze względu na sposób tworzenia i organizacji granic, kierunków widokowych wpływa zarówno na funkcjonalność, jak i na estetykę oraz społeczne użytkowanie przestrzeni (Gehl, 2010; Marshall, 2005; Montgomery, 2008; Trancik, 2003). Człowiek ma tendencję do oglądania jako całości tych układów, w których elementy są do siebie podobne, położone blisko siebie, tworzą ciągły kontur lub sugerują wyraźne obramowanie. W przestrzeni miejskiej zjawisko to ujawnia się szczególnie silnie. Rytm zabudowy, ciągłość pierzei, powtarzalność drzew, regularność słupów, ogrodzeń czy innych elementów wyposażenia budują porządek wizualny, który jest później odczytywany jako całość. Jeżeli w obrazie wnętrza urbanistycznego pojawia się szereg obiektów o pokrewnej formie, tworzą one tło kierujące obserwatora ku syntetycznemu odczytaniu przestrzeni. W zależności od sposobu dystrybucji światła ten sam układ przestrzenny może zostać odczytany jako spójny i prowadzący albo jako fragmentaryczny i dezorientujący. Ujęcie to pozostaje zgodne z badaniami nad percepcją jakości przestrzeni publicznych, w których podkreśla się rolę czytelności, złożoności, przejrzystości i ładu kompozycyjnego dla odbioru miejsca (Ewing & Handy, 2009; Mehta, 2014; Nasar, 1998).

Znaczenie kompozycji ujawnia się szczególnie wyraźnie w warunkach nocnych, gdy oświetlenie nie tylko ujawnia strukturę przestrzeni, lecz może ją również redefiniować. **Rolą oświetlenia sztucznego nie jest zachowanie dziennego widoku**, lecz zapewnienie bezpieczeństwa przebywania i poruszania się, ułatwienie odczytywania obrazu miasta oraz wykreowanie jego nocnego wizerunku. **Przestrzeń z perspektywy oświetlenia nocnego musi zostać opisana na nowo.** W projektowaniu oświetlenia ulic doszło do daleko idących uproszczeń w zakresie elementów wnętrza urbanistycznego, w wyniku których ztraca się możliwość obserwacji otoczenia. Podobna degradacja nocnego widoku następuje w przypadku braku dostosowania sposobu oświetlenia do funkcji przestrzeni publicznych. Walory miejsca mogą zostać podkreślone, przestrzenie urbanistycznie zubożone mogą zostać uatrakcyjnione poprzez zastosowanie akcentów świetlnych, a dominanty mogą zostać zachowane lub uwypuklone. Zagadnienie to wzmacniają nowsze badania pokazujące, że nocny obraz miasta zależy od interakcji między morfologią urbanistyczną, rodzajem oświetlenia i sposobem poruszania się użytkowników (Dwimirnani et al., 2017; Fan & Biljecki, 2024; Markvica et al., 2019).

Kompozycja wnętrza urbanistycznego staje się podstawą opisu kontekstu nie w kontekście dekoracyjnym, lecz analitycznym. Pozwala to na wskazanie, które elementy wnętrza urbanistycznego mają znaczenie porządkujące i które z nich powinny zostać uwzględnione w dalszym różnicowaniu potrzeb oświetleniowych. Zależność tę można przedstawić jako sekwencję operacyjną, w której analiza kompozycji wnętrza przestrzeni publicznej prowadzi od rozpoznania granic, osi, dominant, relacji planów i płaszczyzn do identyfikacji warstw istotnych dla światła, a następnie do wyznaczenia jednostki analizy wykorzystywanej w ocenie i projektowaniu oświetlenia (Ryc.12). To istotne działanie z punktu widzenia tworzenia nocnego wizerunku bezpiecznej i rozpoznawalnej przestrzeni.

KOMPOZYCJA WNĘTRZA URBANISTYCZNEGO
JAKO PODSTAWA DEFINIOWANIA JEDNOSTKI ANALIZY
W PROJEKTOWANIU OŚWIETLENIA



Ryc.12. Logika przejścia od analizy kompozycji wnętrza urbanistycznego do definiowania jednostki analizy w projektowaniu oświetlenia. Opracowanie własne.

Jeżeli w nocnym obrazie zanikają elewacje tworzące pierzeję, osłabieniu ulegają dominanty wertykalne albo przestają być czytelne zamknięcia perspektywiczne, to zmiana ulega nie tylko estetyka miejsca, ale także jego czytelność i sposób użytkowania. Problem projektowy nie dotyczy już wtedy wyłącznie za małej lub za dużej ilości światła, lecz błędnego rozłożenia akcentów świetlnych względem struktury przestrzeni. Z tego względu analiza kompozycyjna powinna być traktowana jako etap rozpoznania warunków percepcyjnych, a nie wyłącznie estetycznych.

Analiza sekwencji widokowych dodatkowo wzmacnia ten wniosek. Użytkownik najczęściej doświadcza miasta w ruchu, a nie w stanie zatrzymania, dlatego obraz miejsca jest odbierany z różną intensywnością i w różnym tempie, zależnie od rodzaju aktywności, celu przebywania w przestrzeni oraz środka lokomocji. Inaczej postrzega przestrzeń pieszy, który może zatrzymać się i doświadczyć pełni wrażeń oferowanych przez dane wnętrza urbanistyczne, inaczej rowerzysta lub pasażer komunikacji zbiorowej, a jeszcze inaczej kierowca pojazdu mechanicznego. Wraz ze wzrostem prędkości poruszania się obraz przestrzeni ulega uproszczeniu, a tym samym większego znaczenia nabierają czytelność linii prowadzących, dominant, punktów orientacyjnych oraz zamknięć sekwencji widokowej (Lynch, 1960; Wejchert, 1984). Wejchert (1984) ujmował to zjawisko jako sprzężenie czasu i przestrzeni, wskazując, że kolejne obrazy widziane w ruchu tworzą krzywą wrażeń, w której wzrost i spadek napięcia percepcyjnego pozostają związane z jakością sekwencji urbanistycznej. Dodatkowo badania nad percepcją tras pieszych po zmroku wskazują, że równomierność oświetlenia, kontrasty, widoczność powierzchni pionowych oraz układ przestrzeni wpływają zarówno na orientację, jak i na preferencje użytkowników oraz ich poczucie bezpieczeństwa (Rahm & Johansson, 2018; Wänström Lindh & Jägerbrand, 2021).

W materiale badawczym rozpoznano powtarzalne zjawiska wskazujące, że nocny obraz przestrzeni może zmieniać typ kompozycji widoku. Dotyczy to m.in. zanikania linii prowadzących, ukośnych i wertykalnych wskutek niedoświetlenia fasad, dominant oraz wyższych partii zabudowy. Jednocześnie nowe akcenty mogą tworzyć oprawy oświetleniowe, maszty i widoczne źródła światła, przejmujące rolę głównych elementów kompozycji. W większości analizowanych sekwencji zmiany te miały charakter niekorzystny, prowadząc do dezorientacji i fragmentarycznego odbioru przestrzeni. Potwierdza to, że kompozycja wnętrza urbanistycznego jest jednym z kluczowych warunków trafnego projektowania oświetlenia. Typologia wnętrz urbanistycznych wzmacnia przydatność takiego podejścia. Wnętrza zamknięte, półotwarte, otwarte, osiowe i nieregularne różnią się organizacją przestrzeni, kontrolą widoku oraz relacją między granicami a otoczeniem⁸. Ich odmienna struktura wpływa na sposób rozmieszczenia,

⁸ Wnętrza zamknięte opierają się na wyraźnie określonych granicach i stosunkowo silnym poczuciu domknięcia, co sprawia, że szczególnego znaczenia nabiera czytelne kształtowanie ścian wnętrza, akcentowanie elementów zamykających perspektywę i utrzymanie spójności obrazu nocnego. Wnętrza półotwarte i otwarte mają bardziej płynny charakter, a ich odbiór zależy w większym stopniu od relacji z dalszym otoczeniem, kierunków otwarć i stopnia przenikania z sąsiednimi przestrzeniami. Wnętrza osiowe opierają się na mocnym porządku geometrycznym i dominacji jednego kierunku kompozycyjnego, natomiast wnętrza nieregularne cechują się większą złożonością, fragmentarycznością i wrażliwością na utratę czytelności po zmroku.

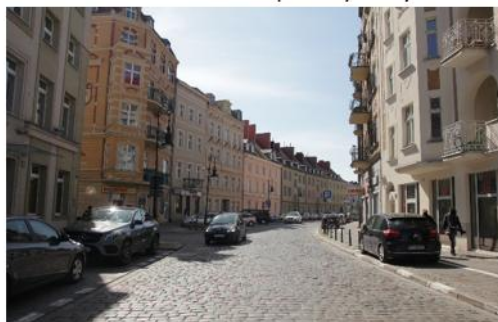
hierarchizacji i intensywności światła (Carmona et al., 2010; Gehl, 2010; Marshall, 2005; Montgomery, 2008; Trancik, 2003).



Ostrów Wielkopolski
ulica w obszarze przemysłowym



Poznań, os. Zwycięstwa
ulica osiedlowa-zabudowa wielorodzinna.



Poznań, ul. Chwaliszewo
ulica osiedlowa – zabudowa kwartałowa



Lecco (IT), Via Costituzione
ulica zbiorcza, zabudowa wielorodzinna



Ostrów Wielkopolski
ulica osiedlowa – zabudowa jednorodzinna



Lecco (IT), Via Filippo Turati
ulica handlowo-mieszkaniowa



Poznań, ul. Głogowska
droga tranzytowa.



Konstancja (DE), Reichenstrasse
droga rowerowa

Ryc.13. Zróżnicowanie wnętr traktów komunikacyjnych jako przykładów wnętr urbanistycznych z punktu widzenia opisu kontekstu przestrzennego i projektowania oświetlenia. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

Znaczenie tych kategorii uzasadnia przyjęty w pracy sposób opisu przypadków badawczych. Powstaje konieczność takiego opisu przypadków, który obejmuje nie tylko funkcję (Ryc.13) i morfologię, lecz także rodzaj wnętrza, kompozycję, użytkowników, środowisko i sposób użytkowania. Wzmacnia to spójność całej konstrukcji rozprawy, ponieważ język opisu wypracowany w części teoretycznej może zostać następnie wykorzystany w klasyfikacji przypadków oraz w dalszym porównywaniu wyników badań⁹.

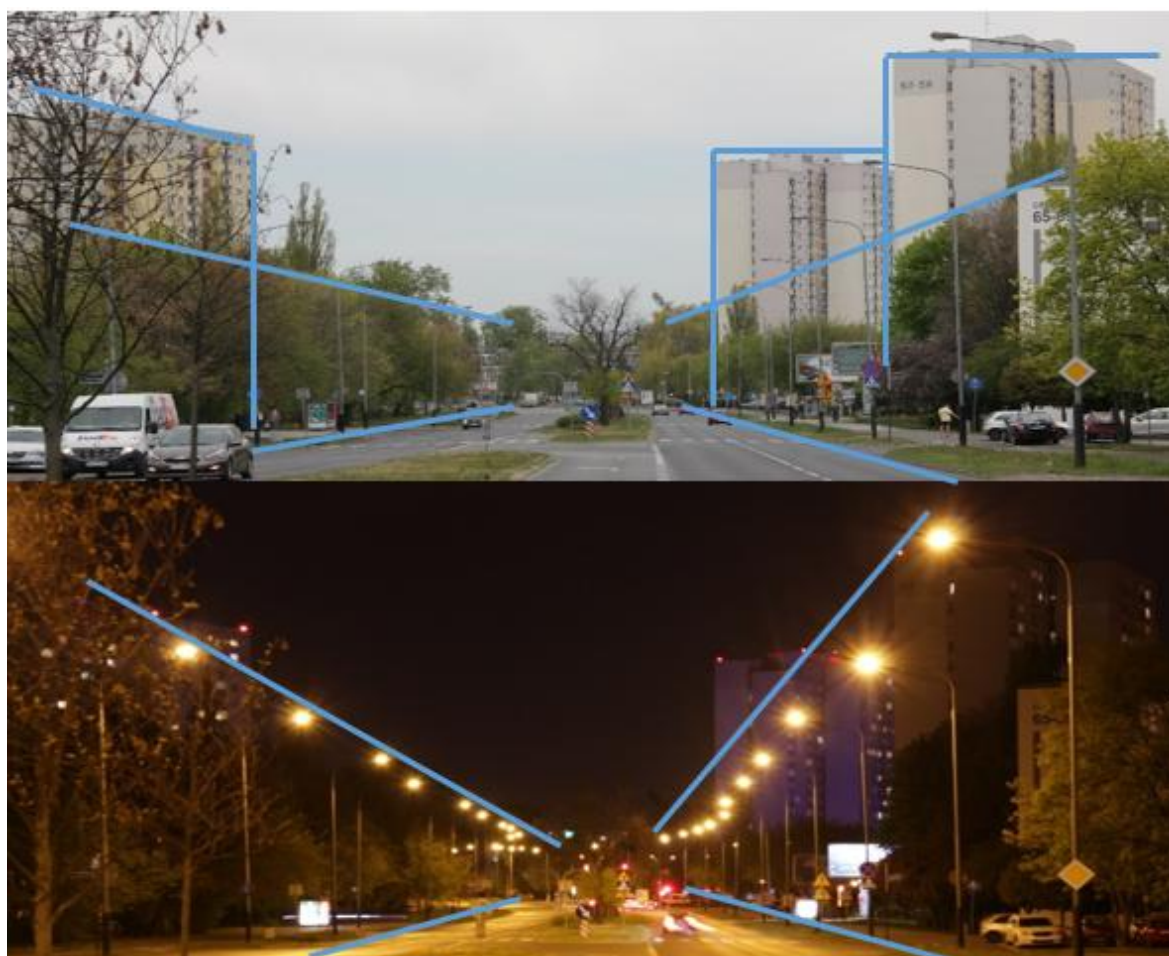


Ryc.14. Zmiana czytelności kompozycji wnętrza urbanistycznego w obrazie dziennym i nocnym. Poznań ul. Krasińskiego. Fot. P. Ratajkiewicz.

Ważnym aspektem opisu kontekstu jest skala wnętrza oraz relacja pomiędzy jego warstwą poziomą i pionową. W wielu przypadkach współczesna praktyka oświetleniowa nadmiernie podkreśla znaczenie warstwy poziomej, to znaczy jezdni, chodnika lub ścieżki, przy jednoczesnym osłabieniu warstwy pionowej, którą tworzą elewacje, ściany wnętrza, drzewa, dominanty i inne elementy zamykające przestrzeń. Tymczasem właśnie relacja tych dwóch warstw w dużej mierze decyduje o tym, czy miejsce pozostaje po zmroku czytelne (Ryc.14, Ryc.15).

⁹ Podejście to jest zgodne z literaturą dotyczącą oceny jakości przestrzeni publicznych, w której podkreśla się konieczność łączenia wskaźników ilościowych z interpretacją kontekstu społecznego i przestrzennego (Carmona et al., 2010; Mehta, 2014; Whyte, 1980).

Kompozycja wnętrza urbanistycznego jest więc podstawą opisu kontekstu dlatego, że pozwala przełożyć ogólne kategorie urbanistyczne na zestaw obserwowalnych i projektowo istotnych właściwości miejsca. Dzięki niej możliwe staje się uchwycenie takich cech, jak stopień zamknięcia lub otwarcia przestrzeni, obecność osi i linii prowadzących, rola dominant, znaczenie ścian wnętrza, proporcje między warstwą poziomą i pionową oraz relacje pomiędzy elementami tła i pierwszego planu. Dopiero taki opis umożliwia przejść do kolejnego etapu, czyli do zdefiniowania jednostki analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia. Innymi słowy, kompozycja wnętrza urbanistycznego nie jest jeszcze samą klasyfikacją potrzeb oświetleniowych, ale stanowi niezbędny etap pośredni, bez którego dalsze wydzielenie przestrzeni projektowanej pozostałoby arbitralne.



Ryc.15. Zmiana układu hierarchii oraz czytelności granic wnętrza urbanistycznego w warunkach nocnych. Poznań, ul. Piłsudskiego. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

3.3.2. Jednostka analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia

Kompozycja wnętrza urbanistycznego, przyjęta w niniejszej pracy jako podstawa opisu kontekstu przestrzennego, prowadzi bezpośrednio do kolejnego problemu badawczego, którym jest określenie właściwej jednostki analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia. Zagadnienie to ma znaczenie podstawowe. Od sposobu wydzielenia przedmiotu analizy zależy zarówno trafność diagnozy, jak i możliwość późniejszego

porównywania przypadków, formułowania wymagań oraz oceny wariantów projektowych. W praktyce oświetleniowej przestrzeń publiczna bywa jednak często redukowana do dwuwymiarowego układu planu lub przekroju drogowego. Przestrzeń publiczna bez kontekstu sprowadzana jest w dokumentacji technicznej do rzutów, które stanowią wypaczenie myśli architektonicznej. Podstawowe elementy kompozycji przestrzennej to podłoga, ściany, sufit i elementy wolnostojące. W projektowaniu oświetlenia drogowego i ulicznego, podobnie jak w planowaniu urbanistycznym, myślenie o przestrzeni często ogranicza się do dwuwymiarowego rozwiązania planu, bez przewidywania, w jaki sposób ukształtowana zostanie przestrzeń powstała na tym planie. Takie ograniczenie niesie ze sobą ryzyko uniformizacji przestrzeni. Różne miejsca o odmiennym charakterze urbanistycznym i społecznym mogą być traktowane w podobny sposób tylko dlatego, że na poziomie przekroju wykazują zbliżone cechy geometryczne (Wejchert, 1984). Zjawisko to wzmacniane jest dodatkowo przez redukcyjne traktowanie światła jako parametru technicznego lub kosztu eksploatacyjnego, podczas gdy w rzeczywistości współkształtuje ono strukturę nocnego krajobrazu, warunki orientacji przestrzennej, odbiór granic wnętrz urbanistycznych oraz percepcję bezpieczeństwa i komfortu użytkowników (Bartnicka, 2017; Martyniuk-Pęczek, 2014). Do tego dochodzą zwyczajnie projektowe oraz dostępne narzędzia obliczeniowe. Projektanci, korzystając z programów typu DIALux lub Relux, są w praktyce nakierowywani przede wszystkim na realizację wymagań w zakresie oświetlenia powierzchni horyzontalnych składających się na przekrój drogowy (Ryc.17). Narzędzia te umożliwiają analizę jezdni, chodników, dróg rowerowych czy obszarów konfliktowych, lecz znacznie słabiej wspierają jednoczesną analizę powierzchni wertykalnych reprezentujących elewacje, pierzeje zieleni, strefy wejściowe czy wpływ światła na nieboskłon. W rezultacie projektowana przestrzeń jest rozumiana głównie jako posadzka. Taki stan rzeczy nie jest jedynie problemem technicznym. Ma on charakter metodologiczny, ponieważ wzmacnia uproszczony model przestrzeni i marginalizuje te elementy, które w rzeczywistym doświadczeniu użytkownika często mają znaczenie podstawowe¹⁰.

W opozycji do tego uproszczenia w pracy przyjęto, że właściwie rozumiana przestrzeń projektowana powinna być ujmowana jako wnętrze urbanistyczne. Jednostka analizy w projektowaniu i ocenie oświetlenia nie może być redukowana do powierzchni ruchu, lecz powinna obejmować wszystkie te składowe przestrzeni, które współtworzą jej odbiór i użytkowanie po zmroku. Do podstawowych elementów tak rozumianego wnętrza należą podłoga, ściany, sufit, elementy wolnostojące (Ryc. 16), a więc odpowiednio posadzka przestrzeni, pionowe elementy graniczne oraz górne domknięcie wnętrza. W warunkach miejskich podłogę tworzą przede wszystkim ulica, chodnik, ścieżka rowerowa, torowisko tramwajowe, aleja, place, nawierzchnie zieleni i inne powierzchnie użytkowe. Ściany wnętrza mogą być tworzone przez elewacje budynków, pierzeje drzew, żywopłoty, ogrodzenia, nasypy, skarpy lub inne elementy ograniczające przestrzeń. Sufit wnętrza ma charakter bardziej złożony: w pewnych przypadkach mogą go współtworzyć korony

¹⁰ Warto zauważyć, że także dominująca procedura wskazywana przez Normę wspiera przede wszystkim ocenę warstw ruchu, natomiast znacznie słabiej integruje równocześnie analizę struktur pionowych i nocnego krajobrazu przestrzeni publicznej (CIE, 2010; Gabryjewski et al., 2006; Żagan, 2021).

drzew, gzymsy, dachy, attyki lub zwieńczenia budynków, lecz w większości sytuacji właściwym sufitem wnętrza urbanistycznego pozostaje nieboskłon. Takie ujęcie jest spójne zarówno z klasycznym rozumieniem przestrzeni urbanistycznej, jak i z nowszymi ujęciami relacji między morfologią miasta, światłem i doświadczeniem użytkownika (Dincel et al., 2024; Norberg-Schulz, 1980; Rapoport, 1977).



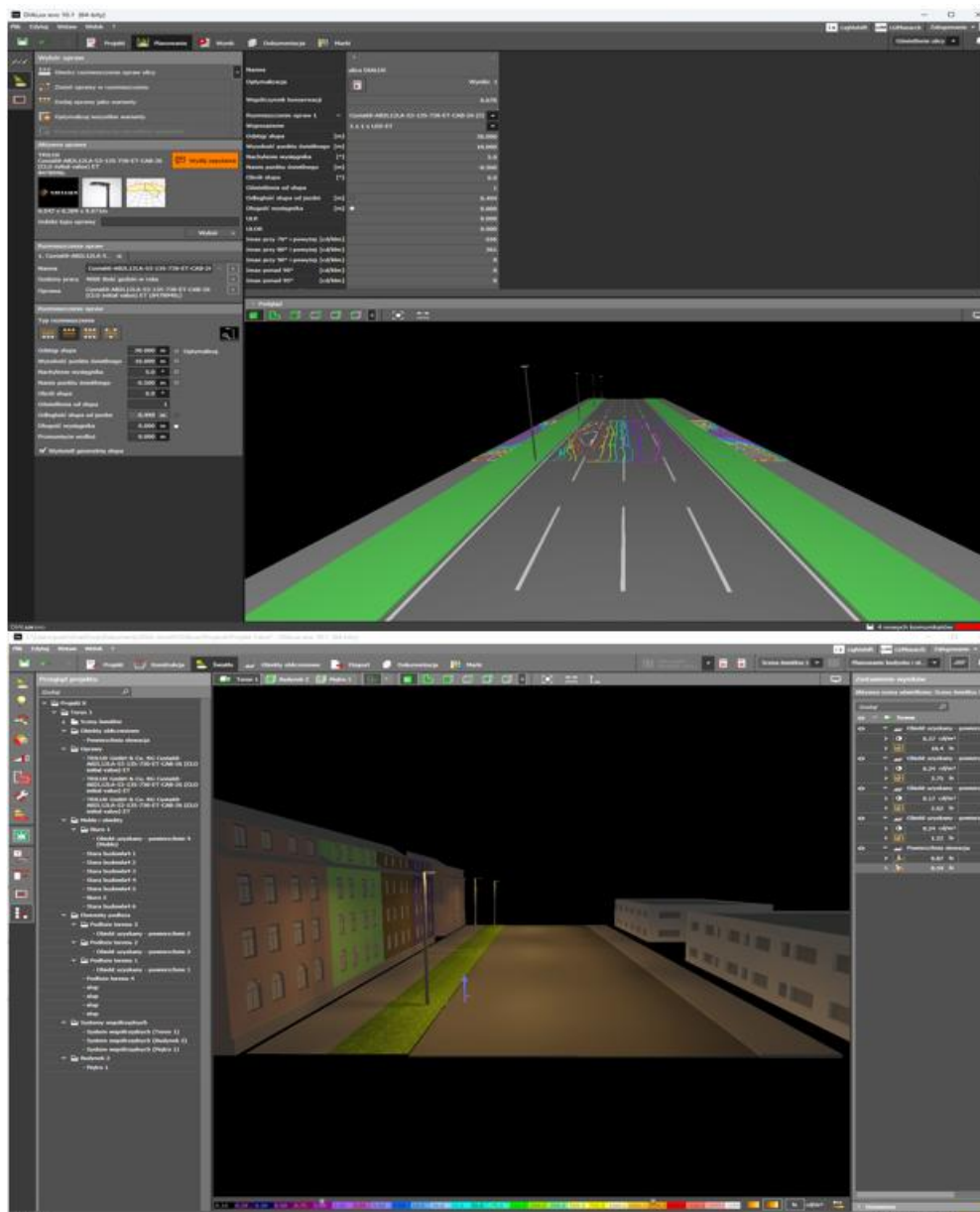
Ryc. 16. Podstawowe elementy wnętrza urbanistycznego jako zakres przestrzeni projektowanej w oświetleniu. Gliwice, ul. Zwycięstwa. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

Opisane wyżej ujęcie ma zasadnicze znaczenie dla projektowania oświetlenia. Jeżeli jednostka analizy obejmuje wyłącznie posadzkę, wówczas poza głównym zakresem projektowym pozostają te elementy, które z perspektywy użytkownika często zajmują znaczną część pola widzenia i decydują o rozpoznaniu miejsca. W szczególności dotyczy to powierzchni pionowych. Elewacje, partery budynków, ściany zieleni czy wejścia do obiektów stanowią duży udział całkowitej powierzchni odbieranej wzrokowo, a w niektórych układach ich udział jest wielokrotnie większy niż udział samej posadzki. Nieuwzględnianie ścian wnętrza prowadzi do sytuacji, w której projektowane jest jedynie światło dla ruchu, a nie światło dla przestrzeni. W konsekwencji miejsce może być normatywnie poprawne, ale pozostawać w zakresie czytelności, estetycznie i społecznie niedopracowane¹¹.

W perspektywie pieszego szczególne znaczenie mają ściany budynków oraz twarze innych ludzi, a zatem szczególnie ważne staje się uwzględnienie luminancji powierzchni pionowych. W przypadku oświetlenia pionowego fasad, obszar parterów jest elementem tła dla przechodniów, ale zarazem istotną z perspektywy bezpieczeństwa strefę wejść do

¹¹ Zagadnienie to potwierdzają badania nad komfortem pieszego, percepcją bezpieczeństwa i odpowiedzią użytkowników na układ oświetlenia pionowego oraz równomierność percepcyjną przestrzeni (Burattini et al., 2025; Castilla et al., 2024; Peña-García et al., 2016; Rahm & Johansson, 2018).

obiektów. Równie ważne są pierzeje drzew i zieleni, które mogą budować granice wnętrza równie silnie jak elewacje zabudowy. Analiza przestrzeni projektowanej musi obejmować zarówno warstwę ruchu, jak i warstwę ścian wnętrza oraz te elementy otoczenia, które decydują o nocnej czytelności miejsca. Znaczenie to potwierdzają zarówno badania nad zaawansowanym oświetleniem ulicznym i bezpieczeństwem miejskim, jak i wytyczne CPTED odnoszące się do stref wejściowych, widoczności ludzi i kontroli społecznej przestrzeni (Kim et al., 2024).



Ryc.17. Dwie perspektywy definiowania przestrzeni projektowanej w oświetleniu. Na górze: moduł do obliczeń ulicznych. Na dole: moduł do obliczeń zewnętrznych – pełne wnętrze urbanistyczne. Obliczenia fotometryczne w programie Dialux. Opracowanie własne.

Trzecim elementem jednostki analizy jest sufit wnętrza, rozumiany przede wszystkim jako nieboskłon. W ujęciu dziennym stanowi on naturalne tło i górne domknięcie obrazu przestrzeni, natomiast nocą powinien być traktowany jako obszar podlegający ochronie, zarówno ze względów środowiskowych, jak i krajobrazowych. Wprowadzenie nieboskłonu do zakresu analizy ma znaczenie większe niż tylko symboliczne.

Projektowanie oświetlenia nie sprowadza się do doświetlenia przestrzeni. Obejmuje także kontrolę emisji światła ku górze, ochronę ciemności nocnego nieba oraz konsekwencje ekologiczne i wizualne. Tak rozumiana jednostka analizy wykracza poza tradycyjne ujęcie drogowe, obejmując elementy wymagające oświetlenia oraz obszary wymagające ochrony przed niekontrolowaną emisją światła. Tego rodzaju rozszerzenie perspektywy pozostaje zgodne z literaturą dotyczącą kosztów i skutków środowiskowych sztucznego światła w nocy oraz z nowszymi ujęciami wpływu morfologii miejskiej na organizmy i środowisko (Dincel et al., 2024; Dominoni et al., 2016; Gaston et al., 2015; Kotarba, 2019).



Ryc.18. Nieboskłon jako sufit wnętrza urbanistycznego i obszar wymagający ochrony w projektowaniu oświetlenia. Konstancja (DE) Fot. P. Ratajkiewicz.

Wreszcie ostatnim, lecz w istocie najważniejszym elementem jednostki analizy pozostaje sam człowiek oraz inni użytkownicy przestrzeni. To ze względu na ludzi przestrzenie publiczne są oświetlane i sami ludzie dynamizują wnętrza urbanistyczne i nadają mu sens użytkowy. Możliwość rozpoznania sylwetki, a następnie twarzy innych osób, odczytania kierunku ich ruchu oraz zorientowania się w strukturze miejsca ma zasadnicze znaczenie dla poczucia bezpieczeństwa, komfortu i gotowości do przebywania w przestrzeni po zmroku. Jednostka analizy nie może być definiowana wyłącznie geometrycznie. Musi ona uwzględniać także perspektywę użytkownika, jego pole widzenia, sposób poruszania się, strefy aktywności i relacje społeczne zachodzące w danym wnętrzu. Z tego względu bardziej trafne jest rozumienie przestrzeni projektowanej jako układu relacyjnego, w którym forma, użytkowanie, odbiór i światło wzajemnie się warunkują (Gehl, 2010; Gehl et al., 2006; Gehl & Svarre, 2021; Rapoport, 1977). Ujawnia się zasadnicza różnica pomiędzy przestrzenią projektowaną rozumianą technicznie a przestrzenią projektowaną rozumianą architektonicznie i użytkowo. W pierwszym przypadku jednostką analizy staje się powierzchnia obliczeniowa odpowiadająca wymaganiom normowym. W drugim przypadku jednostką analizy staje się spójny wycinek przestrzeni publicznej, który można opisać poprzez jego formę, funkcję, sposób użytkowania, strukturę warstw, relacje widokowe oraz znaczenie dla odbioru miejsca po zmroku. Takie ujęcie zostało przyjęte w niniejszej pracy. W kartach badawczych i bazie pomiarowej każdy przypadek został opisany przez parametry świetlne, jak i przez morfologię, funkcję, rodzaj wnętrza, użytkowników, środowisko i użytkowanie, a oceniane składowe przestrzeni obejmowały zarówno podłogę wnętrza, jak i jego ściany oraz elementy zieleni (Tabela 3). Zdefiniowana tu jednostka analizy może

zostać bezpośrednio wykorzystana w procedurze badawczej oraz w dalszej formalizacji modelu.

Element wnętrza urbanistycznego	Składowe przestrzenne	Znaczenie dla projektowania i oceny oświetlenia
Sufit wnętrza	Nieboskłon, górne partie elewacji, dachy, attyki, gzymsy	Określa górne domknięcie przestrzeni oraz zakres oddziaływania światła poza bezpośrednio oświetlane powierzchnie. W projektowaniu wymaga uwzględnienia emisji światła ku górze, ograniczania zanieczyszczenia światłem oraz ochrony nocnego krajobrazu.
Ściany wnętrza	Elewacje budynków, pierzeje drzew i zieleni, partery	Współtworzą granice wnętrza urbanistycznego, tło percepcyjne i czytelność miejsca. Ich oświetlenie wpływa na orientację, rozpoznawalność wejść, poczucie bezpieczeństwa, identyfikację funkcji oraz odbiór skali przestrzeni.
Podłoga wnętrza	Ulica, chodnik, ścieżka rowerowa, torowisko, aleja, trawniki, nasadzenia	Są podstawową warstwę użytkową i komunikacyjną przestrzeni. Jest najczęściej objęta wymaganiami normowymi, jednak jej ocena powinna być powiązana z funkcją, ruchem użytkowników oraz relacją do powierzchni pionowych i otoczenia.
Mała architektura i wyposażenie	Ławki, słupy, oprawy, kosze, balustrady, ogrodzenia, przystanki, elementy informacji miejskiej	Porządkują sposób użytkowania przestrzeni i mogą pełnić funkcję punktów orientacyjnych. W ocenie oświetlenia istotne są ich widoczność, relacja z ruchem pieszym, ryzyko tworzenia przeszkód oraz wpływ na kompozycję nocnego obrazu miejsca.
Człowiek i inni użytkownicy	Piesi, rowerzyści, kierowcy, użytkownicy transportu publicznego, osoby przebywające w przestrzeni	Stanowią podstawowy punkt odniesienia dla projektowania oświetlenia. Kluczowe znaczenie ma możliwość rozpoznania sylwetki, twarzy, kierunku ruchu i intencji innych użytkowników, a także zapewnienie komfortu, bezpieczeństwa i warunków społecznego korzystania z przestrzeni.

Tabela 3. Elementy wnętrza urbanistycznego. Opracowanie własne.

Przestrzeń projektowana pod kątem oświetlenia, musi być wystarczająco spójna pod względem formy, funkcji, sposobu użytkowania i odbioru. Wówczas może stanowić przedmiot porównań, badań i oceny projektowej. Tak zdefiniowana jednostka analizy przestrzennej, może stać się podstawą do dalszej klasyfikacji kontekstu przestrzennego(krajobrazowego) i służyć do przypisywania zróżnicowanych potrzeb oświetleniowych poszczególnym typom miejsc

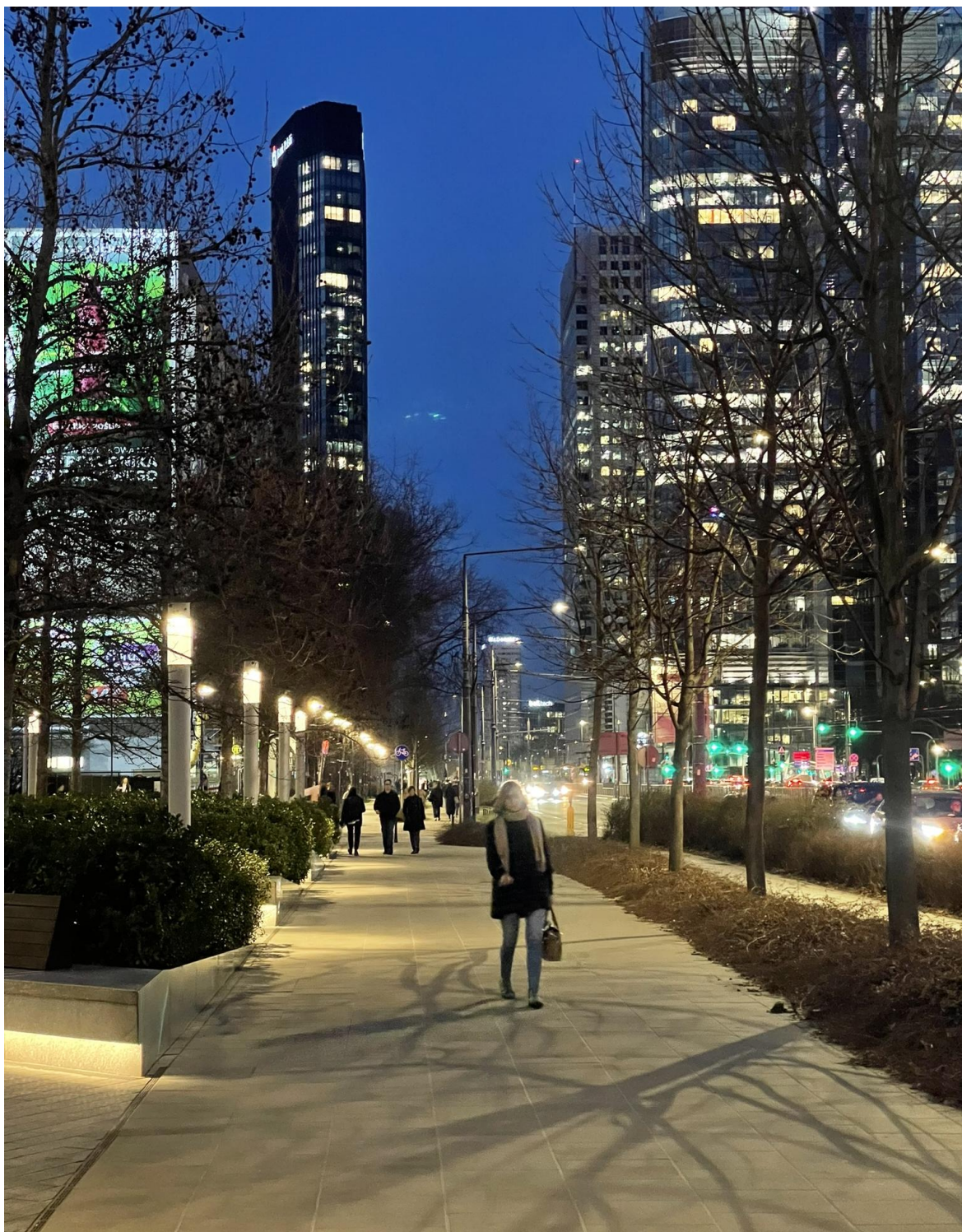
3.4 Elementy struktury przestrzeni publicznej jako nośniki potrzeb oświetleniowych

Dotychczasowy wywód prowadził od krytyki uproszczonych sposobów klasyfikowania przestrzeni, przez znaczenie percepcji nocnej, aż do analizy kompozycji wnętrza

urbanistycznego i zdefiniowania przestrzeni projektowanej jako jednostki analizy. Kolejnym krokiem w badaniach stało się precyzyjne rozpoznanie elementów składających się na strukturę przestrzeni publicznej oraz rozpoznanie ich znaczenia dla projektowych potrzeb oświetleniowych. Kluczowe było wskazanie, które części przestrzeni są najważniejsze dla orientacji, bezpieczeństwa, odbioru estetycznego i nocnej czytelności miejsca, a które pełnią role uzupełniające, tła lub domknięcia kompozycji (Carmona et al., 2010; Lynch, 1960; Wejchert, 1984). W niniejszej pracy przyjęto, że elementy struktury przestrzeni publicznej należy rozumieć jako nośniki zróżnicowanych wymagań oświetleniowych. Nie wszystkie składowe przestrzeni wymagają takiego samego poziomu uwagi projektowej, takiej samej ekspozycji świetlnej ani takiego samego udziału w budowaniu nocnego obrazu miejsca. Innego traktowania wymaga warstwa ruchu, elewacje, zieleń, a jeszcze innego strefy wejść. Zdefiniowanie struktury przestrzeni pod kątem funkcji oraz elementów kompozycji pozwala na uruchomienie operacyjnego rozpoznania potrzeb oświetleniowych, ilościowych i jakościowych (Bartnicka, 2017; Martyniuk-Pęczek, 2014; Markvica et al., 2019). Takie podejście pozostaje spójne zarówno z urbanistycznym ujęciem przestrzeni jako układu warstw i relacji, jak i z logiką przyjętej procedury badawczej. W materiale empirycznym ocena ilości światła nie została odniesiona do przestrzeni rozumianej ogólnie, lecz do poszczególnych jej składowych, takich jak jezdnia, ciągi piesze i rowerowe, elewacje w różnych strefach wysokościowych, zieleń niska i zieleń wysoka. Na poziomie narzędzia badawczego przyjęto założenie, iż potrzeby oświetleniowe ujawniają się nie na poziomie abstrakcyjnego „miejsca”, lecz na poziomie jego konkretnych elementów i wzajemnych relacji. Analiza struktury przestrzeni stała się pomostem pomiędzy teorią urbanistyczną a operacyjnym opisem przypadków badawczych.

3.4.1 Warstwy przestrzeni publicznej pod kątem oświetlenia światłem sztucznym

Z perspektywy projektowania oświetlenia przestrzeń publiczna powinna być rozpatrywana jako układ warstw, które współtworzą nocny obraz miejsca i odpowiadają za różne aspekty jego użytkowania. Najbardziej podstawową warstwę jest warstwa pozioma, obejmująca jezdnie, chodniki, drogi rowerowe, place piesze, aleje, torowiska i inne powierzchnie ruchu oraz przebywania. To ona najczęściej podlega bezpośredniemu ujęciu normowemu, ponieważ wiąże się z bezpieczeństwem poruszania się, rozpoznawaniem przeszkód i zapewnieniem podstawowych warunków widzenia. Warstwa ta ma znaczenie konieczne, ale nie wyczerpuje całego problemu projektowego (CIE, 2010; Polski Komitet Normalizacyjny, 2016; Żagan, 2021). Drugą grupę tworzą warstwy pionowe, a więc elewacje budynków, pierzeje, ściany zieleni, dominanty, ogrodzenia, obiekty małej architektury oraz inne elementy ograniczające lub porządkujące wnętrza urbanistyczne. Elementy pionowe często decydują o czytelności granic przestrzeni, rozpoznawalności miejsca, orientacji oraz odczuwanej skali wnętrza (Ryc.20). W nocnym obrazie wzmacniają strukturę widoku, budują tło dla aktywności społecznej i wspierają identyfikację funkcji miejsca (Bartnicka, 2017; Burattini et al., 2025; Martyniuk-Pęczek, 2014; Rahm & Johansson, 2018).



Ryc.19. Człowiek w centrum wielowarstwowej struktury przestrzeni: chodnik, ulica, zieleń niska, zieleń, strefy wejść, elewacje Warszawa, ul. Żelazna. Fot. P. Ratajkiewicz.

Trzecią warstwę stanowią elementy środowiskowe, przede wszystkim zieleń niska i wysoka, które w przestrzeni publicznej pełnią rolę nie tylko dekoracyjną, lecz również przestrzenną, orientacyjną i społeczną. Trawniki, klomby, grupy krzewów i drzewa współtworzą granice wnętrza, filtrują widoki, porządkują rytm przestrzeni i wpływają na jej odbiór emocjonalny. W warunkach nocnych ich znaczenie może być dwojakie: z

jednej strony wspierają budowę atmosfery miejsca i różnicowanie planów widokowych, z drugiej zaś przy niewłaściwym oświetleniu mogą prowadzić do utraty czytelności, wzrostu kontrastów lub osłabienia poczucia bezpieczeństwa. Dlatego warstwy zieleni powinny być traktowane jako element współkształtujący. Wzmacniają to badania dotyczące użytkowania parków i terenów zieleni po zmroku, pokazujące, że układ roślinności, topografia oraz sposób oświetlenia wpływają na odczuwane bezpieczeństwo, preferencje użytkowników i odbiór przestrzeni jako miejsca pobytu lub przejścia (Kimic & Polko, 2021; Kimic & Polko, 2022; Lis et al., 2023; Lis et al., 2024a; Lis et al., 2024b). Czwartą grupę tworzą elementy użytkowe i społeczne, takie jak wejścia do budynków, strefy zatrzymania, przystanki, przejścia, miejsca spotkań, ławki, ciągi dojść, skrzyżowania ruchu czy lokalne centra aktywności. Ich znaczenie wynika przede wszystkim z intensywności i charakteru użytkowania. W wielu przypadkach te elementy decydują o tym, czy przestrzeń po zmroku pozostaje funkcjonalna, czytelna i społecznie dostępna. Oświetlenie takich miejsc powinno być rozumiane jako część strategii organizowania nocnego użytkowania przestrzeni (Gehl, 2010; Gehl et al., 2006; Whyte, 1980). Warstwy przestrzeni nie są tylko kategoriami morfologicznymi, lecz także nośnikami aktywności i scenariuszy użytkowania.

Warstwą nadrzędną pozostaje człowiek. To użytkownik nadaje sens pozostałym warstwom i to w stosunku do jego potrzeb przestrzeń jest oceniana. W projektowaniu oświetlenia przekłada się to na konieczność uwzględnienia widzialności i możliwości rozpoznania innych osób, odczytania ich sylwetek i twarzy, oraz zrozumienia układu przestrzeni, rozpoznania kierunków poruszania się oraz odczucia, że miejsce jest zorganizowane i przewidywalne. Człowiek nie jest jednym z elementów struktury obok innych, lecz punktem odniesienia dla ich interpretacji (Boyce, 2014; Boyce et al., 2000; Haans & de Kort, 2012; Kaplan & Chalfin, 2022).

3.4.2 Różnicowanie znaczenia elementów przestrzeni w zależności od kontekstu i użytkowania

Choć wskazane wyżej warstwy można uznać za podstawowe składniki przestrzeni publicznej, ich znaczenie projektowe nie jest stałe. Zależy ono od typu miejsca, jego morfologii, funkcji, struktury użytkowników oraz sposobu użytkowania po zmroku. Ta sama warstwa może w jednej przestrzeni odgrywać rolę pierwszoplanową, a w innej jedynie uzupełniającą. W przestrzeni rezydencjalnej szczególne znaczenie mogą mieć strefy wejść, chodnik, elewacje parterów i zielen przyuliczna, podczas gdy w przestrzeni tranzytowej dominować będzie warstwa ruchu i czytelność kierunków. W placu miejskim większej rangi nabiorą relacje pomiędzy otaczającymi pierzejami, posadzką i dominantami, natomiast w parku czy skwerze szczególnego znaczenia nabierze relacja pomiędzy ciągami pieszymi, roślinnością, strefami pobytu (Carmona et al., 2010; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Trancik, 2003). Różnicowanie to jest kluczowe dlatego, że projektowanie oświetlenia polega na określeniu ich wzajemnej hierarchii poszczególnych przestrzeni i ich elementów. Problem projektowy dotyczy więc tego, czy dany element ma być oświetlony, ale także tego, jaką rolę ma pełnić w nocnym obrazie miejsca i w jakim stopniu powinien uczestniczyć w budowaniu jego czytelności, bezpieczeństwa i estetyki.

Struktura przestrzeni publicznej ma charakter relacyjny. Znaczenie poszczególnych warstw ujawnia się dopiero wtedy, gdy zostaną one odniesione do konkretnego układu przestrzennego i do konkretnych form użytkowania (Montgomery, 1998; Mehta, 2014; Rapoport, 1977). Takie rozumienie problemu stanowi istotne założenie dla dalszych badań własnych oraz późniejszej interpretacji wyników. Znaczenie elementów przestrzeni powinno być analizowane zarówno przez pryzmat parametrów oświetleniowych, jak i przez ich udział w organizacji całego nocnego obrazu miejsca. Wzmacnia to potrzebę warstwowego i kontekstowego ujęcia problemu. W podobnym kierunku prowadzą najnowsze badania nad percepcją oświetlenia w parkach, zespołach mieszkaniowych i innych przestrzeniach ogólnodostępnych. Pokazują one, że użytkownicy nie oceniają światła w oderwaniu od układu miejsca, lecz przez pryzmat relacji pomiędzy przebiegiem ciągów, obecnością zieleni, możliwością obserwacji otoczenia, widocznością innych ludzi i charakterem aktywności podejmowanych w danej przestrzeni (Lis et al., 2023; Lis et al., 2024a; Liu et al., 2026). Tym samym znaczenie warstw przestrzeni ujawnia się nie jako wartość uniwersalna, lecz jako wynik konkretnego układu przestrzennego i społecznego.



Ryc.20. Kontekst układu urbanistycznego w relacji do oczekiwań i aktywności ludzi oraz znaczenia miejsca. Promenada w Lecco (IT). Fot. Piotr Ratajkiewicz..

Elementy struktury przestrzeni publicznej należy traktować jako nośniki potrzeb oświetleniowych. Ich analiza pozwala rozpoznać, które warstwy powinny być w danym

rodzaju miejsca traktowane jako podstawowe, a które jako wspierające wraz z określeniem miejsc wymagających ochrony przed światłem.

3.5 Typowe układy przestrzeni publicznych i ich zróżnicowane potrzeby oświetleniowe

W praktyce projektowej i badawczej przestrzenie publiczne ujawniają się jako powtarzalne układy cech morfologicznych, funkcjonalnych i społecznych. Ich rozpoznanie daje możliwość wskazania, w jaki sposób określone konfiguracje przestrzeni generują podobne potrzeby i problemy oświetleniowe. Typowe układy przestrzeni publicznych w niniejszej dysertacji stanowią poziom pośredni pomiędzy opisem pojedynczych cech miejsca, a klasyfikacją kontekstu przestrzennego według potrzeb oświetleniowych (Carmona et al., 2010; Rapoport, 1977; Trancik, 2003; Wejchert, 1984)¹². W praktyce projektowej szczególne znaczenie mają te układy przestrzeni, które występują najczęściej i równocześnie najpełniej pokazują zróżnicowanie problemów oświetleniowych. Do tej grupy układów przestrzeni należą przede wszystkim ulice i drogi w obszarach zabudowanych, place i rynki, węzły komunikacyjne i przestrzenie przesiadkowe, centra lokalne, parki i skwery, osiedla mieszkaniowe, a także drogi i przestrzenie ogólnodostępne w obszarach słabiej zurbanizowanych lub niezabudowanych. Każdy z tych układów łączy w sobie odmienny układ warstw przestrzeni, inną relację pomiędzy ruchem a pobytem, inną intensywność użytkowania po zmroku oraz inny zakres napięcia pomiędzy potrzebą bezpieczeństwa, orientacji, komfortu, estetyki i ochrony środowiska (Bartnicka, 2017; Carmona et al., 2010; Gehl, 2010; Gehl et al., 2006).

Pierwszą i najbardziej rozpowszechnioną grupą są ulice i drogi w obszarach zabudowanych (Ryc.21). W ich przypadku wspólnym mianownikiem jest współwystępowanie warstwy ruchu, warstwy dojść pieszych, warstw pionowych tworzonych przez elewacje lub zieleń oraz stref wejść i lokalnych aktywności. W zależności od typu zabudowy ulica może mieć charakter wyraźnie tranzytowy, mieszany albo lokalny. Ulica śródmiejska o zwartych pierzejach, aktywnych parterach i intensywnym ruchu pieszym stawia inne wymagania niż ulica osiedlowa z zabudową jednorodziną, a jeszcze inne niż ulica prowadzona przez obszary magazynowe czy przemysłowe. Wspólny problem pozostaje jednak podobny: trzeba pogodzić wymagania bezpieczeństwa ruchu z potrzebą czytelności wnętrza, rozpoznawalności granic, właściwego oświetlenia stref wejściowych i zachowania relacji pomiędzy warstwą poziomą a pionową (Lynch, 1960; Wejchert, 1984; Żagan, 2021). Nowsze badania dotyczące zespołów mieszkaniowych pokazują przy tym, że poczucie bezpieczeństwa po zmroku jest związane nie tylko z jasnością nawierzchni, lecz także z pionowymi składnikami oświetlenia, jakością rozkładu światła i możliwością obserwacji innych użytkowników (Liu et al., 2026).

¹² Takie ujęcie ma znaczenie metodologiczne. Klasyfikacja oparta wyłącznie na nazwach typów przestrzeni, takich jak ulica, plac, park czy osiedle, byłaby zbyt uproszczona. Nazwy te porządkują materiał, lecz same nie określają jeszcze potrzeb oświetleniowych. Istotne stają się dopiero relacje między formą przestrzeni, sposobem jej użytkowania, obecnością użytkowników, charakterem otoczenia oraz zakresem obserwacji po zmroku.



Ryc.21. Ulica w zwartej zabudowie jako przykład układu, w którym potrzeby oświetleniowe wynikają z relacji pomiędzy warstwą ruchu, przejściami i strefami wejściowymi. Poznań, ul. Wrocławska. Fot. P. Ratajkiewicz.

Drugą grupę tworzą place (Rysunek 17) i rynki, a więc układy, w których oświetlenie porządkuje pole widzenia, relacje pomiędzy posadzką i przejściami oraz hierarchię dominant i akcentów. O ile w ulicy kluczowa pozostaje zwykle czytelność sekwencji i kierunku ruchu, o tyle w placu większego znaczenia nabierają zawartość przestrzeni, rozpoznanie granic, skala wnętrza, relacje pomiędzy strefami pobytu i przejścia oraz reprezentacyjny lub wspólnotowy charakter miejsca. W układach tego typu światło



Ryc.22. Plac jako przykład układu, w którym latarnie organizują zarówno orientację, jak i nocny obraz przestrzeni. Nicea (FR) Fot. P. Ratajkiewicz.

powinno umożliwiać bezpieczne przebywanie, jak i wspierać rozumienie przestrzeni jako całości, akcentować wejścia i ważniejsze obiekty oraz utrzymywać spójność nocnego obrazu. Atrakcyjność publicznych placów miejskich zależy od zdolności lokowania zróżnicowanych aktywności i czytelnych relacji pomiędzy strukturą miejsca a sposobem jego użytkowania (Carmona et al., 2010; Istrate et al., 2025; Trancik, 2003; Wejchert, 1984).

Trzecią grupę stanowią węzły komunikacyjne i przestrzenie przesiadkowe (Ryc.23). Są to miejsca, w których znaczenie warstwy ruchu i orientacji przestrzennej osiąga zwykle najwyższy poziom, ale nie wyczerpuje jeszcze całego problemu. Węzeł komunikacyjny jest przestrzenią intensywnego, często wielokierunkowego użytkowania, w której użytkownik musi szybko rozpoznawać kierunki, zmiany poziomów, punkty dojścia, strefy oczekiwania i sylwetki innych osób. W tego typu układach szczególnie ważne stają się czytelność granic, czytelność pionowych elementów organizujących ruch, ograniczenie olśnienia i kontrastów oraz poczucie przewidywalności sytuacji przestrzennej. Są to zatem jedne z najbardziej wymagających przestrzeni, ponieważ łączą wysoką intensywność użytkowania z koniecznością szybkiego prowadzenia wzroku i podwyższoną wrażliwością na dezorientację (Boyce, 2014; Gehl et al., 2006; Rapoport, 1977). Zależność ta znajduje potwierdzenie również w badaniach eksperymentalnych wykorzystujących środowiska wirtualne, które pokazują, że poziom i układ nocnej iluminacji wpływają na reakcje psychologiczne związane z lękiem i oceną bezpieczeństwa (Son et al., 2025).



Ryc.23. Węzeł komunikacyjny i punkt przesiadkowy. Dworzec Kolejowy w San Remo, (IT).
Fot. P. Ratajkiewicz.

Czwartą kategorię tworzą centra lokalne, czyli przestrzenie codziennych usług, spotkań i aktywności sąsiedzkiej. Ich znaczenie polega na tym, że łączą funkcje komunikacyjne, handlowe, społeczne i orientacyjne, ale zwykle w skali mniejszej niż centra śródmiejskie. Oświetlenie takich miejsc powinno wspierać przejście, przejazd, przebywanie, identyfikację funkcji usługowych, poczucie bezpieczeństwa społecznego oraz utrzymanie aktywności po zmroku. W tego typu przestrzeniach szczególnego znaczenia nabierają partery budynków, strefy wejść, miejsca krótkiego zatrzymania, mała architektura i czytelne granice wnętrza. Najwyraźniej tu widać, że oświetlenie stanowi narzędzie podtrzymywania życia publicznego, a nie tylko techniczne wyposażenie przestrzeni (Gehl, 2010; Gehl et al., 2006; Whyte, 1980).



Ryc.24. Aleja spacerowa w Parku Mickiewicza, Poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.



Ryc.25. Przykład ulicy miejskiej w zabudowie wielorodzinnej, Poznań os. Zwycięstwa.
Fot. P. Ratajkiewicz.



Ryc.26. Przykład ulicy miejskiej w zabudowie rezydencjalnej, jednorodzinnej. Poznań ul. Grodziska. Fot. P. Ratajkiewicz.

Według przyjętych założeń rozprawy centra lokalne są istotne także dlatego, że dobrze pokazują przejście od funkcji komunikacyjnej do funkcji społecznej i pobytowej, a tym samym wzmacniają argument, że potrzeby oświetleniowe muszą być ujmowane szerzej niż tylko w kategoriach widzialności drogi.

Parki, skwery i inne tereny zieleni urządzonej tworzą odrębną grupę przestrzeni (Ryc.24). Relacja między bezpieczeństwem, orientacją, atmosferą i ochroną środowiska jest w nich bardziej złożona niż w większości przestrzeni zabudowanych. W parku użytkownik porusza się zwykle w warunkach mniejszej obudowy architektonicznej, przy większym udziale zieleni, mniejszej liczbie jednoznacznych punktów orientacyjnych i większej zależności percepcji uwagi od terenu, gęstości roślinności, obecności innych ludzi i jakości utrzymania przestrzeni. W tym wypadku potrzeby oświetleniowe terenów zieleni nie mogą być określane wyłącznie na podstawie przebiegu alejek.

W wielu przypadkach ważne okazują się rozpoznawalność granic, zasięg widoczności, odczytanie charakteru miejsca jako trasy lub strefy pobytu oraz zachowanie równowagi pomiędzy dostępnością po zmroku a ochroną środowiska nocnego (Kimic & Polko, 2021; Kimic & Polko, 2022). W najnowszych badaniach wykazano wpływ oświetlenia, gęstej roślinności, topografii, obecności innych osób i lokalizacji parku na poczucie bezpieczeństwa oraz sposób użytkowania tych przestrzeni. Użytkownicy wyraźnie odróżniają park będący trasą przejścia, od parku, jako miejsca pobytu, a to rozróżnienie ma bezpośrednie konsekwencje dla sposobu projektowania oświetlenia (Aslanoğlu et al., 2025; Lis et al., 2023; Lis et al., 2024a; Lis et al., 2024b; Rahm et al., 2021).

Szóstą grupę tworzą osiedla mieszkaniowe, zarówno o zabudowie jednorodzinnej (Ryc.26), jak i wielorodzinnej (Ryc.25). Są to przestrzenie codziennego użytkowania w których oświetlenie wspiera rutynowe funkcjonowanie mieszkańców, powroty do domu, identyfikację wejść, relacje sąsiedzkie oraz poczucie bezpieczeństwa w najbliższym otoczeniu. Układy te (Tabela 4) mogą przyjmować postać zamkniętych lub półotwartych ulic osiedlowych, ciągów pieszych pomiędzy budynkami, dziedzińców, stref dojść do klatek schodowych i parków osiedlowych. Różnice pomiędzy nimi są znaczne, ale wspólną cechą pozostaje silne znaczenie stref przejściowych: chodnika, wejścia, parteru, zieleni przydomowej i widoczności innych ludzi. W przestrzeniach mieszkalnych odczuwane bezpieczeństwo zależy zarówno od jasności, lecz także od typu układu, możliwości obserwacji przestrzeni, pionowych komponentów oświetlenia oraz obecności niekontrolowanych źródeł światła. W ramach jednej ogólnej kategorii „osiedle” potrzeby oświetleniowe mogą być znacząco zróżnicowane (Liu et al., 2026).

Wreszcie osobnego potraktowania wymagają drogi w obszarach słabiej zurbanizowanych lub niezabudowanych (Ryc.27). W ujęciu normatywnym mogą być one traktowane jako układy komunikacyjne jednak krajobraz i środowiskowo jest inne niż w przestrzeni miasta. Brak czytelnych ścian wnętrza, niedoświetlone tło krajobrazowe sprawiają, że kształtowanie będzie odbiegać od projektowania oświetlenia w przestrzeniach zurbanizowanych. W takich układach większego znaczenia nabiera ograniczanie emisji światła poza strefę rzeczywistej potrzeby, unikanie nadmiernego kontrastu z ciemnym otoczeniem i zachowanie proporcji pomiędzy bezpieczeństwem użytkowania a ochroną krajobrazu nocnego. Przyjęcie wyłącznie typologii morfologicznej jako jedyne aspekty do podjęcia decyzji projektowej może okazać się błędne.

Podobny układ komunikacyjny może mieć zupełnie inny profil potrzeb w obszarze śródmiejskim, podmiejskim lub krajobrazowo wrażliwym.

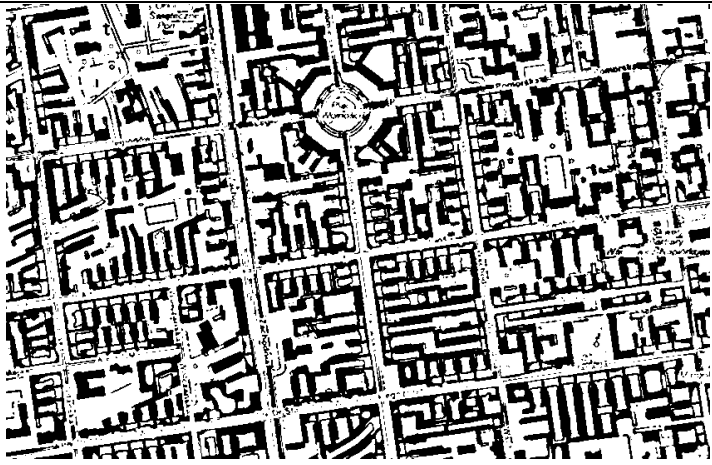
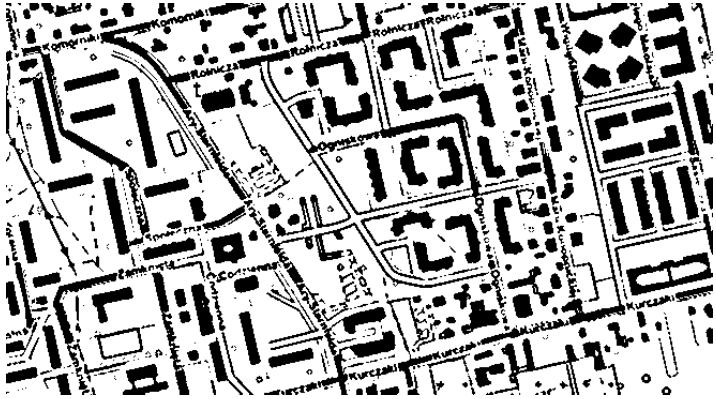
Osiedla domów: jednorodzinnych, bliźniacze szeregowe	
Osiedla budynków wielorodzinnych: zabudowa kwartałowa	
Osiedla budynków wielorodzinnych: Bloki w luźnej zabudowie	

Tabela 4. Układy przestrzenne zabudowy osiedli mieszkaniowych. Opracowanie własne na podstawie GESUT, obszar Łódź, www.goportal.pl

Wymienione układy nie są traktowane jako zamknięte klasy typologiczne, lecz jako grupy reprezentujące powtarzalne konfiguracje cech przestrzennych i użytkowych. Dzięki temu mogą pełnić podwójną funkcję. Po pierwsze, porządkują wywód i pozwalają pokazać, że potrzeby oświetleniowe rzeczywiście różnią się pomiędzy ulicą, placem, parkiem, osiedlem czy obszarem tranzytowym. Po drugie, i to jest ważniejsze, stanowią materiał prowadzący do wniosku, że zamknięta lista typów przestrzeni nie może być jeszcze podstawą klasyfikacji końcowej. Jej wartość polega na tym, że ujawnia

powtarzalne konfiguracje warstw, użytkowników, relacji widokowych, sposobów użytkowania i ograniczeń środowiskowych. To właśnie te konfiguracje, a nie zdefiniowanie miejsc, powinny zostać w dalszej części pracy przełożone na klasyfikatory kontekstu przestrzennego. Rozpoznanie typowych układów przestrzeni publicznych jest etapem pośrednim pomiędzy analizą elementów struktury przestrzeni a formalizacją klasyfikacji potrzeb oświetleniowych.



Ryc.27. Droga w obszarze niezabudowanym. Poznań ul. Bałtycka. Fot. P. Ratajkiewicz.

3.6 Uwarunkowania krajobrazowe, historyczne i konserwatorskie jako czynniki modyfikujący potrzeby oświetleniowe

Wyodrębnienie typowych układów przestrzeni publicznych nie oznacza jeszcze, że ich potrzeby oświetleniowe mogą być określane wyłącznie na podstawie morfologii, funkcji i sposobu użytkowania. W poprzednim podrozdziale wyodrębniono typy układów przestrzeni publicznych określane na podstawie układu i sposobu użytkowania. O ostatecznym sposobie kształtowania światła współdecydują dodatkowe uwarunkowania związane z wartością krajobrazową miejsca, jego historycznym charakterem, ochroną konserwatorską albo szczególną wrażliwością środowiskową. Typ przestrzeni nie może być traktowany jako samowystarczalna i zamknięta podstawa decyzji projektowej. W pewnych przypadkach ten sam układ morfologiczny będzie wymagał innego podejścia oświetleniowego z powodu zmienności rangi miejsca, zakresu dopuszczalnej ingerencji, charakteru nocnego krajobrazu albo poziomu ochrony środowiska i czy dziedzictwa kulturowego (Carmona et al., 2010; Lynch, 1960; Rapoport, 1977). Klasyfikacja kontekstu przestrzennego nie może mieć charakteru wyłącznie addytywnego, opartego na prostym sumowaniu cech morfologicznych i funkcjonalnych. Musi uwzględniać właściwości miejsca, które nie definiują jego podstawowego typu, ale wyznaczają dopuszczalny zakres działań projektowych. Do tej grupy należą uwarunkowania krajobrazowe, przyrodnicze, historyczne i konserwatorskie. Cechy te powinny być rozumiane jako czynniki korekcyjne albo wzmacniające, które mogą zmieniać hierarchię potrzeb oświetleniowych, modyfikować relacje pomiędzy warstwami przestrzeni,

a w konsekwencji wpływać także na późniejszy rozkład preferencji w modelu decyzyjnym. Taki sposób ujęcia pozostaje spójny z założeniem, że klasyfikacja kontekstu poprzedza ocenę wariantów i wyznaczanie preferencji, a więc nie może abstrahować od tych ograniczeń i wartości miejsca, które w praktyce realnie kształtują decyzję projektową. W odniesieniu do uwarunkowań krajobrazowych podstawowe znaczenie ma fakt, że przestrzeń publiczna nigdy nie funkcjonuje w izolacji od szerszego obrazu miejsca. Jej odbiór po zmroku zależy od lokalnych parametrów oświetleniowych, jak i od relacji z otoczeniem, zasięgu widoków, obecności wody, zieleni wysokiej, dominant krajobrazowych, osi widokowych oraz poziomu ciemności tła. W przestrzeniach otwartych, nadrzecznych, parkowych, nadmorskich czy położonych na styku miasta i obszarów naturalnych światło oddziałuje zarówno na bezpośrednią warstwę użytkową, jak i na krajobraz nocny jako całość. W takich miejscach projektowanie musi wykraczać poza bazowe doświetlenia ciągu komunikacyjnego lub strefy pobytu. Istotnym staje się zachowanie proporcji pomiędzy czytelnością miejsca a ochroną jego nocnego charakteru, ograniczanie emisji światła poza obszar rzeczywistej potrzeby oraz unikanie działań, które rozbijają spójność nocnego krajobrazu albo prowadzą do jego nadmiernej antropizacji (Dincel et al., 2024; Dominoni et al., 2016; Kotarba, 2019).

Szczególnego znaczenia nabierają tu obszary przyrodniczo wrażliwe, strefy zieleni o wysokiej wartości ekologicznej, nabrzeża, parki, obrzeża miast, tereny rolne, leśne oraz obszary o ograniczonym poziomie istniejącego tła świetlnego. W takich przestrzeniach podstawowym problemem projektowym staje się pytanie, gdzie, kiedy i w jakim zakresie oświetlenie powinno ono być stosowane. Jest to wyraźne przesunięcie akcentu: z maksymalizacji widzialności ku świadomej selektywności oświetlenia. W konsekwencji niektóre przestrzenie, które z perspektywy morfologicznej mogłyby wydawać się podobne do innych układów rekreacyjnych lub komunikacyjnych, będą wymagały odmiennych rozwiązań z uwagi na konieczność ochrony ciemności nocnej, siedlisk przyrodniczych, migracji zwierząt albo integralności nocnego pejzażu. Zależność pomiędzy klasyfikacją potrzeb oświetleniowych a środowiskową wrażliwością miejsca, potwierdzają badania nad nocnym obrazem miasta, pokazujące, że charakter pejzażu świetlnego pozostaje w ścisłym związku z morfologią układu przestrzennego, rozmieszczeniem funkcji i skalą urbanizacji (Fan & Biljecki, 2024).

Drugą grupę czynników modyfikujących stanowią uwarunkowania historyczne i konserwatorskie. Ich znaczenie dotyczy znacznie szerszego problemu: relacji między światłem a autentycznością miejsca, czytelnością jego historycznej struktury oraz zakresem dopuszczalnej ingerencji w jego obraz nocny. W obszarach historycznych światło bardzo silnie wpływa na odbiór materiału, faktury, rytmu elewacji, skali ulic, dominant przestrzennych i charakteru wnętrz urbanistycznych. Nadmiar światła, złe dobrany rozkład akcentów albo techniczna dominacja opraw może prowadzić do zubożenia czytelności historycznej struktury, utraty hierarchii przestrzennej i zatracenia jakości nocnego obrazu miejsca. Z kolei rozwiązania zbyt zachowawcze albo ograniczone wyłącznie do minimalnych wymagań użytkowych mogą osłabiać orientację, czytelność granic oraz możliwość bezpiecznego i świadomego odbioru przestrzeni. Dlatego w obszarach historycznych i objętych ochroną konserwatorską zagadnienie polega na znalezieniu takiego zakresu ingerencji, który respektuje wartość dziedzictwa czy środowiska, a równocześnie odpowiada na potrzeby współczesnego użytkowania

(Bartnicka, 2017; Norberg-Schulz, 1980; Wejchert, 1984). W tym kontekście szczególnie ważne staje się rozróżnienie pomiędzy oświetleniem, które wspiera nocną percepcję historycznej struktury, a oświetleniem, które ją zastępuje lub osłabia. W przestrzeniach zabytkowych zachowanie poprawności technicznej i bezpieczeństwa ruchu drogowego jest niewystarczające. Równie istotna pozostaje czytelność układu ulic i placów, hierarchii wejść, przebiegu ważnych osi, rytmu elewacji, dominant i akcentów architektonicznych. Wymaga to zachowania większej dyscypliny projektowej w zakresie temperatury barwowej, dystrybucji światła, ograniczania reklam świetlnych, sposobu prowadzenia akcentów oraz relacji pomiędzy warstwą użytkową a iluminacyjną. Tego rodzaju logika jest widoczna w praktyce planowania oświetlenia dla historycznych centrów miast, gdzie nacisk kładzie się na autentyczność miejsca, porządek światła, ograniczanie przypadkowości reklam świetlnych, właściwy dobór temperatury barwowej oraz wzmacnianie nocnej percepcji ważnych obiektów i ciągów prowadzących. Uwarunkowania konserwatorskie należy traktować jako czynnik modyfikujący interpretację kontekstu przestrzennego, a nie jako podstawę wydzielania całkowicie osobnego, autonomicznego typu przestrzeni. Taki zabieg byłby metodologicznie mylący, ponieważ mieszałby podstawę typologiczną z warunkiem modyfikującym. Ulica historyczna pozostaje nadal ulicą, plac historyczny pozostaje nadal placem, a nadrzeczna przestrzeń rekreacyjna objęta ochroną krajobrazową nadal zachowuje cechy przestrzeni nadrzecznej lub parkowej. Zmienia się jednak zakres dopuszczalnych działań, pożądany sposób hierarchizacji warstw, relacja pomiędzy funkcją użytkową a ekspozycją wizualną, a niekiedy także sama akceptowalna intensywność i czas działania oświetlenia. Uwarunkowania historyczne i konserwatorskie powinny być traktowane jako warstwa interpretacyjna, która koryguje podstawowy profil potrzeb.

Dobrym przykładem są śródmiejskie przestrzenie o wysokiej wartości kompozycyjnej, gdzie temperatura barwowa, akcenty świetlne oraz relacja między oświetleniem użytkowym a iluminacyjnym wpływają na nocną interpretację miejsca (Ryc.28). Dlatego obszary historyczne (Ryc.29) wymagają świadomego ważenia celów i podporządkowania rozwiązań oświetleniowych logice miejsca. Historyczny charakter przestrzeni wykracza poza zagadnienie iluminacji obiektowej, a jest czynnikiem wpływającym na cały profil decyzji oświetleniowej. Wnioski te prowadzą do szerszej konsekwencji metodologicznej. Jeżeli w klasyfikacji kontekstu przestrzennego uwzględniane mają być rzeczywiście te cechy, które wpływają na decyzję projektową, to nie można ograniczyć się do podstawowego typu przestrzeni. Potrzebne są takie klasyfikatory, które pozwolą uchwycić poziom ekspozycji krajobrazowej, obecność osi widokowych, wartość historycznej kompozycji, stopień ochrony konserwatorskiej, wrażliwość środowiskową i ograniczenia wynikające z potrzeby ochrony ciemności nocnej. Cechy te nie muszą tworzyć odrębnych typów, ale powinny działać jako modyfikatory podstawowego profilu potrzeb. Tylko wtedy możliwe stanie się zachowanie porządku typologicznego, a równocześnie uniknięcie błędu polegającego na traktowaniu wszystkich ulic, placów czy parków jako przestrzeni projektowo równorzędnych



Ryc. 28. Przykład wysokiej jakości projektu oświetlenia zabytkowej tkanki miasta. Stary Rynek w Poznaniu. Fot. P. Ratajkiewicz.



Ryc.29. Ulica w obszarze ochrony konserwatorskiej jako przykład przestrzeni, w której potrzeby oświetleniowe są modyfikowane przez wartość historyczną i rangę kompozycyjną miejsca. Fot. P. Ratajkiewicz.

Podsumowując rozwiązaniem jest potraktowanie uwarunkowań krajobrazowych (Ryc.30), historycznych i konserwatorskich jako czynników, które modyfikują podstawowy profil potrzeb danego układu przestrzennego. Dzięki temu możliwe staje się zachowanie porządku typologicznego, a jednocześnie uwzględnienie tych sytuacji, w których o wyborze rozwiązania nie decyduje już sama forma przestrzeni, lecz jej wartość, wrażliwość i zakres dopuszczalnej ingerencji.



Ryc.30. Przestrzeń promenady jako przykład układu, w którym potrzeby oświetleniowe są modyfikowane przez ekspozycję krajobrazową, obecność wody i relację z ciemnym tłem nocnego pejzażu. Konstancja (DE). Fot. P. Ratajkiewicz.

3.7 Klasyfikacja kontekstu przestrzennego według cech i potrzeb oświetleniowych

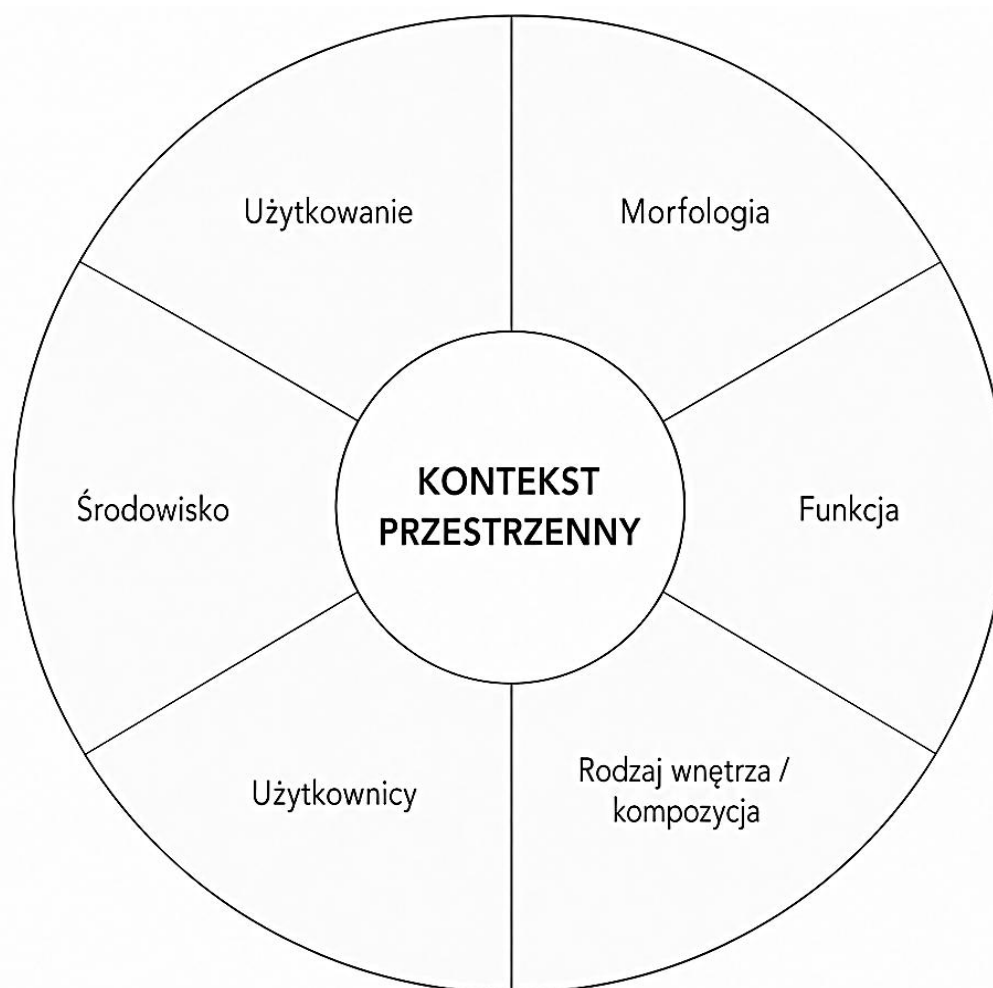
Przedstawiona klasyfikacja ma na tym etapie charakter analityczno-koncepcyjny; jej przydatność i operacyjność zostaną następnie zweryfikowane w badaniach własnych oraz w syntezie modelowej. Oba te porządki zachowują znaczenie pomocnicze, ale nie są wystarczające do uchwycenia rzeczywistej złożoności problemu projektowego. Z jednej strony normy porządkują podstawowe sytuacje ruchu zmotoryzowanego i pieszego i dostarczają parametrów odniesienia, z drugiej zaś typowe układy przestrzeni pozwalają rozpoznać powtarzalne konfiguracje warstw, użytkowników i form użytkowania. Żaden z tych porządków nie przesądza jednak samodzielnie o tym, jakie potrzeby oświetleniowe należy uznać w danym miejscu za podstawowe, a jakie za wtórne. Ostateczna klasyfikacja musi więc zostać oparta na bardziej operacyjnym poziomie opisu, to znaczy na takich cechach kontekstu, które rzeczywiście różnicują profil potrzeb oświetleniowych i mogą zostać wykorzystane w dalszych etapach modelowania decyzji (Appleyard, 1981; Carmona et al., 2010; Nasar, 1998; Rapoport, 1977)¹³.

3.7.1 Założenia klasyfikacji kontekstu przestrzennego

Punktem wyjścia przyjętej klasyfikacji jest założenie, że potrzeby oświetleniowe wynikają z układu cech przestrzeni oraz sposobu jej użytkowania, a nie z jednej dominującej właściwości. Dlatego model opisu miejsca oparto na klasyfikacji wielowymiarowej, w której każda przestrzeń otrzymuje zestaw klasyfikatorów odnoszących się do różnych wymiarów kontekstu. Pozwala to z jednej strony zachować porządek opisu, z drugiej zaś uniknąć błędu polegającego na przypisywaniu podobnych potrzeb oświetleniowych przestrzeniom, które łączy wyłącznie ogólna nazwa, lecz różni je struktura, użytkownicy, środowisko i charakter nocnego funkcjonowania.

W niniejszej pracy przyjęto, że klasyfikacja kontekstu przestrzennego powinna opierać się na sześciu podstawowych grupach cech (Ryc.31). Pierwszą z nich pełni morfologia przestrzeni, a więc ogólna forma układu: ulica lub obszar zabudowany, droga lub obszar niezabudowany, układ liniowy, wewnątrz zamknięte, półotwarte lub otwarte.

¹³ Klasyfikacja kontekstu przestrzennego narzędzie porządkowania problemu projektowego. Jej celem stworzenie takiej struktury opisu, która pozwoli uchwycić najważniejsze cechy miejsca i przełożyć je na logikę dalszej oceny wariantów. Rozumienie klasyfikacji jako struktury opisu, a nie zamkniętego katalogu, znajduje dodatkowe uzasadnienie w badaniach nad jakością przestrzeni publicznej. Mehta podkreśla, że ocena miejsca nie może abstrahować od relacji pomiędzy cechami przestrzeni, a zrachowaniami i doświadczeniem użytkowników, natomiast Ewing i Handy pokazują, że nawet te właściwości, które wydają się trudne do uchwycenia, takie jak czytelność, złożoność czy obrazowość przestrzeni, mogą być traktowane jako realne cechy analityczne, a nie wyłącznie intuicyjne wrażenia. Z kolei Nasar wskazuje, że obraz wartościujący miasta jest budowany przez użytkowników na podstawie zestawu cech środowiska, a nie samej nazwy miejsca. W modelu oświetleniowym klasyfikacja powinna opisywać te właściwości przestrzeni, które wpływają na odbiór jej nocnej jakości. Kluczowe jest więc rozpoznanie układu cech miejsca, a nie samo przypisanie go do jednej, formalnej kategorii urbanistycznej (Ewing & Handy, 2009; Mehta, 2014; Nasar, 1998).



Ryc.31. Zestaw podstawowych klasyfikatorów kontekstu przestrzennego: morfologia, funkcja, rodzaj wnętrza/kompozycja, użytkownicy, środowisko, użytkowanie. Opracowanie własne.

Drugi wymiar stanowi funkcja miejsca, rozumiana nie jako formalna kwalifikacja planistyczna sama w sobie, lecz jako dominujący charakter użytkowania: mieszkalny, usługowy, rekreacyjny, przemysłowy, komunikacyjny i podobne. Trzeci klasyfikator odnosi się do rodzaju wnętrza i kompozycji przestrzeni, a więc do sposobu organizacji granic, relacji widokowych, dominant, osi i stopnia otwartości lub zamknięcia układu. Czwarty wymiar obejmuje użytkowników i społeczność, czyli pytanie o to, kto przede wszystkim korzysta z danego miejsca i w jakim typie aktywności. Piąty dotyczy środowiska, a więc obecności zieleni, relacji z wodą, ekspozycji krajobrazowej, wrażliwości przyrodniczej lub historycznej. Szósty odnosi się do użytkowania w czasie, czyli do rytmu aktywności, dominacji ruchu lub pobytu, okresowości użytkowania oraz typowych scenariuszy nocnego funkcjonowania. Taki układ klasyfikatorów został przyjęty w macierzy kontekstowej opracowanej w niniejszej pracy oraz w zestawieniu przypadków terenowych, gdzie opis obejmuje morfologię, funkcję, rodzaj wnętrza, użytkowników, środowisko i użytkowanie. Zestaw ten tworzy rezultat redukcji materiału pojęciowego wyprowadzonego z analizy literatury, norm oraz logiki problemu projektowego. Przyjęte rozwiązanie wykazuje kilka zalet. Po pierwsze, pozwala zachować elastyczność opisu. To samo miejsce może bowiem należeć do podobnego typu morfologicznego co inne przestrzenie, lecz jednocześnie różnić się funkcją, użytkownikami lub stopniem

wrażliwości środowiskowej, a więc wymagać innego podejścia projektowego. Po drugie, klasyfikacja oparta na zestawie cech lepiej odpowiada praktyce projektowej, w której decyzje podejmowane są wobec konkretnego miejsca o określonych parametrach i ograniczeniach. Po trzecie, taki układ opisu jest łatwiejszy do przełożenia na logikę modelu wielokryterialnego, ponieważ poszczególne klasyfikatory mogą później stanowić podstawę do różnicowania preferencji nadrzędnych, wag lub interpretacji wyników.

Klasyfikator	Deskrypcja:	Przykładowe zakresy opisu	Znaczenie dla potrzeb oświetleniowych
Morfologia	Ogólna formę układu przestrzennego i jego podstawową strukturę przestrzenną	ulica lub obszar zabudowany; droga lub obszar niezabudowany; układ liniowy; wnętrze otwarte; wnętrze półotwarte; wnętrze zamknięte	Wpływa na sposób rozkładu światła, relacje między warstwami przestrzeni, stopień domknięcia wnętrza oraz zakres potrzeb związanych z czytelnością granic i kierunków
Funkcja	Dominujący charakter użytkowania miejsca	mieszkalna; usługowa; handlowa; rekreacyjna; komunikacyjna; przemysłowa; reprezentacyjna; wielofunkcyjna	Różnicuje hierarchię potrzeb związanych z bezpieczeństwem, orientacją, estetyką, aktywnością społeczną i identyfikacją miejsca
Rodzaj wnętrza / kompozycja	Sposób organizacji granic, osi, relacji widokowych i stopień otwartości układu	osiowe; nieosiowe; regularne; nieregularne; z dominantą; z silnym zamknięciem widokowym; z ekspozycją krajobrazową	Wpływa na potrzebę wzmacniania osi, akcentów, dominant, relacji planów oraz nocnej czytelności struktury przestrzeni
Użytkownicy	Główne grupy korzystające z przestrzeni oraz charakter ich obecności	mieszkańcy; piesi; rowerzyści; kierowcy; turyści; dzieci; osoby starsze; użytkownicy okazjonalni; użytkownicy tranzytowi	Pozwala różnicować potrzeby związane z widocznością ludzi, poczuciem bezpieczeństwa, komfortem orientacji i warunkami nocnego użytkowania
Środowisko	Relacja miejsca z zielenią, wodą, krajobrazem oraz wrażliwością przyrodniczą lub historyczną	zielen przyuliczna; parkowa; nadrzeczna; przywodna; ekspozycja krajobrazowa; obszar historyczny; obszar konserwatorski; obszar wrażliwy ekologicznie	Wpływa na ograniczenia emisyjne, potrzebę ochrony ciemności nocnej, selektywność oświetlenia oraz zakres dopuszczalnej ingerencji w obraz miejsca
Użytkowanie	Sposób funkcjonowania miejsca w czasie i dominujące scenariusze nocnego użycia	ruch tranzytowy; pobyt; ruch i pobyt; użytkowanie stałe; okresowe; intensywne; ograniczone; dzienne z niewielkim użyciem nocnym; aktywne wieczorem	Wpływa na wymagany czas działania oświetlenia, poziom jego intensywności, znaczenie warstwy użytkowej oraz relację między funkcją użytkową a budowaniem atmosfery miejsca

Tabela 4. Proponowany zestaw klasyfikatorów kontekstu przestrzennego i przykładowe zakresy ich opisu. Opracowanie własne.

W świetle powyższego klasyfikacja kontekstu przestrzennego nie powinna być rozumiana jako sztywna matryca, w której każda przestrzeń musi zostać przypisana do jednej z góry zamkniętej kategorii. Bardziej trafne jest rozumienie jej jako struktury opisu, która umożliwia identyfikację dominujących cech miejsca i ich wzajemnego układu. Ostateczny profil potrzeb oświetleniowych nie wynika z jednej etykiety, lecz z konfiguracji kilku klasyfikatorów. Ulica mieszkaniowa w zabudowie jednorodzinnej, liniowa, półzamknięta, użytkowana głównie przez mieszkańców, z zielenią przyuliczną i podstawowym rytmem użytkowania, będzie tworzyła inny profil potrzeb niż ulica śródmiejska usługowa o aktywnych parterach i intensywnym ruchu pieszym, choć obie przestrzenie pozostają „ulicami”. Podobnie park o charakterze tranzytowym będzie wymagał innego podejścia niż park pobytowy, mimo że oba należą do kategorii terenów zieleni. To właśnie dlatego klasyfikacja oparta wyłącznie na typach przestrzeni okazuje się niewystarczająca. Tak rozumiana klasyfikacja pozostaje zgodna z praktyką analizy jakości przestrzeni publicznych. W modelu oświetleniowym powinna obejmować geometrię

miejsca, jego potencjał społeczny, zakres obserwacji, rodzaj obecności ludzi oraz typ nocnego użytkowania.¹⁴

3.7.2 Znaczenie klasyfikacji dla badań własnych i modelu decyzyjnego

Znaczenie przyjętej klasyfikacji ujawnia się w tym, że porządkuje ona zarówno część empiryczną pracy, jak i późniejszą formalizację modelu decyzyjnego. W badaniach własnych (6 Badania empiryczne i ich wyniki) klasyfikacja pozwala na organizację doboru przypadków, ich opisu i interpretacji wyników. W pracy opisano bazę przypadków poszczególnych przestrzeni poprzez zestaw cech odpowiadających wypracowanej logice: morfologii, funkcji, rodzajowi wnętrza, użytkownikom, walorom środowiskowym i użytkowaniu. Dzięki temu każdy przypadek stanie się reprezentantem określonej konfiguracji cech kontekstu. Takie podejście wzmacnia porównywalność materiału badawczego i wyprowadzanie wniosków nie tylko o pojedynczych lokalizacjach, ale także o szerszych profilach potrzeb oświeceniowych. Ta sama logika ujawnia się również w konstrukcji badania ankietowego. Przyjęta klasyfikacja stanowi podstawę późniejszego doboru przypadków badawczych i porównywania reprezentatywnych konfiguracji przestrzeni. Umożliwia to analizę zarówno pomiędzy typami przestrzeni, jak i pomiędzy różnymi stanami oświetlenia, bez redukcji problemu do arbitralnego zestawu nazw miejsc. W modelu decyzyjnym klasyfikacja kontekstu pełni funkcję podstawowego etapu rozpoznania miejsca. Skoro celem rozprawy jest opracowanie narzędzia wspomagającego decyzje projektowe, model musi najpierw określić profil analizowanej przestrzeni, a następnie powiązać go z układem preferencji i kryteriów oceny. Klasyfikacja kontekstu poprzedza więc właściwą ocenę wariantów i zapobiega traktowaniu wszystkich przypadków według tego samego, stałego zestawu wag. Dzięki temu model zachowuje zdolność różnicowania decyzji projektowych w zależności od charakteru, funkcji i sposobu użytkowania przestrzeni. Byłoby to sprzeczne zarówno z logiką przeprowadzonych badań, jak i z podstawowym założeniem rozprawy, zgodnie z którym potrzeby oświeceniowe mają charakter zróżnicowany i kontekstowy.

Przyjęta klasyfikacja ma znaczenie praktyczne dla projektowania i zarządzania. Przy użyciu tak skonstruowanego narzędzia kwalifikacji, projektant lub decydent nie otrzyma gotowej odpowiedzi, lecz uporządkowany sposób myślenia o miejscu. Zamiast pytać wyłącznie, jaka norma obowiązuje dla danej przestrzeni albo jaki poziom natężenia światła należy osiągnąć, może najpierw rozpoznać, z jakim układem cech ma do czynienia, jakie warstwy mają znaczenie podstawowe, jaki jest profil użytkowania, jakie są ograniczenia środowiskowe lub krajobrazowe i dopiero wtedy przejść do oceny rozwiązań¹⁵.

¹⁴ Whyte pokazywał, że działanie miejsca zależy od szczegółowych relacji między układem fizycznym a zachowaniem użytkowników, Appleyard podkreślał znaczenie ulicy jako środowiska życia, a nie wyłącznie korytarza transportowego, zaś Gehl i Svarre zwracają uwagę, że analiza życia

¹⁵ Współczesne badania nad nocnym środowiskiem świetlnym wzmacniają taki kierunek myślenia. Fan i Biljecki pokazują, że nocny krajobraz świetlny jest rozpoznawalny i mierzalny właśnie jako efekt konfiguracji cech przestrzennych i zabudowy, a nie wyłącznie jako suma punktów świetlnych. Z kolei Liu i współautorzy wskazują, że ocena bezpieczeństwa nocnego w zespołach

PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU

Przeprowadzona analiza prowadzi do wniosku, że kontekst przestrzenny stanowi podstawową kategorię różnicującą potrzeby oświetleniowe w przestrzeniach publicznych. Projektowanie oświetlenia nie powinno opierać się na rozpoznaniu rzeczywistych cech miejsca, sposobu jego użytkowania oraz relacji między strukturą przestrzeni a jej nocnym odbiorem.

Najważniejsze ustalenia przeprowadzonej analizy są następujące:

- kontekst przestrzenny warunkuje potrzeby oświetleniowe, z uwagi na to, że cechy miejsca, jego struktura, funkcja, intensywność użytkowania i znaczenie społeczne decydują o zakresie oraz charakterze wymaganych interwencji świetlnych¹⁶;
- podejście normatywne i funkcjonalne jest konieczne, lecz niewystarczające, gdyż nie ujmuje całej złożoności nocnego funkcjonowania przestrzeni publicznych, zwłaszcza w odniesieniu do czytelności miejsca, orientacji, odbioru estetycznego, tożsamości przestrzeni oraz bezpieczeństwa odczuwanego;
- przestrzenie o zbliżonej funkcji mogą wymagać odmiennych rozwiązań oświetleniowych, jeżeli różnią się skalą wnętrza urbanistycznego, układem zabudowy, obecnością zieleni, strukturą użytkowników, rytmem użytkowania lub znaczeniem kompozycyjnym;
- analiza potrzeb oświetleniowych musi mieć charakter wielowymiarowy i obejmować równocześnie uwarunkowania techniczne, architektoniczne, środowiskowe, społeczne i percepcyjne;
- z metodologicznego punktu widzenia konieczne jest takie ujęcie kontekstu przestrzennego, które pozwala opisać cechy miejsca za pomocą uporządkowanych kategorii analitycznych, stanowiących podstawę dalszej oceny i porównywania rozwiązań;
- rozpoznanie kontekstu prowadzi do uznania projektowania oświetlenia za problem wyboru wariantu, a nie jedynie doboru parametrów technicznych lub urządzeń;
- zmienność i wielowymiarowość potrzeb oświetleniowych uzasadniają konieczność budowy aparatu wielokryterialnej oceny, zdolnego integrować cele funkcjonalne, przestrzenne, estetyczne, środowiskowe, techniczne i ekonomiczne.

W rozdziale 3 ustanawiano ramę analityczną dla dalszego toku rozprawy. Wykazano, że bez uprzedniego rozpoznania kontekstu przestrzennego nie jest możliwe ani trafne formułowanie założeń projektowych, ani późniejsze różnicowanie kryteriów oceny rozwiązań oświetleniowych.

mieszkaniowych wynika z połączenia obiektywnych cech środowiska świetlnego z percepcją użytkowników, a więc dokładnie z takiego przecięcia danych przestrzennych i percepcyjnych, które ta klasyfikacja ma porządkować (Fan & Biljecki, 2024; Liu et al., 2026).

4

Wymiary projektowe i techniczne oceny oświetlenia przestrzeni publicznych

4 Wymiary projektowe i techniczne oceny oświetlenia przestrzeni publicznych

Oświetlenie należy traktować jako element współkształtujący sposób odbioru i użytkowania przestrzeni po zmroku, a zarazem jako przedmiot decyzji projektowej wymagającej uwzględnienia wielu współzależnych wymiarów. Znaczenie ma zarówno warstwa architektoniczna i kompozycyjna rozwiązania, jak i jego osadzenie w normach, technologiach, infrastrukturze oraz szerszych strategiach planowania oświetlenia. Poszczególne decyzje projektowe nie pozostają przy tym neutralne. Wpływają na czytelność miejsca, jakość nocnego obrazu przestrzeni, relacje pomiędzy jej elementami, możliwości zarządzania systemem, trwałość rozwiązania oraz zakres jego przyszłej adaptowalności (Martyniuk-Pęczek, 2014; Markvica et al., 2019; Valetti et al., 2023; Hovorov et al., 2022). Praktyka projektowa przez długi czas rozwijała się wokół zagadnień widzialności, bezpieczeństwa ruchu i zgodności z wymaganiami ilościowymi. Doprowadziło to do silnego ugruntowania warstwy obliczeniowej i normatywnej, lecz nie zawsze szło w parze z równie rozwiniętym aparatem oceny jakości przestrzennej, architektonicznej i kompozycyjnej. Tymczasem badania nad percepcją oświetlenia oraz nad nocnym doświadczeniem przestrzeni wskazują, że to samo rozwiązanie poprawne technicznie może prowadzić do odmiennych efektów przestrzennych i percepcyjnych, zależnie od układu miejsca, rozkładu światła, relacji pomiędzy planami widokowymi oraz sposobu użytkowania przestrzeni po zmroku (Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018; Castilla et al., 2024; Rozman Cafuta, 2021). Współczesne przemiany technologiczne dodatkowo rozszerzają zakres tej decyzji. Rozwiązania LED, systemy sterowania dynamicznego, monitoring parametrów pracy oraz narzędzia wspomagające zarządzanie infrastrukturą zwiększają możliwości optymalizacji, ale zarazem ujawniają nowe napięcia pomiędzy efektywnością energetyczną, kosztami, jakością nocnego obrazu przestrzeni i środowiskowymi konsekwencjami emisji światła. Poza efektem wizualnym ocenie podlega także trwałość systemu, jego serwisowalność, podatność na sterowanie, ślad środowiskowy oraz zgodność z długofalową logiką zarządzania przestrzenią publiczną. Ocena musi więc obejmować zarówno poprawność techniczną, jak i udział światła w kształtowaniu nocnego obrazu oraz użytkowania przestrzeni. (Pizzuti et al., 2013; Doulos et al., 2019; Thiel et al., 2017; Traverso et al., 2017; Skarżyński & Wiśniewski, 2024). Rozdział porządkuje projektowe i techniczne wymiary późniejszej oceny wariantów oświetleniowych (Pracki, 2020; Rozman Cafuta, 2021; Ratajkiewicz & Michalak, 2023). Wyodrębnia obszary wymagające operacjonalizacji i weryfikacji w badaniach własnych.

4.1 Projektowanie oświetlenia jako wybór wariantu

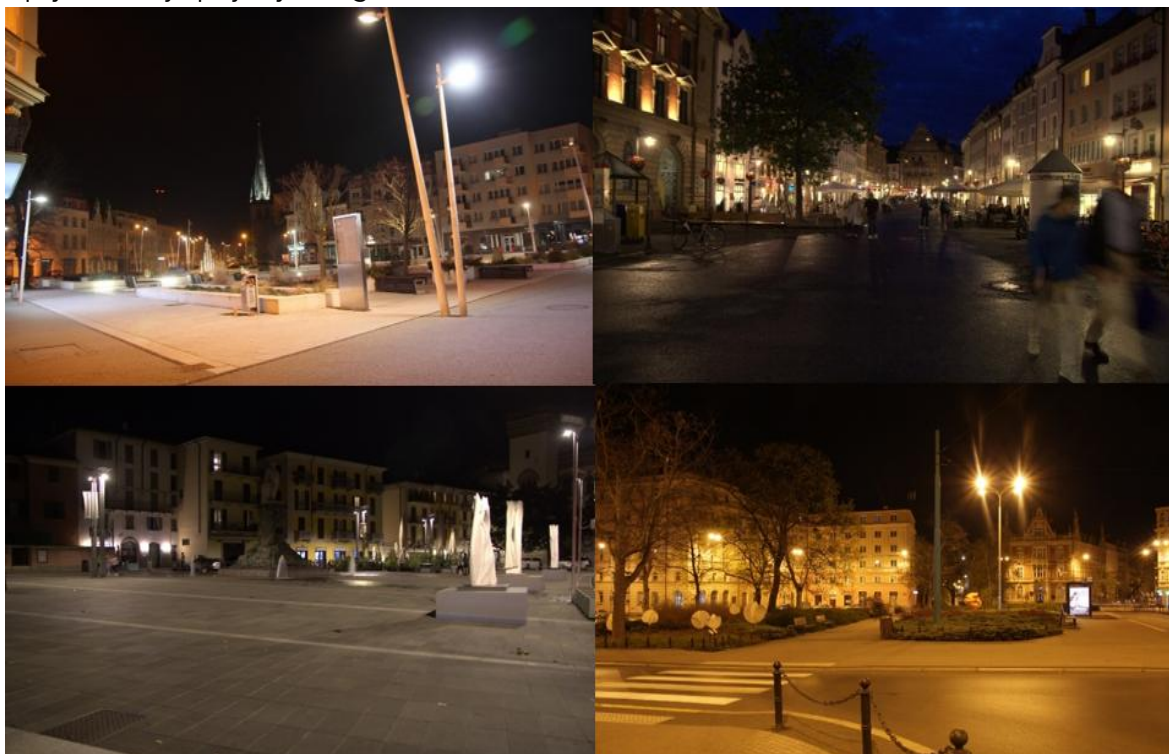
Warunkiem poprawnego rozpoznania problemu projektowego w obszarze oświetlenia przestrzeni publicznych jest uprzednie ustalenie, czego w istocie dotyczy podejmowana decyzja projektowa. W praktyce sprowadza się ona do doboru opraw,

słupów, parametrów technicznych lub wariantu spełniającego wymagania normowe przy możliwie niskim koszcie realizacji i eksploatacji. Jak ustalono wcześniej do decyzji projektowej należy włączyć aspekty pozatechniczne. Przesuwa to punkt ciężkości z doboru urządzeń na wybór wariantu przestrzenno-oświetleniowego, w którym warstwa funkcjonalna, kompozycyjna, techniczna, eksploatacyjna i środowiskowa tworzą wspólny przedmiot oceny. Tak rozumiane projektowanie oświetlenia oznacza, że decyzja nie dotyczy wyłącznie poziomu oświetlenia powierzchni ruchu, lecz także zakresu oddziaływania światła na pozostałe warstwy przestrzeni, w tym płaszczyzny pionowe, zielen, granice wnętrza urbanistycznego, miejsca zatrzymania, wejścia, strefy orientacji oraz elementy budujące tożsamość miejsca (Ryc.32). W konsekwencji wybór rozwiązania obejmuje poza parametrami fotometrycznymi i klasą oświetleniową, także rozmieszczenie i formę infrastruktury, hierarchię oświetlanych elementów, przewidywane koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, możliwości sterowania, utrzymania i modernizacji systemu, a także skutki środowiskowe wynikające z przyjętego wariantu.

Rozszerzone rozumienie przedmiotu decyzji nie jest jednak dominujące w literaturze dotyczącej oświetlenia publicznego¹⁷. Z punktu widzenia architektury i urbanistyki nie jest to wystarczające, ponieważ dobra decyzja oświetleniowa musi odnosić się nie tylko do infrastruktury, lecz do jakości konkretnej przestrzeni. Jeszcze wyraźniej widać to w badaniach nad bezpieczeństwem odczuwanym. Van Rijswijk i Haans wykazali, że ocena bezpieczeństwa po zmroku zależy od światła oraz cech przestrzeni sprzyjających poczuciu zagrożenia lub możliwości ucieczki. Badania Liu i współautorów, przeprowadzone w zespołach mieszkaniowych w Xi'an, wskazują natomiast na znaczenie oświetlenia w strefie człowieka oraz negatywny wpływ olśnienia i przypadkowych, niekontrolowanych źródeł światła. Wniosek metodologiczny: rozwiązanie poprawne z punktu widzenia minimalnych wymagań ilościowych może pozostawać nieadekwatne z perspektywy użytkownika, jeżeli nie odpowiada rzeczywistej logice odbioru miejsca. Tym

¹⁷ Znaczna część badań i narzędzi wspomagających wybór rozwiązania ujmuje problem częściowo: jako zagadnienie efektywności energetycznej, zarządzania systemem, modernizacji infrastruktury, procedur przetargowych lub optymalizacji wybranych parametrów technicznych. Carli, Dotoli i Pellegrino koncentrują się na optymalizacji energetycznej modernizacji systemów oświetlenia ulicznego, Doulos i współautorzy budują system wsparcia dla oceny ofert przetargowych z naciskiem na wskaźniki energetyczne i kryteria środowiskowe, natomiast inne opracowania wielokryterialne obejmują głównie parametry techniczne, kosztowe i energetyczne. Są to opracowania cenne, lecz ich wspólną cechą pozostaje dominacja perspektywy techniczno-systemowej. Potwierdzają to nowsze badania zorientowane na użytkownika i percepcję nocnego środowiska. Markvica, Richter i Lenz wykazali, że scenariusze oświetlenia ulicznego wpływają na percepcję przestrzeni publicznej i zachowania mobilności, a odpowiednio dobrane rozwiązania LED mogą poprawiać nie tylko efektywność systemu, lecz także odbiór przestrzeni. Castilla i współautorzy pokazali, że subiektywna ocena środowiska świetlnego mieszkańców układa się wokół takich wymiarów jak wystarczalność, jednorodność, innowacyjność czy olśnienie, a ich znaczenie zależy od rodzaju aktywności podejmowanych w danym miejscu. Rozman Cafuta wskazuje z kolei, że ocena jakości oświetlenia w przestrzeniach otwartych powinna obejmować również wymiar komfortu środowiskowego i percepcyjnej adekwatności, a nie wyłącznie wskaźniki techniczne. Zbliżony kierunek potwierdzają badania Burattini, Bisegny i De Santoliego, w których wykazano, że relacja pomiędzy luminancją ulicy a komfortem nocnego chodzenia nie ma charakteru prostego i liniowego. Wnioski te wzmacniają zasadność ujmowania projektu nie jako decyzji o pojedynczym parametrze, lecz jako decyzji o konfiguracji wielu współzależnych cech rozwiązania.

samym wybór rozwiązania oświetleniowego powinien być rozpatrywany jako wybór wariantu organizacji nocnego środowiska przestrzennego, a nie jako techniczna optymalizacja pojedynczego wskaźnika (Tabela 5)



Ryc.32. Przestrzeń placów miejskich zrealizowana w zróżnicowany sposób w zakresie rozkładu oświetlenia. Od góry: Świnoujście (PL), Konstancja (DE), Lecco (IT), Poznań (PL).
Fot. P. Ratajkiewicz.

Ujęcie redukcyjne	Ujęcie właściwe z punktu widzenia rozprawy
wybór oprawy lub słupa	wybór wariantu organizacji nocnego środowiska przestrzennego
spełnienie klasy oświetleniowej	uzyskanie adekwatnej jakości przestrzeni po zmroku
minimalizacja kosztu inwestycji	równoważenie kosztu, jakości, utrzymania i wpływu środowiskowego
oświetlenie warstwy ruchu	kształtowanie relacji między warstwą ruchu, architekturą, zielenią i orientacją
dobór parametrów technicznych	dobór hierarchii oddziaływania światła, infrastruktury i sposobu zarządzania
rozwiązanie branżowe	rozwiązanie przestrzenno-techniczne o skutkach społecznych, ekonomicznych i środowiskowych

Tabela 5. Redukcyjne i właściwe ujęcie przedmiotu decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych. Źródło: opracowanie własne.

Przyjęcie takiej perspektywy ma bezpośrednie konsekwencje dla budowy modelu decyzyjnego. Jeżeli projektowanie oświetlenia jest wyborem wariantu, to porównaniu powinny podlegać nie pojedyncze urządzenia, lecz kompletne rozwiązania opisane przez zakres oddziaływania światła, hierarchię oświetlanych warstw przestrzeni, sposób rozmieszczenia infrastruktury, parametry techniczne, koszty realizacji i eksploatacji, warunki utrzymania oraz oddziaływanie środowiskowe. Dopiero tak zdefiniowany wariant może być oceniany wielokryterialnie. W przeciwnym razie model zostałby zredukowany do logiki techniczno-ekonomicznej, a nie do logiki projektowej. Zasadne staje się więc przyjęcie, że podstawową jednostką oceny w dalszej części rozprawy będzie wariant rozwiązania oświetleniowego dla określonej przestrzeni, opisany jednocześnie przez jego cechy przestrzenne, użytkowe, techniczne, ekonomiczne i środowiskowe (Tabela 6).

Składnik opisu wariantu	Zakres opisu
Kontekst przestrzeni	typ przestrzeni, struktura wnętrza, sposób użytkowania, grupa użytkowników
Zakres oddziaływania światła	jezdnie, chodniki, elewacje, wejścia, zieleń, elementy wolnostojące
Hierarchia oświetlenia	elementy podstawowe, uzupełniające, akcentowane
Infrastruktura	typ opraw, słupów, wysięgników, rozmieszczenie, wysokość montażu
Parametry techniczne	moc, rozsył, barwa światła, sterowanie, ośnienie, równomierność
Eksploatacja i zarządzanie	trwałość, serwisowalność, monitoring, elastyczność sterowania
Ekonomia	koszt inwestycyjny, koszt energii, koszt utrzymania, koszt cyklu życia
Oddziaływanie środowiskowe	emisja zbędnego światła, wpływ na otoczenie, przyrodnicze, energochłonność

Tabela 6. Minimalny zakres opisu wariantu oświetleniowego w modelu decyzyjnym. Źródło: opracowanie własne.

Wniosek dla modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że w modelu wspomagania decyzji projektowych przedmiotem oceny **wariant rozwiązania oświetleniowego dla konkretnej przestrzeni**. Wariant ten powinien być oceniany z perspektywy kontekstu przestrzennego, celów i ograniczeń projektowych i preferencji inwestora, opisywany wielowymiarowo, co najmniej przez: zakres oddziaływania światła, hierarchię oświetlanych warstw przestrzeni, sposób rozmieszczenia i formę infrastruktury, parametry techniczne, koszty realizacji i eksploatacji, warunki utrzymania oraz oddziaływanie środowiskowe (Ryc.33). Kryteria normowe i obliczeniowe powinny być zatem traktowane jako jeden z wymiarów oceny, a nie jako jej substytut.



Ryc.33. Logika wyboru wariantu projektu oświetlenia. Opracowanie własne.

4.2 Warstwa architektoniczna w projektowaniu światła

W ujęciu urbanistycznym i architektonicznym to właśnie ta warstwa projektu oświetleniowego współtworzy granice wnętrza, porządkuje relacje pomiędzy planami widokowymi, buduje skalę miejsca, wzmacnia jego tożsamość oraz umożliwia odczytanie struktury przestrzennej po zmroku. Jeżeli światło obejmuje wyłącznie jezdnię, chodnik lub inne powierzchnie ruchu, a pozostawia w ciemności ściany wnętrza, strefy wejść, detale parterów, zieleni wysoką i elementy orientacyjne, wówczas przestrzeń może tracić część swojej czytelności, głębi i zdolności do przekazywania informacji o własnej strukturze. W takim przypadku techniczna poprawność rozwiązania nie musi oznaczać jakościowego powodzenia projektu.

Znaczenie warstwy architektonicznej wynika już z samej logiki odbioru przestrzeni. Człowiek nie doświadcza miasta jako rzutu z góry ani jako jednorodnej płaszczyzny, lecz jako układu ścian, krawędzi, otwarć, zamknięć, dominant, tła i sekwencji widokowych. Z tej perspektywy elewacje budynków, arkady, partery usługowe, pierzeje drzew, strefy wejściowe, mała architektura i inne elementy pionowe są częścią nośnej struktury wnętrza urbanistycznego. W warunkach nocnych ich znaczenie dodatkowo wzrasta, dlatego że to właśnie one pozwalają odczytać granice miejsca, oszacować jego skalę, rozpoznać funkcję i kierunki poruszania się oraz uchwycić relacje pomiędzy pierwszym planem a tłem. Oświetlenie ścian wnętrza urbanistycznego, przynajmniej w zakresie niezbędnym do ich odczytania, wpływa na orientację, rozpoznawanie relacji przestrzennych, odczuwanie proporcji i identyfikację miejsca. Szczególnego znaczenia nabiera tu relacja pomiędzy warstwą komunikacyjną a warstwą pionową. W praktyce projektowej, zwłaszcza po upowszechnieniu precyzyjnych opraw LED, łatwo dochodzi do sytuacji, w której oświetlenie zostaje skoncentrowane głównie na powierzchniach poziomych. Efektem bywa poprawa warunków widzenia jezdni czy chodnika przy jednoczesnym osłabieniu czytelności całego wnętrza urbanistycznego. Nowsze badania nad poczuciem bezpieczeństwa pokazują, że odbiór nocnej przestrzeni zależy zarówno od natężenia oświetlenia na podłożu, jak i od relacji światła do innych cech przestrzeni oraz od jakości rozkładu światła w strefie człowieka. Pionowy rozkład współuczestniczy w budowaniu orientacji, rozpoznawalności i odczuwanego bezpieczeństwa.

Wymiar architektoniczny dotyczy przy tym nie tylko zabudowy sensu stricto. W wielu typach przestrzeni publicznych ściany wnętrza tworzone są przez zieleń, ukształtowanie terenu, ekrany, ogrodzenia, obiekty małej architektury czy strefy przejściowe pomiędzy budynkiem a przestrzenią wspólną. Dlatego w projektowaniu światła warstwa architektoniczna obejmuje szerzej rozumiane elementy pionowe, które współtworzą granice, kierunki, głębię i hierarchię miejsca. Pomijanie tych elementów w projekcie może prowadzić do powstania przestrzeni formalnie oświetlonej, lecz kompozycyjnie nieczytelnej, szczególnie w przestrzeniach otwartych i rekreacyjnych, gdzie użytkownik odbiera miejsce jako całość, a nie sumę niezależnych powierzchni (Tabela 7). Warstwa architektoniczna ma ponadto znaczenie dla budowania nocnej tożsamości miejsca. Oświetlenie nie tylko ujawnia istniejące cechy architektury, lecz może je wzmacniać, porządkować albo osłabiać. W zależności od sposobu kształtowania światła elewacje i ich detale mogą stać się tłem, dominantą, punktem orientacyjnym albo elementem porządkującym rytm przestrzeni. Wymaga to jednak odstąpienia od zasady, w którym elewacja jest traktowana wyłącznie jako powierzchnia do okazjonalnego akcentu, a nie jako nośnik codziennej informacji przestrzennej. Warstwa architektoniczna ma w tej pracy znaczenie estetyczne, użytkowe i poznawcze. Umożliwia rozpoznawanie wejść, lokalizowanie stref aktywnych, odczytywanie ciągłości pierzei, ocenę skali miejsca oraz budowanie poczucia osadzenia w przestrzeni.

Architektura ma także znaczenie dla budowania nocnej tożsamości miejsca. Oświetlenie ujawnia istniejące cechy architektury, lecz może je też wzmacniać, porządkować albo osłabiać. W zależności od sposobu kształtowania światła elewacje i ich detale mogą stać się tłem, dominantą, punktem orientacyjnym albo elementem porządkującym rytm przestrzeni. Wymaga traktowania elewacji jako powierzchnia do okazjonalnego akcentu, jak i nośnik codziennej informacji przestrzennej.

Składnik warstwy architektonicznej	Znaczenie przestrzenne	Znaczenie oświetleniowe	Ryzyko pominięcia w projekcie
Elewacje i pierzeje	wyznaczają granice wnętrza, skalę i rytm przestrzeni	budują czytelność ścian wnętrza, tło i głębię sceny nocnej	spłaszczenie przestrzeni, utrata skali, słaba orientacja
Partery i strefy wejść	identyfikują funkcję miejsca i aktywne krawędzie	wzmacniają rozpoznawalność wejść, bezpieczeństwo i aktywność użytkową	martwe partery, słaba identyfikacja funkcji, poczucie pustki
Dominanty i akcenty architektoniczne	porządkują hierarchię widokową	wspierają orientację i budowę nocnego obrazu miejsca	chaos percepcyjny, brak punktów orientacyjnych
Zieleń wysoka i pierzeje drzew	współtworzą ściany wnętrza i domknięcia przestrzeni	mogą wzmacniać granice i czytelność, ale wymagają selektywności	utrata granic lub nadmierna emisja światła bez uzasadnienia
Mała architektura, arkady, podcienia	organizują strefy pośrednie i skalę pieszego	Wspierają odczytanie relacji człowiek-przestrzeń	słabienie lokalnej czytelności i ciągłości odbioru

Tabela 7. Warstwa architektoniczna jako składnik projektowania oświetlenia. Opracowanie własne.

Warstwa architektoniczna pełni również funkcję użytkową i poznawczą: umożliwia użytkownikowi rozpoznawać wejścia, lokalizować strefy aktywne, odczytywać ciągłość pierzei, oceniać skalę miejsca i budować poczucie osadzenia w przestrzeni. Dlatego ocena jakości oświetlenia powinna obejmować sposób, w jaki projekt ujawnia i porządkuje architektoniczną strukturę miejsca. Wymaga to operacyjnego opisu takich cech, jak czytelność ścian wnętrza, hierarchia planów, rozpoznawalność wejść, adekwatność doświetlenia parterów, relacja światła do zieleni wysokiej oraz spójność nocnego obrazu miejsca z jego strukturą dzienną (Tabela 8).

Obszar oceny	Pytanie projektowe	Typ deskryptora
Czytelność granic wnętrza	Czy projekt ujawnia ściany wnętrza urbanistycznego i ich relacje?	jakościowy, kontekstowy
Rozpoznawalność wejść i parterów	Czy światło wspiera identyfikację stref aktywnych i punktów dostępu?	jakościowy / ilościowy
Hierarchia planów i akcentów	Czy projekt porządkuje dominanty, tło i plany pośrednie?	jakościowy
Spójność z architekturą miejsca	Czy forma i zakres światła są adekwatne do charakteru zabudowy?	jakościowy
Relacja do zieleni jako ściany wnętrza	Czy zieleń wzmacnia strukturę miejsca bez nadmierowej emisji światła?	jakościowy, środowiskowy
Udział warstwy pionowej w programie świetlnym	Czy projekt wykracza poza samo doświetlenie płaszczyzn ruchu?	jakościowy/ ilościowy

Tabela 8. Implikacje warstwy architektonicznej dla deskryptorów modelu. Opracowanie własne.

Dalsza budowa modelu decyzyjnego wymaga zatem kryteriów i deskryptorów, które pozwolą ocenić relację wariantu oświetleniowego do struktury architektonicznej przestrzeni: jej wzmacnianie, osłabianie albo pomijanie w nocnym obrazie miejsca.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że warstwa architektoniczna powinna być w modelu traktowana jako pełnoprawny przedmiot oceny, a nie jako uzupełnienie warstwy komunikacyjnej. Przekłada się to na konieczność wprowadzenia do modelu takich deskryptorów, które pozwolą oceniać:

1. czytelność ścian wnętrza urbanistycznego i granic przestrzeni,
2. rozpoznawalność wejść, parterów i stref aktywnych,
3. hierarchię planów, dominant i tła,
4. relację światła do zieleni pełniącą funkcję ścian lub domknięć wnętrza,
5. stopień, w jakim wariant oświetleniowy wzmacnia nocny obraz miejsca zamiast ograniczać się do oświetlenia powierzchni ruchu.

W dalszej formalizacji modelu warstwa architektoniczna powinna więc zasilać kryteria odnoszące się do jakości oświetlenia przestrzeni, spójności architektonicznej i intencjonalności koncepcji świetlnej, a częściowo także bezpieczeństwa i orientacji.

4.3 Kompozycja świetlna i jakość nocnego obrazu przestrzeni

Kompozycja świetlna stanowi jeden z podstawowych wymiarów projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych. Rozstrzyga o tym, czy poszczególne elementy przestrzeni są widoczne, oraz w jaki sposób układają się one w spójny albo niespójny obraz miejsca po zmroku. Światło jest środkiem ujawniania istniejącej struktury przestrzennej, a także czynnikiem, który może tę strukturę wzmacniać, porządkować, osłabiać albo deformować. O jakości nocnego obrazu przestrzeni decyduje ilość światła, sposób jego rozłożenia, hierarchia akcentów, relacja pomiędzy planami widokowymi, stopień ujawnienia granic wnętrza oraz to, czy światło wzmacnia logikę miejsca, czy też wprowadza do niej przypadkowość i konkurencyjne bodźce. Taki sposób ujmowania problemu jest zgodny zarówno z klasycznym rozumieniem kompozycji urbanistycznej jako układu relacji przestrzennych (Lynch, 1960; Cullen, 1997; Wejchert, 1984), jak i z nowszymi badaniami nad nocnym krajobrazem miejskim, które wskazują na potrzebę analizowania wzorów, układów i cech nocnego pejzażu odbieranego z poziomu ulicy, a nie wyłącznie zbioru pojedynczych punktów świetlnych (Fan & Biljecki, 2024).

Znaczenie kompozycji świetlnej wynika z tego, że przestrzeń publiczna jest doświadczana sekwencyjnie, w ruchu i w zmiennym tempie. Inaczej odbiera ją pieszy, który może zatrzymać się i obserwować pełny układ relacji przestrzennych, inaczej rowerzysta, a jeszcze inaczej kierowca. Wraz ze wzrostem prędkości maleje ilość informacji, którą użytkownik jest w stanie przetworzyć, a tym samym większego znaczenia nabierają czytelność linii prowadzących, rytm akcentów, zamknięcia perspektywiczne oraz hierarchia elementów dominujących. W warunkach nocnych kompozycja świetlna staje się więc odpowiednikiem kompozycji urbanistycznej widzianej w ruchu, a zarazem narzędziem organizowania tego, co w przestrzeni ma zostać odczytane jako

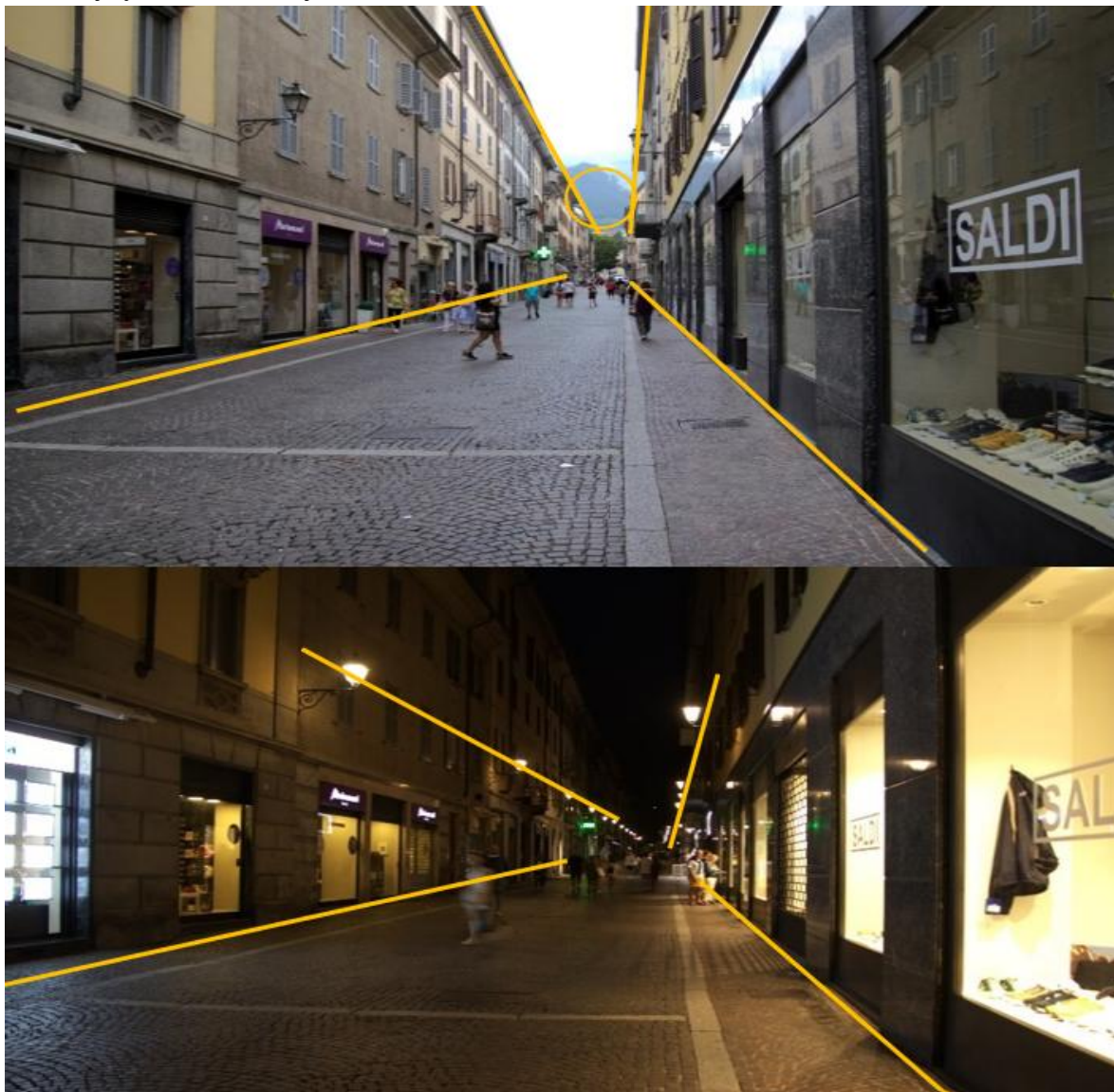
pierwszoplanowe, co pomocnicze, a co powinno pozostać tłem. Taki kierunek myślenia jest zbieżny z badaniami nad planowaniem sztucznego światła z perspektywy zróżnicowanych potrzeb wzrokowych pieszych oraz z pracami wskazującymi, że nocne środowisko publiczne powinno być projektowane nie tylko dla minimalnej widzialności, lecz także dla czytelności, orientacji i zróżnicowania odbioru (Radicchi & Henckel, 2023; Rahm & Johansson, 2021).



Ryc.34. Przykład budowania hierarchii w kompozycji świetlnej. Stary Rynek w Poznaniu.
Fot. P. Ratajkiewicz.

Z tej perspektywy szczególnego znaczenia nabiera relacja pomiędzy widocznością a hierarchią. Nie wszystkie elementy przestrzeni powinny być eksponowane z jednakową siłą. Dobre rozwiązanie świetlne polega na takim rozłożeniu luminancji, kontrastów i akcentów, które pozwala zachować czytelność układu przy jednoczesnym uniknięciu chaosu wizualnego (Ryc.34). Badania nad odbiorem oświetlenia z perspektywy pieszego pokazują, że ani skrajna jednorodność, ani przypadkowy nadmiar kontrastów nie prowadzą automatycznie do najlepszego efektu. Jak wykazały Wänström Lindh i

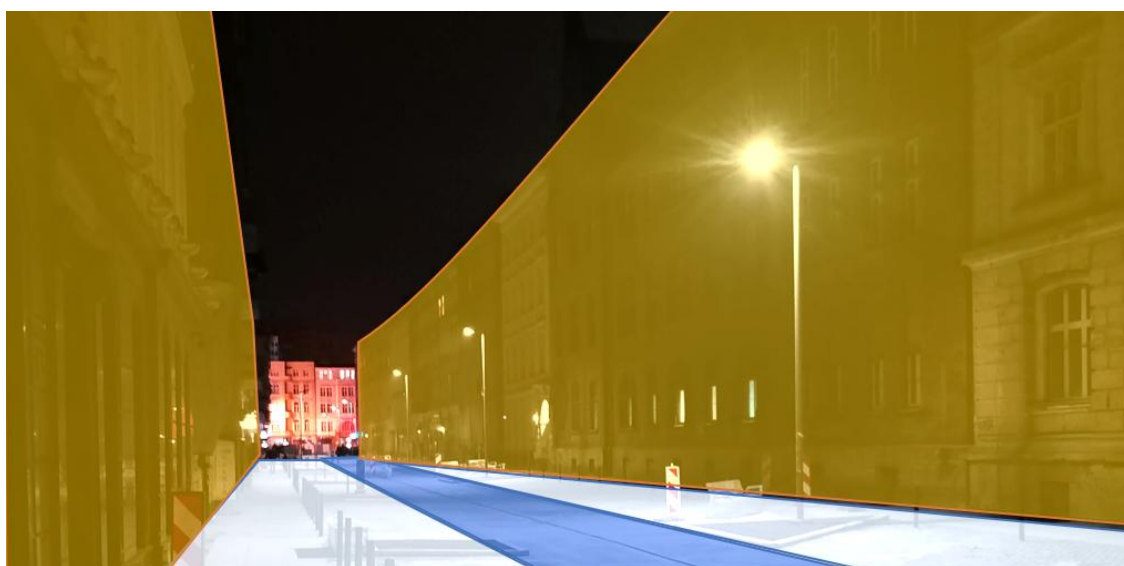
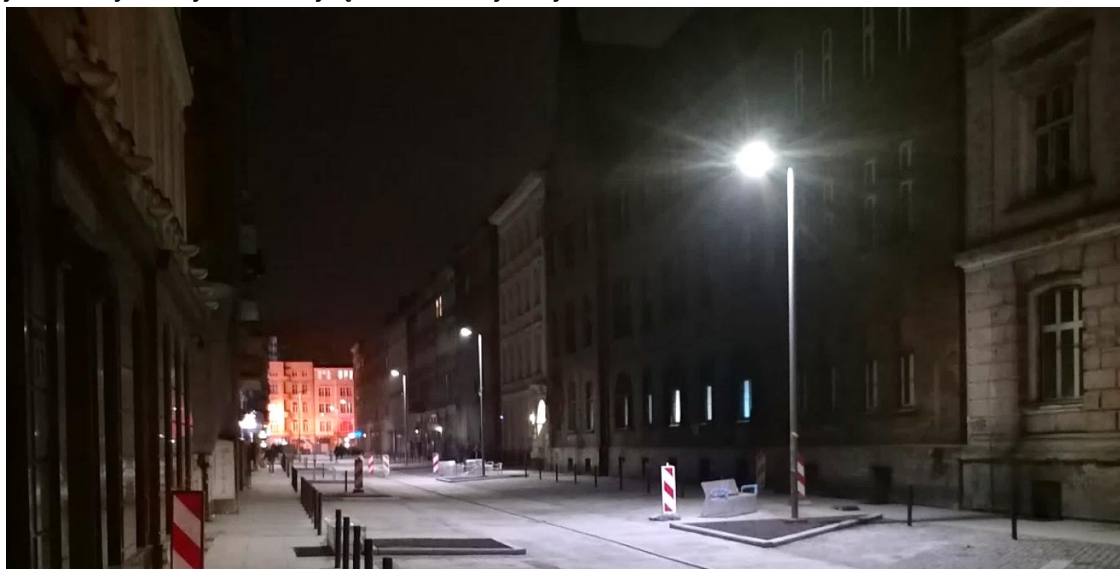
Jägerbrand (2021), doświadczenie równomierności oświetlenia na drogach pieszych jest silnie zależne od kontekstu przestrzennego i krajobrazowego, a nie tylko od wartości fotometrycznych odnoszonych do powierzchni poziomych. Z kolei Rahm i Johansson (2021) pokazali, że ocena oświetlenia z perspektywy pieszego wymaga łączenia pomiarów technicznych z badaniem percepcji, oceny i zachowań w rzeczywistym środowisku. Wskazuje to, że kompozycja świetlna ma charakter relacyjny i przestrzenny, a nie wyłącznie ilościowy.



Ryc.35. Zmiana typu kompozycji widoku dziennego i nocnego: zanik linii prowadzących przez niedoświetlenie fasad, b) zanik zamknięcia widoku c) przejęcie roli akcentów przez oprawy i maszty. Lecco (IT). Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

Kompozycja świetlna musi być zatem rozumiana jako świadome kształtowanie relacji pomiędzy akcentem, tłem, rytmem i kierunkiem odbioru. Wymaga to rozstrzygnięcia, które elementy mają pełnić rolę dominant nocnych, które powinny wzmacniać orientację, które porządkować skalę miejsca, a które pozostać celowo wycofane. Nowsze badania dotyczące subiektywnej oceny środowiska świetlnego pokazują, że użytkownicy reagują na zadowalającą ilość oświetlenia, oraz na jego uporządkowanie, wyrazistość i zgodność

z charakterem miejsca. Castilla, Blanca-Giménez, Pérez-Carramiñana i Llinares (2024) wykazali, że ocena środowiska świetlnego przez mieszkańców opiera się na bardziej złożonych wymiarach niż sama jasność, obejmując m.in. czytelność, jednorodność i ekspresję przestrzeni. Podobnie Markvica, Richter i Lenz (2019) wykazali, że różne scenariusze oświetlenia ulicznego wpływają na percepcję przestrzeni publicznej i zachowania mobilności, a zoptymalizowane rozwiązania LED mogą poprawiać nie tylko parametry techniczne, lecz także odbiór miejsca. Kompozycja świetlna ma bezpośredni wymiar użytkowy, a nie wyłącznie estetyczny.



Ryc.36. Udział płaszczyzn pionowych i poziomych w polu widzenia pieszego w ulicy śródmiejskiej. Poznań, ul. Taczaka. Źródło: opracowanie własne.

Nocny obraz przestrzeni może zmieniać kompozycji widoku (Ryc.35). Do zidentyfikowanych zjawisk należą: zanikanie linii prowadzących wskutek niedoświetlenia fasad i wyższych partii zabudowy, zanikanie linii pionowych przez brak odpowiedniego ujawnienia dominant i innych akcentów wertykalnych, a także pojawianie się nowych, niezamierzonych dominant w postaci opraw, masztów i widocznych źródeł światła, które

przejmują rolę głównych akcentów nocnego obrazu. Ustalenie to ma zasadnicze znaczenie metodologiczne, ponieważ pokazuje, że światło może podkreślać kompozycję urbanistyczną, a także przekształcać, nierzadko w sposób niekorzystny, prowadzący do dezorientacji, fragmentaryzacji widoku lub utraty właściwej hierarchii elementów. Projektowanie kompozycji świetlnej wymaga kontroli nad tym, co zostaje doświetlone oraz tym co zaczyna dominować w polu widzenia. Powstaje więc zasadnicza różnica pomiędzy zwykłym oświetleniem przestrzeni a świadomie komponowanym nocnym obrazem miejsca. W pierwszym przypadku światło spełnia przede wszystkim funkcję techniczną i użytkową. W drugim staje się nośnikiem informacji przestrzennej, który porządkuje relacje pomiędzy planami, ujawnia przebieg sekwencji widokowej, wzmacnia kierunki ruchu, wspiera identyfikację miejsca i buduje jego atmosferę. Dobra kompozycja świetlna polega więc na osiągnięciu czytelności, komfortu, właściwej struktury bodźców wzrokowych pochodzących od oświetlonej przestrzeni (Ryc.36). W aspekcie architektonicznym i urbanistycznym istotna jest zgodność kompozycji świetlnej z kompozycją samego miejsca. Jeżeli światło podporządkowane jest strukturze wnętrza urbanistycznego, jego granicom, rytmowi elewacji, dominantom, osiom i strefom aktywności, może wzmacniać czytelność i budować spójny nocny krajobraz. Przypadkowe rozmieszczenie źródeł światła, podporządkowane wyłącznie lokalnym decyzjom technicznym albo odrębnym interesom inwestycyjnym, prowadzi do konkurencji bodźców, utraty hierarchii i rozproszenia obrazu miejsca. Dlatego jakość nocnego obrazu zależy od całościowego prowadzenia kompozycji świetlnej, a nie od sumy niezależnych interwencji punktowych

Kompozycja świetlna stanowi odrębny wymiar oceny jakości rozwiązania. Ocenie podlega sposób uporządkowania nocnego obrazu miejsca, różnicowania elementów przestrzeni, zachowania hierarchii planów i akcentów, ograniczenia dominacji infrastruktury oraz wspierania orientacji i identyfikacji miejsca (Tabela 9).

Składnik kompozycji świetlnej	Znaczenie projektowe	Ryzyko błędnego ukształtowania
Hierarchia akcentów	porządkuje dominanty, tło i elementy pomocnicze	chaos wizualny, konkurencja bodźców
Relacja planu bliskiego, pośredniego i dalekiego	buduje głębię i czytelność przestrzeni	spłaszczenie obrazu, utrata orientacji
Linie prowadzące i zamknięcia perspektywiczne	wspierają ruch i odbiór sekwencyjny	dezorientacja, osłabienie kierunku odbioru
Widoczność płaszczyzn pionowych	wzmacnia granice wnętrza i skalę miejsca	redukcja przestrzeni do płaszczyzny ruchu
Kontrola widoczności infrastruktury	zapobiega dominacji opraw i masztów nad miejscem	infrastruktura staje się niezamierzoną dominantą
Rytm światła i ciemności	buduje napięcie, atmosferę i czytelność sekwencji	monotonia albo nadmierna agresywność wizualna

Tabela 9. Implikacje kompozycji oświetleniowej dla deskryptorów modelu. Źródło.

Opracowanie własne.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Kompozycja świetlna powinna być rozważana jako odrębny wymiar oceny jakości wariantu oświetleniowego. W modelu wymaga ona deskryptorów pozwalających rozstrzygnąć:

- czy projekt buduje czytelną hierarchię nocnego obrazu przestrzeni,
- czy wzmacnia sekwencyjność odbioru i logikę ruchu użytkownika,
- czy właściwie rozkłada akcenty pomiędzy planem bliskim, pośrednim i dalszym,
- czy nie dopuszcza do przejęcia roli dominant przez infrastrukturę oświetleniową,
- czy zachowuje spójność pomiędzy kompozycją światła a kompozycją samej przestrzeni.

W dalszej formalizacji modelu ustalenia te powinny zasilać przede wszystkim kryteria odnoszące się do jakości oświetlenia przestrzeni oraz spójności i intencjonalności koncepcji świetlnej, a pośrednio również te związane z orientacją, bezpieczeństwem i odbiorem estetycznym miejsca.

4.4 Normy, zalecenia ilościowe i odniesienia prawne

Normy, zalecenia ilościowe i odniesienia prawne stanowią podstawowy punkt wyjścia dla projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych. Porządkują język opisu, definiują minimalne wymagania techniczne, umożliwiają porównywalność rozwiązań oraz tworzą podstawę do obliczeń, weryfikacji i odbioru instalacji w sensie formalno-prawnym i technicznym. W europejskiej praktyce projektowej podstawowy układ odniesienia tworzą zalecenia serii EN-13201(1-5), obejmująca dobór klas oświetleniowych, wymagania eksploatacyjne, zasady obliczeń, metody pomiaru i wskaźniki efektywności energetycznej. W Polsce system ten uzupełniają przepisy techniczno-budowlane dotyczące dróg publicznych oraz wytyczne odnoszące się do sytuacji szczególnych, przede wszystkim doświetlania przejść dla pieszych. W tym sensie normy są podstawową bazą wytycznych. Wyznaczają minimalny poziom odpowiedzialności technicznej i bezpieczeństwa, bez którego trudno mówić o projektowaniu rzetelnym. Równocześnie ich funkcja pozostaje ograniczona: porządkują warunki widzialności, bezpieczeństwa ruchu, kontroli oślnienia, zużycia energii i procedury sprawdzania poprawności rozwiązania, ale przemilczają zagadnienie jakości przestrzeni publicznej po zmroku.

W praktyce projektowej dobór wymagań normowych ma charakter sekwencyjny. Najpierw identyfikowany jest typ sytuacji drogowej: obszar ruchu zmotoryzowanego, obszar konfliktowy albo przestrzeń piesza i strefa niskich prędkości. Następnie projektant analizuje prędkość, natężenie i skład ruchu, funkcję układu, geometrię oraz trudność zadania wzrokowego. Na tej podstawie przypisywana jest odpowiednia klasa M, C albo P, która uruchamia dalszy tok pracy: obliczenia, dobór geometrii instalacji, sprawdzenie parametrów. Taki porządek pokazuje, że projekt zaczyna się od rozpoznania przypadku. Jednocześnie sama Norma wskazuje, że dobór klasy jest punktem wyjścia, a nie kompletną odpowiedzią na wszystkie pytania projektowe. Problem polega na tym, że jego precyzja i operacyjność Normy sprzyjają zawężeniu pola decyzji. W codziennej praktyce

projektowej dobór klasy staje się głównym filtrem dalszego postępowania, a przestrzeń publiczna bywa sprowadzana do zadania wzrokowego związanego z poruszaniem się po powierzchni, pomijając spojrzenie na wnętrze urbanistyczne odbierane przez użytkownika. Dodatkowo powszechnie stosowane programy projektowe rozdzielają obliczenia dla powierzchni poziomych i pionowych, co wzmacnia praktykę podporządkowaną warstwie drogowej i utrudnia równoczesne modelowanie przestrzeni jako całości. Dobrana klasa oświetlenia określa wymagane minimalne parametry oświetleniowe definiując kryterium ilościowe.

Klasy M (Tabela 10) są najbardziej klasycznym przykładem logiki normowej podporządkowanej ruchowi zmotoryzowanemu. Ich podstawą jest obserwacja jezdni oraz warunków prowadzenia pojazdu. Konstrukcja tabeli pokazuje, że system ilościowy skupia się przede wszystkim na warstwie drogowej i jej widzialności.

Klasa	Lśr [cd/m²]	Uo [-]	UI [-]	fTI [%]	REI [-]
M1	2,00	0,40	0,7	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,7	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,7	10	0,35
M4	0,75	0,40	0,6	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,4	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,4	20	0,30

Tabela 10. Klasy oświetleniowe M – wymagania ilościowe dla ruchu zmotoryzowanego.

Opracowanie własne na podstawie Normy PN-EN13201.

Gdzie:

Lśr – średnia eksploatacyjna luminancja nawierzchni drogi,

Uo – równomierność całkowita luminancji,

UI – równomierność wzdłużna luminancji jezdni,

fTI – przyrost wartości progowej związany z olśnieniem przeszkadzającym,

REI – współczynnik oświetlenia poboczy jezdni.

W klasach P (Tabela 11) system normatywny dopuszcza parametry pionowe i półcyldryczne, lecz wiąże je głównie z rozpoznawalnością użytkownika, a nie z pełnym projektowaniem pionowych warstw przestrzeni publicznej.

Klasa	Eśr [lx]	Emin [lx]	Ev,min [lx]	Esc,min [lx]
P1	15,00	3,00	5,00	5,00
P2	10,00	2,00	3,00	2,00
P3	7,50	1,50	2,50	1,50
P4	5,00	1,00	1,50	1,00
P5	3,00	0,60	1,00	0,60
P6	2,00	0,40	0,60	0,20
P7	brak wymagań	brak wymagań	brak wymagań	brak wymagań

Tabela 11. Klasy oświetleniowe P – wymagania ilościowe dla przestrzeni pieszych i stref niskich prędkości. Opracowanie własne na podstawie Normy PN-EN13201.

Gdzie:

Eśr – średnie eksploatacyjne natężenie oświetlenia,

Emin – minimalne eksploatacyjne natężenie oświetlenia,

Ev,min – minimalne pionowe eksploatacyjne natężenie oświetlenia,

Esc,min – minimalne półcyldryczne eksploatacyjne natężenie oświetlenia.

Klasy C (Tabela 12) dobrze pokazują, że system normowy sprawnie opisuje przypadki, w których najważniejsze jest poziome natężenie oświetlenia w strefach konfliktowych lub złożonych sytuacjach ruchu drogowego.

Klasa	Eśr [lx]	Uo [-]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40
C5	5	0,40

Tabela 12. Klasy oświetleniowe C – wymagania ilościowe dla obszarów konfliktowych.
Opracowanie własne na podstawie Normy PN-EN13201.

Gdzie:

Eśr – średnie eksploatacyjne natężenie oświetlenia,

Uo – równomierność całkowita natężenia oświetlenia.

Obecność klas S.C. (Tabela 13) i EV (Tabela 14) jest bardzo istotna, ponieważ pokazuje, że Norma dostrzega potrzebę parametrów innych niż poziome. Jednocześnie właśnie tutaj ujawnia się podstawowy deficyt. Norma wskazuje jasno, że nie zawiera ona w sobie wytycznych dotyczących wyboru klas SC i EV, a decyzja o ich stosowaniu ma zależeć od polityki krajowej i lokalnych zasad postępowania. Dla Polski nie przygotowano wytycznych w tym zakresie. W rezultacie projektant otrzymuje wartości progowe, ale nie otrzymuje odpowiedzi na pytanie, gdzie, kiedy i w jakim celu światło pionowe powinno być stosowane w przestrzeni publicznej.

Klasa	Esc,min [lx]
SC1	10,0
SC2	7,5
SC3	5,0
SC4	3,0
SC5	2,0
SC6	1,5
SC7	1,0
SC8	0,75
SC9	0,5

Tabela 13. Klasy SC – wymagania ilościowe dla półcyldrycznego natężenia oświetlenia.
Opracowanie własne na podstawie Normy PN-EN13201.

Klasa	Ev,min [lx]
EV1	50,0
EV2	30,0
EV3	10,0
EV4	7,5
EV5	5,0
EV6	0,5

Tabela 14. Klasy EV – wymagania ilościowe dla pionowego natężenia oświetlenia. Opracowanie własne na podstawie Normy PN-EN13201.

Ujawnia się tu zasadniczy problem metodologiczny. Jeżeli przestrzeń publiczna, zgodnie z wcześniejszym wywodem dysertacji, jest rozumiana jako wnętrza urbanistyczne zbudowane z podłoża, ścian, wejść, dominant, zieleni i planów widokowych, to brak rozwiniętych wymagań dla płaszczyzn pionowych oznacza, że system normowy nie opisuje w pełni przestrzeni jako całości. Bez bardziej rozwiniętego ujęcia warstw pionowych normowy opis przestrzeni publicznej pozostaje skoncentrowany na płaszczyznach ruchu oraz na wybranych zadaniach wzrokowych, a więc nie obejmuje w pełni przestrzeni rozumianej jako złożone wnętrza urbanistyczne. To właśnie należy uznać za jedną z kluczowych braków (Tabela 15) w normie i praktyce projektowej w obszarze oświetlenia przestrzeni publicznych. W normie brakuje przełożenia wymagań pionowych na język przestrzeni publicznej. System normowy potrafi podać wartości, ale nie odpowiada w sposób wystarczający na pytanie, jakie pionowe warstwy przestrzeni z jakiego powodu powinny być objęte światłem.

Obszar	Wymagania Normy	Braki w logice doboru
Rozpoznawalność użytkowników	Częściowo uwzględnia EV i E SC w wybranych sytuacjach	Nie buduje pełnej logiki pionowej czytelności miejsca
Elewacje i ściany wnętrza urbanistycznego	Brak ogólnych wymagań projektowych	Brak zasad określających oczekiwany zakres widoczności ścian przestrzeni
Partery, wejścia, strefy aktywne	Brak systemowych wymagań	Brak wytycznych dla identyfikacji wejść i aktywnych krawędzi po zmroku
Zieleń wysoka jako ściana lub domknięcie przestrzeni	Brak bezpośrednich wymagań	Brak zasad dla roli światła pionowego w ujawnianiu granic i głębi miejsca
Relacja światła poziomego i pionowego	Częściowo obecna, lecz niesystemowo	Brak spójnej logiki proporcji zależnych od typu przestrzeni
Krajowe wytyczne ogólne	Istnieją wytyczne szczególne dla przejść dla pieszych	Brak ogólnych krajowych wytycznych dla oczekiwań widoczności w płaszczyznach pionowych

Tabela 15. Kluczowe braki w Normie dotycząc płaszczyzn pionowych. Opracowanie własne.

Drugim, torem wymagań ilościowych są ograniczenia odnoszące się do światła przeszkadzającego. W tym kontekście znaczenie ma EN 12464-2:2024, która wskazuje, że przy projektowaniu zewnętrznych miejsc pracy należy uwzględniać unikanie światła

przeszkadzającego. Jeszcze wyraźniej problem ten porządkuje CIE 150:2017, której celem jest formułowanie zaleceń służących ocenie środowiskowych skutków oświetlenia zewnętrznego oraz podawanie zalecanych granic dla parametrów ograniczających uciążliwe oddziaływanie instalacji oświetleniowych. Z kolei CIE 126:1997 poświęcono bezpośrednio minimalizowaniu poświaty nieba i ochronie warunków obserwacji nocnego nieba. Dokument ten wskazuje, że projektant powinien dążyć do możliwie najniższych poziomów emisji, chyba że szczególna funkcja miejsca uzasadnia mniej restrykcyjne podejście. Współczesne stanowisko organizacji CIE dodatkowo potwierdza, że problem światła przeszkadzającego i zanieczyszczenia światłem należy traktować jako integralną część odpowiedzialnego projektowania nocnego oświetlenia. W Tabeli 17 pokazano, że system odniesień ilościowych jest szerszy niż sam dobór klas drogowych i pieszych. Poprawność rozwiązania należy więc oceniać nie tylko przez pryzmat parametrów na powierzchni zadania, lecz także przez zdolność ograniczania emisji zbędnej, uciążliwej i środowiskowo nieuzasadnionej.

Porządek wymagań	Główne dokumenty	Główne pytanie projektowe	Typ parametrów
Widzialność i zadanie wzrokowe	CIE 115, EN 13201	Czy użytkownik ma zapewnione minimalne warunki widzenia i bezpieczeństwa?	Luminancja, natężenie, równomierność, olśnienie, rei, ev, esc
Światło przeszkadzające i poświata nieba	EN 12464-2, CIE 150, CIE 126	Czy instalacja nie emituje nadmiernego światła poza obszar uzasadniony funkcjonalnie?	Pionowe natężenie oświetlenia poza obszarem zadania, światłość opraw w kierunku intruzji, udział strumienia ku górze, luminancja powierzchni

Tabela 16. Dwa porządki wymagań ilościowych w projektowaniu oświetlenia zewnętrznego. Opracowanie własne.

Z naukowego punktu widzenia problem ten ma konsekwencje dalej idące niż sama niepełność aparatu normowego. Skoro podstawowy system wymagań ilościowych porządkuje głównie warstwę poziomą, a problem pionowego odbioru miejsca pozostawia ujęty częściowo, to konieczne staje się jego dookreślenie przez badania własne. W niniejszej rozprawie przyjęto właśnie taką logikę. Z jednej strony należy zweryfikować, jak w praktyce wygląda spełnianie wymagań normatywnych dla płaszczyzn poziomych. Bez tego nie można rzetelnie ocenić, czy współczesna praktyka projektowa rzeczywiście realizuje nawet podstawowe założenia systemu normowego. Z drugiej strony konieczne jest sprawdzenie, jak oczekiwania użytkowników wobec widoczności i czytelności warstw pionowych mają się do minimalnych wymagań technicznych. Tę funkcję pełni część ankietowa. Połączenie praktyki spełniania wymagań poziomych oraz oczekiwań dotyczących warstw pionowych – pozwala uchwycić skalę obserwowanej rozbieżności pomiędzy normą, praktyką i percepcją przestrzeni.

Normy oświetlenia drogowego i zalecenia ilościowe powinny być traktowane jako warunek konieczny, ale niewystarczający. Ich rolą jest wyznaczenie dolnej granicy poprawności technicznej i ograniczeń środowiskowych, nie zaś samodzielne rozstrzygnięcie o jakości przestrzeni po zmroku.

Normy, zalecenia ilościowe i odniesienia prawne pozostają niezbędnym rdzeniem odpowiedzialnego projektowania. Bez nich niemożliwe byłoby porównywanie wariantów, kontrola bezpieczeństwa ani weryfikacja poprawności technicznej rozwiązania (Tabela 17). Ich analiza prowadzi jednak do wniosku, że system ten jest zbudowany przede wszystkim wokół warstwy poziomej i zadania wzrokowego związanego z ruchem, podczas gdy problem pionowej czytelności przestrzeni pozostaje ujęty częściowo i bez rozwiniętych wytycznych krajowych.

Element systemu normatywnego	Rola w modelu
Klasy M, C, P	Ilościowy rdzeń warunków minimalnych oraz część kryterium bezpieczeństwa i sprawności technicznej.
Klasy SC i EV	Ważne odniesienie dla światła pionowego i półcylicylnicznego, wymagające rozszerzenia przez deskryptory kontekstowe.
Wymagania dotyczące światła przeszkadzającego	Część kryterium oddziaływania środowiskowego.
Ograniczenia poświaty nieba	Warunek odpowiedzialności środowiskowej i kontroli emisji ku górze.
Przepisy krajowe i wytyczne szczególne	Warunek zgodności formalnej, ale niepełna metoda oceny jakości przestrzeni.

Tabela 17. Znaczenie norm i zaleceń ilościowych dla modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonego wywodu wynika, że w dalszej formalizacji modelu:

- zgodność z wymaganiami Normy stanowi warunek dopuszczalności rozwiązania,
- klasy M, C i P powinny zasilać ilościowy wymiar kryterium bezpieczeństwa i sprawności technicznej,
- klasy SC i EV można traktować jako ważny sygnał potrzeby uwzględnienia światła pionowego, ale wymagający rozszerzenia przez deskryptory kontekstowe,
- wymagania dotyczące światła przeszkadzającego i poświaty nieba powinny zostać włączone do kryterium oddziaływania środowiskowego,
- brak rozwiniętych wytycznych krajowych dla widoczności w płaszczyznach pionowych można uznać za kluczową lukę normowo-projektową,
- dalsze badania własne powinny skonfrontować normatywne minimum, praktykę terenową oraz oczekiwania użytkowników wobec warstw pionowych,
- normy i zalecenia ilościowe należy traktować jako rdzeń odpowiedzialnego projektowania.

4.5 Infrastruktura i technologie oświetleniowe

Infrastruktura oświetleniowa jest odpowiedzialna zarówno za sposób działania systemu, jak i za charakter miejsca za dnia jak i po zmroku. W warunkach miejskich słup, wysięgnik, oprawa, szafa oświetleniowa, przebieg zasilania, logika sterowania i sposób montażu są jednocześnie elementami technicznymi oraz składnikami obrazu przestrzeni. Infrastruktura oświetleniowa należy do szerzej rozumianego wyposażenia miasta i

powinna być analizowana podobnie jak inne elementy małej architektury: przez pryzmat funkcji, materiału, trwałości, skali, relacji do użytkownika oraz wpływu na tożsamość miejsca. W literaturze dotyczącej wyposażenia przestrzeni publicznych podkreśla się, że elementy te poza funkcjami użytkowymi, współtworzą jakość krajobrazu miejskiego, sposób korzystania z przestrzeni oraz jej odbiór estetyczny i symboliczny. tego względu infrastrukturę oświetleniową należy rozumieć jako neutralny osprzęt jako jedną z materialnych warstw przestrzeni publicznej (Grabiec, Łacka, & Wiza, 2022; Yücel, 2013; van Uffelen, 2010). Takie ujęcie ma zasadnicze znaczenie metodologiczne.

W poprzedzających podrozdziałach wskazano, że projektowanie oświetlenia jest wyborem wariantu oraz że warstwa architektoniczna i kompozycja świetlna współdecydują o jakości nocnego obrazu miejsca, więc infrastruktura i technologia muszą zostać potraktowane jako materialny i organizacyjny nośnik tych decyzji. Projektant określa parametry świetlne oraz ich nośnik przestrzenny (Ryc.37, Ryc.38, Ryc.39): typ słupa, skalę infrastruktury, sposób jej rozmieszczenia, charakter materiałowy, widoczność dzienną i nocną, możliwości konserwacji oraz zakres przyszłej adaptacji.



Ryc.37. Zaprojektowany indywidualnie system konstrukcji-laterni oświetlenia ulicznego. ul. Corso Inghilterra, Turyn (IT), Fot. P. Ratajkiewicz.

W takim ujęciu możliwe jest przejście od opisu urządzenia do opisu wariantu projektowego, który podlega późniejszej ocenie wielokryterialnej. W praktyce architektonicznej i urbanistycznej szczególnego znaczenia nabiera forma słupa i oprawy. Dla dróg może ona być relatywnie neutralna, ale w przestrzeniach reprezentacyjnych, historycznych, śródmiejskich lub krajobrazowo wrażliwych staje się elementem porządkującym rytm ulicy, skalę wnętrza, relację do elewacji i charakter miejsca. Dobór latarni jest decyzją kompozycyjną, gdzie infrastruktura oświetleniowa jest głównym nośnikiem układu kompozycyjnego a często także konserwatorską¹⁸.

¹⁸ Dobrze pokazują to warszawskie realizacje oparte na stylizowanych „pastorałach”, w których miasto i zarządca dróg łączą historyzującą formę słupa z oprawami LED i współczesnym systemem sterowania. Przykład ten dobrze ilustruje, że forma infrastruktury może pozostawać nośnikiem pamięci miejsca, nie wykluczając jednocześnie zastosowania współczesnych technologii i systemów zarządzania (Zieliński, 2007; m.st. Warszawa, 2014; ZDM Warszawa, 2016, 2017, 2019).

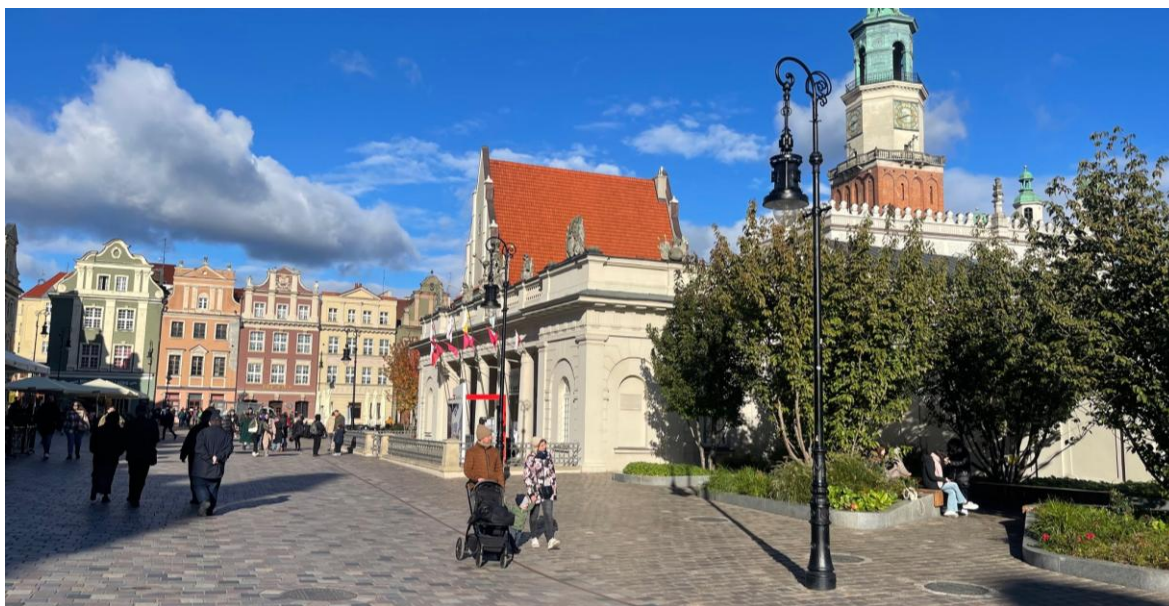
Potwierdzają to źródła specjalistyczne z zakresu projektowania światła w mieście. CIE 136:2000 wskazuje, że oświetlenie obszarów miejskich wykracza poza same poziomy luminancji i natężenia. Obejmuje modelowanie widoczności ludzi i struktur w otoczeniu, kontrolę oślnienia, dobór źródeł światła pod względem barwy i oddawania barw, wpływ na środowisko oraz estetykę wyposażenia oświetleniowego. W przewodniku Brandi i Geissmar-Brandi pokazują, że planowanie oświetlenia miejskiego wymaga jednoczesnego czytania miasta jako układu typologii przestrzennych, procesu inwestycyjnego i zestawu decyzji dotyczących opraw, słupów, lokalizacji, rodzin wzorniczych i etapowania wdrożenia. Jeszcze wyraźniej kierunek ten widać we współczesnym obiegu eksperckim CIE, w którym problem oświetlania elementów miejskich coraz częściej ujmowany dekoracyjnie, jak i funkcjonalnie, ekonomicznie, środowiskowo i urbanistycznie. W najbardziej aktualnym obiegu eksperckim infrastruktura oświetleniowa jest traktowana jako wielowymiarowy problem projektowy.



Ryc.38. Rozwiązania masowe w postaci technicznej latarni oświetlenia ulicznego. ul. Hetmańska, Poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.

Znaczenie ma także wymiar technologiczny. Współczesna transformacja systemów oświetleniowych, oparta na LED i sterowaniu cyfrowym, zasadniczo zmieniła charakter decyzji projektowej. W starszych systemach dominowało podejście statyczne: dobór mocy, rozsyłu, wysokości słupa i ewentualnie prostego harmonogramu redukcji. W systemach nowych projekt dotyczy już oświetlenia, ale także architektury danych, sposobu komunikacji, monitoringu pracy opraw, diagnostyki awarii, aktualizacji ustawień i podatności systemu na zmieniające się warunki użytkowania¹⁹. Technologia sterowania jest dziś integralnym składnikiem architektury systemu oświetleniowego.

¹⁹ Przegląd Agramelala i współautorów (2023) pokazuje, że współczesne sterowanie inteligentnym oświetleniem obejmuje dziś szerokie spektrum metod – od prostych czujników ruchu po systemy oparte na wizyjnej detekcji, sztucznej inteligencji i wielofunkcyjnych słupach miejskich. Z kolei analiza Pasoliniego i współautorów (2024) oparta na dużych, długookresowych wdrożeniach pokazuje, że systemy adaptacyjne trzeba rozumieć jako połączony układ centrum zarządzania, sieci komunikacyjnej, czujników, sterowników i warstwy serwisowej, a nie wyłącznie jako „funkcję ściemniania”.



Ryc.39. „Dzwon poznański” jako przykład połączenia formy historyzującej z technologią współczesną (źródła LED, sterowanie, regulacja dystrybucją światła). Stary Rynek. Poznań.
Fot. P. Ratajkiewicz.

Infrastruktura i technologia muszą być oceniane przez pryzmat całego cyklu życia systemu: utrzymania, awaryjności, kompatybilności komponentów, dostępności serwisu, podatności na naprawę i możliwości przyszłej modernizacji. Szczególne znaczenie ma tu kwestia serwisowalności, wymienialności i gospodarki materiałowej²⁰. Współczesne otoczenie regulacyjne nie ogranicza się już do efektywności energetycznej. Rozporządzenie Komisji (UE) 2019/2020 dotyczące ekoprojektu dla źródeł światła i oddzielnych układów zasilających wymaga w określonych sytuacjach możliwości wymiany lub demontażu źródeł i osprzętu przy użyciu powszechnie dostępnych narzędzi, a nowe unijne ramy ekoprojektu dla zrównoważonych produktów z 2024 r. wyraźnie wzmacniają kierunek związany z trwałością, naprawialnością, cyrkularnością i informacją produktową. W ocenie infrastruktury oświetleniowej istotne staje się więc to, czy projekt technologiczny sprzyja długiemu użytkowaniu urządzeń, ogranicza przedwczesną wymianę całych opraw i pozwala utrzymać system bez nadmiernego obciążenia materiałowego oraz kosztowego. Taki kierunek wspierają także europejskie opracowania dotyczące zielonych zamówień publicznych dla oświetlenia ulicznego, w których kryteria doboru nie ograniczają się do samej skuteczności świetlnej, ale obejmują trwałość, utrzymanie i oddziaływanie środowiskowe produktu (Traverso et al., 2017).

Na poziomie metodologicznym prowadzi to do wniosku, że infrastruktura i technologia oświetleniowa powinny być rozpatrywane w kilku powiązanych perspektywach, które wpływają na wymiar architektoniczny jak i techniczny inwestycji (Tabela 18). Po pierwsze jako element formy i kompozycji przestrzeni, ponieważ słup,

²⁰ Długoterminowe badania instalacji LED prowadzone przez Valettiego i współautorów (2023) pokazują, że rzeczywista ocena systemu wymaga obserwacji utrzymania parametrów fotometrycznych, potrzeb konserwacyjnych oraz trwałości urządzeń w czasie. Podobny kierunek widoczny jest w pracach Wojnickiego, Ernsta i Kotulskiego (2016) oraz Wojnickiego i Kotulskiego (2018), w których inteligentne sterowanie przynosi korzyści ekonomiczne i energetyczne, ale zarazem wymaga właściwego doboru logiki detekcji i parametrów działania.

oprawa i ich rozmieszczenie wpływają na rytm ulicy, skalę wnętrza i charakter miejsca. Po drugie jako system techniczny, którego sprawność zależy od jakości optyki, osprzętu, sterownika, komunikacji i niezawodności całego układu. Po trzecie jako obiekt zarządzania, obejmujący monitoring, diagnostykę, możliwość redukcji, reakcję na awarie i obsługę w czasie (Ryc.40). Po czwarte jako składnik rachunku cyklu życia, obejmujący koszt instalacji, koszt energii, koszt utrzymania, wymiany komponentów i przyszłych modernizacji. Dopiero takie ujęcie umożliwia przejście od wyboru oprawy do wyboru właściwego: jaki wariant infrastrukturalno-technologiczny jest adekwatny dla tej przestrzeni. To właśnie ta zmiana perspektywy ma później znaczenie dla konstrukcji kryteriów i deskryptorów modelu MCDA.

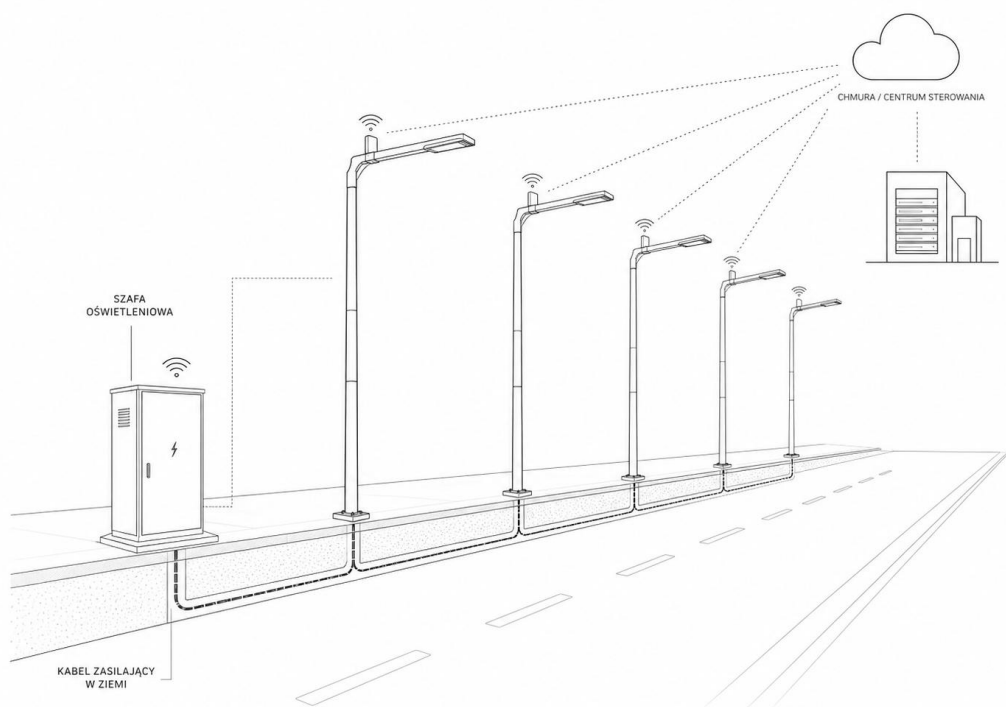
Składnik	Wymiar architektoniczno-urbanistyczny	Wymiar techniczno-eksploatacyjny
Słup	skala, rytm, relacja do elewacji, czytelność ulicy, charakter miejsca	trwałość konstrukcji, fundamentowanie, bezpieczeństwo bierne, konserwacja
Wysięgnik	proporcja i zasięg oddziaływania w przekroju ulicy	nośność, stabilność, kompatybilność z oprawą
Oprawa	widoczność dzienna i nocna, wyraz formalny, relacja do stylu miejsca	rozsył światła, olśnienie, szczelność, trwałość modułów, serwis
Szafa / układ zasilania	zwykle wtórny przestrzennie, ale istotny przy lokalizacji i dostępności	niezawodność, bezpieczeństwo elektryczne, dostęp serwisowy
Sterownik / komunikacja	brak bezpośredniego wpływu formalnego, ale wpływ na sposób użytkowania miejsca po zmroku	redukcja mocy, diagnostyka, monitoring, aktualizacja ustawień
Rodzina opraw i słupów	spójność krajobrazowa w skali ulicy lub obszaru	standaryzacja utrzymania, ograniczenie liczby typów komponentów

Tabela 18. Infrastruktura oświetleniowa jako składnik formy przestrzeni i systemu technicznego. Opracowanie własne.

Zestawienie w Tabeli 19 ukazuje, zasadność doboru technologii i formy zawsze powinien być zależny od typu miejsca, jego rangi, sposobu użytkowania i ograniczeń konserwatorskich.

Typ rozwiązania	Cechy	Znaczenie projektowe
infrastruktura standardowa	forma neutralna, typowe słupy i oprawy, nacisk na funkcję użytkową	odpowiednia dla przestrzeni technicznych i powtarzalnych
infrastruktura stylizowana	forma nawiązująca do historycznych wzorów, często z nowoczesną oprawą LED	właściwa dla obszarów historycznych i reprezentacyjnych
infrastruktura minimalistyczna	ograniczona ekspresja formalna, nacisk na dyskreję	przydatna tam, gdzie dominować ma architektura lub krajobraz
infrastruktura inteligentna	oprawy z warstwą sterowania, czujnikami i monitoringiem	właściwa tam, gdzie uzasadnione jest adaptacyjne zarządzanie światłem
infrastruktura modernizowana	kompromis między istniejącym majątkiem a nową technologią	kluczowa w praktyce miejskiej, gdzie przeważają inwestycje odtworzeniowe

Tabela 19. Typowe warianty infrastruktury oświetleniowej a ich znaczenie projektowe. Opracowanie własne.



Ryc.40. Schemat architektury infrastruktury nowoczesnego systemu oświetlenia ulicznego.
Opracowanie własne.

Infrastruktura i technologia oświetleniowa stanowią przedmiot oceny decyzyjnej. Dlatego w modelu MCDA zostają one przełożone na kryteria i deskryptory umożliwiające porównanie wariantów oświetleniowych pod względem jakości zastosowanej infrastruktury (Tabela 20).

Obszar modelu	Elementy podlegające ocenie:
estetyka i jakość przestrzeni	adekwatność formy słupa i oprawy do charakteru miejsca
spójność architektoniczna	zgodność infrastruktury z rytmem, skalą i tożsamością przestrzeni
gospodarka zasobami i materiałami	modularność, naprawialność, wymienialność komponentów
trwałość i niezawodność	utrzymanie parametrów w czasie, odporność na awarie, jakość komponentów
zarządzalność systemu	monitoring, diagnostyka, zakres sterowania, możliwość adaptacji
efektywność energetyczna	rzeczywiste zużycie energii w danych warunkach użytkowania
koszt instalacji i eksploatacji	CAPEX, OPEX, TCO, koszt serwisu i przyszłej modernizacji

Tabela 20. Implikacje infrastruktury i technologii dla kryteriów i deskryptorów modelu.
Opracowanie własne.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonego wywodu wynika, że infrastruktura i technologie oświetleniowe powinny być w modelu traktowane jako pełnoprawny przedmiot oceny. Do modelu należy więc wprowadzić deskryptory pozwalające oceniać:

- adekwatność formy słupa i oprawy do charakteru, rangi i skali miejsca,
- relację infrastruktury do kompozycji ulicy, placu, parku lub obszaru historycznego,
- trwałość i niezawodność systemu w czasie,
- możliwość naprawy, wymiany i modernizacji kluczowych komponentów,
- poziom zarządzalności systemu i zakres funkcji sterowania,
- efektywność energetyczną osiągalną w rzeczywistych warunkach użytkowania,
- całkowity koszt instalacji i eksploatacji w cyklu życia.

W dalszej formalizacji modelu ustalenia te mogą zasilać przede wszystkim kryteria odnoszące się do estetyki i jakości przestrzeni, spójności architektonicznej, gospodarki zasobami i materiałami, trwałości i niezawodności, zarządzalnością systemu, efektywności energetycznej, kosztu instalacji oraz kosztu eksploatacji.

4.6 Strategiczne planowanie oświetlenia i masterplany

Strategiczne planowanie oświetlenia należy rozumieć jako przejście od poziomu pojedynczego projektu lub modernizacji do poziomu całego systemu nocnego krajobrazu miasta (Ryc.41). Na tym poziomie światło staje się narzędziem polityki przestrzennej, zarządczej, środowiskowej i wizerunkowej. Projektowanie oświetlenia staje się elementem długofalowego kształtowania nocnego obrazu miasta, jego czytelności, hierarchii przestrzennej, bezpieczeństwa, atrakcyjności użytkowej i odpowiedzialności środowiskowej. Taki sposób ujmowania problemu został sformułowany w dokumencie CIE 234:2019, gdzie masterplan oświetlenia opisano jako dokument obejmujący elementy wizualne, organizacyjne, środowiskowe i techniczne oraz służący identyfikacji kryteriów planowania oświetlenia dla nowych i istniejących układów miejskich. CIE porządkuje przy tym cały proces przez analizę miasta jako całości, analizę dzielnic, analizę poszczególnych elementów, analizę istniejącego oświetlenia, definiowanie celów, tworzenie koncepcji świetlnej, zagadnienia środowiskowe, koszty, utrzymanie, zarządzanie i wdrażanie. Na potrzeby niniejszej rozprawy zagadnienie to jest ujmowane przede wszystkim jako poziom nadrzędnego porządkowania decyzji projektowych.

Na potrzeby niniejszego podrozdziału wykorzystano przegląd wybranych dokumentacji masterplanów i strategii oświetlenia, obejmujący przykłady polskie i zagraniczne, w tym dokumenty strategiczne Warszawy, Poznania, Gliwic, Abu Dhabi, Malmö, South Salt Lake, Londynu, Kolonii, Zanzibaru i innych. Celem tego przeglądu identyfikacja ich wspólnej logiki: diagnozy stanu istniejącego, hierarchizacji przestrzeni, budowy wizji nocnego obrazu miasta, integrowania aspektów użytkowych, estetycznych, środowiskowych i zarządczych oraz tworzenia mechanizmów wdrożenia i koordynacji interesariuszy. Wykaz analizowanych dokumentów zestawiono w bibliografii (s.301).



Ryc.41. System nocnego krajobrazu miasta. Riva del Garda (IT). Fot. P. Ratajkiewicz.

Pierwszym wspólnym wnioskiem płynącym z analizy jest to, że dojrzały masterplan zaczyna się od diagnozy. Jest to zgodne z logiką CIE 234, która nakazuje rozpoznanie użytkowników miasta, cech naturalnych, obrazu miasta, jego tożsamości, sylwety, hierarchii zabudowy, dominant, punktów i kierunków widokowych oraz istniejącego stanu oświetlenia. W Londynie analiza obejmuje charakter obszarów, warstwy światła i nocną czytelność miasta, a dopiero później przechodzi do wizji, zasad projektowych i strategii wdrożenia. W Gliwicach rozdzielono analizę struktury architektonicznej, analizę struktury przestrzennej, analizę nocną i ocenę oświetlenia od części koncepcyjnej i reguł iluminacyjnych. W Poznaniu punkt wyjścia stanowią historia miasta, uwarunkowania przestrzenne, osiedla mieszkaniowe, układ komunikacyjny, aspiracje wizerunkowe i trakty turystyczne. Strategia świetlna wychodzi więc od rozpoznania miasta jako struktury przestrzennej i kulturowej.

Drugim wspólnym wnioskiem jest to, że masterplany operują zawsze na wielu kryteriach jednocześnie. Obejmują bezpieczeństwo, orientację, jakość przestrzeni publicznej, ochronę dziedzictwa, atrakcyjność nocną, ekologię, ograniczanie zanieczyszczenia światłem, energochłonność, koszty utrzymania, zarządzanie systemem i technologię sterowania. Londyn wprost łączy bezpieczeństwo, zdrowie i dobrostan, dostępność, kulturę, zrównoważenie, technologię, zarządzanie i planowanie, a w rekomendacjach mówi równocześnie o redukcji nadmiaru światła, poprawie środowiska pieszego, sterowaniu smart, ograniczaniu światła przeszkadzającego i zachowaniu historycznych latarni. Dla Abu Dhabi przygotowano przewodnik projektowania, w którym opisano technologię i projektowanie, a także sekcje poświęcone strategii zrównoważonego oświetlenia, efektywności, problemowi zaśmiecania światłem, hierarchiom wizualnym i standardom wyposażenia. W Gliwicach, cele masterplanu

obejmują ład świetlny, hierarchię obiektów, relację między oświetleniem ulicznym i architektonicznym, trójwymiarowość miasta, charakter przestrzeni reprezentacyjnych, jakość życia mieszkańców, aspekty ekologiczne i koszty eksploatacyjne. W Poznaniu eksponuje się strefowość, kompozycję, panoramy miasta, marketing miejski, rozwiązania smart i partycypację. Strategia świetlna miasta ujawnia tym samym wielokryterialny charakter decyzji oświetleniowej: łączy wymiar przestrzenny, wizerunkowy, technologiczny i społeczny, choć nie zostaje jeszcze zapisana w formalnym aparacie MCDA.

Trzecim wspólnym wnioskiem jest to, że masterplan pełni funkcję hierarchizacji przestrzeni i hierarchizacji światła. Planuje się zróżnicowanie zasad w zależności od rangi miejsca, jego charakteru, sposobu użytkowania i znaczenia symbolicznego. Londyn mówi o warstwach światła, obszarach charakterystycznych, trasach głównych, pobocznych i pieszych, o przestrzeniach otwartych, dominantach, granicach i punktach orientacyjnych, a dla placów i węzłów zaleca zwiększenie udziału pionowych powierzchni w celu poprawy tożsamości i czytelności miejsca (Ryc.42). Poznań, podobnie jak Kolonia, buduje strategię na strefowości, różnicowaniu temperatur barwowych, panoramach, osiach wejścia do miasta i ekspozycji elementów tożsamości, a równocześnie operuje pojęciami „welonu światła”, rytmu światła, kompozycji i interakcji latarni ulicznych z fasadami. Gliwice z kolei formułują cel wprowadzenia hierarchii obiektów, rozróżnienia między oświetleniem ulicznym i architektonicznym, wypracowania architektonicznej trójwymiarowości miasta oraz podkreślenia reprezentacyjnych osi i placów. W analizowanych dokumentach wspólny jest więc wniosek, że strategia oświetleniowa nie dotyczy wyłącznie widzialności, lecz organizacji nocnej percepcji miasta.

Czwartym wspólnym wnioskiem jest to, że masterplan zawsze łączy wizję z wdrożeniem. CIE 234 obejmuje nie tylko analizę i koncepcję, ale także konsultacje, koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, zarządzanie oświetleniem miejskim oraz planowanie wdrożenia. Londyn bardzo wyraźnie przesuwając akcent z samej wizji na mechanizmy realizacji: wymianę i modernizację oświetlenia ulicznego, wdrożenie systemu smart control, poprawę zasad planistycznych, lepszą komunikację z interesariuszami i potrzebę stałego ciała strategicznego. South Salt Lake pokazuje tę samą logikę w bardziej operacyjnej formie: rozróżnia poprawę minimalną, uzupełniającą i kompleksową, wiąże ją z klasą ulicy, aktywnością pieszą, geometrią słupów i przewidywanym okresem zwrotu. W Abu Dhabi warstwa wdrożeniowa obejmuje nie tylko standardy opraw i obliczeń, lecz także wymagania dotyczące utrzymania, kontroli, jakości połączeń, sterowania i weryfikacji działania w czasie. Masterplan działa więc jako struktura decyzyjna, a nie dokument ilustracyjny: wyznacza politykę zakupową, wytyczne planistyczne, organizację eksploatacji i etapowanie inwestycji.

Masterplan jest narzędziem koordynacji rozproszonych źródeł światła i rozproszonych interesów. CIE 234 już na poziomie procesu podkreśla konieczność włączenia do prac administracji, wydziałów miejskich, projektantów, operatorów, właścicieli budynków, instytucji branżowych i innych interesariuszy. Londyn pokazuje ten problem praktycznie: nocny obraz miasta powstaje nie tylko przez latarnie uliczne, ale również przez architekturę, krajobraz, oznakowanie, sztukę, wydarzenia i światło prywatne. Z tego względu dokument strategiczny ma uporządkować relacje pomiędzy tymi warstwami, zapobiec przypadkowości, ograniczyć zjawiska niespójności

i „prześwietlenia” oraz wpisać światło w szerszą logikę urban design. Zanzibar z kolei pokazuje z innej strony, że brak takiej wiedzy strategicznej prowadzi do działań przypadkowych, które generują więcej szkody niż pożytku, a tamtejszy masterplan powiązany został z rozpoznaniem lokalnych wartości kulturowych, aktywności, interesów społecznych i oczekiwań mieszkańców. W sensie metodologicznym masterplan jest więc sposobem organizacji światła, w połączeniu z wiedzą o mieście i użytkownikach.



Ryc.42. Grafika masterplanu oświetlenia ukazująca strukturę nocnej przestrzeni miasta Kolonia w Niemczech. Źródło STUDIO DL.

Po przeprowadzonej analizie uznano masterplan oświetlenia jako strategiczną decyzję miasta, podjętą na podstawie wielu kryteriów, wiedzy eksperckiej i interpretacji kontekstu (Tabela 21). Plan oparty jest na diagnozie, hierarchizacji przestrzeni, uzgodnieniu celów, ważeniu priorytetów oraz godzeniu nieraz sprzecznych oczekiwań dotyczących bezpieczeństwa, wizerunku, środowiska, ekonomii, dziedzictwa i zarządzania. Masterplan i model wielokryterialny nie są rozwiązaniami konkurencyjnymi, lecz komplementarnymi. Model nie zastąpi zespołu ekspertów, warsztatów strategicznych ani polityki miejskiej, ponieważ nie przejmie roli szerokiej interpretacji miasta, procesu partycypacyjnego ani odpowiedzialności władz publicznych za długookresową wizję nocnego krajobrazu. Może jednak pełnić funkcję pomocniczą: uporządkować wiedzę ekspercką, uczynić kryteria decyzji bardziej jawnymi, ograniczyć przypadkowość rozstrzygnięć i przybliżyć ekspercką logikę do poziomu świadomego wyboru wariantu projektowego. W skali dużej może wspierać porządkowanie kryteriów i priorytetów niezbędnych do budowy strategii; w skali mniejszej może wspierać decyzje dotyczące konkretnych ulic, placów, parków, osiedli czy obszarów historycznych. Jest to zgodne z logiką CIE 234:2019, która identyfikuje kryteria planowania oświetlenia zarówno dla nowych, jak i istniejących sytuacji oraz obejmuje cały łańcuch decyzji prowadzący od wizji do wdrożenia.

Obszar	Powtarzające się elementy dokumentacji
Diagnoza	analiza struktury miasta, dzielnic, dominant, użytkowników, warstw światła i stanu istniejącego
Cele	bezpieczeństwo, orientacja, jakość przestrzeni, tożsamość, środowisko, energia, zarządzanie
Hierarchizacja	zróżnicowanie obszarów, typologii, osi, węzłów, przestrzeni reprezentacyjnych i stref wymagających ochrony ciemności
Wdrożenie	etapowanie inwestycji, polityka zakupowa, sterowanie, utrzymanie, konsultacje i zarządzanie
Rezultat strategiczny	uporządkowanie nocnego obrazu miasta i powiązanie światła z polityką przestrzenną

Tabela 21. Najważniejsze wspólne cechy analizowanych masterplanów oświetlenia. Opracowanie własne.

W konsekwencji zasadne staje się przyjęcie, że strategiczne planowanie oświetlenia stanowi poziom nadrzędny, na którym definiuje się strukturę problemu, cele i hierarchie, natomiast proponowany w rozprawie model MCDA może pełnić funkcję narzędzia pośredniego i operacyjnego, wspierającego przełożenie tej wiedzy na decyzje projektowe. Model nie ma więc ambicji zastąpienia masterplanu, lecz może działać jako jego rozwinięcie tam, gdzie potrzebne jest bardziej przejrzyste i porównywalne ocenianie wariantów (Tabela 22).

Poziom	Główna funkcja	Typ decyzji
Masterplan / strategia	definiowanie wizji, hierarchii przestrzeni, priorytetów i zasad	decyzje nadrzędne, długookresowe, eksperckie i polityczne
Model MCDA	porządkowanie kryteriów i porównywanie wariantów	decyzje projektowe, operacyjne i porównawcze
Projekt jednostkowy	opracowanie konkretnego rozwiązania dla określonego miejsca	Realizacja wariantu wybranego przy pomocy Modelu MCDA

Tabela 22. Relacja między masterplanem a modelem decyzyjnym. Opracowanie własne.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonego wywodu wynika, że strategiczne planowanie oświetlenia i masterplany powinny być w modelu traktowane jako poziom nadrzędny porządkujący sposób oceny wariantów. Ten poziom modelu powinien rozstrzygać, czy:

- decyzje wariantowe powinny być osadzone w szerszej logice polityki oświetleniowej miasta lub obszaru;
- typologie przestrzeni, hierarchia obszarów i priorytety strategiczne powinny zasilać klasyfikację kontekstu oraz preferencje nadrzędne modelu;
- masterplan powinien określać nie tylko poziomy światła, ale także zasady dotyczące formy infrastruktury, ochrony ciemności, sterowania, relacji światła do charakteru miejsca oraz nocnego obrazu miasta;

- model MCDA nie zastępuje zespołu ekspertów ani strategii, lecz może uporządkować wiedzę i przybliżyć ekspercką logikę do podejmowania decyzji projektowych;
- narzędzie może wspierać zarówno opracowywanie masterplanów, jak i świadome decyzje dla pojedynczych projektów, o ile jego stosowanie pozostaje osadzone w kontekście miejsca i celach nadrzędnych.

4.7 Światło kreatywne

W kontekście niniejszej pracy światło kreatywne powinno być traktowane jako warstwa uzupełniająca, uruchamiana selektywnie tam, gdzie poza zapewnieniem widzialności, orientacji i podstawowego bezpieczeństwa istotne staje się również wzmocnienie tożsamości miejsca (Ryc.43), uruchomienie znaczeń kulturowych, podkreślenie struktury kompozycyjnej albo stworzenie czasowego wydarzenia w tkance miejskiej. Światło iluminacyjne, artystyczne, projekcyjne czy multimedialne nie zastępuje oświetlenia użytkowego, lecz rozszerza jego zakres o funkcje interpretacyjne, narracyjne i symboliczne. Taki sposób rozumienia jest spójny zarówno z logiką masterplanów oświetlenia, jak i z nowszą literaturą dotyczącą tworzenia inspirujących przestrzeni publicznych, gdzie podkreśla się, że interwencje twórcze mają sens przede wszystkim wtedy, gdy pozostają zakorzenione w kontekście miejsca, jego pamięci, materialności i sposobie użytkowania, a nie są jedynie krótkotrwałym efektem widowiskowym (CIE, 2019; Ilter & Verovšek, 2024; Erel, Kyriakidou, & Muro, 2024, Kamińska & Michalak & Ratajkiewicz, 2021).



Ryc.43. Kreacja światłem elementów małej architektury miejskiej. Świetlna droga bursztynowa zaznaczona na mapie Europy. Główny Rynek, Kalisz. Fot. P. Ratajkiewicz.

Przykłady projektów analizowanych w ramach przeglądu mają charakter ilustracyjny. Pokazują one, że twórcze użycie światła w mieście najczęściej polega na wydobywaniu znaczeń już obecnych w strukturze przestrzeni. W dokumentacji Poznania projekcje obrazów gobo, markery świetlne w oprawach, instalacje świetlne w posadzce oraz farby

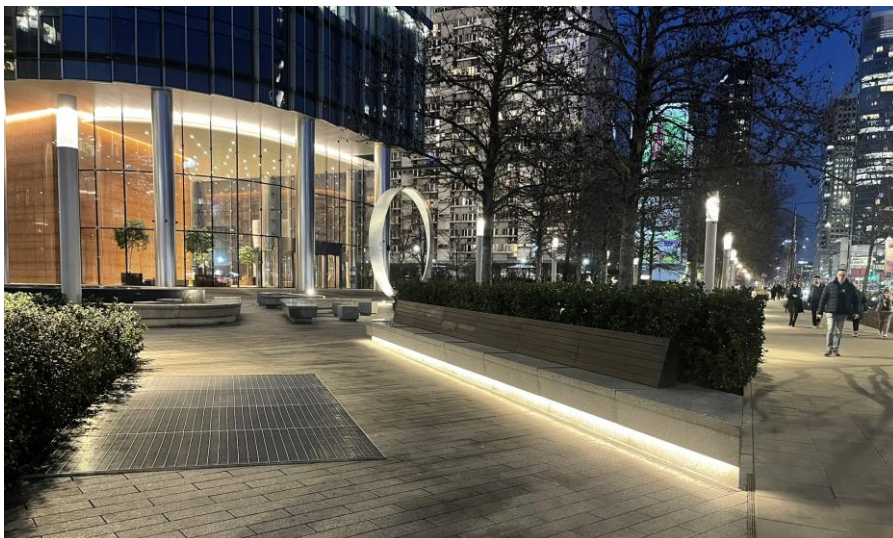
luminescencyjne zostały powiązane z odbudową mentalną nieistniejących murów, akcentowaniem panoram, kodowaniem stref i wzmacnianiem orientacji miejskiej. Projekcja, marker czy znak świetlny nie są tu dodatkiem dekoracyjnym, lecz narzędziem interpretacji przestrzeni i wzmacniania jej czytelności kulturowej. Szczególnie ważne w tym kontekście okazuje się pojęcie akcentu świetlnego. W dokumentacji poznańskiej akcent świetlny rozumiany jest jako kontrolowane narzędzie budowania hierarchii i kierowania uwagą. Wskazano tam, że lokalne akcenty mogą przekraczać średnią luminancję elewacji w sposób umiarkowany albo silniejszy, a w działaniach artystycznych nawet wyrażnie, ale ich użycie powinno pozostawać podporządkowane zasadzie budowania spójnego nocnego obrazu oraz „welonu światła” jako delikatnej warstwy rozjaśnienia fasad. W niniejszej rozprawie akcent świetlny, marker, instalacja świetlna (Ryc.44) czy projekcja są traktowane jako wyspecjalizowane narzędzia kompozycji świetlnej. Służą wzmacnianiu dominant, oznaczaniu granic, podkreślaniu kierunków dojścia oraz aktywizowaniu punktów szczególnych w nocnym obrazie przestrzeni (Ryc.45).



Ryc.44. Instalacja świetlna stanowiąca galerię miejską. Główny Rynek, Kalisz. Fot. P. Ratajkiewicz.

Z perspektywy architektonicznej i urbanistycznej ważne są formy interwencji wykorzystujące światło do zaznaczania elementów pierwszoplanowych, punktów orientacyjnych oraz miejsc o znaczeniu symbolicznym lub użytkowym. Strategia Londynu wskazuje na rolę warstw „sztuka”, „event”, „architektura” oraz „ulica i otoczenie”, podkreślając potrzebę iluminowania sztuki publicznej, budynków i mostów, stosowania światła pionowego, integrowania oświetlenia z elementami orientacji oraz tworzenia warunków dla wydarzeń nocnych bez utraty równowagi między światłem i ciemnością. Tak rozumiane środki współbudują strukturę przestrzenną miasta po zmroku²¹.

²¹ Współczesna literatura poświęcona sztuce światła i twórczym praktykom w przestrzeni publicznej prowadzi do podobnych wniosków. Ilter i Verovšek (2024) pokazują, że praktyki kreatywne stają się nośnikiem place-makingu dopiero wtedy, gdy współtworzą znaczenia miejsca, a nie jedynie generują zdarzenie wizualne. Erel, Kyriakidou i Muro (2024) zwracają uwagę, że tymczasowe instalacje świetlne mogą przekształcać odbiór codziennej przestrzeni miejskiej,



Ryc.45. Wykorzystanie światła kreatywnego w tworzeniu nastroju na placu miejskim. Warszawa, ul. Prosta. Fot. P. Ratajkiewicz.



Ryc.46. Wykorzystanie akcentowania świetlnego jako znacznik dojścia do Rynku w Jarocinie. Ul. św. Ducha, Jarocin. Fot. P. Ratajkiewicz.

Materiał porównawczy z masterplanów miejskich pokazuje jednocześnie, że twórcze użycie światła wymaga dyscypliny projektowej. Dokumentacja Arrowtown wskazuje, że totalna iluminacja wszystkich obiektów prowadziłaby do efektu nadmiernie scenograficznego, dlatego zaleca się selektywne akcentowanie drzew, ścian, obiektów historycznych, rzeźb i infrastruktury wydarzeniowej. Podobnie dokumentacja poznańska ostrzega przed „wojną światła”, w której pojedynczy akcent nadmiernie wybija się ponad elementy równorzędne lub ważniejsze. Jakość światła kreatywnego wynika z selektywności, adekwatności i osadzenia w hierarchii miejsca. Projekcje, markery

przerywać rutynowe trajektorie i uruchamiać nowe sposoby doświadczania przejścia (Ryc.46), placu czy nabrzeża. Mogą także zwiększać świadomość środowiskową, pod warunkiem, że ich przekaz jest czytelny i osadzony w doświadczeniu odbiorcy (Breukel & Cieraad, 2024). W szerszym sensie potwierdza to Duque (2014), wskazując, że sztuka publiczna wzmacnia tożsamość miejską wtedy, gdy wiąże się z konkretnym miejscem i jego społecznym odczytaniem.

światłne, linie prowadzące, rzeźby świetlne czy instalacje interaktywne mogą pełnić funkcję sygnałów orientacyjnych, identyfikować wejścia, wzmacniać pamięć miejsca lub wspierać program wydarzeniowy bez trwałego przeciążania przestrzeni nadmiarem światła (Rysunek 46). Środki te należy jednak traktować jako elementy języka projektowego, podporządkowane kompozycji urbanistycznej, warstwie architektonicznej, skali pieszego oraz kontroli oddziaływań środowiskowych. Światło kreatywne, artystyczne i multimedialne stanowi szczególny typ interwencji, który także musi podlegać kryteriom adekwatności, spójności, czytelności i kontroli oddziaływań. Dotyczy to zarówno projekcji na fasadach i posadzkach, jak i gobo, markerów barwnych, znaków świetlnych, rzeźb i instalacji świetlnych, a także integracji światła z małą architekturą, sztuką publiczną i wydarzeniami czasowymi. Każdorazowo należy rozstrzygać, czy dana interwencja wzmacnia tożsamość miejsca, wspiera orientację, uruchamia warstwę pamięci lub aktywizuje przestrzeń w sposób czytelny i uzasadniony.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego.

Z przeprowadzonego wywodu wynika, że światło kreatywne, artystyczne i multimedialne powinno być w modelu traktowane jako uzupełniająca warstwa projektowa, a nie podstawowa forma oświetlenia przestrzeni publicznych. Ocenie powinna podlegać relacja instalacji do miejsca: zgodność z charakterem przestrzeni, zdolność wzmacniania orientacji lub pamięci, podporządkowanie kompozycji urbanistycznej, kontrola intensywności i barwy oraz wpływ na nocny obraz miasta. W dalszej formalizacji modelu ustalenia te powinny zasilać przede wszystkim kryteria odnoszące się do jakości przestrzeni, spójności architektonicznej i intencjonalności koncepcji świetlnej, a częściowo także kryteria odnoszące się do oddziaływania środowiskowego i decydujące o zarządzaniu systemem.

PODSUMOWANIE

Rozdział 4 służył uporządkowaniu przesłanek oceny oświetlenia przestrzeni publicznych i wykazaniu. Przeprowadzona analiza pozwala przyjąć, że przedmiotem dalszej oceny powinien być wariant rozwiązania oświetleniowego odnoszony do konkretnej przestrzeni, jej struktury, sposobu użytkowania, wrażliwości środowiskowej oraz oczekiwanego efektu nocnego.

W niniejszym rozdziale ustalono co następuje:

- ocena wariantu oświetleniowego wymaga uwzględnienia co najmniej kilku odrębnych porządków: użytkowego, środowiskowego, energetycznego, ekonomicznego, przestrzenno-estetycznego oraz zarządczego;
- perspektywa użytkownika obejmuje widzialność i zgodność z minimalnymi wymaganiami technicznymi, a także bezpieczeństwo odczuwane, orientację, komfort korzystania z przestrzeni oraz gotowość do aktywności po zmroku;
- oddziaływanie środowiskowe nie jest tożsame z efektywnością energetyczną, ponieważ dotyczy również zakresu emisji światła, intruzji świetlnej, emisji ku górze oraz presji wywieranej na otoczenie;
- efektywność energetyczna i racjonalność ekonomiczna pozostają ze sobą powiązane, ale odnoszą się do różnych porządków oceny i nie powinny być traktowane zamiennie;

- jakość przestrzeni po zmroku, jej estetyka i wizerunek stanowią odrębny wymiar wartościowania, związany z nocnym obrazem miejsca, jego czytelnością, charakterem i rozpoznawalnością;
- trwałość, sterowalność, możliwości utrzymaniowe i podatność systemu na adaptację uzasadniają włączenie perspektywy zarządczej do oceny wariantu.

Z powyższego wynikają następujące konsekwencje dla dalszej konstrukcji modelu oceny:

- relacje między wymiarami mają charakter współzależny, a niekiedy konkurencyjny, co oznacza, że rozwiązanie korzystne w jednym aspekcie nie musi być równie korzystne w innym;
- dalsza ocena wariantów wymaga więc takiego podejścia, które pozwoli te wymiary porządkować, porównywać i ważyć w sposób jawny, a zarazem użyteczny projektowo;
- uzasadnione staje się tym samym przejście od opisu problemu do jego stopniowej operacjonalizacji w postaci kryteriów i deskryptorów oceny.

Analiza wskazała obszary, które wymagają dalszego uzupełnienia badaniami własnymi. Dotyczy to przede wszystkim:

- oczekiwanego ogólnego poziomu światła i widoczności poszczególnych warstw przestrzeni publicznej
- relacji między ilością i rozkładem światła a oceną czytelności, estetyki i poczucia bezpieczeństwa po zmroku;
- zależności między typem przestrzeni, sposobem jej użytkowania a oczekiwaniami użytkowników wobec oświetlenia;
- ustalenia, które elementy przestrzeni powinny być eksponowane w różnych typach miejsc i z jakimi konsekwencjami dla nocnego odbioru przestrzeni.

Rozdział 4 porządkuje główne wymiary, wskazuje najważniejsze rozróżnienia metodologiczne oraz wyznacza obszary wymagające dalszego rozpoznania empirycznego. Stanowi to bezpośrednie przejście do kolejnej części pracy, w której przedstawione zostaną badania własne służące sprawdzeniu wskazanych zależności oraz przygotowaniu podstaw do dalszej redukcji problemu oceny do kryteriów i deskryptorów modelu decyzyjnego.

5

Uzasadnienie wielokryterialnej oceny oświetlenia publicznego

5 Uzasadnienie wielokryterialnej oceny oświetlenia publicznego

Projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych należy traktować jako problem wyboru wariantu w warunkach złożoności przestrzennej, funkcjonalnej i technicznej. Logika oceny musi więc wykraczać poza samą poprawność techniczną, gdyż o jakości rozwiązania współdecydują jego wartość użytkowa, przestrzenna, środowiskowa, ekonomiczna i zarządcza. Ocena oświetlenia powinna uwzględniać kilka odrębnych i częściowo konkurencyjnych perspektyw wartościowania. W takim ujęciu możliwe staje się rzeczywiste porównywanie wariantów projektowych oraz ujawnianie kompromisów (Belton & Stewart, 2002; Brans & Mareschal, 2005; Carli et al., 2018; Cristea et al., 2018; Pracki, 2020). Jakość oświetlenia obejmuje poziom światła, zgodność z normą i efektywność energetyczną, ale żadna z tych perspektyw samodzielnie nie wyczerpuje problemu. Każda z tych perspektyw pozostaje ważna, żadna jednak nie wyczerpuje problemu. Oświetlenie wpływa równocześnie na użytkowników przestrzeni, na środowisko nocne, na zużycie energii, na koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, na estetykę oraz tożsamość miejsca, a także na sposób zarządzania infrastrukturą w dłuższym horyzoncie czasu. Decyzja projektowa musi być oceniana jako układ wielu współzależnych skutków i jakości, które nie dają się sprowadzić do jednej miary (Gaston et al., 2015; International Energy Agency, 2016; Goldrath et al., 2015; Thiel et al., 2017; Doulos et al., 2019). Oświetlenie należy traktować czynnik współkształtujący środowisko życia człowieka oraz nocny obraz miasta, a zarazem jako źródło oddziaływań, które mogą mieć charakter zarówno pożądany, jak i niepożądany. Potwierdzają to zarówno badania nad percepcją bezpieczeństwa i komfortu, jak i prace poświęcone biologicznym, ekologicznym oraz społecznym skutkom sztucznego światła w nocy (Boomsma & Steg, 2014; van Rijswijk & Haans, 2018; Dominoni et al., 2016; Kotarba, 2019; Burattini et al., 2025).

Istotnym wymiarem oceny pozostaje ekonomia rozwiązania, omówiona szerzej w podrozdziale 5.4. Współczesne decyzje oświetleniowe są coraz silniej osadzone w warunkach presji energetycznej, klimatycznej i budżetowej. Dobór rozwiązania nie może abstrahować od kosztów cyklu życia, możliwości sterowania, trwałości, wymagań utrzymaniowych, materiałochłonności ani środowiskowych skutków przyjmowanych technologii. Z drugiej strony redukcja decyzji projektowej wyłącznie do kryteriów efektywności może prowadzić do zubożenia jakości nocnego krajobrazu oraz do podporządkowania przestrzeni publicznej pojedynczym wskaźnikom techniczno-ekonomicznym. Właśnie dlatego potrzebny jest model, który nie eliminuje konfliktów pomiędzy kryteriami, lecz czyni je jawnymi i poddaje świadomej ocenie (Wojnicki et al., 2016; Wojnicki & Kotulski, 2018; Valetti et al., 2023; Skarżyński & Wiśniewski, 2024; Traverso et al., 2017).

Celem niniejszego rozdziału jest wykazanie, że ocena oświetlenia przestrzeni publicznych powinna mieć charakter wielokryterialny, oraz wskazanie głównych wymiarów tej oceny. Kolejne podrozdziały porządkują najważniejsze osie tej oceny:

użytkową, środowiskową, energetyczną, ekonomiczną, przestrzenno-estetyczną oraz zarządczą. Rozdział buduje uzasadnienie budowy modelu decyzyjnego i porządkuje argumenty przemawiające za późniejszym doбором kryteriów oceny. Stanowi bezpośrednie przygotowanie do dalszej syntezy badań własnych oraz redukcji złożonego problemu projektowego do zestawu kryteriów i deskryptorów możliwych do zastosowania w modelu wielokryterialnego wspomaganie decyzji (Rozman Cafuta, 2021).

5.1 Światło jako czynnik bezpieczeństwa, aktywności i atrakcyjności przestrzeni publicznych

Światło sztuczne w przestrzeniach publicznych należy rozpatrywać zarówno jako środek zapewnienia widzialności jak i czynnik współkształtujący warunki korzystania z miejsca po zmroku. Znaczenie oświetlenia wykracza poza techniczne spełnienie wymagań normatywnych. Wpływa równocześnie na bezpieczeństwo ruchu, bezpieczeństwo odczuwane, orientację, komfort poruszania się oraz gotowość do korzystania z przestrzeni po zmroku. Z perspektywy użytkownika światło jednym z podstawowych czynników warunkujących dostępność, czytelność i przyjazność przestrzeni po zmroku. Dokumenty CIE poświęcone oświetleniu dróg i przestrzeni pieszych pokazują, że obok parametrów ilościowych potrzebne jest odnoszenie projektowania do rzeczywistych warunków percepcji i zachowań użytkowników, a literatura z zakresu czynników ludzkich konsekwentnie podkreśla, że skuteczność oświetlenia należy oceniać przez jego efekty dla człowieka, a nie przez parametry instalacji (CIE, 2010; CIE, 2019; Boyce, 2014). Należy wyraźnie odróżnić bezpieczeństwo ruchu od bezpieczeństwa odczuwanego. Pierwsze odnosi się do warunków dostrzegania przeszkód i prawidłowej oceny sytuacji ruchowej, drugie obejmuje możliwość rozpoznawania innych osób, czytelność granic miejsca i ogólne poczucie kontroli nad otoczeniem. Rozwiązanie poprawne z perspektywy wymagań ruchu drogowego nie musi jeszcze odpowiadać na potrzeby użytkownika, który oczekuje rozpoznawalności otoczenia, orientacji psychicznego komfortu przebywania po zmroku. Badania Boomsma i Steg pokazały, że niższe poziomy oświetlenia i wyższy poziom „uwięzienia” przestrzennego obniżają poczucie bezpieczeństwa i akceptację rozwiązań oświetleniowych, natomiast van Rijswijk i Haans wykazali, że ocena bezpieczeństwa przestrzeni po zmroku jest kształtowana zarówno przez parametry i percepcję oświetlenia, jak i przez cechy środowiska przestrzennego, w tym zakres widoczności i kontroli wzrokowej, obecność potencjalnych miejsc ukrycia oraz stopień odczuwanego zamknięcia lub utrudnionej możliwości ucieczki. (Boomsma & Steg, 2014; van Rijswijk & Haans, 2018). O odbiorze przestrzeni decydują również rozkład światła, udział warstw pionowych, możliwość rozpoznania innych osób oraz zgodność efektu świetlnego z charakterem miejsca. Użytkownik ocenia przestrzeń przez pryzmat jasności, czytelności, uporządkowania, komfortu i adekwatności warunków do sposobu korzystania z miejsca. Światło oddziałuje na człowieka jako nośnik informacji wzrokowej, oraz czynnik porządkujący nocny odbiór przestrzeni (Ryc.47). Potwierdzają to zarówno badania nad subiektywną oceną środowiska świetlnego, jak i nowsze prace dotyczące komfortu nocnego przemieszczania się, w których wykazano, że relacja między parametrami

ilościowymi a odbiorem przestrzeni nie ma charakteru prostego i liniowego (Castilla et al., 2024; Burattini et al., 2025).

Oświetlenie ma bezpośredni wpływ na chęć i gotowość do korzystania z przestrzeni po zmroku. Może ono pełnić funkcję aktywizującą, ponieważ warunkuje dostępność przestrzeni publicznych, możliwość przemieszczania się i podtrzymywanie codziennych aktywności wieczornych. Dotyczy to zwłaszcza mobilności niezmotoryzowanej, dla której jakość oświetlenia wpływa na bezpieczeństwo, a także na komfort poruszania się i akceptowalność wyboru tej formy przemieszczania. Jeżeli przestrzeń po zmroku pozostaje słabo czytelna, fragmentarycznie oświetlona lub odbierana jako nieprzyjemna, wówczas maleje poziom komfortu użytkowania i skłonność do poruszania się pieszo i rowerem. Dobrze zaprojektowane oświetlenie, jest znaczącym czynnikiem sprzyjającym mobilności użytkowników oraz świadczącym o dostępności przestrzeni poza godzinami ze światłem naturalnym (Gehl, 2010; Markvica et al., 2019; Radicchi & Henckel, 2023).



Ryc.47. Odmienne podejścia do oświetlenia przestrzeni ulicy mieszkaniowo-handlowej. Od góry, Rive dle Garda (IT), Olomunec (CZ). Fot. P. Ratajkiewicz.

Atrakcyjność miejsca należy rozumieć jako warunek codziennej akceptowalności przestrzeni po zmroku. Oświetlenie wpływa na to, czy ulica, plac, park lub osiedle są odbierane jako przyjazne, uporządkowane i warte użytkowania wieczorem. Dotyczy to zarówno przestrzeni reprezentacyjnych, jak i zwykłych ulic oraz osiedli mieszkaniowych. Nawet w przypadku zabudowy wielorodzinnej oczekiwane jest bowiem stworzenie środowiska, w którym mieszkańcy odczuwają bezpieczeństwo, mogą poruszać się pieszo, a samo miejsce pozostaje czytelne i akceptowalne w odbiorze nocnym. Badania Markvicy, Richtera i Lenza wykazały, że scenariusze oświetlenia ulicznego wpływają zarówno na percepcję przestrzeni publicznej, jak i na zachowania mobilności, natomiast Castilla i współautorzy pokazali, lokalni odbiorcy interpretują środowisko świetlne przez szerszy zestaw cech percepcyjnych, obejmujących m.in. czytelność i wystarczalność światła, formalną porządek i równomierność kompozycji świetlnej oraz obecność lub brak olśnienia (Markvica et al., 2019; Castilla et al., 2024).

Potrzeby użytkowników nie są jednolite. Różne grupy odbiorców, różne typy aktywności oraz różne sytuacje przestrzenne generują odmienne oczekiwania wobec światła. Dlatego rośnie znaczenie badań zorientowanych na zróżnicowanie użytkowników. Rahmi Johansson wskazują, że ocena oświetlenia z punktu widzenia pieszego wymaga łączenia percepcji, oceny i zachowania w rzeczywistym środowisku, a Radicchi i Henckel pokazują, że planowanie światła w przestrzeniach publicznych powinno uwzględniać także zróżnicowanie możliwości i potrzeb wzrokowych użytkowników (Rahm & Johansson, 2021; Radicchi & Henckel, 2023). Dodatkowo Hao i współautorzy wykazali, że preferencje pieszych wobec parametrów oświetlenia zmieniają się zależnie od warunków otoczenia, a więc nie mają charakteru uniwersalnego (Hao et al., 2022).

Podsumowując, mimo stosunkowo dobrze rozwiniętych badań nad bezpieczeństwem odczuwanym, komfortem widzenia i ogólną oceną przestrzeni, słabiej rozpoznany pozostaje problem oczekiwań użytkowników dotyczących widoczności poszczególnych elementów przestrzeni publicznej. Najnowszy systematyczny przegląd Trop, Shoshany Tavory i Portnova pokazuje, że stan wiedzy o subiektywnej ocenie oświetlenia przestrzeni publicznej pozostaje nadal niepełny, niespójny i słabo ugruntowany kontekstowo, a sami autorzy wskazują na potrzebę dalszych badań lepiej dostosowanych do cech miejsca, kultury i realnych warunków użytkowania. Podobnie CIE 236:2019 porządkuje wiarygodne dane empiryczne dotyczące wrażeń wizualnych i wykonania zadań przez pieszych, ale nie daje gotowej odpowiedzi na pytanie, jaka widoczność konkretnych warstw przestrzeni jest przez użytkowników uznawana za adekwatną w określonym typie miejsca. W literaturze dominują więc ujęcia odnoszące się do ogólnego poziomu oświetlenia, bezpieczeństwa pieszego, rozpoznawalności twarzy, komfortu lub subiektywnej oceny całego środowiska świetlnego, rzadziej natomiast podejmowane jest pytanie, jaka widoczność jezdni, ciągów pieszych i rowerowych, stref wejściowych, elewacji, zieleni czy innych składowych przestrzeni jest uznawana za właściwą przez użytkowników (CIE, 2019; Trop et al., 2023).

To ograniczenie uzasadnia przyjęty kierunek badań. W praktyce projektowej decyzje oświetleniowe nie są bowiem podejmowane wobec abstrakcyjnie rozumianej całej przestrzeni, lecz wobec jej konkretnych warstw oraz relacji między nimi. Uzasadnia to potrzebę badań własnych ukierunkowanych na oczekiwaną widoczność poszczególnych

warstw przestrzeni. Światło jako czynnik bezpieczeństwa, aktywności i atrakcyjności przestrzeni publicznych wprowadza do oceny oświetlenia odrębny i merytorycznie uprawniony wymiar wartościowania. Jeżeli oświetlenie współdecyduje o bezpieczeństwie ruchu, bezpieczeństwie odczuwanym, orientacji, komforcie, mobilności niezmotoryzowanej, atrakcyjności miejsca oraz gotowości do korzystania z przestrzeni po zmroku, to jego wpływ na użytkowników należy uznać za jeden z podstawowych argumentów przemawiających za wielokryterialną oceną wariantów oświetleniowych. Wyniki nowszych badań terenowych w obszarach mieszkaniowych, takich jak badanie Liu i współautorów w Xi'an, wzmacniają ten kierunek, pokazując, że bezpieczeństwo odczuwane wiąże się zarówno z poziomem oświetlenia poziomego, lecz także z półcyldrycznym oświetleniem pionowym w strefie człowieka, a jednocześnie może być osłabiane przez przypadkowe źródła światła i olśnienie (Liu et al., 2026).

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Z przeprowadzonego wyводу wynika, że bezpieczeństwo, komfort percepcyjny i sposób użytkowania przestrzeni po zmroku powinny tworzyć w modelu odrębny wymiar oceny wariantu. Deskryptory modelu powinny zatem obejmować:

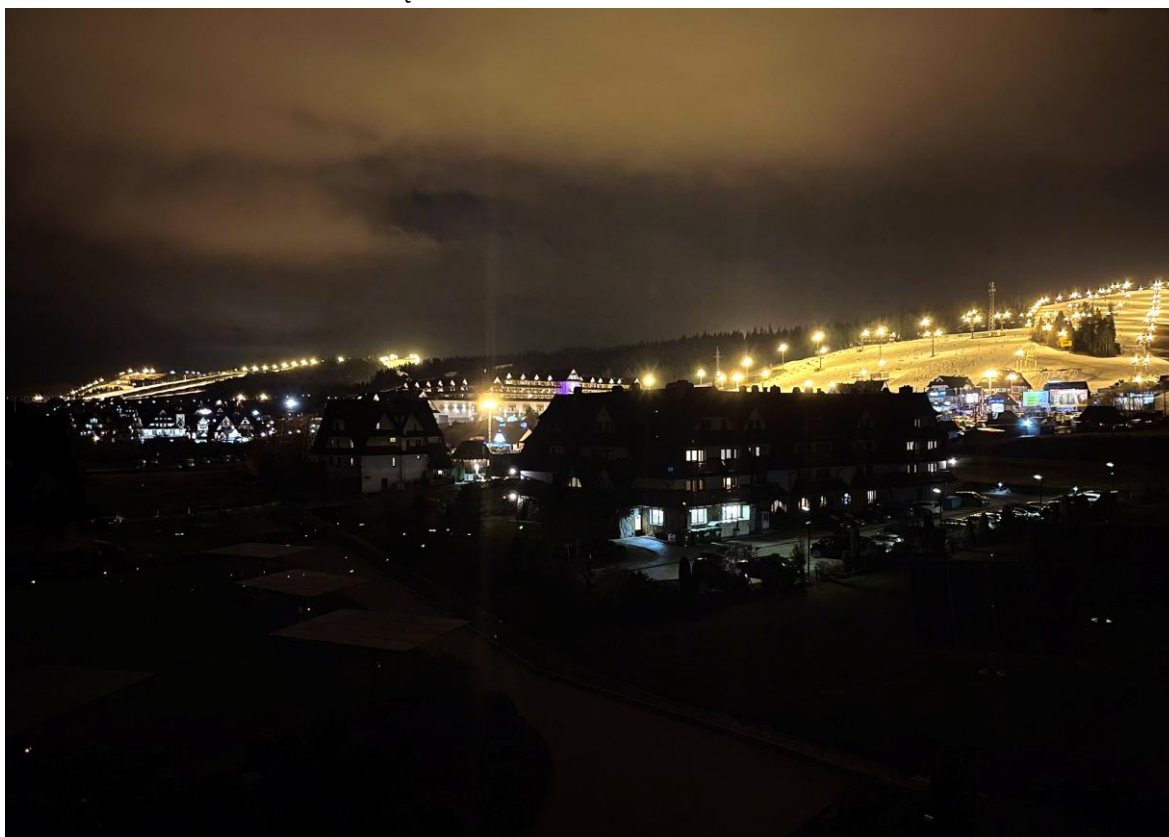
- stopień, w jakim rozwiązanie wspiera bezpieczeństwo ruchu i bezpieczeństwo odczuwane użytkowników,
- czytelność przestrzeni oraz możliwość rozpoznawania jej podstawowych elementów i relacji po zmroku,
- komfort korzystania z przestrzeni przez pieszych i innych użytkowników mobilności niezmotoryzowanej,
- zdolność rozwiązania do podtrzymywania aktywności nocnej i sprzyjania korzystaniu z przestrzeni po zmroku,
- wpływ światła na atrakcyjność miejsca, jego przyjazność oraz gotowość użytkowników do przebywania w nim,
- adekwatność widoczności poszczególnych elementów przestrzeni do charakteru miejsca i oczekiwań użytkowników.

W modelu perspektywa użytkownika obejmuje więc bezpieczeństwo odczuwane, komfort percepcyjny, użyteczność nocnego środowiska publicznego oraz oczekiwaną widoczność warstw przestrzeni. Taki zakres uzasadnia badania własne dotyczące widoczności jezdni, ciągów pieszych i rowerowych, elewacji, zieleni oraz innych elementów współtworzących nocny odbiór miejsca.

5.2 Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy

Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy uzasadnia włączenie tego wymiaru do wielokryterialnej oceny oświetlenia publicznego. Światło po zmroku wpływa na środowisko przyrodnicze, krajobraz nocny oraz obszary poza bezpośrednim zakresem zadania oświetleniowego. Problem środowiskowy ma charakter wielowymiarowy. Obejmuje on oddziaływanie sztucznego światła na organizmy żywe i ich rytmy funkcjonowania, wzrost poświaty nieba (Ryc.48) oraz lokalną intruzję świetlną, a więc emisję światła poza obszar, w którym jest ono funkcjonalnie potrzebne. W literaturze dotyczącej oświetlenia publicznego wyraźnie zaznacza się nurt badań podnoszonych

przez środowisko astronomów, koncentrujący się na ograniczaniu negatywnych skutków sztucznego światła w środowisku nocnym, w tym emisji światła ku niebu oraz światła przeszkadzającego. Jednocześnie środowisko to rzadko odnosi się do pełnego problemu projektowego, a więc do sytuacji, w której wymagania użytkowe, bezpieczeństwo, estetyka, ekonomia i odpowiedzialność środowiskowa muszą być rozpatrywane łącznie. Ten niedostatek dotychczasowych ustaleń badawczych jest dla rozprawy należy uwzględnić: perspektywa środowiskowa musi być włączona do tej samej logiki decyzyjnej, w której rozpatruje się potrzeby użytkowników, charakter miejsca i techniczne możliwości rozwiązania.



Ryc.48. Rozświetlenie nieboskłonu jako skutek intensywnego oświetlenia stoków narciarskich. Białka Tatrzańska. Fot. P. Ratajkiewicz.

W praktyce projektowej problem ten ujawnia się szczególnie wtedy, gdy rozwiązanie poprawne z punktu widzenia podstawowego zadania oświetleniowego generuje emisję światła poza obszar funkcjonalnie uzasadniony. Może to dotyczyć zarówno nadmiernego oświetlenia zieleni i terenów przyrodniczo wrażliwych, jak i nieuzasadnionego rozjaśniania nieba, silnej widoczności źródeł światła w polu widzenia czy emisji światła do okien i na elewacje obiektów sąsiednich. Problem środowiskowy nie jest wyłącznie problemem „ilości światła”, lecz problemem jego nadmiaru, nieadekwatnego kierunku emisji oraz niewłaściwego zakresu oddziaływania. Należy rozróżniać światło przeszkadzające, intruzję świetlną, poświatę nieba oraz nadmierną emisję światła poza obszar zadania. Rozróżnienie to ma znaczenie projektowe: zastępuje ogólne pojęcie „zanieczyszczenia światłem” precyzyjniejszym opisem rodzaju oddziaływania, jego zasięgu i potencjalnych skutków. Najnowsze stanowisko CIE dotyczące oświetlenia przypomina, że dobra jakość oświetlenia powinna równoważyć dobrostan człowieka,

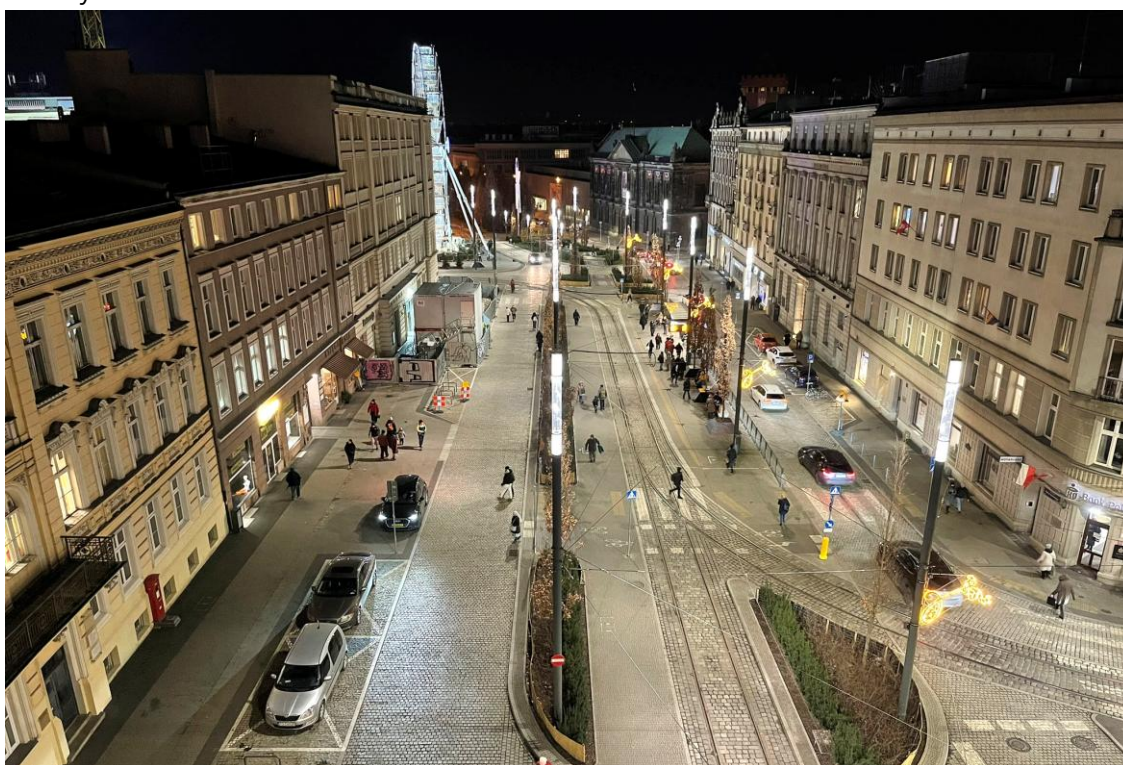
zdrowie, energię, środowisko i uwarunkowania architektoniczne. Środowiskowy wymiar oceny wariantu powinien być opisany przez konkretne cechy emisji: jej kierunek, zasięg, intensywność, czas działania i zgodność z wrażliwością otoczenia. Dokumenty porządkujące ten obszar nie mają tego samego statusu ani tego samego zakresu zastosowania. Podstawowym dokumentem pozostaje CIE 150:2017. EN 12464-2:2024 - ma charakter uzupełniający i dotyczy zewnętrznych miejsc pracy, uwzględniając potrzeby komfortu wzrokowego, wykonania zadań oraz unikanie światła przeszkadzającego. EN 12193:2018 ma charakter sektorowy i odnosi się do oświetlenia sportowego, w tym do wymagań dotyczących iluminacji, równomierności, olśnienia i lokalizacji opraw. Z kolei dokumenty takie jak LAI 2012, NSVV Richtlijn Lichthinder 2020 oraz ÖNORM O 1052:2022 należy traktować jako rozwinięte procedury krajowe służące pomiarowi, ocenie i ograniczaniu emisji świetlnych. Ten porządek ma znaczenie metodologiczne, gdyż umożliwia odróżnienie norm i przewodników o charakterze ogólnym od dokumentów wykonawczych i sektorowych (**Tabela 23**).

Poziom	Dokument	Zakres przydatności w rozprawie	Rola w modelu
podstawowy	CIE 150:2017	ogólna logika oceny obtrusive light, limity, parametry	główna podstawa kryterium środowiskowego
uzupełniający	EN 12464-2:2024	zewnętrzne miejsca pracy, visual comfort + avoidance of obtrusive light	wsparcie dla parametrów i praktyki projektowej
sektorowy	EN 12193:2018	oświetlenie sportowe, silne instalacje, glare i lokalizacja opraw	przykład zastosowań o dużej presji środowiskowej
krajowy wykonawczy	LAI 2012	pomiar, ocena i ograniczanie emisji świetlnych	rozwinięcie proceduralne
krajowy wykonawczy	NSVV Richtlijn Lichthinder 2020	praktyczne zasady i doprecyzowanie stref E	rozwinięcie wykonawcze
krajowy wykonawczy	ÖNORM O 1052:2022	pomiar i ocena light pollution / Lichtimmissionen	rozwinięcie wykonawcze

Tabela 23. Hierarchia dokumentów odniesienia dla oceny oddziaływania środowiskowego światła w nocy Źródło: opracowanie własne na podstawie CIE 150:2017, EN 12464-2:2024, EN 12193:2018, LAI 2012, NSVV 2020 i ÖNORM O 1052:2022.

Na potrzeby modelu szczególnie użyteczne są parametry umożliwiające ocenę zasięgu, kierunku i czasu oddziaływania światła: pionowe natężenie oświetlenia na elewacjach i w oknach obiektów sąsiednich, światłość opraw w kierunkach uciążliwych, udział strumienia emitowanego ku górze oraz możliwość redukcji emisji w czasie. Taki dobór parametrów jest spójny z logiką CIE 150 i EN 12464-2, gdyż to one najlepiej opisują, czy światło pozostaje w obszarze zadania, czy też rozlewa się poza jego funkcjonalnie uzasadniony zakres. Środowiskowy wymiar oceny nie powinien być utożsamiany z jedną abstrakcyjną kategorią zaśmiecania światłem, lecz z zestawem mierzalnych skutków emisji świetlnej. Strefy środowiskowe E0-E4, pokazują, że środowiskowa ocena wariantu ma charakter kontekstowy. Ten sam poziom emisji może być akceptowalny w centrum miasta, a nieakceptowalny w otoczeniu przyrodniczo wrażliwym. Znaczenie mają również poziomy odniesienia dla parametrów światła

przeszkadzającego, ponieważ tworzą pomost między porządkiem normowo-wytocznym a późniejszą konstrukcją deskryptorów oceny. Dzięki temu, kryterium środowiskowe może być opisane przez poziomy porównawczy, których użycie jest już zakorzenione zarówno w normach, jak i w praktyce narzędzi obliczeniowych. W praktyce oznacza to możliwość zbudowania środowiskowego porządku oceny, który będzie uwzględniał zasięg emisji, intruzję świetlną, emisję ku górze oraz możliwość ograniczania światła w czasie. Wariant mniej korzystny środowiskowo może być natomiast energetycznie oszczędny, ale równocześnie generować nadmierną intruzję świetlną, silną widoczność źródeł, zbyt rozległy zasięg oddziaływania albo nieuzasadnione rozświetlanie nieba i elementów otoczenia. To rozróżnienie ma dla modelu kluczowe znaczenie. Pokazuje, że efektywność energetyczna i odpowiedzialność środowiskowa nie są pojęciami tożsamymi.



Ryc.49. Intensywne rozświetlenie elewacji budynków mieszkalnych i usługowych powodujące powstawanie światła intruzyjnego przenikającego do wnętrz pomieszczeń. Aleja. Karola Marcinkowskiego Poznań Fot. P. Ratajkiewicz.

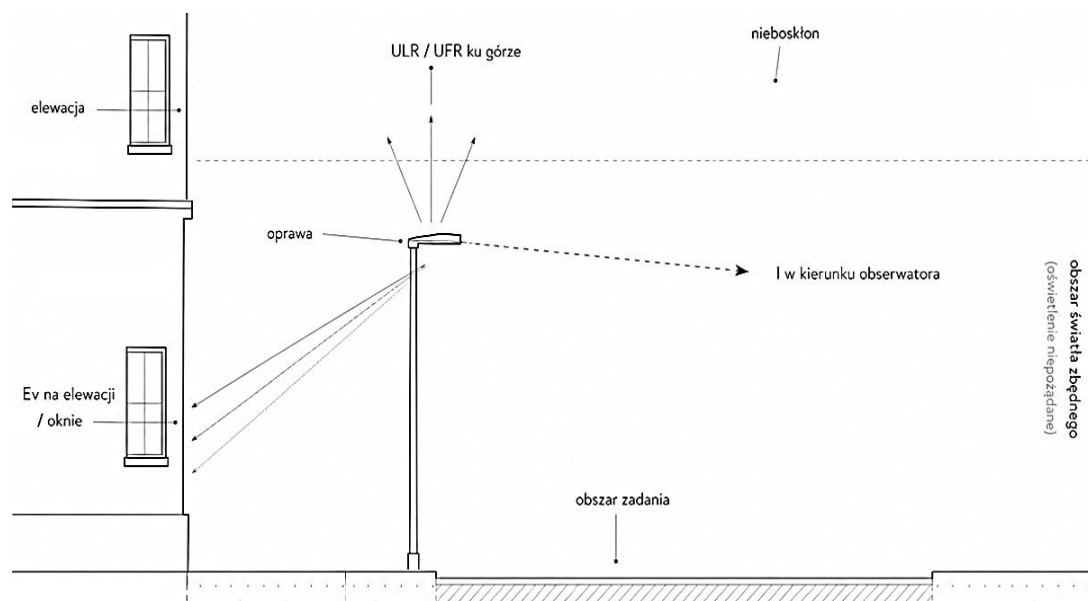
Problem środowiskowy powinien być rozpatrywany w zależności od kontekstu miejsca i od korzyści użytkowych. Część opracowań środowiskowych koncentruje się na emisji ku niebu lub na parametrach opraw, bez dostatecznego odniesienia do potrzeb użytkowników i charakteru przestrzeni (Ryc.48, Ryc.49, Ryc.50). Środowiskowa ocena wariantu nie może bowiem polegać na prostym postulatcie redukcji światła za wszelką cenę, lecz na takim kształtowaniu emisji, aby światło pozostawało tam, gdzie jest potrzebne, w takiej ilości, w jakiej jest potrzebne i w takim czasie, w jakim jest potrzebne, bez generowania nadmiarowych skutków ubocznych. Właśnie ta proporcjonalność i kontekstowość sprawiają, że oddziaływanie środowiskowe musi zostać włączone do modelu jako odrębne kryterium, ale oceniane zawsze w relacji do funkcji, użytkowania i wrażliwości otoczenia. Środowiskowa jakość wariantu obejmuje zużycie energii oraz

wpływ światła na nocne środowisko ożywione, krajobraz, obszary sąsiednie i przestrzeń poza bezpośrednim obszarem zadania. Ocena powinna więc uwzględniać intruzję świetlną, emisję ku górze, redukcję nocną oraz adekwatność zakresu oświetlenia do rzeczywistej funkcji miejsca.



Ryc.50. Na powyższej fotografii przedstawiono podstawowe kierunki oddziaływania światła istotne dla środowiskowej oceny wariantu oświetleniowego -rozświetlenie parterów zieleni okalające alejki parkowe. Park Chrobrego, Gliwice. Fot. P. Ratajkiewicz.

Ryc.51 przedstawia podstawowe kierunki oddziaływania światła. Na schemacie (Ryc.51) wskazano różnicę między światłem kierowanym na obszar zadania, czyli strefę zamierzonego oświetlenia, a światłem zbędnym, wykraczającym poza zakres rzeczywistej potrzeby użytkowej. Uwzględniono oddziaływanie światła na elewację i okna, emisję ku górze oraz światłość w kierunku obserwatora, która może powodować uciążliwość lub olśnienie. Jednocześnie światło padające na powierzchnie pionowe nie powinno być automatycznie traktowane jako zjawisko niepożądane. Oświetlenie elewacji, a szczególnie stref wejściowych, może wynikać ze świadomej intencji projektowej i służyć poprawie orientacji, czytelności granic wnętrza urbanistycznego, identyfikacji wejść oraz poczucia bezpieczeństwa. Kluczowe znaczenie ma zatem kontrola dystrybucji światła na poszczególne płaszczyzny przestrzeni oraz rozróżnienie pomiędzy światłem zamierzonym, uzasadnionym funkcjonalnie lub kompozycyjnie, a światłem przypadkowym. Podobnie należy rozumieć intruzję świetlną, o której można mówić zwłaszcza wtedy, gdy światło niezamierzone lub niekontrolowane dociera do powierzchni okien, w szczególności okien pomieszczeń mieszkalnych. Takie ujęcie rozszerza ocenę środowiskową o wpływ światła na elewacje, otoczenie, nieboskłon oraz użytkowników przestrzeni.



Ryc.51. Podstawowe parametry oceny środowiskowej wariantu oświetleniowego w ujęciu przestrzennym. Opracowanie własne.

Zestawienie (Tabela 24) porządkuje wcześniejsze rozważania w formie operacyjnej, możliwej do wykorzystania w modelu MCDA. Wskazano w nim parametry, które pozwalają opisać środowiskowe oddziaływanie wariantu oświetleniowego zarówno na poziomie pojedynczej oprawy, jak i całej instalacji.

Parametr	Aspekt oddziaływania	Znaczenie dla MCDA
Ev – pionowe natężenie oświetlenia na elewacjach / w oknach	Intruzja świetlna wobec obiektów sąsiednich	im niższe przy zachowaniu funkcji miejsca, tym wariant korzystniejszy
I – światłość opraw w kierunkach uciążliwych	Ryzyko olśnienia oraz uciążliwej widoczności źródła światła	wariant z niższą światłością oceniany wyżej
ULR – udział strumienia emitowanego ku górze	Potencjalny udział oprawy w kształtowaniu poświaty nieba	preferowane warianty o możliwie niskim ULR
UFR – całkowity udział strumienia ku górze dla instalacji	Presja środowiskowa całego układu, z uwzględnieniem światła bezpośredniego i odbitego	przydatny do porównywania pełnych wariantów
Lb – średnia luminancja fasad	Ryzyko nadmiernego rozjaśniania powierzchni pionowych	wspiera ocenę intruzji i adekwatności iluminacji
Ls – średnia luminancja znaków	Ryzyko nadmiernej dominacji powierzchni informacyjnych i reklamowych	ważna w obszarach komercyjnych i komunikacyjnych
redukcja nocna / sterowanie	Możliwość ograniczania zbędnej emisji światła w czasie	warianty z redukcją po czasie redukcji oceniane wyżej
adekwatność zakresu oświetlenia	Adekwatność zakresu oświetlenia względem funkcji miejsca	preferowane warianty ograniczające światło zbędne

Tabela 24. Główne parametry oceny środowiskowej możliwe do wykorzystania w rankingu wariantów. Źródło: opracowanie własne.

Przełożenie parametrów na logikę deskryptorów jakościowych, umożliwiając ocenę wariantów w skali porównawczej musi uwzględniać możliwości pozyskania danych przez decydentów w procesie wykorzystywania wypracowanego narzędzia decyzyjnego. Należy uwzględnić, że kryterium środowiskowe nie oznacza wyłącznie minimalizacji światła, lecz ocenę adekwatności jego dystrybucji, zakresu, czasu działania oraz kontroli emisji zbędnej.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy powinno być w modelu traktowane jako pełnoprawny wymiar oceny wariantu oświetleniowego. Do modelu należy więc wprowadzić deskryptory pozwalające oceniać:

- stopień intruzji świetlnej wobec sąsiednich obiektów i obszarów niebędących przedmiotem zadania oświetleniowego,
- udział emisji ku górze i potencjalny wkład wariantu w powstawanie poświaty nieba,
- zgodność rozwiązania z poziomami odniesienia właściwymi dla odpowiedniej strefy środowiskowej,
- zdolność systemu do ograniczania emisji w czasie, zwłaszcza po czasie redukcji,
- adekwatność zakresu oświetlenia do rzeczywistego obszaru zadania oraz ograniczanie światła zbędnego funkcjonalnie,
- ogólny poziom środowiskowej odpowiedzialności wariantu (w zakresie warstwy sprzętowej) w relacji do jego korzyści użytkowych.

W dalszej formalizacji modelu kryterium środowiskowe należy oddzielić od efektywności energetycznej. Pierwsze dotyczy skutków obecności światła w środowisku nocnym, drugie – relacji między efektem użytkowym a zużyciem energii.

5.3 Efektywność energetyczna

Efektywność energetyczna stanowi odrębny wymiar oceny oświetlenia publicznego. Nie może być utożsamiana ani z samym kosztem eksploatacji, ani z ogólną oceną nowoczesności technologicznej systemu. Jej znaczenie wzmacnia zarówno otoczenie normatywne, jak i regulacyjne. W Polsce obowiązuje ustawa z dnia 20 maja 2016r. o efektywności energetycznej, a w sektorze publicznym funkcjonują wytyczne nakazujące uwzględnianie kryterium efektywności energetycznej w zamówieniach publicznych; równolegle na poziomie unijnym rozporządzenie Komisji (UE) 2019/2020 ustanawia wymagania ekoprojektu dla źródeł światła i oddzielnego osprzętu sterującego. Efektywność energetyczna w oświetleniu publicznym jest elementem aktualnego otoczenia prawnego i rynkowego. Przedmiotem oceny jest zużycie energii w relacji do wymaganego rezultatu świetlnego oraz do charakteru konkretnej przestrzeni. Ten sposób rozumienia odpowiada logice EN 13201-5, która odnosi ocenę energetyczną do relacji między mocą, energią i uzyskiwanym efektem świetlnym w ramach konkretnego projektu. Norma wprowadza dwa podstawowe wskaźniki oceny energetycznej: wskaźnik gęstości mocy PDI (D_p) oraz wskaźnik rocznego zużycia energii AECl (D_E). Norma wskazuje zarazem, że wskaźniki te mogą służyć do porównywania rozwiązań tylko w obrębie tego samego projektu oświetleniowego, ponieważ różna geometria drogi

i różne wymagania oświetleniowe uniemożliwiają porównania bezpośrednie. W badaniach wykonawczych i interpretacyjnych PDI jest odnoszony do jednostki

$$W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}, \text{ a AECl do } Wh \cdot m^{-2}.$$

W ujęciu operacyjnym wskaźniki te można zapisać następująco:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)}$$

gdzie:

$$P = \sum_{k=1}^m P_k + P_{ad}$$

oraz

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A}$$

gdzie P oznacza moc czynną pobieraną przez instalację,

P_k moc poszczególnych punktów świetlnych,

P_{ad} moc urządzeń pomocniczych niezbędnych do prawidłowego działania systemu,

$\bar{E}_i$ średnią wartość natężenia oświetlenia na danym polu obliczeniowym

A_i pole tej powierzchni

P_j moc czynnego punktu świetlnego w danym przedziale pracy,

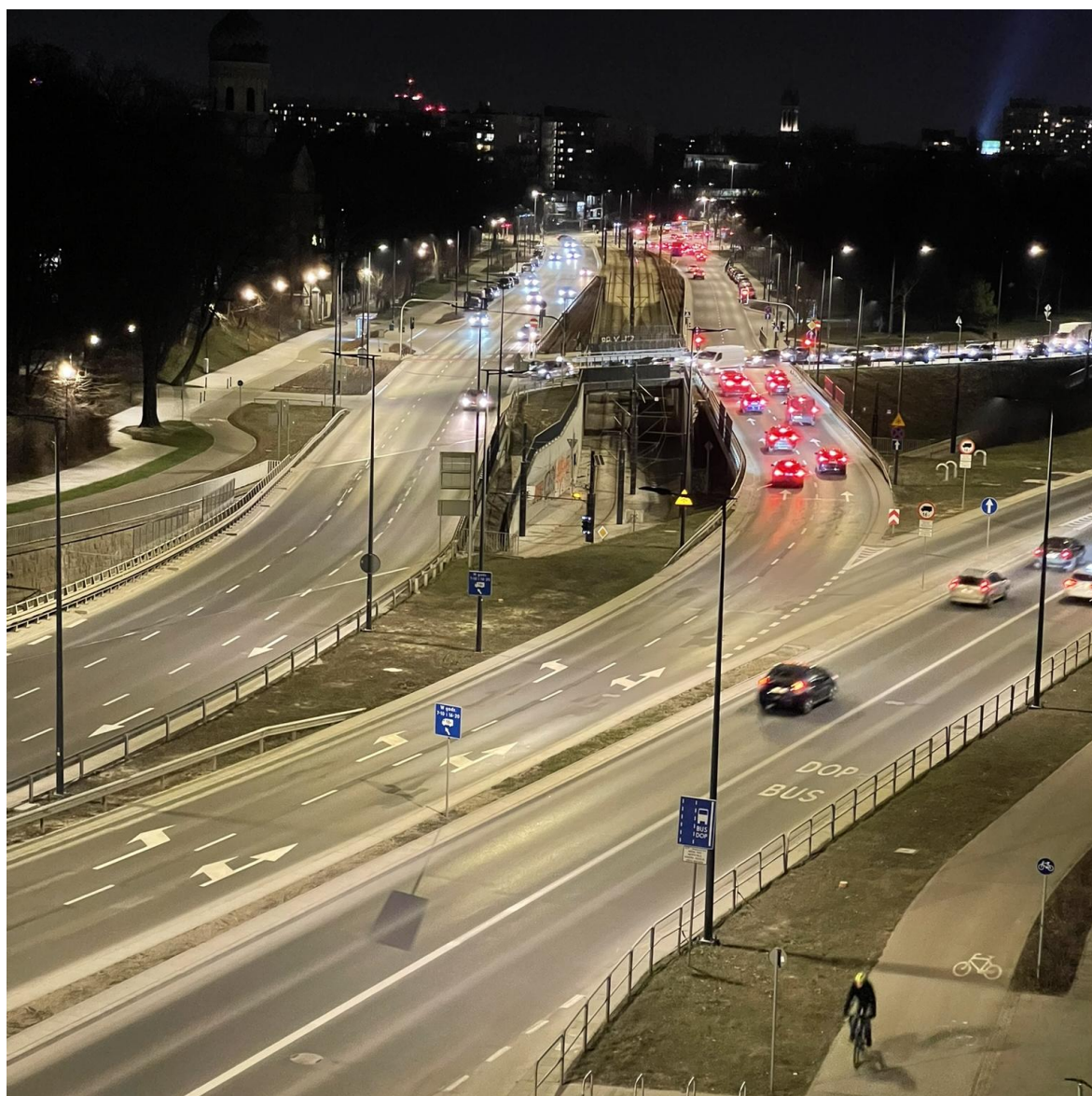
t_j czas jego działania,

A powierzchnię obszaru oświetlanego.

Wskaźniki obrazują, że ocena energetyczna dotyczy całego układu oświetleniowego i relacji pomiędzy pobieraną mocą, rozkładem światła oraz czasem pracy instalacji (Tabela 25). Jeżeli efektywność energetyczna ma zostać włączona do modelu MCDA, nie może być opisywana wyłącznie przez całkowite zużycie energii albo deklarowaną skuteczność świetlną oprawy. Energetycznie dobry wariant nie jest po prostu wariantem „o niskiej mocy”, lecz wariantem, który przy zachowaniu wymaganego poziomu jakości światła osiąga niski poziom D_P i D_E . O wyniku energetycznym współdecydują zarówno parametry urządzeń jak i trafność projektu jako całości²². Doulos i współautorzy wykazali, że w ocenie ofert oświetleniowych wskaźniki energetyczne powinny być odnoszone do całego rozwiązania projektowego, a nie tylko do deklarowanych parametrów urządzeń, przy czym właściwy dobór rozsyłu światłości do konkretnej ulicy ma większe znaczenie niż sama skuteczność świetlna oprawy (Doulos et al., 2019). Z kolei Carli, Dotoli i Pellegrino pokazali, że planowanie modernizacji energetycznej oświetlenia ulicznego wymaga ujęcia decyzyjnego i wielowariantowego, uwzględniającego charakter przestrzeni, parametry techniczne rozwiązania oraz warunki eksploatacji, a nie prostego wskazania urządzenia o najniższym poborze energii (Carli et al., 2018).

²² W literaturze podkreśla się, że o wyniku energetycznym nie decyduje pojedyncza cecha oprawy, lecz cały układ zależności obejmujący sprawność oświetlenia, poziom wymagań świetlnych, geometrię przestrzeni, rozsył światłości oraz sposób sterowania (Ryc.52). Wniosek ten uzasadnia traktowanie efektywności energetycznej jako cechy wariantu projektowego, a nie pojedynczego urządzenia (Pracki, 2011). Potwierdzają to także badania międzynarodowe.

W praktyce eksploatacji szczególne znaczenie ma sterowanie adaptacyjne (Ryc.52), które umożliwia ograniczanie zużycia energii w zależności od czasu, natężenia ruchu lub obecności użytkowników²³.



Ryc.52. Wielopasowy układ komunikacyjny jako przykład przestrzeni o wysokim zapotrzebowaniu energetycznym na oświetlenie oraz dużym potencjale optymalizacji przez sterowanie adaptacyjne. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

²³ Przegląd Agramelala i współautorów pokazuje, że współczesne systemy inteligentnego oświetlenia obejmują już szerokie spektrum metod sterowania – od prostych harmonogramów czasowych po detekcję ruchu, systemy IoT i algorytmy adaptacyjne. Pasolini i współautorzy, analizując duże i długookresowe wdrożenia adaptacyjnego oświetlenia ulicznego, wskazują natomiast, że rzeczywiste oszczędności zależą od jakości architektury sterowania, komunikacji i pomiaru, a nie tylko od samego faktu zastosowania ściemniania. W takim ujęciu energetycznie dobry wariant to wariant nie tylko efektywny w stanie nominalnym, ale również zdolny do proporcjonalnej redukcji poboru energii w czasie (Pasolini et al., 2024).

Równocześnie efektywność energetyczna powinna być oceniana w horyzoncie dłuższym niż faza odbioru instalacji. Valetti i współautorzy, analizując długoterminowy monitoring systemów LED, pokazali, że ocena modernizacji wymaga śledzenia nie tylko oszczędności energii, lecz także zmian parametrów fotometrycznych, potrzeb konserwacyjnych i realnych warunków eksploatacji. Energetyczna jakość wariantu ma również wymiar trwałościowy: dobrze zaprojektowany system powinien utrzymywać korzystną relację między efektem świetlnym a zużyciem energii także w czasie użytkowania, a nie tylko w dokumentacji projektowej. Kryterium efektywności energetycznej styka się z kryterium trwałości

i zarządzalności, ale nie traci przez to swojej odrębności.

Miernik / cecha	Znaczenie	Ograniczenie interpretacyjne
D_P - PDI	pokazuje relację między mocą czynną instalacji a uzyskanym efektem świetlnym na powierzchni zadania	porównywalny tylko w obrębie tego samego projektu / tej samej geometrii
D_E - AECI	opisuje roczne zużycie energii odniesione do powierzchni oświetlanej	zależy od czasu pracy i scenariuszy sterowania
skuteczność świetlna oprawy [lm/W]	opisuje sprawność źródła / oprawy	nie wystarcza do oceny całego wariantu
sprawność oświetlenia	pokazuje, jaka część strumienia jest użytecznie wykorzystana	silnie zależy od geometrii i rozsyłu światłości
redukcja nocna / sterowanie adaptacyjne	pozwała ograniczać zużycie energii w czasie niższego zapotrzebowania	skuteczność zależy od jakości konfiguracji i eksploatacji

Tabela 25. Podstawowe mierniki efektywności energetycznej w oświetleniu drogowym.
Opracowanie własne.

Zasadnym jest odróżnienie efektywności energetycznej od wymiaru kosztowego decyzji. Wysoka efektywność energetyczna zwykle sprzyja redukcji kosztów energii, ale nie jest z nimi tożsama. Koszt zależy dodatkowo od cen energii, taryf, modelu finansowania, kosztów utrzymania, sterowania, wymian komponentów i horyzontu analizy, podczas gdy efektywność energetyczna dotyczy przede wszystkim techniczno-operacyjnej relacji pomiędzy jakością oświetlenia a zużyciem energii. Rozdzielenie tych dwóch porządków jest konieczne w modelu MCDA, gdyż ogranicza ryzyko maskowania jednego kryterium przez drugie. Wariant może być bowiem energetycznie bardzo dobry, ale kosztowo słaby z powodu wysokich nakładów inwestycyjnych lub trudnej obsługi, albo odwrotnie – krótkoterminowo tani, lecz energetycznie nieoptymalny. W konsekwencji należy uznać, że efektywność energetyczna stanowi odrębny, technicznie i metodologicznie uzasadniony wymiar oceny, którego nie można redukować ani do ekonomii, ani do samej wymiany technologii na LED (Tabela 26). Wymaga ona oceny relacji między energią a uzyskiwanym efektem świetlnym, kontroli nadmiaru oświetlenia, dopasowania optyki do geometrii przestrzeni oraz zdolności systemu do adaptacyjnego ograniczania poboru mocy. Dopiero takie ujęcie umożliwia przejście od pytania „ile energii zużywa instalacja?” do pytania projektowo istotniejszego: „czy dany wariant osiąga wymaganą jakość oświetlenia przy racjonalnym, proporcjonalnym i długotrwale uzasadnionym zużyciu energii?”.

Obszar oceny	Cecha podlegająca ocenie
wskaźniki energetyczne	poziom D_P i D_E dla danego wariantu
dopasowanie optyki do przestrzeni	stopień, w jakim rozsył światłości ogranicza straty i nadmiar światła
nadmiarowość oświetlenia	ryzyko prześwietlenia prowadzącego do nieuzasadnionego wzrostu zużycia energii
sterowanie	obecność i jakość redukcji nocnej oraz sterowania adaptacyjnego
trwałość energetyczna	utrzymanie korzystnych parametrów energetycznych w czasie eksploatacji
relacja do innych kryteriów	oddzielenie efektywności energetycznej od kosztów i od ogólnej oceny technologii

Tabela 26. Implikacje efektywności energetycznej dla potencjalnych kryteriów i deskryptorów modelu MCDA. Opracowanie własne.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Efektywność energetyczna powinna być w modelu traktowana jako odrębny wymiar oceny wariantu oświetleniowego. Do modelu należy więc wprowadzić deskryptory pozwalające oceniać:

- relację pomiędzy wymaganym efektem świetlnym a zużyciem energii,
- poziom wskaźników energetycznych właściwych dla danego projektu, w szczególności D_P i D_E ,
- stopień dopasowania rozsyłu światłości do geometrii i funkcji przestrzeni,
- zdolność systemu do redukcji nocnej i adaptacyjnego sterowania,
- ryzyko prześwietlenia lub nieoptymalnego wykorzystania strumienia świetlnego,
- trwałość uzyskiwanej efektywności energetycznej w czasie eksploatacji.

W dalszej formalizacji modelu kryterium efektywności energetycznej powinno obejmować nie tylko deklarowaną skuteczność świetlną źródeł lub moc zainstalowaną, lecz także rzeczywiste wskaźniki energetyczne instalacji, jakość dopasowania optyki do przestrzeni oraz logikę pracy systemu w czasie.

5.4 Ekonomiczny wymiar decyzji oświetleniowej.

Ekonomiczny wymiar decyzji oświetleniowej stanowi jeden z podstawowych argumentów przemawiających za wielokryterialną oceną wariantów, jednak w warunkach infrastruktury publicznej nie może być utożsamiany z logiką klasycznej inwestycji komercyjnej. Oświetlenie publiczne nie służy bowiem generowaniu zysku, lecz świadczeniu usługi publicznej (European Commission, n.d.; European Commission, 2021). Inwestycję oświetleniową realizowaną przez jednostkę samorządu terytorialnego należy rozumieć jako działanie służące realizacji zadania publicznego. Dlatego ekonomiczny wymiar decyzji powinien być traktowany jako jeden z równorzędnych wymiarów racjonalności wyboru, pozostający w napięciu z bezpieczeństwem, oddziaływaniem środowiskowym, jakością przestrzeni i możliwościami zarządczymi (Doulos et al., 2019; Neves et al., 2018). W wielu postępowaniach inwestycyjnych

oświetlenie bywa oceniane przez pryzmat ceny zakupu albo prostych oszczędności energii. Jest to podejście niewystarczające, co wynika z faktu, że rozwiązanie tańsze inwestycyjnie nie musi być rozwiązaniem bardziej racjonalnym ekonomicznie w całym cyklu życia. Ostateczny bilans ekonomiczny zależy bowiem od nakładu początkowego, kosztów eksploatacji, trwałości technicznej, awaryjności, możliwości serwisowania, wymagań utrzymaniowych, sposobu sterowania, a także od podatności systemu na przyszłe dostosowania i modernizacje. W rezultacie ekonomia oświetlenia wymaga ujęcia całościowego, odpowiadającego rzeczywistemu cyklowi życia infrastruktury (Beccali et al., 2015; Valetti et al., 2023; Wojnicki et al., 2016).

Dla uporządkowania ekonomicznej oceny wariantów należy rozróżnić trzy podstawowe poziomy analizy: CAPEX, OPEX oraz TCO. CAPEX obejmuje nakłady inwestycyjne ponoszone na etapie realizacji systemu. OPEX obejmuje koszty ponoszone w trakcie jego eksploatacji. TCO natomiast integruje perspektywę kosztu początkowego i kosztów użytkowania w jeden porządek oceny, pozwalający analizować rozwiązanie w przyjętym horyzoncie czasu. W praktyce właśnie brak takiego rozróżnienia prowadzi najczęściej do decyzji opartych na najniższej cenie zakupu, podczas gdy rzeczywisty ciężar ekonomiczny systemu ujawnia się dopiero w trakcie wieloletniej eksploatacji. W ocenie rozwiązań oświetleniowych konieczne jest uwzględnienie pełnego obciążenia finansowego, jakie dany wariant generuje w czasie (European Commission, n.d.).

Koszt inwestycyjny należy rozumieć szeroko jako sumę wszystkich nakładów niezbędnych do uruchomienia systemu oświetleniowego. Obejmuje on zarówno zakup opraw, jak i słupów, wysięgników, fundamentów, przyłączy, okablowania, szaf oświetleniowych, urządzeń sterujących i komunikacyjnych, robót budowlano-montażowych, dokumentacji projektowej, uzgodnień, pomiarów odbiorowych, uruchomienia i ewentualne koszty dodatkowe, takie jak demontaż istniejących urządzeń czy utylizacja. Tylko tak rozumiany koszt inwestycyjny daje podstawę do porównywania wariantów w sposób rzeczywiście porównywalny. W przeciwnym razie pozorna przewaga cenowa jednego z rozwiązań może wynikać wyłącznie z niepełnego ujęcia zakresu inwestycji.

Wzór dla kosztu inwestycyjnego wariantu można zapisać następująco:

$$CAPEX_v = C_v^{oprawy} + C_v^{słupy} + C_v^{wysięgniki} + C_v^{fundamenty} + C_v^{przyłącza} + C_v^{okablowanie} + C_v^{szafy} + C_v^{sterowanie} + C_v^{roboty} + C_v^{dokumentacja} + C_v^{odbior} + C_v^{dodatkowe}$$

gdzie indeks v oznacza analizowany wariant.

Drugim poziomem analizy jest koszt eksploatacji, czyli OPEX. W przeciwieństwie do kosztu inwestycyjnego nie jest to koszt jednorazowy, lecz strumień wydatków rozłożonych w czasie. Obejmuje on co najmniej koszt energii elektrycznej, koszt serwisu i napraw awaryjnych, koszt konserwacji okresowej, koszt planowych wymian komponentów oraz koszt utrzymania systemów sterowania i komunikacji. Z tego względu rozwiązanie tańsze w realizacji może okazać się mniej racjonalne ekonomicznie, jeżeli generuje wyższe koszty energii, częstsze interwencje serwisowe, krótszą trwałość komponentów lub większą podatność na awarie (Wojnicki & Kotulski, 2018; Valetti et al., 2023).

Roczny koszt eksploatacji można zapisać następująco:

$$OPEX_{v,t} = C_{v,t}^{energia} + C_{v,t}^{serwis} + C_{v,t}^{konserwacja} + C_{v,t}^{wymiany} + C_{v,t}^{utrzymanie} + C_{v,t}^{sterowanie}$$

przy czym koszt energii ma postać:

$$C_{v,t}^{energia} = E_{v,t} \cdot p_t$$

gdzie $E_{v,t}$ oznacza roczne zużycie energii elektrycznej dla wariantu v w roku t , a p_t jednostkową cenę energii.

Najbardziej użytecznym porządkiem oceny ekonomicznej jest jednak TCO, czyli całkowity koszt posiadania i użytkowania systemu w przyjętym horyzoncie analizy. Pojęcie to wymaga jednak pewnego doprecyzowania, ponieważ w literaturze i praktyce bywa używane dwojako. W znaczeniu ścisłym TCO oznacza pełny koszt cyklu życia, obejmujący zarówno nakład początkowy, jak i późniejsze koszty użytkowania, utrzymania i końca życia systemu. W znaczeniu operacyjnym, przydatnym w analizach porównawczych, bywa ono stosowane wężiej – jako długookresowy koszt użytkowania systemu, liczony przy rozdzieleniu kosztu inwestycyjnego od kosztu eksploatacji. Oba podejścia są metodycznie dopuszczalne, lecz nie powinny być stosowane zamiennie bez wyraźnego wskazania, który porządek został przyjęty.

Ogólny wzór na pełny koszt cyklu życia można zapisać następująco:

$$TCO_{v,n}^{full} = CAPEX_v + \sum_{t=1}^n \frac{OPEX_{v,t}}{(1+r)^t} + \frac{C_{v,n}^{EOL} - RV_{v,n}}{(1+r)^n}$$

gdzie:

n – horyzont analizy,

r – stopa dyskontowa,

$C_{v,n}^{EOL}$ – koszt końca życia systemu,

$RV_{v,n}$ – wartość rezydualna.

W praktyce badawczej i wdrożeniowej zasadne jest stosowanie wariantu uproszczonego, opartego na porównywalnym rocznym koszcie eksploatacji i wspólnym horyzoncie czasowym, jeżeli celem jest zachowanie przejrzystości procedury porównawczej. W takim ujęciu długookresowy koszt użytkowania można zapisać jako:

$$TCO_{v,n}^{use} = \sum_{t=1}^n \frac{OPEX_{v,t}}{(1+r)^t}$$

albo w ujęciu jeszcze bardziej uproszczonym:

$$TCO_{v,n}^{use} \approx n \cdot \bar{OPEX}_v$$

o ile wszystkie warianty liczone są dla tego samego horyzontu, tych samych cen odniesienia i tego samego poziomu szczegółowości danych. Uproszczenie to jest dopuszczalne, jeżeli nie prowadzi do zatarcia zasadniczych różnic pomiędzy rozwiązaniami oraz zachowuje porównywalność danych wejściowych.

W literaturze dotyczącej ekonomii oświetlenia publicznego widoczne są trzy główne sposoby liczenia:

- porównywanie scenariuszy modernizacji przez energię, koszt i czas zwrotu.

- wykorzystanie LCC (life-cycle costing) lub zbliżone podejścia TCO (Total Cost of Ownership).
- łączenie analizę ekonomiczną z narzędziami wielokryterialnymi, tak aby koszty były rozpatrywane równolegle z kryteriami środowiskowymi, jakościowymi i zarządczymi.

W budowanym modelu najlepiej logice oceny rozwiązań publicznych odpowiada trzeci nurt. Doulos i współautorzy (2019) opracowali narzędzie wspierające ocenę ofert oświetleniowych, oparte na wskaźnikach energetycznych z EN 13201-5 oraz kryteriach środowiskowych. Ich analiza porównywała całe warianty projektowe jako oferty przetargowe. Ustalono, że zaproponowane narzędzie pozwalało ocenić warianty przy jednoczesnym uwzględnieniu wskaźników energetycznych, wpływu środowiskowego i parametrów technicznych, a studium przypadku wykazało znaczące oszczędności energii i redukcję emisji CO₂ przy zachowaniu jakości rozwiązania. Najważniejszy wniosek z ich badań polega na tym, że dokładny projekt oświetleniowy i właściwy rozsył światłości mają większe znaczenie niż wybór oprawy wyłącznie na podstawie ceny lub deklarowanej skuteczności świetlnej. Valetti i współautorzy (2023) analizowali modernizację oświetlenia na oprawy LED i systemy sterowania, ale nie zatrzymali się na poziomie symulacji. Połączyli dane o zużyciu energii z systemu zdalnego zarządzania, pomiary fotometryczne w terenie oraz kilkuletnią obserwację zachowania parametrów w eksploatacji. Autorzy wykazali wyraźne oszczędności energii, poprawę parametrów fotometrycznych oraz niższą niż zakładano degradację systemów LED. Ekonomiczna racjonalność wariantu nie sprowadza się do kosztu energii. Zależy też od trwałości systemu, stabilności parametrów w czasie, niezawodności oraz nakładów utrzymaniowych. Dlatego długookresowa ocena ekonomiczna powinna obejmować zarówno koszt zakupu i eksploatacji energetycznej, jak i koszty serwisu, awarii, degradacji parametrów oraz zarządzania systemem. Wojnicki, Ernst i Kotulski (2016) analizowali w tym kontekście ekonomiczny wpływ inteligentnego, dynamicznego sterowania oświetleniem miejskim. Ich badania pokazują, że samo wdrożenie technologii LED nie wyczerpuje potencjału ekonomicznego systemu, ponieważ znaczenie mają także architektura sterowania, scenariusze redukcji mocy i warunki rzeczywistej pracy sieci. W podobnym kierunku idą wnioski z badania Wojnickiego i Kotulskiego (2018) dotyczącego wpływu parametrów detektorów natężenia ruchu na zużycie energii: oszczędności zależą nie od samego zastosowania sterowania, lecz od jakości konfiguracji oraz relacji między rzeczywistym ruchem a scenariuszami redukcji. Wartość ekonomiczna systemu ujawnia się dopiero wtedy, gdy sterowanie realnie obniża koszty operacyjne, zachowując użyteczność i bezpieczeństwo oświetlenia. Beccali i współautorzy (2015) porównywali scenariusze modernizacji miejskiego systemu oświetleniowego, łącząc analizę energetyczną, ekonomiczną oraz analizę wrażliwości czasu zwrotu na zmiany kosztów LED i cen energii. Literatura potwierdza, że ekonomia wariantu nie ma charakteru absolutnego, lecz zależy od przyjętego scenariusza, horyzontu analizy, warunków cenowych i sposobu włączenia kosztów do szerszej procedury oceny. Al Irsyad i Nepal (2016) przyjęli jeszcze inną perspektywę. Nie ograniczyli się do pojedynczej inwestycji, lecz próbowali oszacować korzyści wynikające z poprawy efektywności energetycznej oświetlenia w skali kraju, bazując na pilotażu i audytach energetycznych. Autorzy wskazują na duży potencjał oszczędności energii, kosztów i emisji, ale zarazem podkreślają oni, że realizacja takich

korzyści wymaga odpowiednich modeli finansowania oraz aktywnej roli inwestorów lub podmiotów typu ESCO. Argument ten pokazuje, że ekonomiczne znaczenie oświetlenia publicznego może mieć wymiar budżetowy, energetyczny i strategiczny w skali całego systemu zarządzania publicznego. Neves i współautorzy (2018) zastosowali MCDA do tworzenia gminnej strategii energetycznej, uwzględniając kryteria ekonomiczne, techniczne, społeczne i środowiskowe oraz udział interesariuszy. Pokazuje, że w realnej skali JST oświetlenie okazuje się jednym z działań strategicznie uzasadnionych właśnie wtedy, gdy ocenia się je wielokryterialnie, a nie wyłącznie przez koszt inwestycji.

W praktyce oceny ekonomicznej infrastruktury oświetleniowej stosowane są różne narzędzia, ale nie wszystkie są równie przydatne w warunkach samorządowych i nie wszystkie odpowiadają charakterowi usługi publicznej. Ekonomiczny wymiar decyzji oświetleniowej nie ogranicza się wyłącznie do kosztów bezpośrednich. W przypadku usługi publicznej oświetlenie może generować również pośrednie korzyści ekonomiczne, które nie pojawiają się w budżecie projektu jako przychód, ale mogą obniżyć społeczne koszty funkcjonowania miasta lub wspierać lokalną aktywność gospodarczą. Do najważniejszych należą: ograniczenie części kosztów zdarzeń niepożądanych, wydłużenie i poprawa warunków korzystania z przestrzeni po zmroku, wzmocnienie aktywności pieszej i rowerowej, poprawa warunków dla działalności usługowej, handlowej i turystycznej oraz pośrednie wzmacnianie wpływów podatkowych lub opłat lokalnych. W tym obszarze konieczna jest jednak duża ostrożność metodologiczna: nie są to korzyści bezpośrednie i w większości przypadków nie powinny być automatycznie wprowadzane do podstawowego rachunku kosztowego.

Najlepiej rozpoznany zyskiem pośrednim pozostaje bezpieczeństwo. Eksperyment w Nowym Jorku wykazał dużą redukcję nocnych przestępstw w obszarach objętych interwencją oświetleniową, natomiast nowsze badanie wykorzystujące zmienność światła księżycy jako eksperyment naturalny wskazało, że wzrost nocnego oświetlenia wiąże się z niższą liczbą nocnych śmiertelnych potrażeń pieszych (Chalfin et al., 2022; Tyndall, 2025). Wyniki te wspierają włączenie do rachunku korzyści publicznych kategorii unikniętych kosztów bezpieczeństwa, rozumianych jako ograniczenie strat społecznych, zdrowotnych, organizacyjnych i finansowych wynikających ze zdarzeń niepożądanych. Drugim obszarem korzyści jest intensywniejsze wykorzystanie przestrzeni publicznej po zmroku. Poprawa jakości oświetlenia może wydłużać czas aktywnego korzystania z placów, parków, promenad, ciągów pieszych i stref usługowych, zwiększając efektywność istniejących zasobów przestrzennych. W tym sensie dobre oświetlenie przestaje być wyłącznie kosztem utrzymania infrastruktury, a staje się narzędziem podtrzymywania funkcji publicznych, aktywności społecznej i nocnej żywotności miasta. Trzeci kanał dotyczy lokalnej gospodarki. W literaturze poświęconej nocnej gospodarce miejskiej wskazuje się, że aktywność wieczorna i nocna ma realny wymiar ekonomiczny, choć jej pomiar jest utrudniony przez wieloczynnikowy charakter zjawiska. Oświetlenie samo w sobie nie jest oczywiście jedynym czynnikiem rozwoju nocnej gospodarki, ale może stanowić warunek konieczny dla przedłużenia aktywności usługowej, handlowej, turystycznej i rekreacyjnej w przestrzeni publicznej. Z tego względu poprawę jakości oświetlenia można traktować jako czynnik wspierający potencjał ekonomiczny stref aktywnych wieczorem, choć przypisywanie konkretnych wzrostów dochodów wyłącznie samemu oświetleniu byłoby zbyt daleko idące. Najbezpieczniej jest więc mówić o

tworzeniu warunków sprzyjających aktywności gospodarczej, a nie o automatycznie generowanych wpływach budżetowych.

Narzędzie	Zakres oceny	Zalety	Ograniczenie	Przydatność dla metody
Proste porównanie ceny	Koszt nabycia urządzeń lub wykonania podstawowego zakresu inwestycji	Zapewnia szybkie, łatwe do komunikowania porównanie ofert lub wariantów	Pomija koszty eksploatacji, utrzymania, modernizacji oraz różnice w trwałości i jakości rozwiązań	Niska
SPT – simple payback time	Czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych dzięki uzyskanym oszczędnościom	Jest proste w interpretacji i użyteczne jako wstępny wskaźnik opłacalności	Nie uwzględnia wartości pieniądza w czasie, pełnego cyklu życia systemu ani efektów jakościowych i społecznych	Ograniczona
DPP – discounted payback period	Zdyskontowany czas zwrotu nakładów inwestycyjnych	Uwzględnia zmianę wartości pieniądza w czasie, dlatego jest bardziej precyzyjne niż SPT	Nadal koncentruje się głównie na momencie zwrotu nakładów, a nie na pełnej wartości publicznej rozwiązania	Pomocnicza
NPV / IRR	Finansową efektywność projektu w przyjętym horyzoncie analizy	Pozwala ocenić projekt z perspektywy przepływów pieniężnych i jest dobrze ugruntowane w analizie inwestycji	Słabiej odpowiada specyfice usług publicznych, w których korzyści są często pośrednie, niematerialne lub niegenerujące bezpośredniego przychodu	Umiarkowana
LCC / TCO	Całkowity koszt posiadania i użytkowania systemu w cyklu życia	Dobrze ujmuje rzeczywisty ciężar finansowy rozwiązania, obejmując inwestycję, energię, eksploatację, utrzymanie i wymianę elementów	Wymaga przyjęcia założeń dotyczących horyzontu analizy, cen energii, trwałości, serwisowania i scenariuszy eksploatacyjnych	Bardzo wysoka
CBA – cost-benefit analysis	Relację kosztów do korzyści ekonomicznych, społecznych i środowiskowych	Umożliwia uwzględnienie efektów pośrednich, w tym korzyści społecznych, środowiskowych i użytkowych	Wymaga wyceny skutków trudnych do jednoznacznej monetaryzacji, co zwiększa niepewność i ryzyko arbitralności założeń	Wysoka jako analiza uzupełniająca
MCDA / PROMETHEE	Integrację kosztów z kryteriami jakościowymi, technicznymi, środowiskowymi, użytkowymi i zarządczymi	Ujawnia kompromisy między kryteriami, pozwala porównywać warianty publiczne i ogranicza redukcję decyzji wyłącznie do kosztu	Wymaga jawnego określenia kryteriów, wag, preferencji oraz sposobu interpretacji wyników	Kluczowa

Tabela 27 Porównanie narzędzi oceny kosztów, efektywności ekonomicznej i wyboru wariantów oświetlenia publicznego. Opracowanie własne.

Korzyści pośrednie należy traktować jako uzupełniający wymiar interpretacji ekonomicznej, odrębny od podstawowego rachunku CAPEX-OPEX-TCO. Takie ujęcie umożliwia uwzględnienie szerszych efektów publicznych oświetlenia, przy zachowaniu odrębności głównych kryteriów ekonomicznych modelu i bez podwójnego liczenia kosztów. Ich miejsce jest pomocnicze: mogą wzmacniać interpretację wariantu, mogą być podstawą do scenariuszowej analizy kosztów i korzyści, ale nie powinny rozmywać przejrzystości głównego modelu oceny. W modelu podstawowym rdzeniem ekonomii

pozostają bowiem trwałość, efektywność energetyczna, koszt instalacji i koszt eksploatacji.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego.

Z przeprowadzonego wyводу wynika, że ekonomiczny wymiar decyzji oświetleniowej powinien być w modelu traktowany jako pełnoprawny przedmiot oceny. Do modelu należy zatem wprowadzić deskryptory pozwalające oceniać:

- poziom i strukturę kosztu inwestycyjnego wariantu,
- koszt eksploatacji systemu w przyjętym horyzoncie użytkowania,
- całkowity koszt funkcjonowania rozwiązania w perspektywie długookresowej,
- trwałość i niezawodność systemu jako czynniki wpływające na racjonalność ekonomiczną,
- możliwość naprawy, wymiany i utrzymania kluczowych komponentów,
- efektywność energetyczną osiąganą w rzeczywistych warunkach użytkowania,
- wpływ sterowania i zarządzania systemem na ograniczanie kosztów w czasie,
- relację pomiędzy nakładami finansowymi a zdolnością rozwiązania do stabilnego świadczenia usługi publicznej.

W dalszej formalizacji modelu ustalenia te mogą zasilać przede wszystkim preferencję nadrzędną odnoszącą się do ekonomii oraz kryteria dotyczące trwałości i niezawodności, efektywności energetycznej, kosztu instalacji i kosztu eksploatacji. Pośrednie efekty ekonomiczne, takie jak ograniczenie kosztów społecznych zdarzeń niepożądanych lub wzmacnianie warunków dla aktywności gospodarczej, mogą natomiast stanowić warstwę interpretacyjną lub uzupełniającą, ale nie powinny zastępować podstawowych kryteriów kosztowych modelu.

5.5 Jakość przestrzeni, estetyka i wizerunek miejsca

Jakość przestrzeni, estetyka i wizerunek miejsca powinny być traktowane jako odrębny wymiar oceny oświetlenia publicznego, ponieważ światło nie oddziałuje wyłącznie przez zapewnienie widzialności i ograniczanie ryzyka, lecz współtworzy nocny obraz przestrzeni, ujawnia jej strukturę oraz wpływa na rozpoznawalność i społeczną akceptowalność miejsca po zmroku. Światło działa w przestrzeni publicznej jako narzędzie selekcji i hierarchizacji. To, co zostaje oświetlone, zyskuje większą rangę w polu widzenia, a to, co pozostaje niedoświetlone, traci znaczenie kompozycyjne i użytkowe. Nie ujawnia wszystkiego w jednakowym stopniu, lecz zawsze wzmacnia jedne elementy, a inne osłabia. Decyzja oświetleniowa jest zarazem decyzją o strukturze nocnego obrazu miejsca. Jeżeli światło ogranicza się wyłącznie do jezdni i podstawowych stref komunikacyjnych, przestrzeń po zmroku może pozostać funkcjonalna, ale jednocześnie zostać zredukowana do infrastrukturalnego minimum. Badania nad scenariuszami oświetlenia ulicznego wskazują, że zmiana rozwiązań świetlnych kształtuje ocenę oświetlenia, percepcję przestrzeni publicznej oraz sposób poruszania się użytkowników (Markvica et al., 2019).



Ryc.53. Relacja między kompozycją świetlną a kompozycją przestrzenną miejsca. Riva del Garda (IT). Fot. P. Ratajkiewicz.

Z urbanistycznego i architektonicznego punktu widzenia szczególne znaczenie ma zgodność kompozycji świetlnej z kompozycją miejsca (Ryc.53). Światło może wzmacniać osie widokowe, dominanty, rytm elewacji i relacje między planami, ale może też rozpraszać strukturę miejsca i wytwarzać niezamierzone dominanty. Dlatego wartość rozwiązania poza oceną na poziomie lokalnej poprawności technicznej, powinna być także oceniana przez pryzmat kompozycji i spójności architektonicznej nocnego obrazu, jaki ono wytwarza (Cullen, 1961; Lynch, 1960; Carmona et al., 2010). Estetyka przestrzeni

po zmroku obejmuje odbiór charakteru miejsca, jego atmosfery, przyjazności, stopnia uporządkowania oraz relacji między światłem, architekturą i infrastrukturą techniczną. Nowsze badania pokazują, że subiektywna ocena środowiska świetlnego ma strukturę wielowymiarową i obejmuje także takie wymiary jak ekspresyjność, formalność, innowacyjność czy olśnienie, co wzmacnia potrzebę traktowania estetyki jako odrębnego wymiaru oceny (Castilla et al., 2024). Z perspektywy miasta i jego części składowych szczególne znaczenie ma wizerunek miejsca. Oświetlenie może wzmacniać rozpoznawalność przestrzeni reprezentacyjnych, historycznych (Ryc.54), centralnych lub turystycznych, ale może także podnosić jakość zwykłych przestrzeni codziennych: ulic mieszkaniowych, osiedli, parków i lokalnych centrów aktywności (Ryc.55). Wizerunek miejsca należy rozumieć jako końcowy efekt relacji pomiędzy kompozycją przestrzeni, infrastrukturą oświetleniową i strukturą światła.



Ryc.54. Estetyka przestrzeni po zmroku jako wynik relacji między światłem, architekturą, rytmem elewacji i atmosferą miejsca. Plac św. Marka, Wenecja (IT). Fot. P. Ratajkiewicz.

Systematyczny przegląd literatury przeprowadzony przez Trop, Shoshany Tavory i Portnova pokazuje, że wiedza o czynnikach kształtujących bezpieczeństwo, komfort i przyjemność przebywania w przestrzeniach publicznych po zmroku pozostaje nadal rozproszona, obciążona ograniczeniami transferowalności i niewystarczająco uporządkowana kontekstowo. Autorzy podkreślają zarazem, że „jedno rozwiązanie nie pasuje do wszystkich przypadków”, a ocena oświetlenia musi być lepiej dostosowywana do różnych cech miejsca, klimatu, kultury i sposobu użytkowania. Z kolei Radicchi i Henckel zwracają uwagę na potrzebę uwzględniania zróżnicowania możliwości i potrzeb wzrokowych użytkowników, wskazując, że planowanie światła w przestrzeniach publicznych nadal zbyt słabo odpowiada na problem zróżnicowanej wrażliwości. Jakość przestrzeni po zmroku wymaga bardziej zróżnicowanego i kontekstowego pod kątem odbiorcy ujęcia (Trop et al., 2023; Radicchi & Henckel, 2023). Jakość przestrzeni, estetyka i wizerunek miejsca stanowią odrębny wymiar oceny wariantu oświetleniowego.



Ryc.55. Relacja między oświetleniem dekoracyjnym, aktywnością społeczną i atmosferą miejsca w centrum lokalnym. Oświetlenie wraz z aktywnymi parterami oraz intensywnym użytkowaniem przestrzeni, wzmacnia atmosferę miejsca i jego nocną atrakcyjność. San Remo, (IT).
ot. P. Ratajkiewicz.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

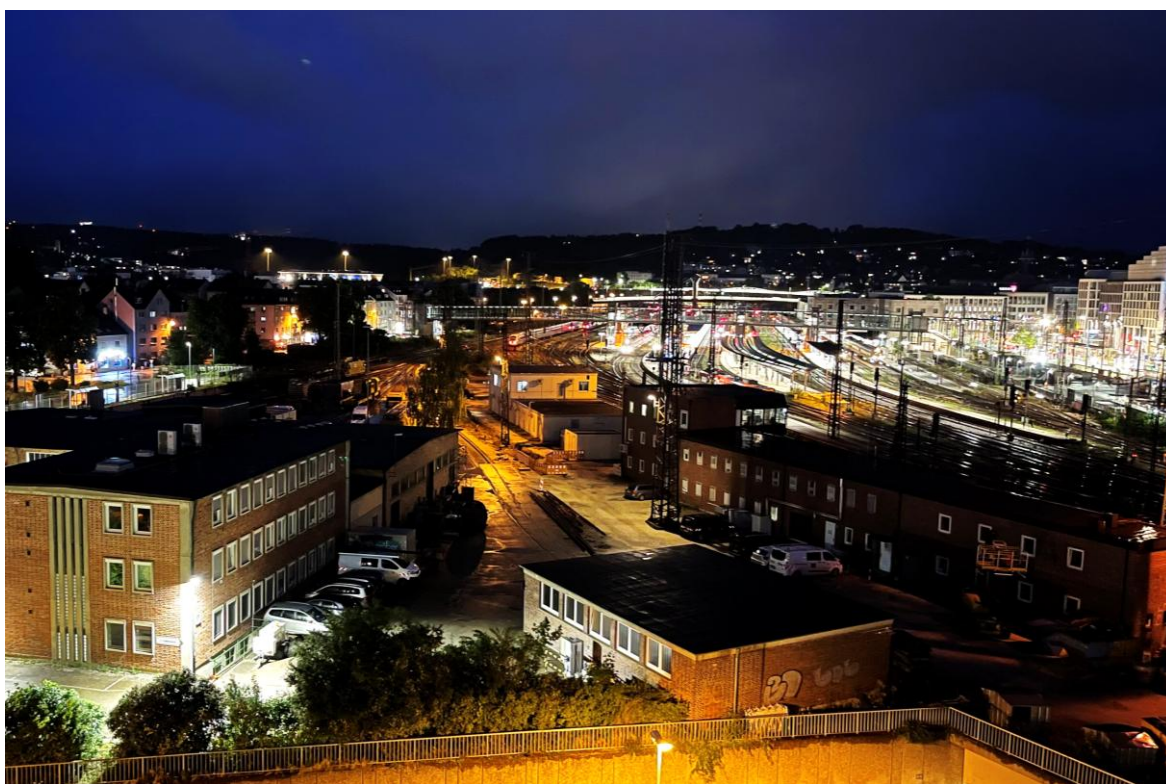
Jakość przestrzeni, estetyka i wizerunek miejsca powinny być w modelu traktowane jako pełnoprawny wymiar oceny wariantu oświetleniowego, co przekłada się na wprowadzenie do modelu takich deskryptorów, które pozwolą oceniać:

- adekwatność formy i rozmieszczenia infrastruktury oświetleniowej do architektury, geometrii i rangi miejsca,
- stopień, w jakim oświetlenie obejmuje i porządkuje różne warstwy przestrzeni, a nie tylko strefę komunikacyjną,
- udział płaszczyzn pionowych, elewacji, zieleni i akcentów przestrzennych w budowaniu nocnego obrazu miejsca,
- czytelność hierarchii nocnego obrazu przestrzeni oraz relacji pomiędzy planem bliskim, pośrednim i dalszym,
- kontrolę nad niezamierzonymi dominantami, w tym widocznością opraw i infrastruktury technicznej,
- spójność i zasadność kompozycji świetlnej z kompozycją urbanistyczną i architektoniczną miejsca,
- stopień intencjonalności koncepcji świetlnej, rozumiany jako przejście od oświetlenia przypadkowego do świadomie komponowanego nocnego obrazu przestrzeni,
- wpływ rozwiązań na tożsamość, rozpoznawalność i wizerunek miejsca po zmroku.

W dalszej formalizacji modelu ustalenia te mogą zasilać przede wszystkim preferencję nadrzędną odnoszącą się do estetyki oraz kryteria dotyczące estetyki i wzornictwa infrastruktury, jakości oświetlenia przestrzeni oraz spójności architektonicznej i intencjonalności koncepcji świetlnej.

5.6 Zrównoważony rozwój i zarządzanie oświetleniem publicznym

Zrównoważony rozwój i zarządzanie oświetleniem publicznym należy traktować jako odrębny, a zarazem integrujący wymiar oceny ponieważ w tym obszarze łączą się społeczne, środowiskowe, energetyczne, ekonomiczne i organizacyjne skutki decyzji oświetleniowej. Z takiego ujęcia wynikają dwa wnioski. Po pierwsze, oświetlenie powinno wspierać rozwój przestrzeni publicznych rozumiany jako poprawa warunków funkcjonowania miasta po zmroku. Po drugie, rozwój ten musi być realizowany w relacji do ograniczeń środowiskowych, materiałowych, ekonomicznych i organizacyjnych (Ryc.56). Rozwój nie jest jeszcze wartością wystarczającą; znaczenie ma dopiero rozwój prowadzony świadomie, proporcjonalnie i w sposób możliwy do uzasadnienia w wielu wymiarach jednocześnie (European Commission, 2021; Ratajkiewicz & Michalak, 2024).



Ryc.56. Zróżnicowana intensywność światła w strukturze miejskiej jako przykład konieczności równoważenia potrzeb funkcjonalnych, jakości przestrzeni oraz ograniczeń środowiskowych. Ulm, (DE). Fot. P. Ratajkiewicz.

Na poziomie strategicznym znaczenie mają polityki publiczne łączące efektywność energetyczną, odpowiedzialność środowiskową i sprawność zarządzania infrastrukturą. Ocena rozwiązań oświetleniowych powinna więc uwzględniać szerszy kontekst polityk środowiskowych, energetycznych i zarządczych. Takie ujęcie znajduje dziś wyraźne umocowanie w dokumentach publicznych i ustawodawstwie, w tym w „Polityce ekologicznej państwa 2030” oraz „Polityce energetycznej Polski do 2040r.”

Oświetlenie publiczne należy rozpatrywać jako element szerszych polityk środowiskowych, energetycznych i zarządczych państwa oraz samorządu (Polityka ekologiczna państwa 2030, 2019; PEP2040, 2021). Na poziomie europejskim znaczenie

ma Dyrektywa (UE) 2023/1791 w sprawie efektywności energetycznej, która wzmacnia zasadę „energy efficiency first” – „efektywność energetyczna przede wszystkim” – oraz wskazuje, że całkowite końcowe zużycie energii przez wszystkie podmioty publiczne łącznie powinno być redukowane co najmniej o 1,9% rocznie względem poziomu bazowego. W odniesieniu do oświetlenia publicznego wymaga to projektowania i modernizacji systemów w sposób łączący oszczędność energii z adekwatnością przestrzenną i użytkową, a nie prostego ograniczania światła tam, gdzie mogłoby to pogarszać jakość przestrzeni lub bezpieczeństwo jej użytkowników (Dyrektywa (UE) 2023/1791, 2023). Na poziomie prawa krajowego odpowiada temu Ustawa z dnia 20 maja 2016r. o efektywności energetycznej, której aktualny tekst jednolity określa zadania jednostek sektora publicznego w zakresie efektywności energetycznej, zasady realizacji obowiązku uzyskania oszczędności energii oraz prowadzenia centralnego rejestru oszczędności energii finalnej (Ustawa o efektywności energetycznej, 2024). Jeszcze wyraźniej wielowymiarowość decyzji ujawnia się w przepisach dotyczących zamówień publicznych. Dyrektywa 2014/24/UE w art. 67 stanowi, że zamówienia powinny być udzielane na podstawie oferty najkorzystniejszej ekonomicznie, identyfikowanej nie tylko na podstawie ceny, lecz także na podstawie kosztu z wykorzystaniem podejścia efektywności kosztowej, takiego jak koszt cyklu życia, oraz na podstawie kryteriów jakościowych, środowiskowych i społecznych. Przepisy dotyczące zamówień publicznych potwierdzają zatem, że dobra decyzja publiczna nie może być redukowana do ceny wejścia, lecz powinna uwzględniać jakość, koszty użytkowania i skutki środowiskowe w całym cyklu życia rozwiązania.

To samo znajduje odzwierciedlenie w polskim Prawie zamówień publicznych. Artykuł 242 ust. 1–2 stanowi, że najkorzystniejsza oferta może być wybrana na podstawie kryteriów jakościowych oraz ceny lub kosztu, a kryteria jakościowe mogą odnosić się m.in. do jakości, właściwości estetycznych i funkcjonalnych, potrzeb użytkowników, aspektów środowiskowych – w tym efektywności energetycznej – aspektów innowacyjnych oraz serwisu posprzedażnego i pomocy technicznej. Artykuł 245 ust. 1–3 dopuszcza, aby kryterium kosztu było oparte na metodzie efektywności kosztowej, jaką jest „rachunek kosztów cyklu życia”, obejmujący koszty nabycia, użytkowania, zużycia energii i innych zasobów, utrzymania, wycofania z eksploatacji, a także, od pewnymi warunkami, koszty ekologicznych efektów zewnętrznych. Artykuł 246 ogranicza z kolei stosowanie ceny jako jedyne kryterium lub kryterium o wadze przekraczającej 60%, jeżeli zamawiający nie określił standardów jakościowych odnoszących się do wszystkich cech przedmiotu zamówienia. Dla niniejszej rozprawy jest to ustalenie szczególnie ważne: **aktualne prawo polskie nie tylko dopuszcza, ale wręcz wzmacnia potrzebę oceny wielokryterialnej, uwzględniającej jakość, środowisko, koszty cyklu życia i potrzeby użytkowników** (Prawo zamówień publicznych, 2024).

W obszarze oświetlenia publicznego rośnie znaczenie regulacji dotyczących produktów, materiałów i gospodarki zasobami. Rozporządzenie Komisji (UE) 2019/2020 ustanawia wymogi ekoprojektu dla źródeł światła i oddzielnego osprzętu sterującego, a rozporządzenie delegowane (UE) 2019/2015 porządkuje zasady etykietowania energetycznego źródeł światła. Dyrektywa 2011/65/UE (RoHS) wzmacnia ograniczenia dotyczące stosowania niektórych substancji niebezpiecznych w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym w celu ochrony zdrowia człowieka i środowiska. Dyrektywa 2012/19/UE

(WEEE) ma z kolei wspierać zapobieganie powstawaniu odpadów elektrycznych i elektronicznych, ponowne użycie, recykling oraz odzysk surowców wtórnych. Najnowszym, najszerszym ramowo instrumentem jest rozporządzenie (UE) 2024/1781, którego art. 1 ustanawia ramy dla wymagań ekoprojektu dla produktów z zamiarem poprawy ich środowiskowej trwałości w całym cyklu życia oraz uczynienia zrównoważonych produktów normą na rynku UE. Z perspektywy oświetlenia publicznego wszystkie te akty łącznie przesuwają punkt ciężkości z pytania „czy źródło jest oszczędne?” ku pytaniu „czy system jest zarazem efektywny, trwały, serwisowalny, materiałowo odpowiedzialny i możliwy do oceny w całym cyklu życia” (Rozporządzenie (UE) 2019/2020, 2019; Dyrektywa 2011/65/UE, 2011; Dyrektywa 2012/19/UE, 2012; Rozporządzenie (UE) 2024/1781, 2024). Z tego tytułu znaczenie zyskuje zarządzanie oświetleniem publicznym. Współczesne systemy stają się infrastrukturą informacyjną i operacyjną, którą można monitorować, sterować, diagnozować i dostosowywać do zmiennego użytkowania przestrzeni. Zarządzanie obejmuje zatem konserwację i naprawy, strategiczne planowanie, monitoring zużycia energii, kontrolę parametrów pracy, organizację serwisu, programowanie redukcji nocnej, zbieranie danych o awariach i użytkowaniu oraz utrzymywanie zdolności organizacyjnej po stronie zarządcy²⁴. Dla modelu decyzyjnego wnioskiem jest, że zarządzalność nie jest dodatkiem do infrastruktury, lecz jednym z podstawowych wymiarów jej jakości i trwałości (Ernst et al., 2018; Tagliabue et al., 2020; Agramelal et al., 2023; Pasolini et al., 2024). Skoro rozwój w obszarze oświetlenia publicznego oznacza poprawę zdolności miasta do świadczenia dobrej jakości usługi publicznej, a rozwój zrównoważony oznacza osiągnięcie tego celu przy równoczesnym uwzględnieniu ograniczeń środowiskowych, materiałowych, ekonomicznych i organizacyjnych, to proces oceny nie może mieć charakteru jednowymiarowego. Musi być wielokryterialny.

²⁴ Pizzuti, Annunziato i Moretti pokazali, że koncepcja „światło na życzenie” wymaga wiarygodnych modeli popytu i sterowania adaptacyjnego, a właściwie zaprojektowany system może przynieść oszczędności energii rzędu do 50% względem systemu nieregulowanego. Thiel, Ensslin i Ensslin wskazali z kolei, że ewaluacja działania w zarządzaniu oświetleniem ulicznym jest warunkiem przejścia od działania reaktywnego do strategicznego (Pizzuti et al., 2013; Thiel et al., 2017). Współczesne narzędzia zarządzania rozwijają ten kierunek dalej, łącząc sterowanie, analitykę przestrzenną i systemy informacji o infrastrukturze. Ernst, Łabuz, Środa i Kotulski zwracają uwagę, że jednym z podstawowych problemów nowoczesnego oświetlenia nie jest brak spójnych metod integrowania wszystkich danych przestrzennych, geometrycznych i eksploatacyjnych; właśnie dlatego proponują podejście oparte na przetwarzaniu danych przestrzennych i GIS, pozwalające lepiej wiązać charakter obszaru, wymagania normowe i decyzje projektowe. Tagliabue i współautorzy pokazali z kolei możliwość wykorzystania danych generowanych przez czujniki IoT i analiz GIS do oceny bezpieczeństwa obszarów miejskich na podstawie danych oświetleniowych. Agramelal i współautorzy podsumowują natomiast szerokie spektrum współczesnych metod sterowania, od prostych harmonogramów po systemy oparte na wizyjnej detekcji i sztucznej inteligencji, wskazując, że oświetlenie uliczne staje się elementem większych systemów komunikacyjnych, sensorycznych i środowiskowych. Pasolini i współautorzy, analizując duże i długookresowe wdrożenia adaptowanego oświetlenia, pokazują dodatkowo, że realna wartość takich systemów ujawnia się dopiero wtedy, gdy łączy się aspekty techniczne, ekonomiczne i pomiarowe w skali długiego czasu użytkowania.

Wnioski do dalszej formalizacji modelu decyzyjnego

Zrównoważony rozwój i zarządzanie oświetleniem publicznym powinny być w modelu osadzone w sposób naturalny w reprezentacji wybranych kryteriów. Deskryptory w modelu powinny oceniać:

- stopień, w jakim rozwiązanie wspiera rozwój przestrzeni publicznej jako usługi publicznej, a nie tylko realizuje minimalne wymagania techniczne,
- zgodność systemu z zasadą efektywności energetycznej oraz z długookresową racjonalnością energetyczną i eksploatacyjną,
- wpływ rozwiązania na zużycie zasobów i materiałów w całym cyklu życia,
- poziom zgodności materiałowej i środowiskowej z wymaganiami prawa UE oraz logiką gospodarki o obiegu zamkniętym,
- stopień kontroli nad emisją światła w nocy, w tym nad kierunkiem emisji, czasem świecenia i ochroną obszarów wrażliwych,
- trwałość, serwisowalność i podatność systemu na naprawę, modernizację oraz wymianę komponentów,
- poziom zarządzalności systemu, rozumiany jako możliwości sterowania, monitoringu, diagnostyki, integracji danych i adaptacji pracy oświetlenia w czasie,
- zdolność rozwiązania do utrzymywania jakości usługi publicznej przy równoczesnym ograniczaniu negatywnych skutków środowiskowych, organizacyjnych,
- przydatność wariantu do stosowania w długookresowym, strategicznym zarządzaniu oświetleniem na poziomie ulicy, obszaru, dzielnicy lub całej jednostki samorządu terytorialnego.

W dalszej formalizacji modelu ustalenia te uzasadniają powiązanych porządków oceny. Wskazać należy zrównoważenie środowiskowe i obejmuje gospodarkę zasobami i materiałami oraz oddziaływanie światła w nocy a także zarządzania systemem oświetlenia, możliwość adaptacji pracy oraz przydatność do długookresowego utrzymania. Ustalenia te wzmacniają potrzebę łącznego uwzględnienia trwałości i niezawodności, efektywności energetycznej oraz kosztu eksploatacji jako podstawy oceny, czy dany wariant wspiera rozwój prowadzony w sposób zrównoważony.

5.7 Dobór metody wielokryterialnej do problemu oceny wariantów oświetlenia publicznego

W rozdziałach 3–5 określono grupy parametrów i kryteriów, które powinny zostać uwzględnione w procesie modelowania decyzji dotyczącej wyboru wariantu oświetlenia przestrzeni publicznej (Tabela 28). Kryteria te wynikają z trzech wcześniejszych etapów analizy: rozpoznania kontekstu przestrzennego, identyfikacji projektowo-technicznych cech wariantu oraz określenia konsekwencji stosowania światła sztucznego w mieście. W rozdziale 3 wykazano, że potrzeby oświetleniowe zależą od cech przestrzeni, a nie wyłącznie od jej ogólnej funkcji. Znaczenie mają m.in. morfologia, kompozycja wnętrza urbanistycznego, sposób użytkowania, struktura użytkowników, obecność zieleni, relacje widokowe oraz funkcja przestrzeni w układzie miasta. W rozdziale 4 określono techniczne i projektowe cechy wariantu oświetleniowego, obejmujące parametry ilościowe, rozwiązania technologiczne, sposób kształtowania światła oraz relację między warstwami

przestrzeni. W rozdziale 5 wskazano natomiast konsekwencje decyzji oświetleniowej: społeczne, środowiskowe, energetyczne, ekonomiczne, estetyczne i zarządcze. Zestaw tych kryteriów nie jest jednorodny.

Źródło kryteriów w pracy	Grupa kryteriów / parametrów	Przykładowe elementy oceny	Charakter danych	Znaczenie dla wyboru metody
Rozdział 3	Kontekst przestrzenny	morfologia, funkcja, rodzaj wnętrza urbanistycznego, użytkownicy, środowisko, sposób użytkowania	opisowe, klasyfikacyjne, porządkowe	metoda musi uwzględniać różne profile przestrzeni i zmienne znaczenie kryteriów
Rozdział 4	Parametry techniczne	luminancja, natężenie oświetlenia, równomierność, olśnienie, klasa oświetleniowa, parametry opraw	liczbowe, normatywne	metoda musi obsługiwać kryteria mierzalne i warunki brzegowe
Rozdział 4	Cechy projektowe wariantu	kompozycja świetlna, oświetlenie powierzchni pionowych, ekspozycja architektury, relacja jezdnia-chodnik-elewacje-zieleń	jakościowe, eksperckie, porządkowe	metoda musi umożliwiać ocenę deskryptorową, nie tylko pomiar liczbowy
Rozdział 5	Bezpieczeństwo i użytkowanie	poczucie bezpieczeństwa, komfort widzenia, orientacja, czytelność przestrzeni	jakościowe i percepcyjne	metoda musi dopuszczać kryteria „miękkie”
Rozdział 5	Środowisko	ograniczenie światła zbędnego, wpływ na faunę i florę, temperatura barwowa, emisja światła ku górze	liczbowe, jakościowe, eksperckie	metoda musi łączyć wskaźniki środowiskowe z oceną projektową
Rozdział 5	Energia	moc systemu, zużycie energii, możliwość redukcji strumienia, sterowanie czasowe	liczbowe	metoda musi uwzględniać kryteria minimalizowane
Rozdział 5	Ekonomia	CAPEX, OPEX, TCO, koszty utrzymania, trwałość rozwiązania	finansowe, liczbowe	metoda musi uwzględniać kryteria kosztowe bez ich automatycznej dominacji
Rozdział 5	Estetyka i wizerunek	jakość nocnego obrazu, atmosfera miejsca, spójność z architekturą, atrakcyjność przestrzeni	jakościowe, eksperckie	metoda musi porównywać warianty także według kryteriów niewymiernych bezpośrednio
Rozdział 5	Zarządzanie	możliwość sterowania, adaptacyjność, trwałość, serwisowalność, integracja z systemem miejskim	mieszane: liczbowe i jakościowe	metoda musi obsługiwać kryteria systemowe i eksploatacyjne

Tabela 28. Charakter kryteriów decyzyjnych wynikających z rozdziałów 3–5. Opracowanie własne.

Powyższy zestaw obejmuje zarówno parametry mierzalne liczbowo, jak i kryteria jakościowe, wymagające oceny eksperckiej, opisowej lub porządkowej. Taki układ odpowiada typowym problemom wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w których rozstrzygnięcie nie wynika z jednej miary efektywności, lecz z konieczności porównania wariantów według wielu, często częściowo konfliktowych kryteriów (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Greco et al., 2016; Roy, 1990). Z tego względu wybór metody oceny wariantów musi wynikać z charakteru problemu decyzyjnego, typu danych oraz oczekiwanego sposobu interpretacji wyniku, a nie z arbitralnego przyjęcia jednej techniki obliczeniowej. Metoda oceny wariantów musi być zdolna do pracy na danych

mieszanych, a jednocześnie powinna umożliwiać uwzględnienie zmiennej wagi poszczególnych kryteriów w zależności od typu przestrzeni i celu projektu. Część kryteriów ma charakter maksymalizowany, jak jakość przestrzenna, bezpieczeństwo, trwałość czy zarządzalność systemu, natomiast inne powinny być minimalizowane, jak koszt, zużycie energii lub oddziaływanie środowiskowe. Wybór metody powinien odpowiadać rzeczywistej strukturze problemu decyzyjnego. Z tego względu przed wskazaniem właściwej metody konieczne jest określenie podstawowych wymagań, jakie powinna spełniać procedura oceny wariantów oświetleniowych. Zostały one syntetycznie przedstawione zestawieniu tabelarycznym (patrz w Tabela 29).

Wymaganie wobec metody	Uzasadnienie wynikające z charakteru problemu
Obsługa kryteriów liczbowych	część parametrów ma charakter mierzalny: koszt, energia, trwałość, poziomy oświetleniowe
Obsługa kryteriów jakościowych	część ocen dotyczy estetyki, czytelności, kompozycji, atmosfery i dopasowania do miejsca
Możliwość ważenia kryteriów	znaczenie kryteriów zmienia się w zależności od kontekstu przestrzennego i celu projektu
Możliwość porównania kilku wariantów	decyzja projektowa polega na wyborze najlepszego z kilku możliwych rozwiązań
Uwzględnienie kryteriów maksymalizowanych i minimalizowanych	część kryteriów należy zwiększać, np. bezpieczeństwo, trwałość, jakość; część ograniczać, np. koszt, zużycie energii, oddziaływanie środowiskowe
Ograniczenie pełnej kompensacji	niska cena nie powinna całkowicie kompensować słabej jakości przestrzennej, środowiskowej lub bezpieczeństwa
Czytelny wynik końcowy	metoda powinna dawać wynik zrozumiały dla projektanta, urzędnika i decydenta
Możliwość późniejszej implementacji w narzędziu obliczeniowym	model ma mieć charakter aplikacyjny, a nie wyłącznie opisowy

Tabela 29. Wymagania wobec metody oceny wariantów oświetleniowych. Opracowanie własne.

Dobór metody oceny wariantów wynika bezpośrednio ze struktury analizowanego problemu decyzyjnego. W przypadku oświetlenia przestrzeni publicznych konieczne jest zarówno uszeregowanie wariantów, jak i wskazanie, które cechy rozwiązania budują jego przewagę, a które ograniczają jego przydatność. Metoda oceny musi więc umożliwiać porównanie kryteriów technicznych, przestrzennych, percepcyjnych, środowiskowych i ekonomicznych bez redukowania decyzji do jednej dominującej miary kosztu, zużycia energii lub poziomu oświetlenia. Na tej podstawie odrzuca się metody niewystarczające dla przyjętego problemu albo traktuje się je wyłącznie jako pomocnicze. Do rozważenia przyjęto trzy grupy metod: metodę sumy ważonej, metodę AHP oraz metody outrankingowe, w szczególności PROMETHEE II (Tabela 30).

Metoda	Zakres porównania	Charakterystyka
Suma ważona / SAW / WSM	Przydatność	Prosta, czytelna i łatwa do wdrożenia. Pozwala nadać kryteriom wagi i obliczyć wynik końcowy.
	Ograniczenia	Zakłada silną kompensację. Wariant tani lub energooszczędny może uzyskać wysoką ocenę mimo słabej jakości przestrzennej, środowiskowej lub percepcyjnej.
	Ocena przydatności	Niewystarczająca jako główna metoda.
	Podstawa metodyczna	Triantaphyllou, 2000; Belton & Stewart, 2002.
	Odniesienie aplikacyjne	Bian & Yang, 2025 – wielokryterialna, ważona ocena źródeł OZE dla smart street lighting.
AHP	Przydatność	Bardzo dobra do strukturyzacji problemu i ustalania wag. Zapewnia czytelną hierarchię celów, kryteriów i podkryteriów.
	Ograniczenia	Przy dużej liczbie kryteriów i wariantów wymaga wielu porównań parami. Jest mniej wygodna jako końcowa procedura rankingu wariantów oświetleniowych.
	Ocena przydatności	Przydatna pomocniczo do ważenia, ale nie jako główna metoda rankingu.
	Podstawa metodyczna	Saaty, 1980, 2000, 2004; Goepel, 2018.
	Odniesienie aplikacyjne	Broniewicz & Ogrodnik, 2021 – AHP, TOPSIS i PROMETHEE jako często stosowane metody MCDA w problemach transportowych.
TOPSIS / VIKOR	Przydatność	Pozwala wskazać wariant najbliższy rozwiązaniu idealnemu lub wariant kompromisowy.
	Ograniczenia	Wymaga zdefiniowania rozwiązania idealnego. W oświetleniu „więcej” nie zawsze oznacza „lepiej”, a optimum zależy od kontekstu.
	Ocena przydatności	Możliwa do zastosowania, ale mniej adekwatna dla kryteriów kontekstowych i jakościowych.
	Podstawa metodyczna	Hwang & Yoon, 1981; Opricovic & Tzeng, 2004.
	Odniesienie aplikacyjne	Hajduk & Jelonek, 2021; Hajduk, 2022 – TOPSIS w ocenie smart cities i transportu miejskiego.
PROMETHEE II	Przydatność	Umożliwia porównanie wariantów parami, uwzględnia wagi, kryteria maksymalizowane i minimalizowane, progi preferencji oraz pełny ranking wariantów.
	Ograniczenia	Wymaga wcześniejszego uporządkowania kryteriów, wag i skali ocen oraz dyscypliny w definiowaniu deskryptorów.
	Ocena przydatności	Metoda najbardziej adekwatna jako główna procedura rankingu.
	Podstawa metodyczna	Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005; Behzadian et al., 2010.
	Odniesienie aplikacyjne	Pracki & Skarżyński, 2020; Valencia Pavón et al., 2024; Morfoulaki & Papathanasiou, 2021; Mutambik, 2024.

Tabela 30. Porównanie wybranych metod MCDA pod kątem zastosowania w modelu oceny oświetlenia. Opracowanie własne.

Wybór metody PROMETHEE II wynika z dopasowania jej cech do struktury problemu decyzyjnego oraz do charakteru kryteriów wyprowadzonych w rozdziałach 3–5. Metody outrankingowe są szczególnie przydatne w sytuacjach, w których warianty nie są jednoznacznie porównywalne według jednego kryterium, a decyzja wymaga uwzględnienia częściowych przewag i słabości poszczególnych rozwiązań (Roy, 1990; Figueira et al., 2005). PROMETHEE daje możliwość porównania wariantów, stosowania funkcji preferencji, uwzględniania progów obojętności i preferencji oraz interpretować

wynik przez przepływy preferencji dodatniej, ujemnej i netto (Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005). W analizowanym modelu ma to szczególne znaczenie, ponieważ warianty oświetleniowe mogą być jednocześnie korzystne w jednym wymiarze i słabsze w innym. PROMETHEE II pozwala porównywać różne warianty bez redukcji całego problemu do jednej sumy punktów. Dla niniejszej pracy szczególnie istotne są właściwości metody PROMETHEE II:

Cecha metody PROMETHEE II	Znaczenie dla modelu oceny oświetlenia publicznego
Porównywanie wariantów parami	odpowiada praktyce projektowej, w której analizuje się konkretne warianty rozwiązań, a nie abstrakcyjne wartości oderwane od projektu
Obsługa wielu typów kryteriów	pozwała łączyć koszt, energię, parametry techniczne, środowisko, estetykę, bezpieczeństwo i zarządzanie
Możliwość określenia kierunku preferencji	pozwała stosować kryteria maksymalizowane, np. jakość, trwałość, bezpieczeństwo, oraz minimalizowane, np. koszt, zużycie energii, oddziaływanie środowiskowe
Progi preferencji i obojętności	pozwalają odróżnić różnice istotne od pomijalnych; ma to znaczenie przy małych różnicach kosztu, energii lub oceny jakościowej
Ograniczenie nadmiernej kompensacji	słaby wynik w kryteriach krytycznych nie jest automatycznie przykrywany przez niski koszt lub wysoką efektywność energetyczną
Pełny ranking wariantów	metoda PROMETHEE II daje jednoznaczne uporządkowanie wariantów, potrzebne w praktyce decyzyjnej
Czytelność interpretacji	wynik można wyjaśnić przez wskazanie mocnych i słabych stron wariantu w poszczególnych kryteriach

Tabela 31. Uzasadnienie wyboru metody PROMETHEE II. Opracowanie własne.

Przyjęcie metody PROMETHEE II oznacza, że ocena wariantu oświetleniowego polega na określeniu, w jakim stopniu dany wariant wykazuje przewagę nad pozostałymi wariantami w świetle przyjętych kryteriów, wag i progów preferencji. W projektowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych nie chodzi o wybór wariantu „najlepszego” w sensie jednowymiarowym, lecz o wskazanie rozwiązania najlepiej równoważącego wymagania techniczne, społeczne, środowiskowe, estetyczne, ekonomiczne i zarządcze. Metoda PROMETHEE II zostaje więc przyjęta jako główna procedura rankingu wariantów w autorskim modelu wspomaganie decyzji projektowych. W konsekwencji metoda PROMETHEE II zostaje przyjęta jako procedura porządkująca ostatni etap modelu, czyli porównanie wariantów oświetleniowych. Przyjęcie tej metody oznacza, że warianty są porównywane według jawnego zestawu kryteriów, wag, kierunków preferencji oraz progów różnic istotnych. Umożliwia to wskazanie rozwiązania rekomendowanego nie dlatego, że uzyskało ono najwyższą ocenę w jednym dominującym kryterium, lecz dlatego, że w największym stopniu równoważy wymagania funkcjonalne, techniczne, środowiskowe, ekonomiczne, estetyczne i zarządcze. Tak rozumiany wynik rankingu stanowi uporządkowaną podstawę decyzji projektowej, zgodną z logiką wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w której metoda nie zastępuje decydenta, lecz

zwiększa przejrzystość i powtarzalność procesu oceny (Belton & Stewart, 2002; Roy, 1990; Brans & Mareschal, 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018). Metoda wykorzystuje wyniki ona wcześniejszej analizy przestrzeni, lecz. Kolejność postępowania jest następująca:

Etap	Zakres	Wynik etapu
1. Klasyfikacja kontekstu	rozpoznanie cech przestrzeni: morfologia, funkcja, kompozycja, użytkownicy, środowisko, użytkowanie	profil kontekstu przestrzennego
2. Określenie preferencji i wag	powiązanie cech kontekstu z preferencjami nadrzędnymi i wagami kryteriów	zestaw wag kryteriów
3. Ocena wariantów	przypisanie ocen wariantom według kryteriów szczegółowych	macierz ocen
4. Ranking PROMETHEE II	porównanie wariantów parami i obliczenie przepływu netto	ranking wariantów i wariant rekomendowany

Tabela 32. Miejsce metody PROMETHEE II w strukturze modelu. Opracowanie własne.

Tak zdefiniowana rola PROMETHEE II odpowiada celowi pracy: stworzeniu modelu wspomagania decyzji projektowych, który pozwala przejść od rozpoznania cech przestrzeni i wymagań oświetleniowych do porównania konkretnych wariantów rozwiązania. Metoda ta zamyka etap uzasadnienia wielokryterialnej oceny i stanowi bezpośrednie przejście do rozdziału 7, w którym zostaje przedstawiona formalna struktura modelu: klasyfikacja kontekstu, preferencje nadrzędne, kryteria szczegółowe, deskryptory oceny oraz ranking wariantów.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w rozdziale rozpoznanie potwierdza, że ocena oświetlenia przestrzeni publicznych wymaga uwzględnienia wielu równoległych wymiarów: bezpieczeństwa użytkowników, komfortu widzenia, oddziaływania środowiskowego, efektywności energetycznej, kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, jakości przestrzennej, estetyki, wizerunku miejsca oraz możliwości zarządzania systemem. Kryteria te mają zróżnicowany charakter: część z nich może być wyrażona liczbowo lub finansowo, część odnosi się do parametrów technicznych i energetycznych, a część dotyczy ocen jakościowych, percepcyjnych i projektowych, takich jak poczucie bezpieczeństwa, czytelność przestrzeni, spójność kompozycyjna czy adekwatność rozwiązania do charakteru miejsca. Z tego względu dalsze modelowanie decyzji projektowych wymaga zastosowania metody wielokryterialnej, zdolnej do łączenia kryteriów twardych i miękkich, maksymalizowanych i minimalizowanych, liczbowych i opisowych. Spośród rozważanych podejść jako najbardziej adekwatną dla przyjętego problemu wskazano metodę PROMETHEE II. Daje ona możliwość porównywania wariantów oświetleniowych według jawnie określonych kryteriów, wag i kierunków preferencji, przy ograniczeniu nadmiernej kompensacji pomiędzy kryteriami. Dobór metody PROMETHEE II tworzy przejście od uzasadnienia wielokryterialnego charakteru problemu do formalizacji modelu decyzyjnego przedstawionej w dalszej części pracy.

6

Badania empiryczne i ich wyniki

6 Badania empiryczne i ich wyniki

Etap empiryczny rozprawy stanowi bezpośrednie przejście od części analitycznej do części modelowej. Jego zadaniem było zgromadzenie i uporządkowanie materiału badawczego potrzebnego do dalszej budowy modelu wspomaganie decyzji projektowych dotyczących oświetlenia przestrzeni publicznych. Przyjęto, że model taki powinien być oparty zarówno na danych odnoszących się do rzeczywistych cech przestrzeni i parametrów oświetlenia, jak i na danych ujawniających sposób odbioru tych przestrzeni przez użytkowników (Boyce, 2014; Carmona et al., 2010). Układ rozdziału odpowiada więc logice całej pracy: od rozpoznania problemu i uporządkowania kontekstu przestrzennego, przez badania empiryczne, do późniejszej syntezy modelowej, formalizacji kryteriów oraz weryfikacji działania modelu na rzeczywistych przykładach projektowych. Etap empiryczny został zorganizowany w dwóch powiązanych blokach. Pierwszy obejmował badanie terenowe złożone z 245 przypadków pomiarowych. Jego celem była weryfikacja zasadności przyjętej klasyfikacji przestrzeni jako podstawy określania potrzeb oświetleniowych, rozpoznanie zróżnicowania współczesnych realizacji oświetleniowych oraz odniesienie ich do poziomów wynikających z normy PN-EN 13201 i przyjętych przekształceń pomiędzy luminancją a natężeniem oświetlenia. Drugi blok obejmował badanie ankietowe oczekiwań wobec oświetlenia, przeprowadzone na rzeczywistych przykładach wyłonięnych z materiału terenowego. Taki układ badań miał umożliwić zestawienie stanu rzeczywistego z oceną percepcyjną oraz przygotowanie przesłanek do dalszej syntezy modelowej.

Znaczenie tego etapu wynika z charakteru samego problemu badawczego. Projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych odnosi się do układów zróżnicowanych pod względem morfologii, funkcji, użytkowników, środowiska, kompozycji przestrzennej i sposobu użytkowania po zmroku. Z tego względu materiał empiryczny służył rozpoznaniu cech przestrzeni istotnych dla potrzeb oświetleniowych oraz uporządkowaniu ich w strukturę przydatną dla dalszej budowy modelu. Wyniki tego etapu pełnią funkcję materiału wejściowego do formalizacji modelu decyzyjnego: wprowadzenia klas kontekstu, preferencji, kryteriów oceny i deskryptorów.

6.1 Założenia metodologiczne i rola badań empirycznych w budowie modelu.

Etap empiryczny podporządkowano wypełnieniu obszarów badawczych niedostatecznie opisanych dotąd w literaturze. Przyjęto, że model taki powinien być osadzony w materiale rzeczywistym i uwzględniać zarówno cechy przestrzeni oraz stan istniejącego oświetlenia, jak i oczekiwania użytkowników wobec ilości światła oraz jakości nocnego odbioru miejsca. Z tego względu etap ujęto jako ciąg powiązanych działań prowadzących od rozpoznania przypadków rzeczywistych, przez ich klasyfikację i charakterystykę ilościową, do wyłonienia materiału dla badania percepcyjnego (Boyce, 2014; Groat & Wang, 2013; Yin, 2018). Punktem wyjścia było założenie, że potrzeby

oświetleniowe nie wynikają z jednej ogólnej kategorii funkcjonalnej, lecz z układu współwystępujących cech kontekstu przestrzennego. W pracy przyjęto, że szczególne znaczenie mają: morfologia przestrzeni, funkcja, rodzaj wnętrza urbanistycznego i kompozycji, dominujący użytkownicy, środowisko oraz sposób użytkowania po zmroku. Taki sposób opisu odpowiada logice architektury i urbanistyki, w których charakter miejsca kształtowany jest przez relacje pomiędzy strukturą przestrzenną, skalą zabudowy, stopniem otwartości, warstwami widokowymi, obecnością zieleni oraz sposobem użytkowania. Etap empiryczny miał umożliwić weryfikację zasadności przyjętego podziału przestrzeni według potrzeb oświetleniowych oraz wskazanie cech kontekstu istotnych dla tego podziału.

Jednostkę analizy jest pojedynczy przypadek przestrzeni publicznej rozumiany jako możliwy do opisu układ urbanistyczny o określonych cechach morfologicznych, funkcjonalnych i użytkowych oraz o określonym stanie oświetlenia. Przypadek umożliwia analizę relacji między strukturą miejsca a sposobem jego oświetlenia. Z tego względu materiał terenowy budowano jako bazę przypadków celowo zróżnicowanych, obejmującą przestrzenie o odmiennym charakterze urbanistycznym, krajobrazowym i użytkowym. Strategia ta służyła maksymalizacji zróżnicowania kontekstów, zwiększeniu przydatności analitycznej klasyfikacji oraz stworzeniu podstawy do dalszego doboru przypadków (Flyvbjerg, 2006; Gerring, 2016). Spośród zrealizowanych ponad 300 przypadków pomiarowych do analiz strukturalnych włączono 245 przypadki klasyfikacyjnie. Pozostałe przypadki wyłączono opracowania na skutek nieściśłości pomiarowych. Za przypadek kompletny klasyfikacyjnie uznano taki przypadek, dla którego możliwe było jednoznaczne określenie wszystkich zmiennych przyjętych w opisie kontekstu przestrzennego, tj. morfologii, funkcji, rodzaju wnętrza urbanistycznego i kompozycji, użytkowników, środowiska oraz sposobu użytkowania. Rolą badania było zgromadzenie materiału o szerokiej rozpiętości typologicznej, tak aby możliwe było rozpoznanie powtarzalnych konfiguracji cech przestrzennych i użytkowych oraz ich związku z potrzebami oświetleniowymi. Dobór materiału miał charakter celowy i porównawczy. Obejmował zarówno przestrzenie zabudowane, jak i otwarte, zarówno układy mieszkaniowe, usługowe, komunikacyjne, rekreacyjne, przemysłowe i krajobrazowe, jak i przestrzenie różniące się kompozycją wnętrza urbanistycznego, obecnością zieleni, rolą ruchu pieszego i kołowego oraz znaczeniem społecznym miejsca. Tak skonstruowana baza miała umożliwić identyfikację tych cech przestrzeni i jej użytkowania, które rzeczywiście różnicują potrzeby oświetleniowe, a następnie uporządkowanie ich jako podstawy dalszej budowy modelu.

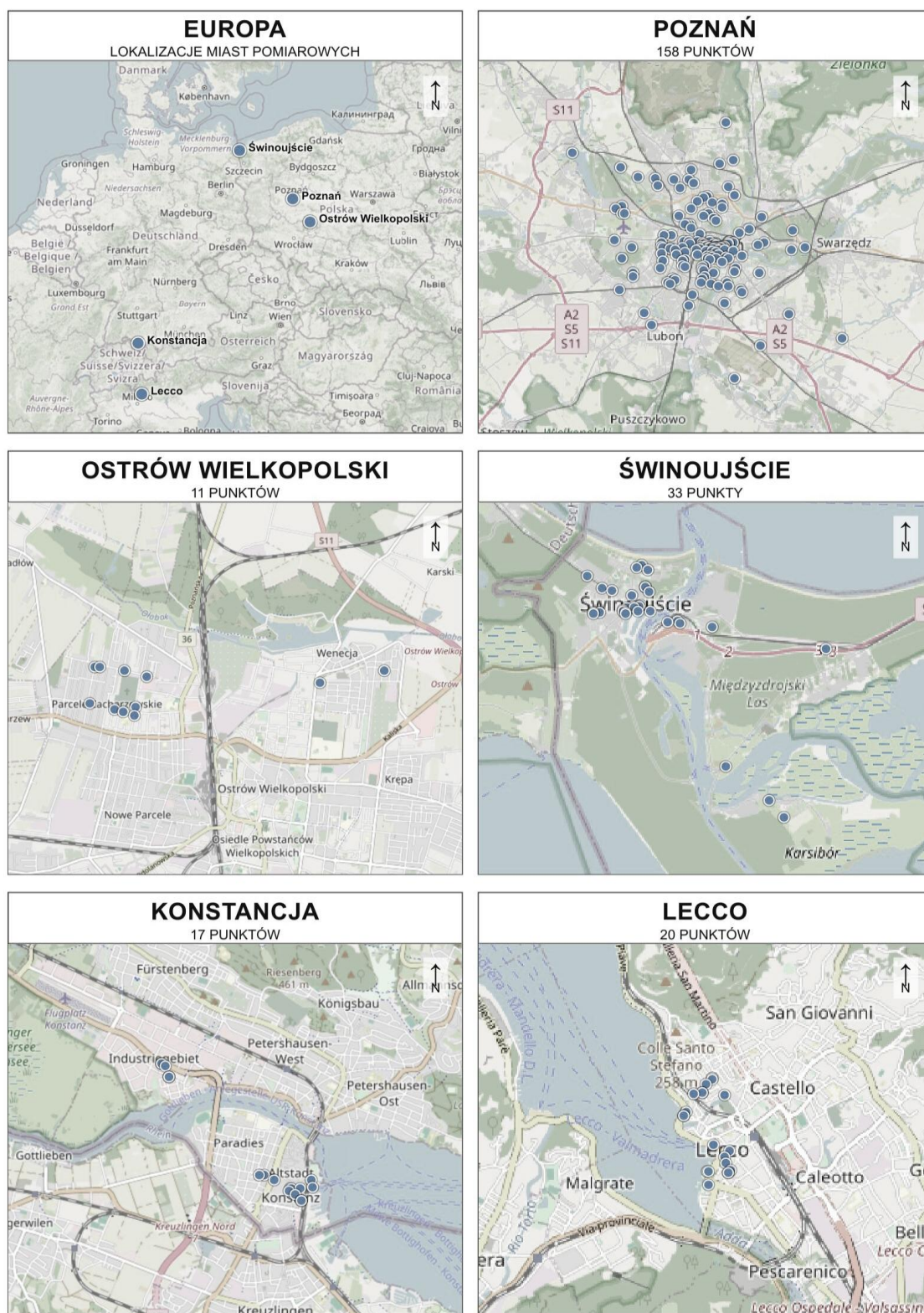
W drugim kroku materiał terenowy poddano uporządkowaniu ilościowemu. Obejmowało ono pomiary luminancji wybranych elementów przestrzeni oraz odniesienie uzyskanych wyników do poziomów wynikających z klas oświetleniowych i do przekształceń pomiędzy systemem luminancyjnym i natężeniowym. W pracy wykorzystano tu logikę klas M, C i P oraz współczynnik q_0 jako parametr pośredniczący pomiędzy luminancją nawierzchni a natężeniem oświetlenia. Przyjęte przeliczenia miały umożliwić ilościową charakterystykę współczesnych realizacji oświetleniowych oraz ich porównanie z poziomami referencyjnymi funkcjonującymi w praktyce projektowej i pomiarowej. Etap ten pełnił funkcję kalibracyjną. Pozwalał powiązać opis przestrzeni z mierzalnymi parametrami światła i uporządkować materiał w relacji do wymagań normatywnych.

W trzecim kroku z materiału terenowego wyłoniono grupę przypadków przeznaczonych do badania ankietowego. Dobór ten podporządkowano logice typologicznej i porównawczej. Z bazy 245 przypadków wybrano 21 rzeczywistych przykładów, uporządkowanych w układzie 7 typologii oraz 3 wariantów oświetleniowych. Taki układ miał umożliwić analizę dwóch wymiarów jednocześnie: zróżnicowania wynikającego z charakteru przestrzeni oraz zróżnicowania wynikającego ze stanu ilościowego oświetlenia. Dzięki temu materiał ankietowy zachowuje ścisły związek z wcześniejszym etapem terenowym i pozostaje osadzony w realnych sytuacjach przestrzennych. W czwartym kroku przeprowadzono badanie ankietowe oczekiwań wobec oświetlenia. Jego celem było rozpoznanie, jak użytkownicy oceniają ilość światła w poszczególnych warstwach przestrzeni oraz jak odnoszą nocny odbiór miejsca do takich wymiarów, jak czytelność i orientacja, estetyka oraz poczucie bezpieczeństwa. Konstrukcja narzędzia badawczego została oparta na powtarzalnym układzie pytań odnoszonych do kolejnych przypadków, co wzmacnia porównywalność uzyskanego materiału. W ten sposób część percepcyjna rozwija i dopełnia ustalenia wynikające z etapu terenowego, a zgromadzone dane tworzą podstawę do dalszej syntezy modelowej (Babbie, 2020; Groves et al., 2009).

Tak zaprojektowany etap empiryczny obejmuje cztery kolejno powiązane zadania: sprawdzenie zasadności przyjętej klasyfikacji przestrzeni, rozpoznanie rzeczywistych stanów oświetleniowych we współczesnych realizacjach, wyłonienie materiału do badania percepcyjnego oraz zgromadzenie danych potrzebnych do dalszej redukcji problemu projektowego do zestawu zmiennych, kryteriów i relacji wykorzystywanych w modelu MCDA. Etap empiryczny jest podstawą przejścia od szerokiego, architektoniczno-urbanistycznego ujęcia problemu do jego uporządkowanej formalizacji decyzyjnej.

6.2 Badanie terenowe jako etap weryfikacji klasyfikacji kontekstu i kalibracji materiału empirycznego

Badanie terenowe stanowi pierwszy i zasadniczy blok etapu empirycznego. Jego celem było zgromadzenie i uporządkowanie materiału realnych sytuacji przestrzennych, odniesienie przyjętej klasyfikacji do konkretnych układów urbanistycznych i krajobrazowych oraz powiązanie opisu przestrzeni z jej stanem oświetlenia. Etap ten służył sprawdzeniu zasadności klasyfikacji kontekstu przestrzennego, rozpoznaniu zróżnicowania współczesnych realizacji oświetleniowych oraz przygotowaniu bazy przypadków do dalszego badania percepcyjnego. Równocześnie umożliwił kalibrację materiału empirycznego przez zestawienie rzeczywistych stanów oświetleniowych z poziomami odniesienia wynikającymi z normy PN-EN 13201 oraz z przyjętych przekształceń między luminancją a natężeniem oświetlenia.



Ryc.57. Zakres przestrzenny badań terenowych oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych w analizowanych miastach. Opracowanie własne.

Zakres przestrzenny materiału terenowego przedstawiono na Ryc.57. Zestawienie to obejmuje miasta, w których prowadzono pomiary, oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych w poszczególnych lokalizacjach miejskich. Celem map jest zobrazowanie rzeczywistego zasięgu materiału empirycznego oraz jego celowego zróżnicowania

przestrzennego. Baza przypadków została zbudowana na układach o różnej skali, morfologii, funkcji i strukturze urbanistycznej, co było istotne dla późniejszej weryfikacji klasyfikacji kontekstu oraz wyboru 21 przypadków do badania ankietowego. Na mapach punkty posiadające jednoznacznie zapisaną geolokalizację. Pełny wykaz przypadków pomiarowych obejmuje 245 pozycji i został zamieszczony w TOM-ie 2 rozprawy w Załączniku nr.1.

6.2.1 Cele i rola badania terenowego w budowie modelu decyzyjnego

Badanie terenowe zaprojektowano jako etap rozpoznania materiału rzeczywistego, na którym miała zostać oparta dalsza budowa modelu. W tym etapie badań, zgromadzono bazę przypadków badawczych o szerokim zróżnicowaniu urbanistycznym, funkcjonalnym i krajobrazowym, tak aby możliwe było sprawdzenie, czy przyjęty wcześniej podział przestrzeni według potrzeb oświetleniowych daje się zastosować do realnych sytuacji projektowych. Badanie służyło weryfikacji klasyfikacji kontekstu przestrzennego oraz wskazaniu cech miejsca rzeczywiście różnicujących potrzeby oświetleniowe. Taki sposób postępowania odpowiada logice badań typu studium przypadku oraz analitycznemu, sposobowi generalizacji wyników, opartemu na celowym doborze zróżnicowanego materiału porównawczego. Punktem wyjścia dla tego etapu były ustalenia wcześniejszych rozdziałów rozprawy. Priorytet nadano tym układom i warstwom przestrzeni, które bezpośrednio współtworzą użytkowanie miejsca po zmroku, jego czytelność oraz podstawowe warunki orientacji i bezpieczeństwa. Dalekie plany widokowe i odległe tła krajobrazowe uwzględniano pomocniczo, gdyż w typowych sytuacjach projektowych pozostają one poza podstawowym zakresem oświetlenia przestrzeni publicznej. Delimitacja badania wynikała z rozpoznania funkcji oświetlenia, struktury przestrzeni oraz hierarchii elementów istotnych dla jej nocnego użytkowania. Ważnym tłem pozostaje tu dorobek morfologii urbanistycznej, ujmującej miasto jako układ relacji między ulicą, blokiem, działką, budynkiem i przestrzenią otwartą, a nie zbiorem izolowanych punktów pomiarowych.

Jednostką analizy był pojedynczy przypadek przestrzeni publicznej: wyodrębniony układ przestrzenny o określonych cechach morfologicznych, funkcjonalnych i użytkowych, badany terenowo w dzień i w nocy oraz opisany pod względem stanu oświetlenia. Przypadek traktowano jako wnętrze urbanistyczne albo fragment struktury przestrzennej, pozwalający analizować relacje między kompozycją miejsca, użytkowaniem i nocnym układem światła. Takie ujęcie wynika z przedmiotu pracy, którym jest związek światła z architektoniczną i urbanistyczną organizacją przestrzeni, a nie wyłącznie oświetlenie jezdni czy ciągu pieszego. Zakres badania objął 245 przypadków pomiarowych. Do bazy włączano przestrzenie reprezentujące odmienne typy wnętrz urbanistycznych, różne relacje pomiędzy zabudową i otoczeniem, układy ruchu oraz sytuacje krajobrazowe i środowiskowe. Uwzględniono przestrzenie mieszkaniowe, mieszkaniowo-komercyjne, usługowe, komunikacyjne, rekreacyjne, przemysłowe i rolnicze, a także układy otwarte, półzamknięte i zamknięte, liniowe, regularne i nieregularne, zabudowane i niezabudowane. Strategia doboru służyła maksymalizacji zróżnicowania kontekstów, zwiększeniu przydatności analitycznej materiału oraz przygotowaniu podstaw do wyboru przypadków ankietowych. Każdą lokalizację

analizowano dwukrotnie: za dnia i po zmroku. Obserwacja dzienna obejmowała strukturę przestrzenną miejsca, układ pierzei, stopień domknięcia lub otwartości wnętrza, relacje między planami widokowymi, obecność zieleni, przebieg ciągów ruchu oraz hierarchię elementów budujących czytelność miejsca. Obserwacja nocna służyła rozpoznaniu rzeczywistego układu światła oraz sposobu, w jaki istniejące oświetlenie wzmacnia, osłabia albo zaciera granice wnętrza urbanistycznego, ekspozycję elewacji, ciągłość przebiegów komunikacyjnych, obecność zieleni i orientację przestrzenną. W obu porach stosowano ten sam kadr ujęcia przestrzeni, co umożliwiało porównanie obrazu dziennego i nocnego tego samego układu. Dokumentację wykonywano, w miarę możliwości, w odpowiadających sobie kadrach, wzmacniając porównywalność materiału. W badaniu przyjęto dwa uzupełniające się porządki opisu. Pierwszy, urbanistyczno-architektoniczny, obejmował klasyfikację przypadku według stałych zmiennych: morfologii, funkcji, rodzaju wnętrza urbanistycznego i kompozycji, użytkowników, środowiska oraz sposobu użytkowania. Drugi, ilościowy, obejmował pomiar luminancji wybranych elementów przestrzeni. Takie postępowanie wiązało opis struktury miejsca z mierzalnym stanem jego oświetlenia, a wybór kategorii opisu wynikał z wcześniejszych rozpoznań teoretycznych oraz architektoniczno-urbanistycznego ujęcia przestrzeni.

Podstawowym narzędziem pomiarowym był matrycowy miernik luminancji TechnoTeam LMK mobile R. Wybór luminancji jako podstawowej wielkości pomiarowej wynikał z charakteru badania. Przedmiotem analizy była warstwa komunikacyjna, jak i nocny obraz wnętrza urbanistycznego, w tym ekspozycja elewacji, zieleni, stref wejściowych oraz relacje pomiędzy planami przestrzennymi. Z tego względu sama analiza natężenia oświetlenia na powierzchniach poziomych byłaby niewystarczająca. Pomiar luminancji pozwalał uchwycić sposób, w jaki poszczególne elementy przestrzeni stają się widzialne i jak współtworzą nocną strukturę miejsca. Taki wybór pozostaje spójny z logiką percepcyjnego odbioru przestrzeni po zmroku oraz z rosnącym znaczeniem oceny jakości środowiska nocnego z perspektywy użytkownika. Zakres pomiarów nie był identyczny dla wszystkich lokalizacji, ze względu na dostosowywanie do rzeczywistej struktury badanego miejsca. Utrzymywano jednak wspólną logikę warstwowego opisu przestrzeni. W zależności od charakteru przypadku analizowano przede wszystkim jezdnię, chodnik lub drogę rowerową, elewacje w strefie parteru i wejść, elewacje wyższych partii, górne partie zabudowy, zielen niską i zielen wysoką. Zakres badania był standaryzowany na poziomie kategorii analitycznych, ale dostosowany do faktycznej budowy przestrzeni. Takie rozwiązanie zapewniało porównywalność materiału, przy jednoczesnym uniknięciu sztucznego narzucania identycznego zestawu składowych miejsc o odmiennej strukturze urbanistycznej. Na podstawie wykonanych pomiarów określano średnie wartości luminancji dla badanych elementów powierzchni. Wyniki porządkowano następnie w odniesieniu do poziomów skatalogowanych w normie PN-EN 13201. W materiale roboczym wyniki zaokrąglono do wartości odpowiadających poziomom normowym, przyjmując jednocześnie, że za istotne w dalszej analizie porównawczej uznaje się tylko te różnice luminancji, które osiągają wyraźny próg percepcyjny. Takie postępowanie miało uporządkować materiał i umożliwić jego interpretację jako zestawu przypadków odnoszonych do wspólnego układu poziomów referencyjnych. Kolejny etap stanowiło odniesienie uzyskanych wartości luminancji do odpowiadających im poziomów natężenia oświetlenia. W tym celu wykorzystano relację L/E oraz współczynnik q_0 , zgodnie z logiką stosowaną w normie PN-EN 13201

i dokumentach CIE. W materiale przyjęto referencyjne wartości współczynnika odbicia i q_0 dla głównych grup elementów przestrzeni, co umożliwiło przeliczenie wyników luminancji na poziomy natężenia oświetlenia oraz dalsze porównania przypadków w układzie zgodnym z praktyką projektową i pomiarową. Znaczenie kalibracyjne tego etapu wynikało z powiązania analizy przestrzeni z parametrami ilościowymi odnoszonymi do aktualnych poziomów referencyjnych.

Badanie terenowe pełniło funkcję pierwszego członu triangulacji materiału badawczego. Triangulacja polegała na połączeniu opisu przestrzeni, pomiaru oświetlenia i oceny użytkowników dla tych samych przypadków. Badanie terenowe dostarczyło dwóch pierwszych elementów: rozpoznania struktury miejsca oraz pomiaru rozkładu światła. Następnie te same przypadki wykorzystano w badaniu percepcyjnym. Pomiary badawcze zrealizowane poza granicami Polski włączono do szerokiej bazy terenowej jako zasób porównawczy i kalibracyjny, jednak nie został on ostatecznie wykorzystany w grupie 21 przypadków ankietowych. Decyzję tę podporządkowano spójności materiału percepcyjnego. Przestrzenie o silnym charakterze turystycznym i wysokiej odrębności krajobrazowej mogły uruchamiać dodatkowy wymiar oceny związany z atrakcyjnością samego miejsca, jego odmiennością i poziomem familiarności, co osłabiałoby porównywalność przypadków w badaniu oczekiwań wobec oświetlenia. W badaniach percepcji środowiska familiarność miejsca jest uznawana za czynnik wpływający na ocenę przestrzeni, dlatego pozostawienie materiału ankietowego w obrębie porównywalnego kontekstu krajowego należało uznać za rozwiązanie metodologicznie bezpieczniejsze. Znaczenie badania terenowego w budowie metody można więc ująć w czterech kolejnych zadaniach. Po pierwsze, miało ono umożliwić sprawdzenie zasadności przyjętej klasyfikacji przestrzeni według potrzeb oświetleniowych. Po drugie, miało dostarczyć obrazu współczesnych realizacji oświetleniowych i ich ilościowego zróżnicowania. Po trzecie, miało osadzić analizę w relacji do poziomów normowych i parametrów referencyjnych. Po czwarte, miało stworzyć podstawę do wyłonienia grupy przypadków do dalszego badania ankietowego. Badanie terenowe stanowiło etap niezbędny dla przejścia od rozpoznania materiału rzeczywistego do dalszej syntezy modelowej.

6.2.2 Założenia doboru przypadków i zasada maksymalizacji zróżnicowania kontekstów

Punktem wyjścia doboru materiału terenowego był przyjęty wcześniej zestaw klasyfikatorów kontekstu przestrzennego, obejmujący morfologię, funkcję, rodzaj wnętrza urbanistycznego i kompozycji, użytkowników, środowisko oraz sposób użytkowania. Układ ten wyznaczał szerokie pole możliwych konfiguracji opisu przestrzeni, jednak poszczególne konfiguracje różnią się częstotliwością występowania oraz znaczeniem dla potrzeb oświetleniowych. Z tego względu materiał badawczy skoncentrowano na układach rzeczywiście obecnych w praktyce projektowej i przydatnych dla rozpoznania problemu badawczego. Dobór lokalizacji miał charakter celowy i porównawczy. Przyjęto, że baza przypadków powinna obejmować możliwie zróżnicowane sytuacje przestrzenne, funkcjonalne i krajobrazowe, pozwalające sprawdzić użyteczność klasyfikatorów kontekstu w realnych warunkach projektowych.

Uwzględniono skalę miasta, strukturę urbanistyczną, charakter krajobrazu, intensywność użytkowania przestrzeni, stopień przekształcenia środowiska oraz obecność różnych typów przestrzeni publicznych i ogólnodostępnych. Na tej podstawie do bazy włączono lokalizacje z Polski (Poznań, Świnoujście, Ostrowa Wielkopolski), z Niemiec (Konstancja) i Włoch (Lecco). Miasta te dobrano ze względu na odmienną skalę, strukturę przestrzenną, relacje z krajobrazem, sposób użytkowania przestrzeni publicznych oraz zróżnicowanie układów urbanistycznych. W ich obrębie wybrano lokalizacje reprezentujące różne konfiguracje funkcji, morfologii, kompozycji, użytkowania i środowiska. Tak zbudowany materiał umożliwił analizę przypadków odpowiadających zróżnicowanym warunkom spotykanym w praktyce projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych. Dobór wzmacniał wartość porównawczą materiału, ponieważ umożliwiał pracę na przypadkach reprezentujących odmienne sytuacje przestrzenne spotykane w praktyce projektowej, a nie jedynie na lokalnych wariantach jednego typu przestrzeni. Pełna charakterystyka statystyczna tego materiału została przedstawiona w dalszej części rozdziału, po omówieniu procedury pomiarowej i zasad opracowania wyników. Jej podstawą było objęcie możliwie szerokiego spektrum konfiguracji kontekstu przestrzennego, tak aby materiał był przydatny do analizy relacji pomiędzy strukturą miejsca, sposobem jego użytkowania i stanem oświetlenia. Takie podejście odpowiada logice badań typu studium przypadku oraz badań architektonicznych, w których o wartości materiału decyduje jego przydatność analityczna, zdolność do uchwycenia zmienności badanego zjawiska oraz możliwość porównywania przypadków różniących się pod względem cech istotnych dla problemu badawczego (Flyvbjerg, 2006; Gerring, 2016; Groat & Wang, 2013). Zasada maksymalizacji zróżnicowania kontekstów wynikała bezpośrednio z przyjętego w pracy sposobu ujmowania potrzeb oświetleniowych. Założono, że potrzeby te wynikają z konfiguracji współwystępujących cech przestrzeni, dlatego materiał terenowy obejmował przypadki różniące się strukturą urbanistyczną, stopniem domknięcia lub otwarcia wnętrza, relacjami pomiędzy zabudową i otoczeniem, znaczeniem ruchu pieszego i kołowego, obecnością zieleni oraz sposobem użytkowania po zmroku. W praktyce oznaczało to włączenie do bazy ulic osiedlowych i śródmiejskich, placów, nabrzeży, parków, ciągów pieszych i rowerowych, przestrzeni rekreacyjnych, układów komunikacyjnych, obszarów przemysłowych oraz wybranych przestrzeni peryferyjnych i krajobrazowych. Taki sposób porządkowania materiału pozostaje spójny z urbanistycznym ujęciem miasta jako układu relacji pomiędzy ulicą, zabudową, działką, przestrzenią otwartą i strukturą krajobrazową (Oliveira, 2016, 2022).

Priorytet nadano przestrzeniom miejskim i ogólnodostępnym, w których relacje pomiędzy zabudową, zielenią, ruchem, kompozycją wnętrza urbanistycznego oraz sposobem użytkowania po zmroku w największym stopniu różnicują potrzeby oświetleniowe. Wynikało to z wcześniejszych ustaleń rozprawy, zgodnie z którymi współczesne oświetlenie przestrzeni publicznych wyrasta przede wszystkim z oświetlenia ulicy, drogi, placu oraz podstawowych stref ruchu i przebywania. To one stanowią zasadniczy rdzeń zadania oświetleniowego w przestrzeni publicznej, a zarazem podstawowe pole równoważenia funkcji użytkowych, kompozycyjnych i środowiskowych. Z tego względu materiał terenowy ograniczono do tych układów warstw przestrzeni, które bezpośrednio współtworzą użytkowanie miejsca po zmroku, jego czytelność, granice wnętrza urbanistycznego oraz podstawowe warunki orientacji bezpieczeństwa. Ujęcie to jest zgodne z klasycznymi rozpoznaniem, w których jakość przestrzeni wiązana

jest z relacjami przestrzennymi, czytelnością układu i sposobem jego doświadczania przez użytkowników (Carmona et al., 2010; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Trancik, 2003). W konsekwencji już na etapie doboru materiału przyjęto, że badanie powinno objąć nie tylko zróżnicowanie funkcjonalne, jak i zróżnicowanie kompozycji przestrzeni, stopnia jej domknięcia, obecności warstw pionowych i krajobrazowych oraz zróżnicowanie rytmu użytkowania. Takie ustawienie pola badawczego zapewniło zgodność między doбором materiału empirycznego, celem rozprawy i późniejszą formalizacją modelu decyzyjnego. Umożliwiło sprawdzenie czy potrzeby oświetleniowe można opisać przez uproszczony katalog kilku typów przestrzeni, czy wymagają ujęcia bardziej złożonego, opartego na współwystępowaniu kilku cech kontekstu. Dobór przypadków dokumentował materiał badawczy i zarazem weryfikował przyjętą logikę klasyfikacji. Przypadki dróg w krajobrazie otwartym uwzględniono w ograniczonym zakresie, traktując je jako materiał uzupełniający wobec bardziej złożonych układów miejskich i ogólnodostępnych. Istotnym elementem strategii doboru było także zróżnicowanie wielkości i charakteru miast.

Strategia doboru materiału miała cztery skutki dla dalszej budowy metody. Po pierwsze, umożliwiała pracę na materiale o szerokim zróżnicowaniu typologicznym. Po drugie, wzmacniała możliwość sprawdzenia przydatności przyjętej klasyfikacji kontekstu przestrzennego. Po trzecie, pozwalała osadzić dalsze analizy w materiale odpowiadającym realnym sytuacjom projektowym. Po czwarte, tworzyła kontrolowaną bazę do wyłonienia przypadków przeznaczonych do dalszego badania ankietowego. Dodatkowo każdy przypadek był dalej odnoszony do wymagań normowych poprzez dobór odpowiednich klas oświetleniowych i przekształcenia pomiędzy systemem luminancyjnym i natężeniowym zgodnie z logiką PN-EN 13201, co wzmacniało porównywalność materiału na etapie analizy ilościowej.

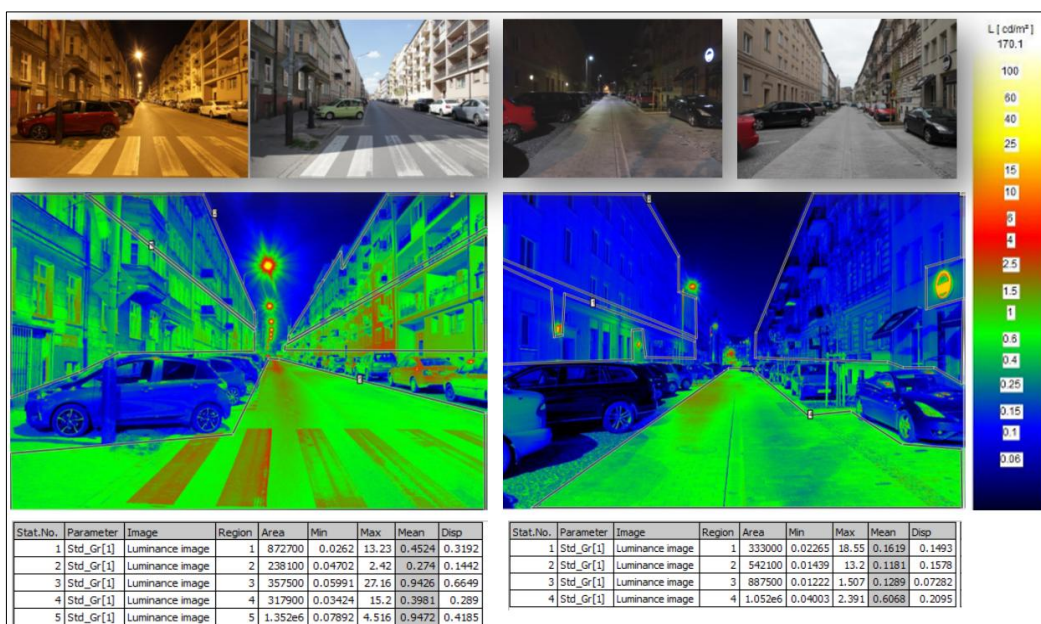
6.2.3 Zakres pomiarów, sposób opisu przypadków i procedura porównawcza

Badanie terenowe miało jednocześnie charakter architektoniczno-urbanistyczny i fotometryczny zarazem. Jego celem było nie tylko zarejestrowanie poziomów światła w analizowanych lokalizacjach, lecz przede wszystkim uporządkowanie ich w taki sposób, aby możliwe było równoczesne rozpoznanie struktury przestrzeni, sposobu jej użytkowania oraz rozkładu luminancji pomiędzy poszczególnymi składowymi wnętrza urbanistycznego. Z tego względu każdą lokalizację analizowano jako konkretny układ przestrzenny, opisany przez cechy morfologiczne, funkcjonalne i kompozycyjne, a następnie badany w porze dziennej i nocnej (wykaz pomiarów badawczych zamieszczono w Załączniku nr1. TOM 2 Rozprawy). Obserwacja dzienna służyła rozpoznaniu struktury miejsca: układu pierzei, stopnia domknięcia lub otwarcia wnętrza, relacji pomiędzy zabudową i otoczeniem, obecności zieleni, przebiegu ciągów ruchu oraz hierarchii elementów budujących czytelność przestrzeni. Obserwacja nocna służyła rozpoznaniu rzeczywistego układu światła, a więc temu, w jaki sposób oświetlenie wzmacnia, osłabia albo zaciera granice wnętrza urbanistycznego, strefy wejściowe, warstwy zieleni, przebiegi komunikacyjne i ogólną organizację nocnego obrazu miejsca.

Podstawowym narzędziem pomiarowym był matrycowy miernik luminancji TechnoTeam LMK mobile R oraz dedykowane do niego oprogramowanie LMK Labsoft. Zastosowanie tego typu narzędzia miało istotne znaczenie metodologiczne. Umożliwiało ono nie tylko odczyt ogólnego rozkładu luminancji w polu widzenia, lecz przede wszystkim wydzielenie i odrębne opracowanie poszczególnych powierzchni przestrzeni, a tym samym przejście od ogólnego opisu miejsca do jego warstwowej analizy świetlnej. W praktyce oznaczało to możliwość identyfikacji i pomiaru tych składowych, które z punktu widzenia odbioru przestrzeni po zmroku mają znaczenie funkcjonalne, orientacyjne i kompozycyjne.



Ryc.58. Wykonywanie pomiarów: zdjęć porównawczych w dzień i w nocy oraz pomiarów luminancji za pomocą miernika matrycowego LMK. Fot. P. Ratajkiewicz.



Ryc.59. Przykładowe obraz luminancji²⁵ analizowanej przestrzeni z zaznaczeniem badanych warstw. Opracowanie własne.

Na tej podstawie w badaniu wyodrębniano: jezdnię, chodnik, ścieżkę rowerową, zieleń niską – rozumianą jako trawniki, klomby i inne przyziemne powierzchnie

²⁵ Mapa barwna przedstawia rozkład luminancji sceny nocnej [cd/m^2], zarejestrowany kamerą luminacyjną. Kolory odpowiadają poziomom jasności według skali przy obrazie: barwy chłodne oznaczają niższe wartości luminancji, a barwy ciepłe – wyższe. W przedstawionym przypadku – zgodnie z załączoną Legendą po prawej stronie.

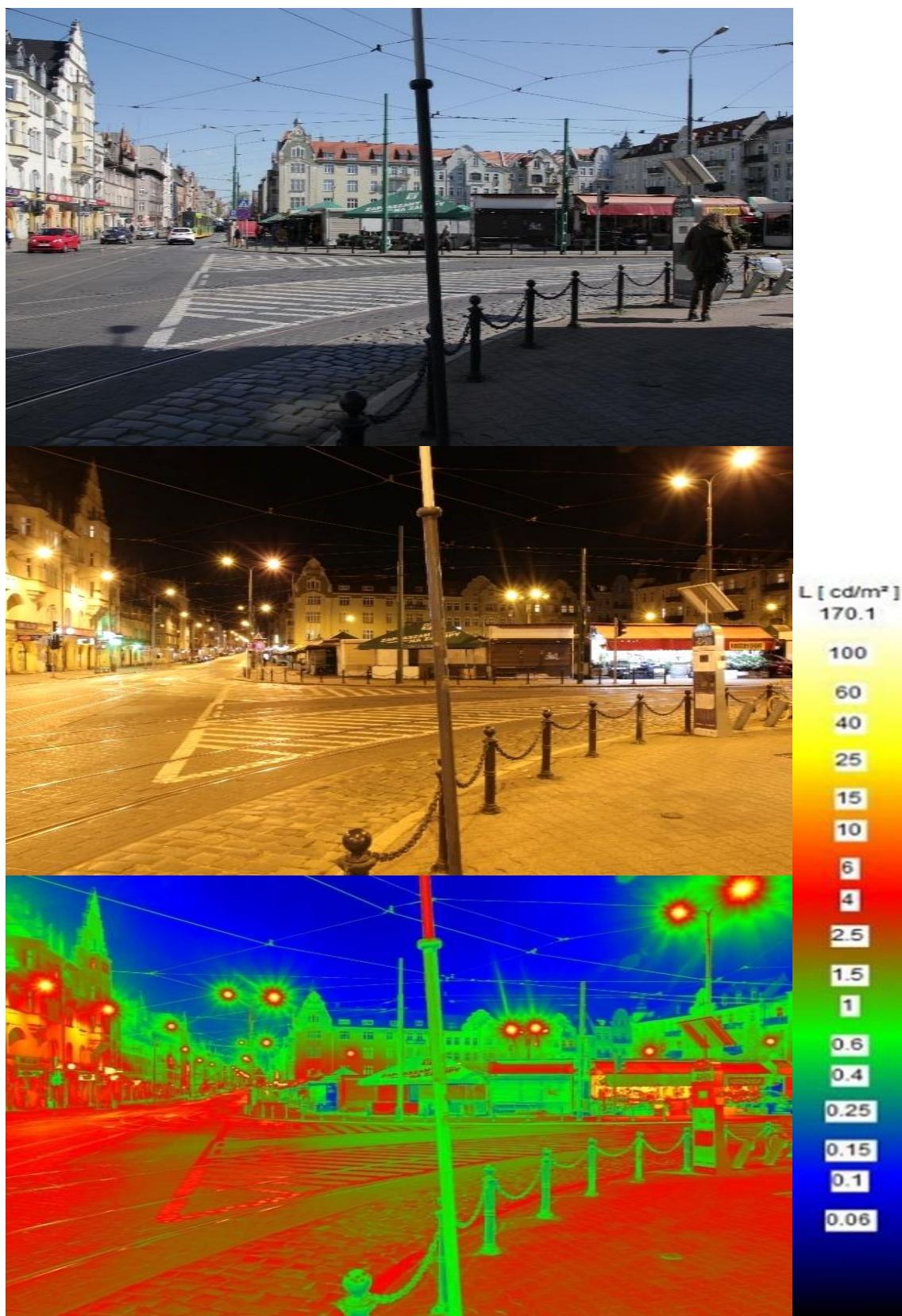
biologicznie czynne – oraz zieleń wysoką, utożsamianą głównie z drzewami i ich objętością przestrzenną. Elewacje budynków wydzielano jako odrębną warstwę analizy i ujmowano w trzech strefach wysokościowych, odpowiadających ich odmiennej roli przestrzennej i percepcyjnej. Strefa przyziemia i wejść obejmowała pas do wysokości 3 m, strefa elewacji właściwej – zakres 3–12 m, natomiast górne partie elewacji oraz szczyty powyżej 12 m uwzględniano wtedy, gdy uzasadniały to skala zabudowy i kompozycja przestrzeni. Podział elewacji na strefy wysokościowe wynikał z wcześniejszych ustaleń teoretycznych pracy i odpowiadał zróżnicowanej roli warstw wnętrza urbanistycznego w nocnym odbiorze miejsca. Przyziemie i strefy wejściowe wspierają orientację, identyfikację oraz poczucie bezpieczeństwa; warstwa środkowa buduje czytelność elewacji i skali zabudowy; warstwa górna wpływa na głębię obrazu przestrzeni, relacje planów oraz nocny wizerunek architektury (Carmona et al., 2010; Lynch, 1960; Wejchert, 1984). Ten sam układ warstw został następnie przeniesiony do konstrukcji badania ankietowego oraz do kart badawczych przypadków. W materiałach roboczych układ ten odpowiada następującym kategoriom (L- oznacza luminancję): L jezdnia, L chodnik, L ścieżka rowerowa, L elewacja 1, L elewacja 2, L elewacja 3, L zieleń niska, L drzewa; w kwestionariuszu ankiety te same składowe występują jako odrębne elementy oceny respondentów.

Każdy przypadek dokumentowano według jednolitego schematu opisu. Obejmował on dane identyfikacyjne i lokalizacyjne, krótki opis sytuacji przestrzennej oraz klasyfikację według przyjętego zestawu zmiennych: morfologii, funkcji, rodzaju wnętrza urbanistycznego i kompozycji, użytkowników, środowiska oraz sposobu użytkowania. Układ ten pełnił funkcję operacjonalizacji kontekstu przestrzennego, dzięki której możliwe było przejście od intuicyjnego opisu miejsca do porównywalnego zapisu przypadku. W warstwie metodologicznej był to krok istotny. Pozwalał zestawiać ze sobą przestrzenie odmienne pod względem skali, funkcji i krajobrazu, przy zachowaniu wspólnego aparatu pojęciowego. Tego rodzaju formalizacja opisu przypadku jest zbieżna z logiką badań porównawczych i stanowi warunek późniejszego uporządkowania danych ilościowych (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005). W praktyce opis pojedynczego przypadku obejmował dwie warstwy zapisu. Pierwszą była charakterystyka urbanistyczno-architektoniczna miejsca, drugą była tabela charakterystyki luminancyjnej i odniesienia do wymagań, zawierająca: pomiary dla wybranych warstw przestrzeni, przypisaną klasę oświetleniową, wartości referencyjne oraz relacje pomiędzy badanymi składowymi. W kartach badawczych przypadek był ujmowany jako układ relacji pomiędzy jezdnią, chodnikiem, ścieżką rowerową, elewacjami, zielenią i odpowiadającymi im poziomami światła. Karta badawcza (strona 203/204) jest podstawowym elementem porównawczym całego postępowania badawczego.

W związku z tym, że zakres pomiarów był podporządkowany rzeczywistej budowie badanego miejsca nie był identyczny dla wszystkich lokalizacji. Utrzymywano wspólną logikę warstwowego opisu przestrzeni.



Ryc.60. Przykładowy zapis tej samej lokalizacji w ujęciu dziennym, nocnym i pomiarem luminancji. Na zdjęciu: ul. Ogrodowa w Świnoujście. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.



Ryc.61. Przykładowy zapis tej samej lokalizacji w ujęciu dziennym, nocnym i pomiarem luminancji. Na zdjęciu: Rynek Jeżycki w Poznaniu Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.

Procedura porównawcza opierała się na zestawieniu ze sobą trzech porządków. Pierwszym był porządek urbanistyczno-przestrzenny, obejmujący opis kontekstu, funkcji i budowy miejsca. Drugim był porządek fotometryczny, obejmujący wartości luminancji dla poszczególnych warstw wnętrza urbanistycznego. Trzecim był porządek relacyjny, polegający na porównywaniu składowych przestrzeni względem siebie, w szczególności poprzez odnoszenie luminancji wybranych warstw do luminancji jezdni, traktowanej w wielu przypadkach jako warstwa bazowa. Dzięki temu możliwe było określenie poziomu światła w danej lokalizacji oraz rozpoznanie jego dystrybucji pomiędzy składowymi wnętrza urbanistycznego. Pozwoliło to odróżniać przypadki poprawne w warstwie komunikacyjnej od tych, w których rozkład światła pomiędzy warstwami przestrzeni pozostawał niespójny z charakterem miejsca i jego logiką użytkowania. (Markvica et al., 2019; Martyniuk-Pęczek, 2014). Na tym etapie pomiarów nie dokonywano jeszcze ostatecznej interpretacji. Wyodrębnione i zmierzone składowe przestrzeni były podstawą dalszego opracowania ilościowego, obejmującego dobór klas oświetleniowych zgodnie z Normą PN-EN13201, uporządkowanie wyników względem poziomów klasowych oraz przekształcenie wartości luminancji do odpowiadających im poziomów natężenia oświetlenia. Tym samym niniejszy podrozdział zamyka etap operacjonalizacji przestrzeni i pomiaru, a otwiera etap kalibracji i interpretacji danych. Na tym etapie przyjęto już zasadę zaokrąglania wyników do poziomów klas zgodnie z logiką normy oraz próg 50% jako różnicę istotną percepcyjnie.

Pełne zestawienie wszystkich przypadków pomiarowych, wraz z ich charakterystyką lokalizacyjną, klasyfikacją kontekstu, wynikami pomiarów i przekształceniami, zamieszczono w Załączniku nr.2, TOM 2 Rozprawy. W tekście głównym przedstawiono schemat opisu przypadku (Tabela 33), zasady procedury porównawczej oraz przykłady reprezentatywne, istotne dla dalszej argumentacji.

Grupa danych	Zakres informacji
Identyfikacja przypadku	kraj, miasto, ulica, geolokalizacja, odnośnik mapowy
Opis przestrzeni	krótki opis sytuacji urbanistycznej i sposobu użytkowania
Klasyfikacja kontekstu	morfologia, funkcja, rodzaj wnętrza/kompozycja, użytkownicy, środowisko, użytkowanie
Warstwy analizowane	jezdnia, chodnik / droga rowerowa, elewacje 0-3 m, 3-12 m, >12 m, zieleń niska, zieleń wysoka
Dane fotometryczne	wartości luminancji dla wyodrębnionych warstw
Odniesienie normowe	przypisana klasa oświetleniowa, poziom referencyjny, relacja do wymagań
Dane przeliczeniowe	wartości natężenia skalkulowane dla wydzielonych warstw
Relacje wewnętrzne	stosunek luminancji badanych warstw do luminancji jezdni

Tabela 33. Schemat opisu pojedynczego przypadku terenowego. Opracowanie własne.

6.2.4 Odniesienie wyników pomiarów do wymagań normatywnych i poziomów referencyjnych

Przed przystąpieniem do właściwej interpretacji normowej i fotometrycznej konieczne było syntetyczne uporządkowanie zebranego materiału. Baza badawcza objęła 245 przypadków pomiarowych, z czego do zestawień strukturalnych włączono 244 przypadki kompletne klasyfikacyjnie. Materiał ten obejmował przestrzenie zróżnicowane. Już na tym etapie widoczne było, że badane przypadki nie tworzą jednorodnego zbioru, lecz pole licznych konfiguracji cech, co miało znaczenie dla dalszego sposobu opracowania wyników (Tabela 34). Dane zawarte w Tabeli mają znaczenie metodologiczne. Potwierdzają wysoki stopień złożoności materiału i pokazują, że jego dalsza interpretacja wymaga ujęcia konfiguracyjnego, uwzględniającego współwystępowanie kilku cech jednocześnie. Podsumowanie statystyczne cech badanych obszarów pokazuje zarazem, że materiał ma wyraźny miejski rdzeń, ale pozostaje wewnątrz silnie zróżnicowany. Dominują przestrzenie zaklasyfikowane jako ulice lub obszary zabudowane, przy jednoczesnej obecności dróg i przestrzeni niezabudowanych. W przekroju funkcjonalnym największy udział mają przestrzenie mieszkalne, mieszkalno-komercyjne, komunikacyjne, rekreacyjne oraz komercyjno-usługowe. W przekroju kompozycyjnym szczególnie licznie reprezentowane są wnętrza zamknięte liniowe, układy otwarte oraz wnętrza półzamknięte. Materiał obejmuje szerokie spektrum typów miejsc oraz różne poziomy domknięcia, różne relacje pomiędzy warstwą zabudowy i zielenią oraz różne rytmy użytkowania. Taki układ wzmacnia wartość porównawczą badania.

Dla tak uporządkowanego materiału możliwe było przejście do kolejnego etapu, czyli odniesienia wyników pomiarów do wymagań normowych, poziomów klasowych oraz przekształceń pomiędzy systemem luminancyjnym i natężeniowym. Charakterystyka statystyczna materiału stanowi nie odrębną dygresję, lecz konieczny wstęp do dalszej interpretacji wyników.

Zakres analizy	Wynik
Morfologia	2
Funkcja	9
Rodzaj wnętrza / kompozycja	7
Użytkownicy	5
Środowisko	7
Użytkowanie	3
Konfiguracje pełne	94
Konfiguracje: morfologia-funkcja-wnętrze	41
Konfiguracje: morfologia-funkcja-wnętrze-użytkowanie	61

Tabela 34. Złożoność materiału terenowego w układzie klasyfikacyjnym. Opracowanie własne.

Opracowanie wyników pomiarów terenowych wymagało procedury, która pozwalałaby zachować zgodność z systemem wymagań normy, a zarazem interpretować złożone przestrzenie publiczne. Wynik pomiaru luminancji lub odpowiadającego jej

natężenia oświetlenia nie ma bowiem znaczenia samoistnego. Znaczenie to ujawnia się dopiero wtedy, gdy wynik zostaje osadzony w strukturze wymagań, progów i relacji, a następnie odniesiony do budowy przestrzeni, jej sposobu użytkowania oraz rozkładu światła pomiędzy składowymi wnętrza urbanistycznego. Z tego względu procedura opracowania materiału obejmowała trzy następujące po sobie operacje: przypisanie wymagań normowych, uporządkowanie wyników względem poziomów klasowych oraz przekształcenie wyników pomiarów z systemu iluminacyjnego do odpowiadającego mu systemowi natężeniowego (Boyce, 2014; CIE, 2010, 2017; Polski Komitet Normalizacyjny, 2016a, 2016b, 2016c).

Pierwszy poziom odniesienia wyznaczały klasy oświetleniowe wynikające z normy PN-EN 13201. Dla warstw komunikacyjnych występujących w danym przypadku dobrano zgodnie z kalkulatorem zawartym w Normie klasy oświetlenia M, C i P, zależnie od funkcji układu, charakteru ruchu oraz znaczenia danej warstwy w strukturze przestrzeni. W praktyce oznaczało to przypisanie formalnego poziomu odniesienia przede wszystkim jezdniom, chodnikom, drogom rowerowym i strefom konfliktowym, a następnie zestawienie wyników pomiarów z parametrami odpowiadającymi danej klasie. W efekcie każdy przypadek osadzono w klasyfikacji kontekstu przestrzennego oraz w systemie wymagań ilościowych właściwych dla jego warstwy komunikacyjnej. Wymaganie podstawowe stawiane przez Normę dostarczało formalnego poziomu odniesienia dla warstw podstawowych, ale nie rozstrzygała jeszcze o jakości przestrzeni jako całości. Wynika to z samej natury normy, która opisuje wymagania związane głównie z funkcjami komunikacyjnymi i bezpieczeństwem ruchu, natomiast nie obejmuje w wystarczającym stopniu warstw pionowych, krajobrazowych i kompozycyjnych, współdecydujących o nocnym obrazie miejsca. Z tego względu wymagania normowe potraktowano jako konieczny układ odniesienia, ale nie jako jedyne kryterium interpretacji. Stanowisko to pozostaje spójne zarówno z literaturą przedmiotu, jak i z wcześniejszymi ustaleniami rozprawy, zgodnie z którymi bezpieczeństwo i widzialność mają charakter warunku koniecznego, lecz niewystarczającego dla oceny jakości oświetlenia przestrzeni publicznej po zmroku (Boyce, 2014; Żagan, 2021).

Następnie uporządkowano wyniki pod względem poziomów klas. Dla potrzeb interpretacji projektowej i porównawczej wyniki ułożono w uporządkowanym systemie poziomów referencyjnych. Uzasadnienie takiego podejścia było dwojakie. Po pierwsze, kolejne klasy oświetleniowe w normie PN-EN 13201 tworzą sekwencję poziomów różniących się skokowo, najczęściej o około 50%. Po drugie, różnice tej skali mają znaczenie techniczne i percepcyjne. Pozwalają odróżniać jakościowo odmienne stany oświetlenia, zamiast rejestrować drobne wahania wartości fotometrycznych. Wyniki pomiarów zaokrąglano do wartości skatalogowanych w wymaganiach normy PN-EN 13201, przyjmując jednocześnie, że różnice w luminancji, aby były zauważalne dla obserwatora, powinny osiągać zmianę rzędu minimum 50%. Założenie to stanowi jeden z istotnych elementów metodologicznych przyjętej procedury badawczej. W praktyce przyjęto więc uporządkowany zestaw poziomów referencyjnych luminancji, obejmujący zarówno poziomy bezpośrednio odpowiadające klasom normatywnym, jak i poziomy pośrednie oraz ponadnormatywne. W materiale roboczym przyjęto ciąg wartości od 0,1 do 10,0 cd/m², przy czym poziomy 0,3; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 i 2,0 cd/m² odpowiadają bezpośrednio klasom M6-M1, natomiast poziomy niższe, pośrednie i wyższe pełnią funkcję rozszerzonego układu odniesienia dla przypadków wykraczających poza zakres

podstawowej klasyfikacji normowej. Tak skonstruowana skala umożliwiła przejście od prostego rozstrzygnięcia „spełnia / nie spełnia” wymagani do bardziej precyzyjnej interpretacji materiału, w której można było rozpoznawać przypadki zbliżone do poziomu referencyjnego, obniżone względem niego lub wyraźnie go przewyższające. To właśnie w tej operacji materiał pomiarowy zaczynał funkcjonować jako uporządkowana baza przykładów reprezentujących jakościowo odmienne stany oświetlenia. W tym miejscu wprowadzono rozwiązanie stanowiące jeden z istotnych elementów metodologicznych przyjętej procedury. W ramach badania wprowadzono procedurę przybliżania wyników do poziomów klasowych i międzyklasowych, dzięki której materiał pomiarowy uzyskał uporządkowaną strukturę interpretacyjną. W konsekwencji przypadek nie był już interpretowany wyłącznie przez wartość 0,63 czy 0,88 cd/m², lecz przez odniesienie do poziomu referencyjnego, typu przestrzeni i logiki doboru przykładów „właściwych”, „niedoświetlonych” i „prześwietlonych”. Zabieg ten operacjonalizuje materiał empiryczny oraz wspiera rozpoznanie różnic jakościowych, nie tylko liczbowych.

Kolejnym krokiem było przekształcenie wyników luminancji na odpowiadające im poziomy natężenia oświetlenia. Podstawą przekształcenia są tabele porównawcze zawarte w normie PN-EN 13201-2 oraz PN-EN 13201-3, w których określono równoważne poziomy średniego natężenia oświetlenia odpowiadające wymaganym wartościom średniej luminancji dla klas M, przy założeniu określonych właściwości fotometrycznych nawierzchni drogi. W tym samym materiale podkreślono, że współczynnik q_0 ma charakter parametru pośredniczącego, umożliwiającego porównywanie i przeliczanie wymagań wyrażonych w systemie klas luminancyjnych i natężeniowych, przy zachowaniu zgodności z metodyką normy PN-EN 13201 oraz dokumentami CIE.

Luminancja nawierzchni drogi, postrzegana przez obserwatora, jest wynikiem odbicia światła padającego na nawierzchnię. Dla nawierzchni traktowanej jako powierzchnia rozpraszająca typu lambertowskiego²⁶ zależność pomiędzy luminancją L a natężeniem oświetlenia E opisana jest równaniem:

$$L = (\rho \cdot E) / \pi$$

gdzie:

L – luminancja nawierzchni drogi [cd/m²],

E – natężenie oświetlenia padające na nawierzchnię [lx],

ρ – współczynnik odbicia nawierzchni [-].

Równanie to stanowi podstawę wyznaczania zarówno luminancji dla zadanego natężenia oświetlenia, jak i odwrotnie – wymaganego natężenia oświetlenia dla określonej luminancji nawierzchni. Na tej podstawie definiowany jest średni współczynnik luminancji nawierzchni q_0 , który opisuje stosunek luminancji do natężenia oświetlenia:

$$q_0 = L/E$$

Po podstawieniu zależności wynikającej z właściwości powierzchni rozpraszającej otrzymuje się:

$$q_0 = \rho / \pi$$

²⁶ Powierzchnia rozpraszająca typu lambertowskiego – idealizowana powierzchnia odbijająca światło w sposób doskonale rozproszony, zgodnie z prawem cosinusowym Lamberta. Jej luminancja pozostaje jednakowa niezależnie od kierunku obserwacji. Nazwa pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka i matematyka Johanna Heinricha Lamberta.

Współczynnik q_0 ma wymiar odwrotności steradiana [sr^{-1}] i jest miarą efektywności, z jaką dana powierzchnia „przekształca” natężenie oświetlenia w luminancję obserwowaną przez użytkownika drogi. Jego wartość zależy od rodzaju materiału powierzchni, jej struktury oraz jasności optycznej. W praktyce projektowej i normowej współczynnik q_0 wykorzystywany jest jako parametr pośredniczący umożliwiający porównywanie i przeliczanie wymagań wyrażonych w systemie klas luminancyjnych i natężeniowych. Zastosowanie relacji $L = \rho E / \pi$ oraz wynikających z niej przekształceń zapewnia spójność obliczeń z metodyką przyjętą w normie PN-EN 13201 oraz publikacjach CIE dotyczących oświetlenia drogowego. W aplikacji opisane zależności stanowią formalną podstawę do przeliczania parametrów oświetleniowych oraz do interpretacji tabel porównawczych klas oświetleniowych przy różnych właściwościach powierzchni. Na potrzeby przeliczeń realizowanych w aplikacji przyjmowane są referencyjne, obliczeniowe wartości współczynnika luminancji powierzchni q_0 , zgodne z powszechną praktyką projektową oraz z podejściem stosowanym w oprogramowaniu obliczeniowym do projektowania oświetlenia drogowego. Dla powierzchni asfaltowych, niezależnie od ich szczegółowej struktury, przyjmuje się referencyjną wartość:

$$q_0 = 0,07$$

co odpowiada klasyfikacji tych powierzchni jako ciemnych w rozumieniu obliczeń oświetleniowych.

Dla powierzchni chodników oraz jezdni wykonanych z kostki brukowej, które charakteryzują się wyższą jasnością optyczną i korzystniejszymi właściwościami odbiciowymi, przyjmuje się referencyjną wartość:

$$q_0 = 0,11$$

co odpowiada klasyfikacji tych powierzchni jako jasnych.

Przyjęcie powyższych wartości ma charakter obliczeniowy i referencyjny, a jego celem jest zapewnienie spójności przeliczeń luminancji i natężenia oświetlenia w skali całego systemu, a także zgodności wyników aplikacji z wynikami uzyskiwanymi w standardowych narzędziach projektowych. W przypadku dostępności szczegółowych danych dotyczących rzeczywistych właściwości fotometrycznych powierzchni, aplikacja dopuszcza możliwość modyfikacji wartości q_0 przez użytkownika. Przyjęte wartości referencyjne są domyślną podstawą przeliczeń i interpretacji wyników (Tabela 35).

W badaniu nie ograniczono się do przyjęcia jednej relacji właściwej dla powierzchni drogowych. Na potrzeby analizy 245 przypadków oraz późniejszej interpretacji urbanistycznej rozszerzono logikę przekształcenia L-E na różne typy powierzchni budujących wnętrza urbanistyczne. W materiałach roboczych przyjęto zatem referencyjne wartości współczynnika odbicia ρ oraz odpowiadające im wartości q_0 dla kilku podstawowych grup elementów: powierzchni jasnych i ciemnych, elewacji jasnych i ciemnych oraz zieleni (Tabela 36). Dla powierzchni ciemnych przyjęto $\rho = 0,22$ i $q_0 = 0,07$, dla powierzchni jasnych $\rho = 0,35$ i $q_0 = 0,11$, dla elewacji ciemnych $\rho = 0,2$ i $q_0 = 0,06$, dla elewacji jasnych $\rho = 0,5$ i $q_0 = 0,16$, natomiast dla zieleni przyjęto $\rho = 0,22$ i $q_0 = 0,07$, uznając tę wartość za odpowiadającą warunkom rzeczywistym występującym podczas pomiarów, zwłaszcza jasnym i przesuszonym latem trawnikom. Takie wartości zostały sklasyfikowane i przyjęte jako podstawa dalszych obliczeń dla poszczególnych elementów wnętrza urbanistycznego.

E [lx]	L [cd/m ²]			M6	M5	M4	M3	M2	M1									
ρ	q_0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
0,03	0,01	10	21	31	52	79	105	157	209	262	314	419	523	628	733	837	942	1047
0,05	0,02	6	13	19	31	47	63	94	126	157	188	251	314	377	440	502	565	628
0,07	0,02	4	9	13	22	34	45	67	90	112	135	179	224	269	314	359	404	449
0,1	0,03	3	6	9	16	24	31	47	63	79	94	126	157	188	220	251	283	314
0,15	0,05	2	4	6	10	16	21	31	42	52	63	84	105	126	147	167	188	209
0,2	0,06	2	3	5	8	12	16	24	31	39	47	63	79	94	110	126	141	157
0,22	0,07	1	3	4,3	7,1	10,7	14,3	21,4	28,5	36	43	57	71	86	100	114	128	143
0,25	0,08	1	3	4	6	9	13	19	25	31	38	50	63	75	88	100	113	126
0,3	0,10	1	2	3	5	8	10	16	21	26	31	42	52	63	73	84	94	105
0,35	0,11	1	2	2,7	4,5	6,7	9,0	13,5	17,9	22	27	36	45	54	63	72	81	90
0,4	0,13	1	2	2	4	6	8	12	16	20	24	31	39	47	55	63	71	79
0,45	0,14	1	1	2	3	5	7	10	14	17	21	28	35	42	49	56	63	70
0,5	0,16	1	1	2	3	5	6	9	13	16	19	25	31	38	44	50	57	63
0,55	0,18	1	1	2	3	4	6	9	11	14	17	23	29	34	40	46	51	57
0,6	0,19	1	1	2	3	4	5	8	10	13	16	21	26	31	37	42	47	52
0,65	0,21	0	1	1	2	4	5	7	10	12	14	19	24	29	34	39	43	48
0,7	0,22	0	1	1	2	3	4	7	9	11	13	18	22	27	31	36	40	45
0,75	0,24	0	1	1	2	3	4	6	8	10	13	17	21	25	29	33	38	42
0,8	0,25	0	1	1	2	3	4	6	8	10	12	16	20	24	27	31	35	39
0,85	0,27	0	1	1	2	3	4	6	7	9	11	15	18	22	26	30	33	37
0,9	0,29	0	1	1	2	3	3	5	7	9	10	14	17	21	24	28	31	35
0,95	0,30	0	1	1	2	2	3	5	7	8	10	13	17	20	23	26	30	33
1	0,32	0	1	1	2	2	3	5	6	8	9	13	16	19	22	25	28	31

Tabela 35. Tabela przekształceń dla poziomy Klasy M i P o porównywalnych poziomach oświetlenia przy różnych jasnościach nawierzchni /wartościach Q_0 . Opracowanie własne.

Element wnętrza urbanistycznego	Jasność / typ	ρ	q_0
Nawierzchnia	ciemna	0,22	0,07
Nawierzchnia	jasna	0,35	0,11
Elewacja	ciemna	0,20	0,06
Elewacja	jasna	0,50	0,16
Zieleń	przyjęta wartość referencyjna	0,22	0,07

Tabela 36. Korelacja wartości współczynnika odbicia i wskaźnika q_0 dla głównych elementów wnętrza urbanistycznego. Opracowanie własne.

Na tej podstawie opracowano autorskie tabele korelacji wartości L-E dla poszczególnych poziomów światła i różnych typów powierzchni (Tabela 37). W materiałach roboczych

zestawiono odpowiadające sobie wartości luminancji i natężenia oświetlenia dla nawierzchni jasnych i ciemnych, elewacji jasnych i ciemnych oraz zieleni, obejmując zakres od 0,1 do 10,0 cd/m². Zestawienia te pokazują, że ten sam poziom luminancji wymaga różnych poziomów natężenia w zależności od właściwości odbiciowych powierzchni. Przykładowo dla luminancji 0,75 cd/m² przyjęto 7,5 lx dla nawierzchni jasnej, 10,0 lx dla nawierzchni ciemnej, 5,0 lx dla elewacji jasnej, 10,0 lx dla elewacji ciemnej i 10,0 lx dla zieleni.

Wprowadzenie tego przekształcenia umożliwiło przełożenie logiki doboru klas, historycznie osadzonej przede wszystkim w oświetleniu drogowym, na analizę bardziej złożonego układu warstw przestrzeni publicznej. Dzięki temu jezdnie, chodniki, elewacje i zieleń mogły zostać odniesione do wspólnego, uporządkowanego systemu poziomów światła. Zabieg ten tworzy pomost między wymaganiami normowymi a analizą urbanistyczną. Umożliwia interpretację rozkładu światła w całej strukturze przestrzeni, zamiast ograniczać ocenę do sprawdzenia wymagań ilościowych dla podstawowej warstwy komunikacyjnej.

L [cd/m ²]	Nawierzchnia E [lx]		Elewacja E [lx]		Zieleń E [lx]
	jasna	ciemna	jasna	ciemna	
0,3	3,0	5,0	2,0	5,0	5,0
0,5	5,0	7,5	3,0	7,5	7,5
0,75	7,5	10,0	5,0	10,0	10,0
1,0	10,0	15,0	7,5	15,0	15,0
1,5	15,0	20,0	10,0	20,0	20,0
2,0	20,0	30,0	12,5	30,0	30,0

Tabela 37. Przykładowe autorskie znormalizowane przeliczenie luminancji na natężenie oświetlenia dla wybranych typów powierzchni. Opracowanie własne.

Procedura odniesienia wyników do wymagań normowych i poziomów referencyjnych miała więc w pracy charakter wieloetapowy. Najpierw przypisywano przypadkowi klasę lub klasy odniesienia dla warstw komunikacyjnych. Następnie lokowano wyniki pomiarów w układzie poziomów klasowych i międzyklasowych, przyjmując logikę progów istotnych percepcyjnie. W trzecim kroku wykonywano przekształcenie do systemu natężeniowego, wykorzystując relację L-E i zróżnicowane właściwości optyczne powierzchni. Dopiero tak opracowany materiał stawał się w pełni użyteczny dla dalszej analizy typologicznej, porównania przypadków oraz wyboru reprezentatywnych przykładów do badania ankietowego. Przyjęty sposób opracowania wyników pozwalał zarazem wyodrębnić trzy podstawowe stany oświetlenia: przypadki zbliżone do poziomu referencyjnego, przypadki niedoświetlone oraz przypadki przewyższające poziom odniesienia. Stanowiło to podstawę dalszego porządkowania materiału w układzie wariantów „właściwy”, „niedoświetlony” i „prześwietlony”, wykorzystanym później przy doborze przypadków do badania ankietowego. Odniesienie wyników pomiarów do wymagań normowych i poziomów referencyjnych pełniło zatem w pracy funkcję podwójną. Zestawienie wyników zawarto w TOM-ie 2 Rozprawy w Załączniku nr2.

6.2.5 Wyniki badania terenowego i ich znaczenie dla wyodrębnienia przypadków ankietowych

Badanie terenowe pozwoliło zweryfikować dwa zagadnienia istotne dla dalszej konstrukcji rozprawy. Pierwsze dotyczyło operacyjności przyjętej klasyfikacji kontekstu przestrzennego. Drugie dotyczyło zasadności opisu badanych przestrzeni przy użyciu ograniczonej listy kilku typów miejsc. Wyniki wskazały na ograniczoną trafność takiej redukcji. Materiał empiryczny układa się w pole licznych konfiguracji cech, w którym morfologia, funkcja, rodzaj wnętrza urbanistycznego, środowisko, użytkownicy i sposób użytkowania pozostają we wzajemnych relacjach. W efekcie podstawą analizy staje się układ współwystępujących cech kontekstu. Taki rezultat wzmacnia zasadność zastosowania w pracy klasyfikacji wielowariantowej zamiast krótkiego katalogu sztywnych typów przestrzeni (Belton & Stewart, 2002; Carmona et al., 2010; Figueira et al., 2005). W zbiorze badanych przypadków ujawniły się 94 rzeczywiście występujące konfiguracje pełne, 41 konfiguracji w układzie morfologia-funkcja-wnętrze oraz 61 po dodaniu sposobu użytkowania. Skala tego zróżnicowania wskazuje, że prosta typologia redukcyjna nie stanowi wystarczającego narzędzia opisu materiału. Już w obrębie trzech podstawowych klasyfikatorów materiał ujawnia tak duże bogactwo układów, że sprowadzenie go do kilku rozłącznych klas prowadziłoby do utraty różnic istotnych projektowo. Dlatego oświetlenie przestrzeni publicznych wymaga ujęcia konfiguracyjnego, opartego na kombinacji cech miejsca, a nie katalogowego przypisania przestrzeni do sztywnych typów. Podsumowanie statystyczne cech badanych obszarów potwierdza miejski rdzeń materiału, ale zarazem pokazuje jego duże wewnętrzne zróżnicowanie. W przekroju morfologicznym 88,5% przypadków były ulice lub obszary zabudowane, a 11,5% drogi lub obszary niezabudowane. W przekroju funkcjonalnym największe grupy tworzyły przestrzenie mieszkalno-komercyjne – 28,7%, mieszkalne – 27,5%, komunikacji drogowej – 12,7%, rekreacyjne – 11,9% oraz komercyjne i usługowe – 11,9%. W przekroju kompozycyjnym dominowały wnętrza zamknięte liniowe $h > 10$ m – 30,7%, układy otwarte – 21,7% oraz zamknięte liniowe $h < 10$ m – 21,7%. W strukturze użytkowania przeważały przestrzenie wykorzystywane podstawowo – 53,3%, następnie podstawowo i okazjonalnie – 30,7%, a okazjonalnie – 16,0%. W zakresie środowiska dominowała zieleń przyuliczna – 72,5%, dalej zieleńce i klomby – 12,7%, zieleń i parki osiedlowe – 5,3% oraz woda, nabrzeża i promenady – 4,1%. W przekroju głównego użytkownika największą grupę tworzyły przestrzenie współużytkowane przez mieszkańców, podróżnych i turystów – 42,6%, następnie przestrzenie użytkowane głównie przez mieszkańców – 28,7% oraz przez mieszkańców i podróżnych – 18,0%. Układ ten potwierdza, że materiał nie ma charakteru jednorodnego, lecz obejmuje szerokie spektrum realnych sytuacji projektowych.

Analiza przekrojowa (Tabela 38) pokazuje ponadto, że funkcja miejsca nie może być traktowana jako samodzielny predyktor potrzeb oświetleniowych. Najliczniejsze funkcje nie zamykają się w jednym układzie kompozycyjnym ani środowiskowym. Funkcja mieszkalna występuje w 7 różnych typach wnętrza urbanistycznego i w 4 rodzajach środowiska. Funkcja mieszkalna i komercyjna pojawia się w 6 typach wnętrza i 3 trybach użytkowania. Komunikacja drogowa występuje w 2 morfologiach, 5 typach wnętrza i 4 środowiskach. Przestrzenie rekreacyjne pojawiają się w 2 morfologiach, 4 typach wnętrza i 4 środowiskach.

Funkcja	Liczba przypadków	Liczba morfologii	Liczba typów wnętrza	Liczba środowisk	Liczba trybów użytkowania
Mieszkalna i komercyjna	70	1	6	2	3
Mieszkalna	67	1	7	4	2
Komunikacja drogowa	31	2	5	4	2
Komercyjna i usługowa	29	1	6	2	3
Rekreacyjna	29	2	4	4	2

Tabela 38. Zmienność układów przestrzennych w obrębie najliczniejszych funkcji. Opracowanie własne.

Drugim zasadniczym wynikiem badania terenowego było rozpoznanie dużego zróżnicowania stanów ilościowych oświetlenia. Materiał został opracowany zgodnie z przyjętą procedurą: po podziale wnętrza urbanistycznego określono średnie wartości luminancji dla badanych elementów powierzchni, a następnie zaokrąglono je do poziomów skatalogowanych w normie PN-EN 13201. Przyjęto przy tym logikę Normy, zgodnie z którą różnice luminancji uznawane za zauważalne dla obserwatora powinny osiągać zmianę rzędu minimum 50%. Wyniki luminancji przeliczono dalej na odpowiadające im wartości natężenia oświetlenia analogicznie do normowego przelicznika klas M i C, z wykorzystaniem współczynnika q_0 oraz autorskich tabel korelacji L-E dla nawierzchni, elewacji i zieleni. Pozwoliło to przejść od zbioru surowych wyników pomiarowych do uporządkowanego układu stanów oświetleniowych. W warstwach komunikacyjnych ujawniło się bardzo duże rozproszenie wyników względem wymagań (Tabela 39). Dla jezdni mediana wskaźnika spełnienia wynosi 1,00, a średnia 1,33. Poniżej poziomu 0,75 wartości referencyjnej znajduje się 34,3% przypadków, w przedziale 0,75–1,25 mieści się 23,6%, a powyżej 1,25 aż 42,1%. Powyżej poziomu 1,5 znajduje się 27,0% przypadków. Dla chodników rozkład jest równie szeroki: mediana wynosi 1,00, średnia 1,40, poniżej 0,75 znajduje się 37,7% przypadków, w pobliżu poziomu referencyjnego 21,0%, a powyżej 1,25 aż 41,4%. Materiał nie skupia się wokół jednej stabilnej normatywnej średniej, lecz obejmuje pełne spektrum stanów: od wyraźnego niedoświetlenia po wyraźne przewymiarowanie. Wynik ten był podstawą późniejszego wyróżnienia wariantów właściwych, niedoświetlonych i prześwietlonych. Dla ścieżek rowerowych liczba przypadków jest bardzo mała, dlatego wynik tej warstwy należy traktować pomocniczo.

Szczególnie istotny okazał się materiał dotyczący warstw, dla których norma nie przewiduje bezpośrednich wymagań w taki sposób, jak dla jezdni i chodników. Zastosowanie matrycowego miernika luminancji umożliwiło wydzielenie jezdni, chodników, ścieżek rowerowych, elewacji w trzech strefach wysokościowych, zieleni niskiej i zieleni wysokiej, a następnie ich odrębne porównanie. W analizie wszystkich dostępnych pomiarów mediana luminancji jezdni wyniosła 1,00 cd/m², chodnika 0,75 cd/m², elewacji przyziemia 0,50 cd/m², elewacji w paśmie 3–12m 0,50 cd/m², elewacji powyżej 12m 0,30 cd/m², zieleni niskiej 0,30 cd/m², a drzew 0,20 cd/m². Układ ten dobrze pokazuje, że dominująca praktyka oświetleniowa utrzymuje relatywnie stabilny poziom

warstwy jezdnej i pieszej, przy wyraźnie słabszym doświetleniu wyższych partii elewacji oraz zieleni.

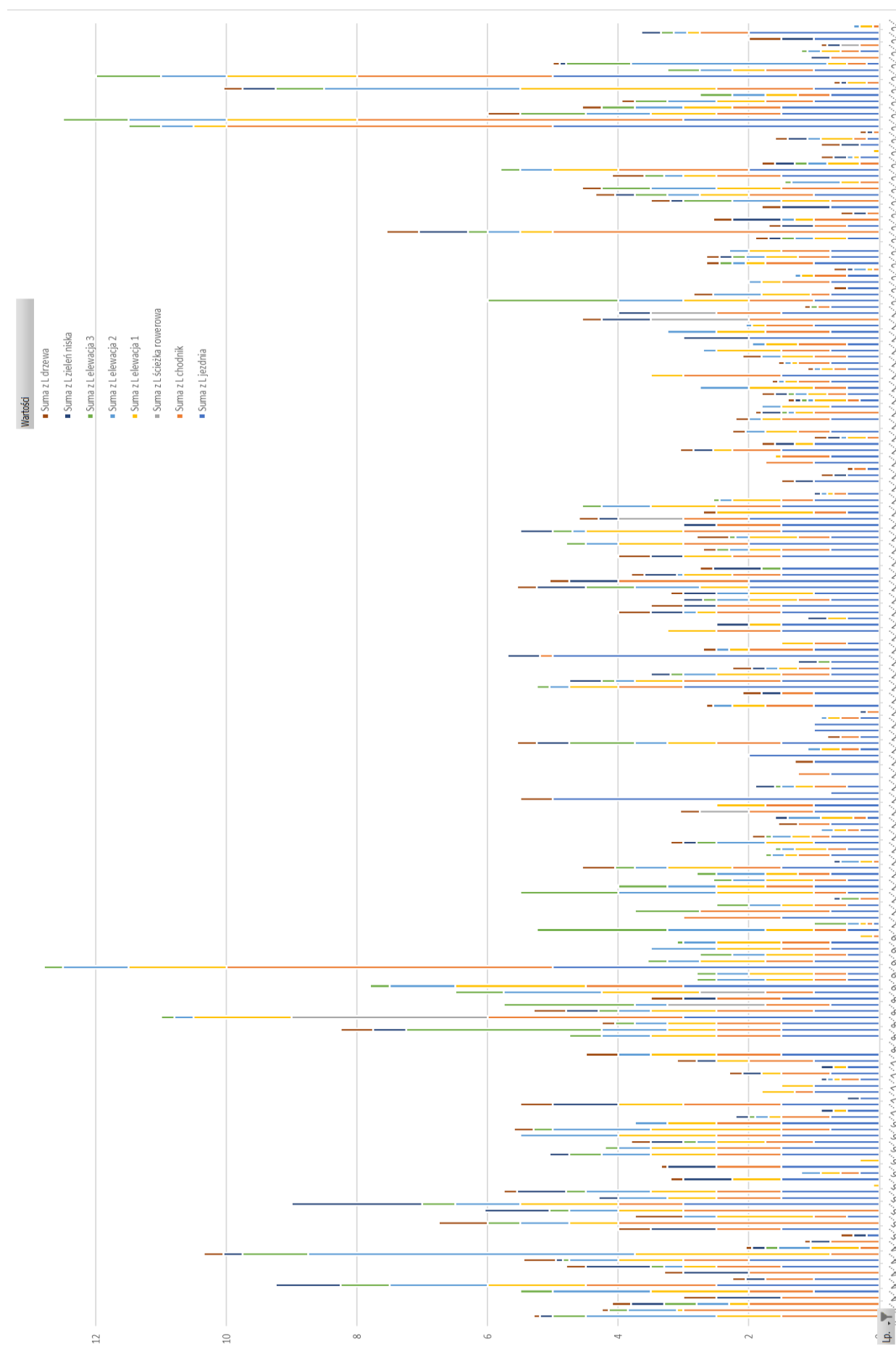
Warstwa	n	Mediana wskaźnika spełnienia	Średnia wskaźnika spełnienia	< 0,75	0,75- 1,25	> 1,25	> 1,5
Jezdnia	178	1,00	1,33	61 (34,3%)	42 (23,6%)	75 (42,1%)	48 (27,0%)
Chodnik	162	1,00	1,40	61 (37,7%)	34 (21,0%)	67 (41,4%)	39 (24,1%)
Ścieżka rowerowa*	5	3,00	2,86	0 (0,0%)	1 (20,0%)	4 (80,0%)	3 (60,0%)

* liczebność bardzo mała; wynik ma charakter pomocniczy.

Tabela 39. Aktualne ilości światła względem wymagań normowych dla warstw komunikacyjnych. Opracowanie własne.

Jeszcze wyraźniej pokazuje to analiza skumulowanych luminancji poszczególnych warstw (Ryc.62). W udziale procentowym odpowiada to około 29,5% dla jezdni, 23,9% dla chodników, 16,2% dla elewacji przyziemia, 11,8% dla elewacji środkowej, 6,6% dla elewacji górnej, 6,2% dla zieleni niskiej i 4,2% dla drzew. Struktura ta potwierdza koncentrację światła przede wszystkim na warstwie komunikacyjnej, przy wyraźnie słabszym udziale warstw pionowych i krajobrazowych. Z urbanistycznego punktu widzenia jest to wynik istotny: elewacje wyższych partii i zieleni, które współdecydują o nocnym obrazie miejsca, jego głębi, hierarchii planów i atmosferze, są doświetlane dużo słabiej i mniej systemowo niż jezdnia i chodnik. Wykres przedstawia skumulowane wartości luminancji dla podstawowych warstw analizowanych przestrzeni, obejmujących jezdnię, chodnik, ścieżkę rowerową, elewacje w trzech strefach wysokościowych, zieleni niską oraz drzewa. Zestawienie służy do uchwycenia ogólnej struktury dystrybucji światła w badanym materiale oraz skali zróżnicowania współczesnych realizacji oświetleniowych. Wykres pokazuje równocześnie bardzo dużą rozpiętość badanych realizacji. Obok przestrzeni o umiarkowanych i zrównoważonych poziomach luminancji występują przypadki wyraźnie przewyższające poziomy typowe dla większości materiału oraz takie, w których poszczególne warstwy pozostają słabo doświetlone. Materiał empiryczny pokazuje więc duże zróżnicowanie współczesnych realizacji oświetleniowych – zarówno pod względem ilości światła, jak i jego rozkładu pomiędzy składowe wnętrza urbanistycznego. Potwierdza to zasadność przyjętego doboru przypadków, obejmującego pełne spektrum stanów: od przestrzeni relatywnie niedoświetlonych, przez zbliżone do poziomów referencyjnych, po wyraźnie przewymiarowane.

Zestawienie skumulowanych luminancji ma wartość metodologiczną. Pokazuje bowiem, że analiza oświetlenia przestrzeni publicznych nie może ograniczać się do pojedynczej warstwy, zwłaszcza do samej jezdni. Nawet jeśli warstwa komunikacyjna osiąga relatywnie wysokie wartości, nie oznacza to jeszcze, że równie dobrze opracowane zostały elewacje, strefy wejściowe czy zieleni. Wykres wzmacnia więc zasadność warstwowego ujęcia problemu oraz potwierdza potrzebę dalszej analizy relacji pomiędzy warstwami poziomymi i pionowymi jako jednego z kluczowych zagadnień projektowych.



Ryc.62. Rozkład sumarycznych wartości luminancji dla wybranych warstw przestrzeni publicznej objętych pomiarami terenowymi. Kolory oznaczają analizowane składowe przestrzeni: jezdnię – niebieski, chodnik – pomarańczowy, ścieżkę rowerową – szary, elewację 1 – żółty, elewację 2 – jasnoniebieski, elewację 3 – zielony, zieleń niską – granatowy oraz drzewa – brązowy.

Opracowanie własne na podstawie pomiarów luminancji.

Dla warstw poza drogowych użyteczna okazała się analiza relacyjna, odnosząca luminancję danej składowej do luminancji jezdni, traktowanej w wielu przypadkach jako warstwa bazowa (Tabela 40). Pozwoliło to porównywać elewacje i zieleń nie przez sztuczne przypisywanie im normatywnych klas, lecz przez ich rzeczywistą pozycję w strukturze dystrybucji światła. Pokazuje to jak światło rozkłada się pomiędzy składowymi wnętrza urbanistycznego. W badanym materiale warstwa posadzek pozostaje jeszcze w stosunkowo bliskiej relacji do jezdni, natomiast wyższe elewacje i zieleń są oświetlane zdecydowanie słabiej. Badanie terenowe wskazuje na komunikacyjny rdzeń dominującej praktyki oświetleniowej i zarazem wskazuje te warstwy, które w dalszych analizach wymagają szczególnej uwagi.

Warstwa	n	Mediana L [cd/m ²]	Średnia L [cd/m ²]	Suma L	Udział w sumie [%]	Mediana relacji L pow. do L jezdni
Jezdnia	173	1,00	1,09	189,40	29,5	1,00
Chodnik	171	0,75	0,90	153,55	23,9	0,75
Ścieżka rowerowa	8	1,00	1,26	10,05	1,6	0,88
Elewacje < 3 m	150	0,50	0,69	104,00	16,2	0,67
Elewacje 3–12 m	127	0,50	0,60	75,85	11,8	0,40
Elewacje >12 m	89	0,30	0,48	42,35	6,6	0,27
Zieleń niska	96	0,30	0,41	39,60	6,2	0,40
Drzewa	100	0,20	0,27	27,10	4,2	0,30

Tabela 40. Statystyka luminancji i udział warstw w skumulowanej strukturze światła.

Opracowanie własne.

Na podstawie wyników badań terenowych oraz przyjętej klasyfikacji typologicznej wyodrębniono 21 przypadków przeznaczonych do dalszego badania ankietowego. Dobór ten miał charakter celowy i podporządkowany był logice porównawczej. W obrębie każdej z siedmiu typologii przestrzeni wskazano trzy przypadki reprezentujące relatywnie odmienny poziom ilości światła: wariant właściwy, prześwietlony oraz niedoświetlony. Dobór przypadków uwzględniał poziom odniesienia dla warstwy podstawowej, jak i zgodność danego przykładu z charakterem przestrzeni, jej morfologią oraz sposobem użytkowania.

Nr	Typ przestrzeni	Lokalizacja	Morfologia i funkcja	Wariant	Poziom odniesienia dla jezdni / chodnika
1.1	Ulica rezydencjalna zabudowa jednorodzinna	Ostrów Wielkopolski Przymiejska	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna	właściwy	100 %, 150 %
1.2	Ulica rezydencjalna zabudowa jednorodzinna	Poznań Janowska	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna	niedoświetlony	0 %
1.3	Ulica rezydencjalna zabudowa jednorodzinna	Świnoujście Ogrodowa	droga lub obszar niezabudowany, rolna	prześwietlony	500 %
2.1	Ulica osiedlowa zabudowa kwaterowa	Poznań Wyspiańskiego	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	właściwy	100 %, 100 %
2.2	Ulica osiedlowa zabudowa kwaterowa	Poznań Głogowska	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	prześwietlony	150 %, 70 %
2.3	Ulica osiedlowa zabudowa kwaterowa	Poznań Chwaliszewo	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	niedoświetlony	40 %, 40 %
3.1	Ulica osiedlowa zabudowa blokowa	Świnoujście Rybaki	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna	właściwy	100 %, 80 %
3.2	Ulica osiedlowa zabudowa blokowa	Świnoujście Barlickiego	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna	prześwietlony	300 %, 130 %
3.3	Ulica osiedlowa zabudowa blokowa	Poznań 28 Czerwca 1956	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	niedoświetlony	80 %, 20 %
4.1	Ulica mieszkaniowo handlowa	Poznań Rynek Jeżycki	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	prześwietlony	200 %, 300 %
4.2	Ulica mieszkaniowo handlowa	Świnoujście Grunwaldzka	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	właściwy	100 %, 50 %
4.3	Ulica mieszkaniowo handlowa	Poznań Ostrówek	ulica lub obszar zabudowany, mieszkalna i komercyjna	niedoświetlony	20 %, 10 %
5.1	Park miejski i tereny rekreacyjne	Świnoujście Park Zdrojowy Aleja Cisowa	droga lub obszar niezabudowany, rekreacyjna	prześwietlony	500 %
5.2	Park miejski i tereny rekreacyjne	Świnoujście Park Miejski im. Fryderyka Chopina	droga lub obszar niezabudowany, rekreacyjna	właściwy	100 %
5.3	Park miejski i tereny rekreacyjne	Poznań plac Spiski	ulica lub obszar zabudowany, rekreacyjna	niedoświetlony	30 %
6.1	Droga w obszarach przemysłowych i technicznych	Poznań Dąbrowskiego DK92	droga lub obszar niezabudowany, komunikacja drogowa	właściwy	100 %
6.2	Droga w obszarach przemysłowych i technicznych	Świnoujście Dworcowa	ulica lub obszar zabudowany, usługi dla mieszkańców	niedoświetlony	70 %, 50 %
6.3	Droga w obszarach przemysłowych i technicznych	Ostrów Wielkopolski Bema	ulica lub obszar zabudowany, przemysłowa	prześwietlony	130 %, 60 %
7.1	Droga w obszarach niezabudowanych otwarty krajobraz	Poznań Witosa	droga lub obszar niezabudowany, komunikacja drogowa	prześwietlony	500 %
7.2	Droga w obszarach niezabudowanych otwarty krajobraz	Poznań Perzycka	droga lub obszar niezabudowany, komunikacja drogowa	właściwy	150 %
7.3	Droga w obszarach niezabudowanych otwarty krajobraz	Poznań Bałtycka	droga lub obszar niezabudowany, komunikacja drogowa	niedoświetlony	0 %

Tabela 41. Zestawienie 21 analizowanych przypadków badawczych wykorzystanych w badaniu ankietowym, z podaniem typu przestrzeni, wariantu oświetlenia oraz poziomu odniesienia dla warstwy podstawowej. Opracowanie własne.

Wyniki badania terenowego prowadzą do następujących rozstrzygnięć. Przyjęta klasyfikacja kontekstu przestrzennego okazała się operacyjna i możliwa do zastosowania w materiale rzeczywistym. Badanie terenowe dostarczyło zarówno empirycznego uzasadnienia dla zastosowania klasyfikacji wielowariantowej, jak i metodologicznie kontrolowanej podstawy do dalszego badania percepcyjnego.

Podsumowanie tej części badań

Badanie terenowe potwierdziło operacyjność przyjętej klasyfikacji kontekstu przestrzennego w materiale rzeczywistym.

- Analiza przypadków kompletnych klasyfikacyjnie wykazała dużą liczbę rzeczywiście występujących konfiguracji cech, co podważa zasadność redukcji przestrzeni publicznych do krótkiej listy sztywnych typów.
- Funkcja miejsca okazała się niewystarczająca jako samodzielna podstawa opisu potrzeb oświetleniowych; rozstrzyga o nich konfiguracja współwystępujących cech kontekstu.
- Wyniki pomiarów, po odniesieniu do klas normowych, poziomów klasowych oraz przekształceniu L-E, pozwoliły wyodrębnić jakościowo odmienne stany oświetlenia.
- Analiza warstw pozadrogowych wykazała systematyczne osłabienie wyższych partii elewacji oraz zieleni względem warstwy jezdnej i pieszej, co wskazuje na komunikacyjny charakter dominującej praktyki oświetleniowej.
- Dobór 21 przypadków ankietowych był wynikiem procedury analitycznej, a nie decyzji ilustracyjnej.
- Wyniki tej części badań stanowią empiryczne uzasadnienie dla przyjęcia w pracy modelu wielowariantowego, zdolnego opisywać potrzeby oświetleniowe przez konfigurację cech kontekstu, a nie przez uproszczony katalog typów miejsc.

6.3 Badanie ankietowe oczekiwań wobec oświetlenia – konstrukcja, materiał i przebieg

Badanie właściwe zaprojektowano jako empiryczne badanie percepcyjne o charakterze ankietowym, którego celem było rozpoznanie oczekiwań użytkowników przestrzeni publicznych wobec ilości światła oraz sposobu, w jaki różne poziomy oświetlenia wpływają na ocenę nocnego odbioru przestrzeni. Przyjęto założenie, że w analizie jakości oświetlenia przestrzeni publicznych parametry techniczne i ocena użytkownika powinny być rozpatrywane komplementarnie, a nie alternatywnie. Dopiero ich łączne ujęcie pozwala formułować wnioski przydatne projektowo (Boyce, 2014; Carmona et al., 2010; Mehta, 2014). Podstawowym założeniem badania było przyjęcie, że oczekiwany poziom ilości światła nie jest wartością uniwersalną, lecz zależy od typu przestrzeni, jej funkcji, sposobu użytkowania po zmroku oraz charakteru relacji między warstwami przestrzeni, takimi jak jezdnia, ciąg pieszy, elewacja czy zieleń. Założenie to jest zgodne zarówno z literaturą urbanistyczną i środowiskową, która podkreśla znaczenie kontekstu funkcjonalno-przestrzennego w ocenie miejsca, jak i z badaniami dotyczącymi percepcji środowisk nocnych, w których ta sama ilość światła może prowadzić do odmiennych ocen w zależności od konfiguracji przestrzeni i cech użytkownika (Lynch, 1960; Rapoport, 1977; Nasar, 1998; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018). W badaniu przyjęto, że ocena ilości światła oraz ocena jakości nocnego odbioru przestrzeni, w szczególności w zakresie czytelności i orientacji, estetyki oraz poczucia bezpieczeństwa, powinny być analizowane równolegle. Takie ujęcie ogranicza ryzyko utożsamiania większej ilości światła z wyższą jakością przestrzeni nocnej, co nie zawsze znajduje potwierdzenie w badaniach empirycznych (Peña-García et al.,

2016; Rahm & Johansson, 2018; Lis et al., 2023). Badanie łączy funkcję poznawczą i aplikacyjną: umożliwia rozpoznanie wzorców ocen respondentów oraz dostarcza przesłanek do rekomendacji projektowych dotyczących warstwowego kształtowania światła. Przyjęty zakres badania został świadomie dostosowany do celu pracy, to znaczy do rozpoznania zależności istotnych dla praktyki projektowej, a nie do budowy uniwersalnego modelu predykcyjnego zachowań użytkowników (Babbie, 2020; Groves et al., 2009; Mehta, 2014).

Materiał badawczy stanowiło 21 rzeczywistych przykładów oświetlenia przestrzeni publicznych (Tabela 41), pogrupowanych w siedem kategorii typologicznych, przy czym w każdej typologii uwzględniono trzy przypadki różniące się stanem ilościowym oświetlenia. Taki dobór miał charakter celowy i został podporządkowany logice porównawczej, umożliwiającej analizę zarówno międzytypologiczną, czyli porównanie różnych klas przestrzeni, jak i wewnątrztypologiczną, czyli porównania w obrębie tego samego typu przestrzeni (Carmona et al., 2010; Ewing & Handy, 2009). W badaniu przyjęto reprezentatywność typologiczną, rozumianą jako pokrycie spektrum klas przestrzeni publicznych istotnych dla funkcji nocnych i praktyki projektowania oświetlenia, a nie jako reprezentatywność probabilistyczną dla populacji wszystkich przestrzeni publicznych. Celem doboru było uchwycenie zróżnicowania oczekiwań użytkowników w odmiennych układach funkcjonalno-przestrzennych. Takie podejście jest uzasadnione w badaniach projektowych i porównawczych, w których jednostką analizy są typy miejsc, a nie losowo wybrane obiekty z populacji generalnej (Rapoport, 1977; Nasar, 1998; Mehta, 2014). Kluczowym doprecyzowaniem doboru materiału było wprowadzenie, w obrębie każdej typologii, trzech wariantów pełniących funkcję porównawczą, wynikających z obiektywnej weryfikacji ilości światła w odniesieniu do wymagań normatywnych dla danej próby przestrzeni. Przyjęto układ:

- przypadek „właściwy” – spełniający wymagania normatywne,
- przypadek „prześwietlony” – przekraczający poziomy odniesienia, oznaczający nadmiar ilości światła,
- przypadek „niedoświetlony” – niespełniający wymagań, oznaczający niedobór ilości światła.

Tak skonstruowany dobór wprowadza do badania kontrolowany wymiar porównawczy oparty na rzeczywistych różnicach ilości światła, przy zachowaniu porównywalnej funkcji i charakteru przestrzeni. Rozwiązanie to zwiększa interpretowalność wyników, ponieważ w badaniach percepcyjnych opartych na materiałach wizualnych ogranicza ryzyko mieszania efektu typologii z efektem poziomu oświetlenia. (Groves et al., 2009; Field, 2013; van Rijswijk & Haans, 2018). W warstwie metodologicznej należy podkreślić, że taki model doboru przypadków, łączący typologię i wariant ilości światła, umożliwia jednoczesne badanie dwóch wymiarów zróżnicowania: różnic wynikających z charakteru przestrzeni oraz różnic wynikających z nadmiaru lub niedoboru światła. W praktyce projektowania oświetlenia decyzje rzadko dotyczą samej ilości światła. Wynikają (powinny wynikać) z morfologii miejsca, sposobu użytkowania i struktury warstw przestrzeni (Jacobs, 1961; Gehl, 2010; Boyce, 2014).

Badanie zrealizowano przy użyciu kwestionariusza ankiety internetowej na platformie Microsoft Forms²⁷. Pełną treść ankiety zamieszczono w Załączniku nr3. TOM2 Rozprawy.

Konstrukcja narzędzia opierała się na dwóch blokach pomiarowych:

- Blok A – ocena oczekiwanej ilości światła dla składowych przestrzeni,
- Blok B – ocena jakości nocnej przestrzeni w relacji do dnia w trzech wymiarach: czytelność i orientacja, estetyka, bezpieczeństwo.



Ryc.63. Schemat warstw przestrzeni miejskiej wykorzystany w badaniu ankietowym do oceny oczekiwanej ilości światła na poszczególnych składowych wnętrza urbanistycznego.
Opracowanie własne.

W bloku A respondenci oceniali ilość światła dla poszczególnych składowych przestrzeni, takich jak jezdnia, ciągi piesze lub rowerowe, elewacje w różnych strefach wysokościowych, zielen niską i zielen wysoką (Ryc.63). Takie rozwiązanie przyjęto celowo. Odpowiada ono praktyce projektowania oświetlenia, w której decyzje podejmowane są na poziomie warstw przestrzeni, a nie wyłącznie na poziomie ogólnej oceny całego miejsca. Jednocześnie umożliwia to uniknięcie mieszania konstruktów technicznych, jakim jest ocena ilości światła w konkretnej warstwie, z konstruktem jakościowym, jakim jest ogólna ocena przestrzeni (Boyce, 2014; Haans & de Kort, 2012; Wänström Lindh & Jägerbrand, 2021).

W bloku B przyjęto ocenę relacji „noc-dzień” w trzech wymiarach: czytelność i orientacja, estetyka oraz poczucie bezpieczeństwa. Zestaw ten obejmuje zarówno aspekty funkcjonalne, jak i percepcyjno-jakościowe, które w praktyce użytkowania przestrzeni publicznych po zmroku współwystępują i wzajemnie na siebie oddziałują. Przyjęcie trzech wymiarów pozwala rozdzielić sytuacje, w których respondent pozytywnie

²⁷ Zastosowanie ankiety internetowej pozwoliło na sprawne zebranie większej liczby odpowiedzi, ujednolicenie procedury prezentacji pytań oraz zachowanie porównywalnej struktury ocen dla wszystkich respondentów. Rozwiązanie to, mimo ograniczeń typowych dla badań online, jest powszechnie stosowane w badaniach percepcji i preferencji użytkowników, zwłaszcza wtedy, gdy celem jest rozpoznanie wzorców odpowiedzi, a nie laboratoryjna kontrola wszystkich bodźców (Babbie, 2020; Groves et al., 2009; Kaplan & Chalfin, 2022). Badanie ankietowe zostało przeprowadzone przed koniecznością uzyskania zgody komisji etyki badań naukowych Politechniki Poznańskiej.

ocenia czytelność przestrzeni, ale negatywnie estetykę albo odwrotnie, co zwiększa potencjał interpretacyjny wyników (Nasar, 1998; Peña-García et al., 2016; Lis et al., 2024a). W obu blokach zastosowano pięciostopniowe skale Likerta. Przyjęcie skali pięciostopniowej wynikało z potrzeby zachowania równowagi między czułością pomiaru a czytelnością narzędzia dla respondenta (Groves et al., 2009; Field, 2013). Ujednolicona procedura oceny zwiększała rzetelność narzędzia badawczego, umożliwiając interpretację różnic odpowiedzi jako skutku zróżnicowania ocenianych przestrzeni i stanów oświetlenia, a nie zmian w sposobie zadawania pytań. Był to warunek porównań między przypadkami, typologiami i wariantami ilości światła (Babbie, 2020; Field, 2013). Kwestionariusz był udostępniany respondentom w sposób zdalny, co zwiększyło dostępność badania dla osób korzystających na co dzień z urządzeń mobilnych i komputerów. Z perspektywy badań percepcji przestrzeni rozwiązanie to jest pragmatycznie uzasadnione. Odpowiada to współczesnym praktykom korzystania z obrazów i interfejsów przez użytkowników, choć jednocześnie wymaga zachowania ostrożności interpretacyjnej związanej z mniejszą kontrolą warunków odbioru bodźców (Groves et al., 2009; Kaplan & Chalfin, 2022). W badaniu zebrano $n = 181$ odpowiedzi. Materiał odpowiedzi został następnie poddany weryfikacji pod względem kompletności oraz spójności struktury danych. W metryczce zarejestrowano podstawowe cechy respondentów, takie jak płeć, wiek oraz inne zmienne opisowe przyjęte w kwestionariuszu, co pozwala scharakteryzować strukturę próby oraz w razie potrzeby, przeprowadzić porównania odpowiedzi między grupami respondentów na dalszych etapach analizy. Na etapie metodologicznym metryczka pełni przede wszystkim funkcję opisową i kontrolną, to znaczy umożliwia ocenę, czy uzyskane wyniki nie są w oczywisty sposób zdominowane przez jedną kategorię respondentów (Babbie, 2020; Cochran, 1977).

Dobór respondentów miał charakter nielosowy i ochotniczy, zgodny z eksploracyjno-porównawczym celem badania. Uzyskane wyniki służą rozpoznaniu wzorców ocen i różnic między typami przestrzeni, a nie estymacji parametrów dla populacji generalnej w sensie reprezentatywności probabilistycznej. W niniejszej pracy ograniczenie to zostało częściowo zrównoważone przez świadomie zaprojektowany dobór materiału badawczego, to jest reprezentatywność typologiczną przypadków oraz układ: właściwy / prześwietlony / niedoświetlony w każdej kategorii, a nie wyłącznie przez logikę doboru respondentów (Groves et al., 2009; Babbie, 2020; Mehta, 2014). Dla zapewnienia spójności opracowania danych przyjęto, że odpowiedzi z ankiety internetowej są materiałem źródłowym. Właściwe przetwarzanie i agregacja danych wykonywane były na roboczym arkuszu analitycznym z ujednoliconym kodowaniem odpowiedzi. Rozdzielenie tych etapów miało znaczenie praktyczne i metodologiczne, ponieważ ogranicza ryzyko błędów edycyjnych, ułatwia kontrolę danych oraz pozwala jednoznacznie odtworzyć sposób przygotowania wyników do analiz statystycznych i prezentacji graficznej (Field, 2013).

Kontrolę wzorca odpowiedzi przeprowadzono ze względu na opisywane w literaturze zjawiska udzielania odpowiedzi wystarczających zamiast w pełni przemyślanych oraz odpowiedzi niestarannych. Dotyczy to zwłaszcza mechanicznego zaznaczania tej samej kategorii w pytaniach macierzowych, które może prowadzić do pozornej koncentracji odpowiedzi w kategorii neutralnej (Meade & Craig, 2012; Curran, 2016; Schönlaue & Toepoel, 2015; Vriesema & Gehlbach, 2021). Aby ocenić wpływ tego

zjawiska na wyniki badania, sprawdzono udział odpowiedzi neutralnych w części właściwej ankiety, obejmującej 169 pozycji skali Likerta. Nie stwierdzono respondentów udzielających wyłącznie odpowiedzi neutralnych we wszystkich pozycjach. Zidentyfikowano natomiast trzy obserwacje o bardzo wysokim udziale kategorii neutralnych, na poziomie 82–93%, które poddano analizie wrażliwości. Porównanie wyników globalnych dla $N = 181$ oraz $N = 178$, po wyłączeniu wskazanych obserwacji, wykazało zmiany udziałów odpowiedzi na poziomie poniżej 1 p.p., co potwierdza stabilność wniosków. Procedurę tę potraktowano jako walidację odporności rezultatów na potencjalne odpowiedzi „minimalnego wysiłku”, a nie jako automatyczne czyszczenie danych.

Uzasadnienie liczebności próby przyjęto w logice badań eksploracyjno-porównawczych, których celem jest rozpoznanie wzorców ocen i różnic między wariantami oraz typologiami przestrzeni, a nie ścisła estymacja parametrów populacji generalnej z wykorzystaniem losowego doboru próby. Liczebność próby oceniano z perspektywy użyteczności analitycznej, to jest stabilności rozkładów odpowiedzi, możliwości porównań grupowych i wykrywania wyraźnych tendencji, przy zachowaniu świadomości ograniczeń wynikających z nielosowego doboru respondentów (Babbie, 2020; Cochran, 1977; Groves et al., 2009).

W celu osadzenia liczebności próby w standardach metodycznych zastosowano klasyczny wzór Cochran'a na wielkość próby w badaniach ankietowych. Wzór ten ma postać:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$

gdzie:

n – wymagana liczebność próby,

Z – wartość zmiennej standaryzowanej dla przyjętego poziomu ufności,

p – estymowana proporcja populacji posiadająca badaną cechę, przy czym dla maksymalnej wariancji przyjmuje się $p = 0,5$,

E – dopuszczalny margines błędu.

Przy standardowych założeniach stosowanych w badaniach eksploracyjnych, tj. $p = 0,5$, poziom ufności 95% oraz $Z = 1,96$, minimalna liczebność próby dla marginesu błędu $E = 10\%$ wynosi około 97 respondentów, natomiast dla $E = 5\%$ około 384 respondentów. W badaniu uzyskano $n = 181$ odpowiedzi, co oznacza liczebność wyraźnie przekraczającą próg odpowiadający scenariuszowi eksploracyjnemu z marginesem błędu 10%. Dla praktyki badawczej jest to wynik korzystny, z uwagi na to że zwiększa stabilność oszacowań rozkładów odpowiedzi oraz poprawia wiarygodność porównań między typami przestrzeni i wariantami ilości światła. Jednocześnie należy zachować precyzję interpretacyjną: sama liczebność próby nie koryguje nielosowego doboru respondentów, dlatego parametry ufności i marginesu błędu mają w tym przypadku charakter orientacyjny, pomocniczy, a nie w pełni probabilistyczny.

Przy założeniu maksymalnej wariancji ($p = 0,5$) oraz poziomu ufności 95% ($Z = 1,96$), orientacyjny margines błędu dla próby wynosi:

$$E = Z \cdot \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$E = 1,96 \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,5}{181}} \approx 1,96 \cdot 0,03727 \approx 0,0730$$

czyli około $\pm 7,3$ punktu procentowego dla estymacji proporcji.

Można odwrócić rachunek i określić, jaki poziom ufności odpowiada liczebności $n = 181$, przy dopuszczeniu marginesu błędu $E = 10\%$:

$$Z = \frac{E}{\sqrt{0,25/181}} \approx \frac{0,10}{0,03727} \approx 2,68$$

Wartość $Z \approx 2,68$ odpowiada dwustronnemu poziomowi ufności około 99,27% przy marginesie błędu ± 10 p.p. Uzyskana próba przekracza minimum dla scenariusza eksploracyjnego $E = 10\%$, osiągając orientacyjną precyzję lepszą niż pierwotnie zakładana²⁸.

Przyjęta metoda opracowania danych łączy prostotę, powtarzalność i transparentność z wymogami rzetelnej analizy naukowej. Tak opracowane wyniki mogą stanowić wiarygodną podstawę do formułowania wniosków projektowych dla różnych typów przestrzeni publicznych. Założono, że celem analizy uporządkowane rozpoznanie wzorców ocen respondentów, identyfikacja różnic między wariantami ilości światła oraz wskazanie zależności między oceną ilości światła a oceną jakości nocnego odbioru przestrzeni. Takie podejście jest zgodne z charakterem badań stosowanych oraz z logiką projektowania oświetlenia, w której analiza statystyczna ma wspierać interpretację problemu projektowego, a nie zastępować ją (Babbie, 2020; Groves et al., 2009; Mehta, 2014).

Ze względu na porządkowy charakter skali wyniki opracowano z wykorzystaniem statystyki opisowej: rozkładów procentowych odpowiedzi, mediany oraz miary zróżnicowania oparte na kwartylach ($Q1$, $Q3$) i rozstępie międzykwartylowym (IQR)²⁹. Takie podejście zachowuje adekwatność metodologiczną wobec charakteru danych, a zarazem pozostaje użyteczne dla praktyki oświetleniowej. Umożliwia ocenę kierunku dominujących wskazań oraz stopnia zgodności lub rozbieżności opinii respondentów. W badaniach dotyczących percepcji przestrzeni i preferencji użytkowników sama wartość

²⁸ W literaturze metodycznej podkreśla się, że dobór wielkości próby powinien być rozpatrywany łącznie z celem badania, sposobem doboru respondentów oraz planowanym sposobem interpretacji wyników. W niniejszej pracy liczebność próby jest wystarczająca do analizy rozkładów odpowiedzi, porównań wariantów oświetlenia i identyfikacji wzorców typologicznych, natomiast nie stanowi podstawy do daleko idących uogólnień probabilistycznych dla populacji generalnej bez dodatkowych badań opartych na losowym doborze respondentów (Babbie, 2020; Groves et al., 2009; Mehta, 2014). Konsekwencją metodologiczną jest zatem podwójna ostrożność interpretacyjna:

- uprawnione jest formułowanie wniosków porównawczych i projektowych dotyczących rozpoznanych wzorców ocen, relacji między wariantami oświetlenia oraz różnic między typami przestrzeni, w ramach przyjętego projektu badawczego,
- nieuprawnione byłoby traktowanie wyników jako ścisłej, probabilistycznej reprezentacji wszystkich użytkowników wszystkich przestrzeni publicznych bez dalszych badań walidacyjnych. Takie rozstrzygnięcie jest spójne z charakterem pracy doktorskiej ukierunkowanej na budowę metodologii i narzędzi wspierających projektowanie oświetlenia, a nie na jednorazową statystyczną estymację populacyjną (Carmona et al., 2010; Boyce, 2014).

²⁹ Skala porządkowa oznacza skalę, w której odpowiedzi można uporządkować od niższych do wyższych, lecz odstęp między kolejnymi kategoriami nie muszą być równe. Mediana to wartość środkowa uporządkowanego zbioru wyników. Kwartył $Q1$ oznacza wartość, poniżej której znajduje się 25% obserwacji, a kwartył $Q3$ wartość, poniżej której znajduje się 75% obserwacji. Rozstęp międzykwartylowy IQR to różnica między $Q3$ i $Q1$, opisująca zróżnicowanie środkowych 50% wyników.

centralna bywa niewystarczająca. Ten sam wynik pośredni może odpowiadać zarówno relatywnej zgodności ocen, jak i wyraźnej polaryzacji odpowiedzi (Field, 2013; Nasar, 1998; Mehta, 2014).

Analizę wyników przeprowadzono na trzech komplementarnych poziomach. Pierwszy obejmuje analizę poszczególnych lokalizacji, czyli 21 przypadków, i pozwala pokazać zróżnicowanie odpowiedzi dla konkretnych przykładów przestrzeni. Drugi dotyczy analizy zagregowanej dla 7 typologii przestrzeni, stanowiącej podstawę formułowania wniosków projektowych i rekomendacji możliwych do zastosowania w praktyce. Trzeci obejmuje analizę globalną, w której przypadki zestawiono według wariantu ilości światła: właściwy / prześwietlony / niedoświetlony, niezależnie od typologii. Dzięki temu można uchwycić ogólne tendencje odpowiedzi respondentów wobec niedoboru i nadmiaru światła.

W celu zapewnienia porównywalności i przejrzystości prezentacji materiału empirycznego wyniki badań dla poszczególnych przypadków opracowano w ujednoliconej formie kart, zawierających syntetyczne zestawienie ocen oraz odpowiadających im wniosków częściowych. Karty te zawierają wyniki indywidualne dla każdego przypadku, w tym identyfikację lokalizacji, typologię, wariant ilości światła, materiał wizualny oraz syntetyczne zestawienie wyników oceny ilości światła i oceny odbioru „noc-dzień”. Włączenie kart przypadków do struktury rozdziału ma uzasadnienie metodologiczne i praktyczne, ponieważ pozwala zachować specyfikę przestrzenną i oświetleniową konkretnego miejsca, która w analizie grupowej i globalnej ulega częściowemu uśrednieniu, a jednocześnie umożliwia kontrolę interpretacji wyników zbiorczych na poziomie rzeczywistych przykładów (Groves et al., 2009; Carmona et al., 2010; Ewing & Handy, 2009).

W obrębie części dotyczącej oceny ilości światła wyniki analizowano oddzielnie dla poszczególnych składowych przestrzeni, takich jak jezdnia, ciągi piesze lub rowerowe, elewacje w strefach wysokościowych, zieleń niska i zieleń wysoka. Z punktu widzenia praktyki projektowania oświetlenia taki poziom rozpoznania ma największą wartość operacyjną. Projektant i zarządca oświetlenia podejmują decyzje na poziomie konkretnych warstw nocnego obrazu miasta, dla których można różnicować cele projektowe, priorytety i parametry techniczne. Takie warstwowe podejście pozostaje spójne zarówno z tradycją badań nad odbiorem przestrzeni miejskiej, jak i z nowszymi badaniami percepcji środowisk nocnych, w których ocena bezpieczeństwa, czytelności i atrakcyjności zależy od rozkładu światła w przestrzeni, a nie wyłącznie od jego ilości globalnej (Jacobs, 1961; Boyce, 2014; Haans & de Kort, 2012; Rahm & Johansson, 2018; Wänström Lindh & Jägerbrand, 2021; van Rijswijk & Haans, 2018).

W części dotyczącej porównania odbioru „noc-dzień” analizie poddano trzy wymiary: czytelność i orientację, estetykę oraz poczucie bezpieczeństwa. Zestaw ten obejmuje zarówno aspekty funkcjonalne, jak i percepcyjno-jakościowe, które w praktyce projektowania oświetlenia są stale obecne, choć często rozpatrywane rozłącznie. W badaniu przyjęto podejście integrujące: równoległą ocenę ilości światła i jakości odbioru przestrzeni. Ogranicza ono ryzyko utożsamiania większej ilości światła z wyższą jakością przestrzeni nocnej. Takie rozróżnienie znajduje potwierdzenie w badaniach nad percepcją bezpieczeństwa i preferencjami użytkowników, które pokazują, że wzrost natężenia oświetlenia nie zawsze przekłada się liniowo na wzrost preferencji estetycznych

lub jakości doświadczenia przestrzeni (Peña-García et al., 2016; Kaplan & Chalfin, 2022; Lis et al., 2023; Lis et al., 2024a; Liu et al., 2025).

W analizie rozkładów odpowiedzi przyjęto dodatkowo rozróżnienie trzech sytuacji interpretacyjnych: wynik zgodny, wynik zrównoważony oraz wynik spolaryzowany. Wynik zgodny występuje wówczas, gdy odpowiedzi koncentrują się po jednej stronie skali i wskazują wyraźny kierunek oczekiwań, na przykład przewagę ocen „za mało światła” albo „za dużo światła”. Wynik zrównoważony występuje wtedy, gdy dominuje środkowa kategoria skali „jest odpowiednio”, a udział odpowiedzi skrajnych pozostaje ograniczony. Natomiast wynik spolaryzowany oznacza sytuację, w której istotne udziały odpowiedzi pojawiają się po obu stronach skali, bez jednoznacznej dominacji jednego kierunku oceny. Przyjęcie tego rozróżnienia ma znaczenie metodologiczne, gdyż zapobiega nadmiernemu uproszczeniu interpretacji wyłącznie do jednej miary centralnej; w przypadkach rozkładów spolaryzowanych sama mediana może sugerować wynik pośredni, mimo że faktyczny obraz odpowiedzi wskazuje na wyraźny podział preferencji (Field, 2013; Nasar, 1998; Mehta, 2014). W kontekście praktyki projektowania oświetlenia rozkłady spolaryzowane traktowano jako empiryczny przejaw zróżnicowanych oczekiwań użytkowników oraz konfliktu priorytetów projektowych, na przykład między potrzebą większej widoczności i orientacji, a potrzebą ograniczania nadmiaru światła albo zachowania bardziej stonowanego charakteru nocnego obrazu miejsca. Tego rodzaju wyniki mają wartość aplikacyjną, ponieważ wskazują warstwy przestrzeni, w których decyzje projektowe wymagają większego zróżnicowania i precyzyjniejszego definiowania celu oświetlenia, co jest zgodne z wnioskami nowszych badań dotyczących przestrzeni parkowych i mieszkaniowych po zmroku (Lis et al., 2024a; Lis et al., 2024b; Liu et al., 2025; Liu et al., 2026).

Zakres analiz statystycznych przyjęto w sposób celowo ograniczony do metod, które są jednocześnie adekwatne do charakteru danych, możliwe do rzetelnego wykonania w ramach niniejszego badania oraz użyteczne w interpretacji projektowej. Podstawę wnioskowania stanowi statystyka opisowa i porównawcza analiza rozkładów odpowiedzi, natomiast analizy inferencyjne mają charakter pomocniczy i są stosowane wyłącznie tam, gdzie ich wynik wnosi wartość do interpretacji problemu projektowego, a nie jedynie formalnie rozszerza opis wyników (Babbie, 2020; Field, 2013).

Dla wszystkich zmiennych analizowanych w części badania właściwego oraz w pytaniach ogólnych wykonano analizę podstawową obejmującą:

- liczbę odpowiedzi ważnych (N ważne),
- rozkłady procentowe odpowiedzi,
- medianę jako podstawową miarę tendencji centralnej dla skali porządkowej,
- kwartyle (Q1, Q3) oraz rozstęp międzykwartylowy (IQR) jako miary zróżnicowania odpowiedzi.

W przypadku pytań dotyczących oceny ilości światła interpretacja opiera się przede wszystkim na rozkładzie odpowiedzi i kierunku dominujących wskazań, natomiast mediana pełni funkcję porządkującą i porównawczą. W badaniach percepcji oświetlenia sama wartość centralna może nie odzwierciedlać rzeczywistego zróżnicowania oczekiwań użytkowników, zwłaszcza w przypadkach rozkładów rozbieżnych (Field, 2013; Boyce, 2014) dlatego rozwiązanie to przyjęto celowo.

Taki układ agregacji rozdziela opis przypadku, uogólnienie typologiczne i wniosek przekrojowy, ograniczając ryzyko nadmiernego uśredniania wyników oraz zwiększając przejrzystość wyводу metodologicznego (Groves et al., 2009; Carmona et al., 2010).

6.4 Wyniki badania ankietowego – struktura oczekiwań wobec oświetlenia

Wyniki badania ankietowego pozwoliły na rozpoznanie struktury oczekiwań wobec oświetlenia przestrzeni publicznych, rozumianej jako układ preferencji i ocen odnoszonych zarówno do ilości światła w poszczególnych warstwach przestrzeni, jak i do jakości nocnego odbioru miejsca. Analiza wyników została podporządkowana wydobywaniu tych prawidłowości, które mają znaczenie dla dalszej syntezy modelowej oraz dla formułowania wniosków projektowych. Przyjęto, że oczekiwania wobec oświetlenia ujawniają w sposobie różnicowania ocen pomiędzy typami przestrzeni, wariantami ilości światła oraz poszczególnymi składowymi nocnego obrazu miejsca. Z tego względu wyniki badania przedstawiono od poziomu najbardziej ogólnego do poziomu bardziej szczegółowego. Najpierw omówiono strukturę próby badawczej oraz wyniki pytań ogólnych, które stanowią tło interpretacyjne dla dalszej analizy. Następnie przedstawiono wyniki zbiorcze badania właściwego, a w dalszej kolejności wyniki i wnioski cząstkowe odnoszone do 21 analizowanych przypadków, opracowanych według jednolitego schematu badawczego.

Wyniki badania interpretowano równolegle w dwóch podstawowych porządkach. Pierwszy dotyczy oceny ilości światła w poszczególnych warstwach przestrzeni, takich jak jezdnia, ciągi piesze lub rowerowe, elewacje oraz zieleń. Drugi dotyczy oceny jakości nocnego odbioru miejsca w relacji do dnia, w szczególności w zakresie czytelności i orientacji, estetyki oraz poczucia bezpieczeństwa. Przyjęcie takiego układu wynika z założenia, że ilość światła i jakość nocnego odbioru przestrzeni nie są tożsame, choć pozostają ze sobą powiązane. Dzięki temu możliwe staje się rozpoznanie zarówno tych sytuacji, w których niedobór lub nadmiar światła jest przez użytkowników bezpośrednio identyfikowany, jak i tych, w których ocena jakości przestrzeni po zmroku nie daje się sprowadzić do prostego schematu „więcej światła = lepiej”. Odpowiedzi respondentów odnoszone są do przestrzeni o określonych cechach morfologicznych, funkcjonalnych i świetlnych. W rezultacie analiza ta umożliwia opis preferencji użytkowników oraz wskazanie, które elementy i warstwy przestrzeni najczęściej stają się przedmiotem oczekiwań, które typy miejsc ujawniają większe zróżnicowanie ocen oraz gdzie pojawiają się napięcia pomiędzy poprawnością ilościową a jakością nocnego odbioru przestrzeni.

Struktura wyników prowadzi do dwóch dalszych kroków analitycznych. W pierwszym ujęto wyniki zbiorcze badania ankietowego, obejmujące charakterystykę próby, pytania ogólne oraz podstawowe tendencje odpowiedzi. W drugim przeanalizowano wyniki i wnioski cząstkowe dla 21 przypadków, które tworzą szczegółowy materiał wejściowy do dalszej syntezy modelowej.

6.4.1 Wyniki zbiorcze badania ankietowego

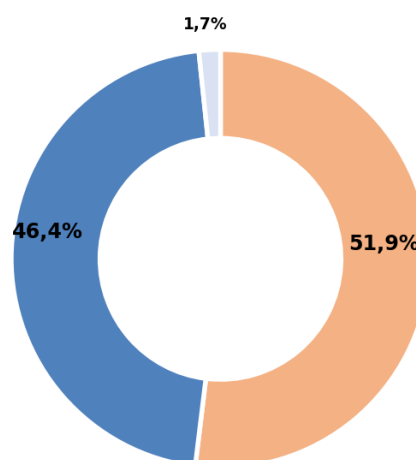
Analizę rozpoczęto od przedstawienia struktury próby badawczej, traktowanej jako punkt odniesienia dla dalszej interpretacji wyników. Następnie omówiono odpowiedzi na pytania ogólne dotyczące korzystania z przestrzeni publicznych po zmroku oraz podstawowych postaw respondentów wobec oświetlenia i nocnego odbioru przestrzeni. Wyniki tej części nie stanowią jeszcze analizy przypadków właściwych, lecz tworzą ważne

tło interpretacyjne dla dalszego wnioskowania. Metryczka obejmowała cztery zmienne opisujące próbę: płeć, wiek, poziom wykształcenia oraz miejsce zamieszkania. Zmienne te służą określeniu podstawowej struktury badanej grupy oraz wyznaczeniu kontekstu interpretacyjnego dla dalszych analiz oczekiwań wobec widoczności i oświetlenia przestrzeni publicznych po zmroku. Poniżej przedstawiono struktury respondentów pod względem: płci (Ryc.64), wieku (Ryc.65), poziomu wykształcenia (Ryc.66) oraz miejsca zamieszkania (Ryc.67).

Q1. Płeć respondentów. Struktura próby pod względem płci była względnie wyrównana. Kobiety stanowiły 51,9% badanych, mężczyźni 46,4%, a 1,7% respondentów wybrało odpowiedź „nie chcę odpowiadać”. Rozkład ten należy uznać za korzystny, ponieważ ogranicza ryzyko jednostronności perspektywy i pozwala traktować dalsze odpowiedzi jako pochodzące z próby relatywnie zrównoważonej.

Q1. Płeć

■ kobieta
■ mężczyzna
■ nie chcę odpowiadać

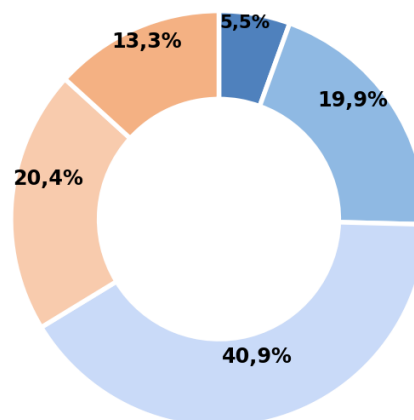


Ryc.64. Struktura respondentów według płci – pytanie Q1. Opracowanie własne.

Q2. Wiek respondentów. Próba była wyraźnie skoncentrowana w grupach dorosłych. Najliczniejszą kategorię stanowili respondenci w wieku 35-50 lat (40,9%), następnie osoby w wieku 50-65 lat (20,4%) oraz 20-35 lat (19,9%). Udział osób powyżej 65. roku życia wyniósł 13,3%, natomiast respondentów poniżej 20 lat jedynie 5,5%. Uzyskane wyniki odzwierciedlają przede wszystkim perspektywę dojrzałych użytkowników przestrzeni publicznych, posiadających regularne doświadczenie związane z ich użytkowaniem po zmroku.

Q2. Wiek

■ <20 lat
 ■ 20-35 lat
 ■ 35-50 lat
 ■ 50-65 lat
 ■ >65 lat

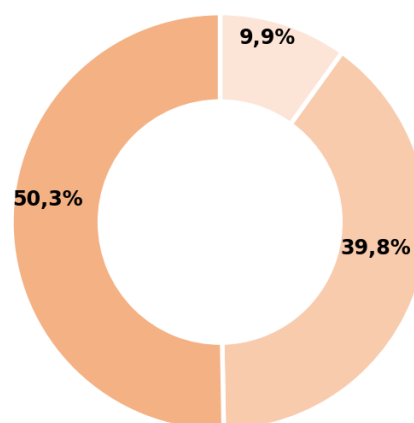


Ryc.65. Struktura respondentów według wieku – pytanie Q2. Opracowanie własne.

Q3. Poziom wykształcenia respondentów. Struktura próby była wyraźnie przesunięta w stronę osób z wykształceniem średnim i wyższym. Respondenci z wykształceniem wyższym stanowili 50,3% próby, a z wykształceniem średnim 39,8%. Udział osób z wykształceniem podstawowym wyniósł 9,9%. Taki rozkład należy uznać za istotny dla interpretacji wyników. Sprzyja formułowaniu bardziej świadomych i uszczegółowionych ocen dotyczących jakości przestrzeni, widoczności oraz roli oświetlenia.

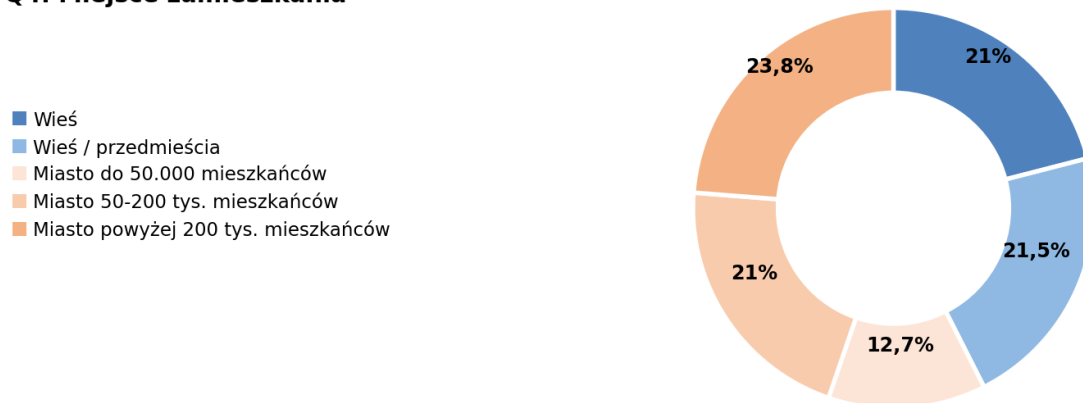
Q3. Wykształcenie

■ podstawowe
 ■ średnie
 ■ wyższe



Ryc.66. Struktura respondentów według poziomu wykształcenia – pytanie Q3. Opracowanie własne.

Q4. Miejsce zamieszkania respondentów. Pod względem miejsca zamieszkania próba miała charakter zróżnicowany. Największy udział mieli mieszkańcy miast powyżej 200 tys. mieszkańców (23,8%), jednak zbliżone liczebności odnotowano także dla kategorii wieś / przedmieścia (21,5%), miasto 50-200 tys. mieszkańców (21,0%) oraz wieś (21,0%). Najmniej liczną grupę tworzyli mieszkańcy miast do 50 tys. mieszkańców (12,7%). Taki rozkład zwiększa wartość poznawczą materiału, gdyż obejmuje respondentów funkcjonujących w zróżnicowanych warunkach przestrzennych i świetlnych.

Q4. Miejsce zamieszkania

Ryc.67. Struktura respondentów według miejsca zamieszkania – pytanie Q4. Opracowanie własne.

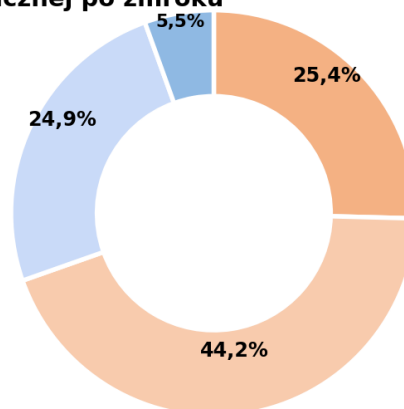
W odniesieniu do danych GUS dla Polski za 2024 r. można stwierdzić, że struktura próby jest zbliżona do populacji krajowej w zakresie płci. Udział kobiet w badaniu (Ryc.64) odpowiada niemal dokładnie udziałowi kobiet w ludności Polski. Podobny wniosek dotyczy miejsca zamieszkania (Ryc.67): choć zastosowane w ankiecie kategorie nie pokrywają się w pełni z klasycznym podziałem statystyki publicznej na miasto i wieś, ogólny rozkład odpowiedzi wskazuje na zachowanie proporcji zbliżonych do struktury osadniczej kraju. Wiek respondentów (Ryc.65) obejmuje pełne podstawowe spektrum grup, jednak próba jest wyraźnie słabiej nasycona osobami poniżej 20. roku życia, przez co silniej reprezentuje perspektywę dorosłych użytkowników przestrzeni publicznych. Najbardziej zauważalne odchylenie dotyczy wykształcenia: udział osób z wykształceniem średnim i wyższym jest w próbie wyraźnie większy niż wynika to z krajowych wskaźników edukacyjnych, co z perspektywy klasycznej reprezentatywności należałoby traktować jako ograniczenie. W realiach niniejszego badania cechę tę interpretuje się jednak przede wszystkim jako atut merytoryczny, ponieważ sprzyja ona formułowaniu bardziej świadomych, refleksyjnych i zbilansowanych ocen dotyczących widoczności oraz jakości oświetlenia przestrzeni publicznych (GUS, 2025a, 2025b, 2025c).

W dalszej kolejności omówiono odpowiedzi na pytania ogólne Q5-Q9. Wyniki tej części tworzą kontekst interpretacyjny dla późniejszej oceny właściwego materiału przypadków przez respondentów. Poniżej przedstawiono odpowiedzi na pytania: o częstotliwość przebywania w przestrzeni publicznej po zmroku (Ryc.69), Częstotliwość zwracania uwagi na architekturę (), Deklarowane znaczenie oświetlenia dla odbioru przestrzeni (Ryc.70), o ocena potrzeby oświetlania wybranych elementów. (Ryc.71), skłonność do przebywania z przestrzeni po zmroku (Ryc.72).

Q5. Częstotliwość przebywania w przestrzeni publicznej po zmroku. W badanej próbie dominowały osoby regularnie korzystające z przestrzeni publicznych po zmroku. Największa grupa deklarowała obecność kilka razy w tygodniu (44,2%), a dalsze 25,4% wskazało odpowiedź codziennie. Łącznie blisko 70% respondentów funkcjonuje w takich przestrzeniach bardzo często, co wzmacnia wiarygodność dalszych ocen dotyczących widoczności i potrzeby oświetlenia.

Q5. Częstotliwość przebywania w przestrzeni publicznej po zmroku

- Codziennie
- Kilka razy w tygodniu
- Kilka razy w miesiącu
- Rzadziej niż raz w miesiącu
- Nigdy

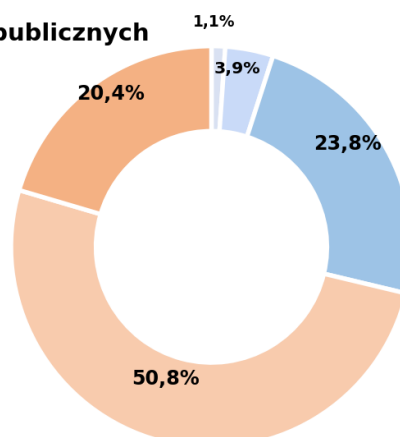


Ryc.68. Częstotliwość przebywania respondentów w przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie Q5. Opracowanie własne.

Q6. Uwaga na architekturę i estetykę przestrzeni publicznych. Wyniki wskazują, że badana grupa w dużym stopniu dostrzega wizualny i kompozycyjny wymiar przestrzeni. Suma odpowiedzi „często” i „zawsze” wyniosła 71,3%, przy dominacji odpowiedzi „często” (50,8%). Respondenci zwracają uwagę również na architekturę, estetykę i jakość odbioru wizualnego.

Q6. Uwaga na architekturę i estetykę przestrzeni publicznych

- Nigdy
- Rzadko
- Sporadycznie
- Często
- Zawsze

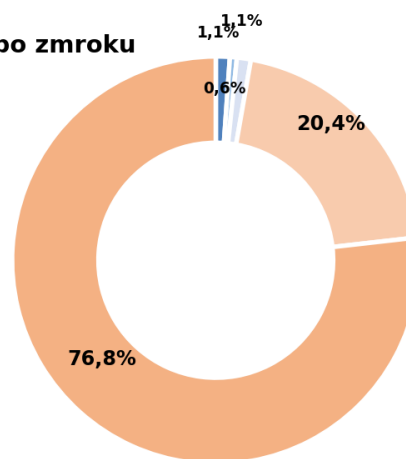


Ryc.69. Częstotliwość zwracania uwagi na architekturę i estetykę przestrzeni publicznych po zmroku – pytanie Q6. Opracowanie własne.

Q7. Potrzeba oświetlenia przestrzeni publicznych po zmroku. W tym pytaniu uzyskano najbardziej jednoznaczny rozkład odpowiedzi. Łącznie **97,2% respondentów uznało oświetlenie przestrzeni publicznych po zmroku za potrzebne**, w tym 76,8% wskazało odpowiedź „zdecydowanie potrzebne”. Wynik ten potwierdza, że w badanej grupie sama potrzeba obecności oświetlenia nie budzi zasadniczych wątpliwości. Dalsza analiza dotyczy określenia jakiego rodzaju widoczności oczekują użytkownicy w różnych typach przestrzeni.

Q7. Potrzeba oświetlenia przestrzeni publicznych po zmroku

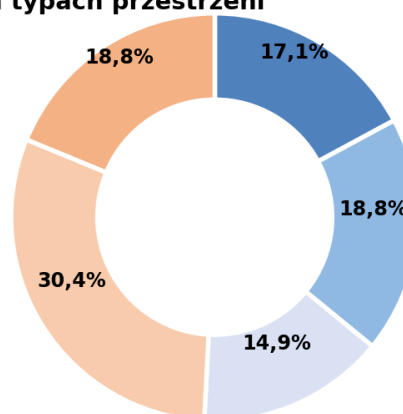
- Zdecydowanie niepotrzebne
- Raczej niepotrzebne
- Trudno powiedzieć
- Raczej potrzebne
- Zdecydowanie potrzebne



Ryc.70. Deklarowane znaczenie oświetlenia dla odbioru przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie Q7. Opracowanie własne.

Q8. Uniwersalność potrzeby oświetlenia w różnych typach przestrzeni

- Zdecydowanie NIE
- Raczej NIE
- Trudno powiedzieć
- Raczej TAK
- Zdecydowanie TAK

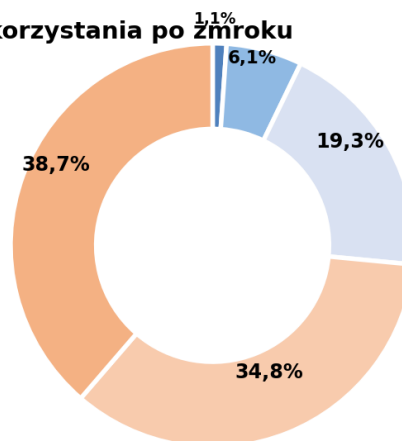


Ryc.71. Ogólna ocena potrzeby oświetlania wybranych elementów przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie Q8. Opracowanie własne.

Q8. Uniwersalność potrzeby oświetlenia w różnych typach przestrzeni. Rozkład odpowiedzi na to pytanie był wyraźnie rozproszony. Udział odpowiedzi potwierdzających (TOP-2) wyniósł 49,2%, ale jednocześnie wysoki był także udział odpowiedzi negujących i niepewnych. Taki wynik nie daje podstaw do jednoznacznej interpretacji i sugeruje, że pytanie mogło zostać przez część respondentów odczytane w sposób niejednolity. Z tego względu zasadne wydaje się pozostawienie Q8 w opisie badania, ale wyłączenie jego wyniku z dalszych analiz syntetycznych i wnioskowania projektowego.

Q9. Wpływ lepszego oświetlenia na skłonność do korzystania po zmroku

- Zdecydowanie NIE
- Raczej NIE
- Trudno powiedzieć
- Raczej TAK
- Zdecydowanie TAK



Ryc.72. Ogólne postawy respondentów wobec jakości oświetlenia przestrzeni publicznych po zmroku – pytanie Q9. Opracowanie własne.

Q9. Wpływ lepszego oświetlenia na skłonność do korzystania po zmroku. Wyniki wskazują na wyraźny potencjał aktywizacyjny oświetlenia. **Łącznie 73,5% respondentów uznało, że lepsze oświetlenie zwiększałoby ich skłonność do korzystania z przestrzeni publicznych po zmroku**, przy niskim udziale odpowiedzi negatywnych (7,2%). Oświetlenie stanowi więc czynnik wpływający na intensywność i gotowość do użytkowania przestrzeni nocą.

Na poziomie syntetycznym wyniki pytań Q5-Q9 wskazują, że badana grupa składa się głównie z osób regularnie korzystających z przestrzeni publicznych po zmroku, zwracających uwagę na aspekty funkcjonalne i estetyczne. Jednocześnie respondenci niemal powszechnie uznają potrzebę oświetlenia, a poprawę jego jakości wiążą ze wzrostem skłonności do korzystania z przestrzeni po zmroku. Jedynie pytanie dotyczące uniwersalności potrzeby oświetlenia w różnych typach przestrzeni nie spełniło w pełni swojej funkcji analitycznej, dlatego jego wynik nie powinien być podstawą dalszego wnioskowania.

6.4.2 Wyniki i wnioski cząstkowe dla 21 analizowanych przypadków badawczych

Na tym etapie analiz przechodzi się od poziomu wyników zbiorczych do poziomu wyników ankiet poszczególnych przypadków badawczych. Taki poziom badania pozwala uchwycić relacje pomiędzy rzeczywistym układem światła w przestrzeni, oceną jej poszczególnych warstw oraz ogólną oceną nocnego odbioru miejsca³⁰.

Każdy z 21 analizowanych przypadków został opracowany według jednolitego schematu obejmującego identyfikację typu przestrzeni i wariantu ilości światła,

³⁰ Jest to zgodne z logiką badań projektowych, jak i z klasycznym podejściem do oceny jakości przestrzeni publicznych, w którym kontekst miejsca jest warunkiem poprawnej interpretacji wyników (Jacobs, 1961; Lynch, 1960; Carmona et al., 2010; Mehta, 2014). Jednocześnie w przyjętej strukturze rozdziału karty przypadków pełnią funkcję dokumentacyjną i interpretacyjną, stanowiąc poziom pośredni pomiędzy materiałem źródłowym a uogólnieniem typologicznym i przekrojowym.

zestawienie parametrów świetlnych, ocenę ilości światła w poszczególnych warstwach przestrzeni oraz ocenę odbioru przestrzeni w nocy w porównaniu do dnia. Takie rozwiązanie zachowuje porównywalność materiału, a zarazem uwzględnia specyfikę konkretnego miejsca. Analiza 21 przypadków ma na celu pokazanie, w jaki sposób zróżnicowanie ocen ujawnia się na poziomie konkretnych przestrzeni. Widoczne jest, że respondenci nie formułują jednego uniwersalnego oczekiwania wobec oświetlenia, lecz różnicują swoje oceny zależnie od typu przestrzeni oraz od warstwy, której dotyczy ocena. W jednych przypadkach większe znaczenie ma czytelność warstw ruchu i stref wejściowych, w innych zaś rośnie znaczenie elewacji, zieleni oraz bardziej całościowego opracowania nocnego obrazu miejsca. Wynik ten wzmacnia tezę, że projektowanie oświetlenia powinno być oparte na logice warstwowej i kontekstowej, a nie na jednolitym modelu zwiększania ilości światła w całej przestrzeni.

Założenia przyjęte przy analizie wyników dla przypadków badawczych.

Analiza wyników dla poszczególnych przypadków badawczych została prowadzona jako zestawienie trzech wzajemnie powiązanych warstw informacji: charakterystyki przestrzennej przypadku, wyników pomiarów luminancji oraz wyników badania ankietowego. Przyjęto, że pojedyncza karta przypadku nie stanowi samodzielnej podstawy do formułowania wniosków ogólnych, lecz jest elementem szerszego układu porównawczego obejmującego 21 rzeczywistych przestrzeni publicznych i ogólnodostępnych. Dopiero zestawienie wyników w obrębie typologii oraz pomiędzy typologiami pozwala na ostrożne formułowanie wniosków dotyczących zależności między charakterem przestrzeni, rozkładem luminancji oraz oceną użytkowników. Punktem wyjścia interpretacji każdego przypadku był jego opis przestrzenny, Założono, że oświetlenie nie może być oceniane w oderwaniu od miejsca, które posiada wiele składowych. Ta sama ilość światła może mieć inne znaczenie w ulicy rezydencjalnej, inne w zwartej przestrzeni śródmiejskiej, inne w parku, a jeszcze inne na drodze prowadzonej przez teren niezabudowany lub przyrodniczy. Inaczej traktowano elementy pionowe poziome przestrzeni. Ich znaczenie analizowano więc poprzez relację luminancji do głównej płaszczyzny odniesienia, najczęściej jezdni lub chodnika, oraz przez sposób, w jaki relacja ta została oceniona przez respondentów. Luminancję traktowano w badaniu jako narzędzie opisu widzialności poszczególnych składowych przestrzeni.

Wyniki ankietowe analizowano oddzielnie dla każdej składowej przestrzeni. Przyjęto, że użytkownik nie odbiera przestrzeni publicznej wyłącznie jako jednorodnego pola oświetleniowego, lecz reaguje na widoczność konkretnych elementów: jezdni, ciągów pieszych, elewacji, zieleni, drzew, wejść, granic przestrzeni oraz tła. Do interpretacji odpowiedzi zastosowano zarówno medianę, jak i średnią, przy czym każda z tych miar pełniła inną funkcję. Medianę przyjęto jako podstawową miarę tendencji centralnej dla skali porządkowej, a średnią jako miarę pomocniczą, służącą rozpoznaniu przesunięcia ocen w stronę niedoboru lub nadmiaru światła. Gdy mediana wskazywała odpowiedź „jest odpowiednio”, lecz średnia i rozkład odpowiedzi przesunęły się w stronę ocen „za mało” albo „za dużo”, wynik interpretowano jako graniczny. Ograniczało to ryzyko przesłonięcia napięć w strukturze odpowiedzi przez syntetyczną wartość mediany. Drugim poziomem oceny ankietowej była relacja między odbiorem przestrzeni nocą a jej odbiorem w dzień. Analizowano trzy wymiary: czytelność i orientację, estetykę oraz poczucie bezpieczeństwa. Przyjęto, że odpowiedź „podobna” oznacza utrzymanie jakości

odbioru przestrzeni po zmroku na poziomie zbliżonym do dziennego. Odpowiedzi wskazujące na pogorszenie traktowano jako informację o stracie jakości nocnej, natomiast odpowiedzi wskazujące na poprawę jako sygnał, że oświetlenie może wzmacniać wybrane cechy miejsca. Nie zakładano jednak, że każda różnica pomiędzy dniem a nocą oznacza błąd projektowy. Istotna była przede wszystkim skala tej różnicy oraz jej związek z rozkładem światła pomiędzy poszczególnymi warstwami przestrzeni. Przypadki zaklasyfikowane jako właściwe, niedoświetlone lub przeświecone analizowano w odniesieniu do poziomu luminancji oraz zgodności rozkładu światła z funkcją, skalą, morfologią i użytkowaniem przestrzeni. W praktyce oznaczało to możliwość wskazania sytuacji, w których formalnie poprawne oświetlenie nie zapewniało wysokiej jakości odbioru nocnego, oraz sytuacji, w których większa ilość światła nie prowadziła do lepszej oceny przestrzeni.

Wnioski formułowane w kartach badawczych (przykład znajduje się na kolejnej stronie, a komplet kart w Załączniku nr4, TOM 2 Rozprawy) miały charakter cząstkowy i odnosiły się do konkretnego przypadku. Wnioski typologiczne formułowano dopiero na podstawie porównania trzech przypadków w obrębie tej samej kategorii przestrzeni, natomiast wnioski ogólne – po zestawieniu wszystkich 21 przypadków badawczych. Przyjęty sposób postępowania porządkował interpretację: od przypadku, przez typologię, do syntezy ogólnej. Łączył pomiary oświetlenia z oceną użytkowników i kontekstem przestrzennym, dając podstawę do oceny zgodności rozmieszczenia światła z funkcją i strukturą miejsca. W takim ujęciu badanie przypadków łączyło pomiary terenowe i badanie percepcyjne z późniejszą syntezą modelową, prowadzącą do sformułowania kryteriów oraz zasad wspomagania decyzji projektowych.

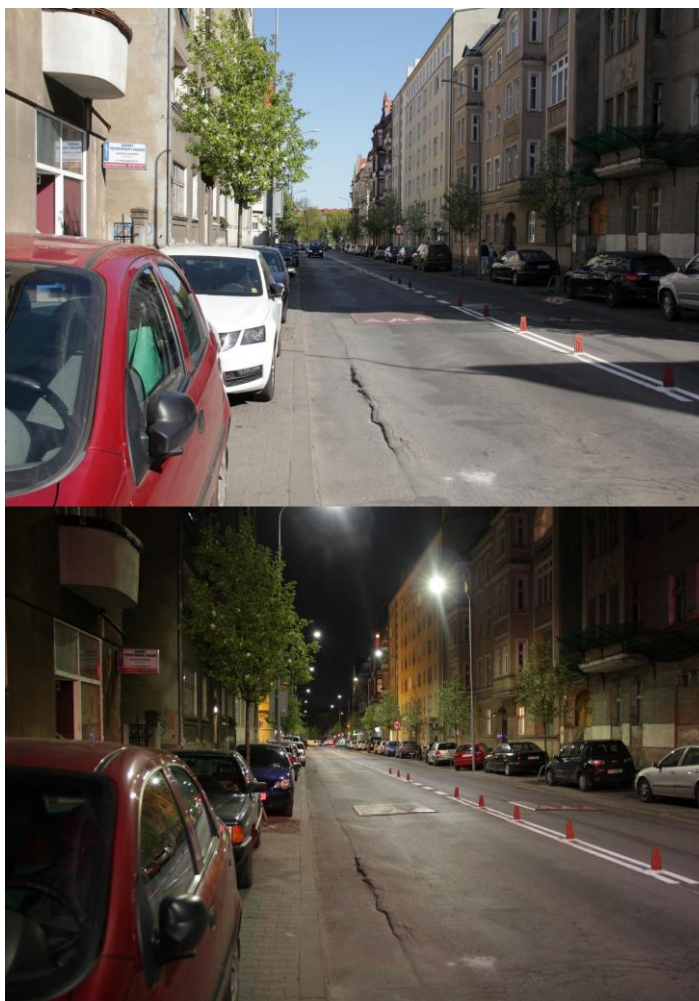
W niniejszym podrozdziale zamieszczono jedną przykładową kartę przypadku badawczego, której celem jest zobrazowanie przyjętego sposobu dokumentacji i interpretacji wyników dla pojedynczych przestrzeni. Karty te mają charakter egzemplifikacyjny i pokazują strukturę opracowania materiału empirycznego, obejmującą identyfikację przypadku, podstawowe parametry świetlne, ocenę warstw przestrzeni oraz syntetyczne wnioski cząstkowe wynikające z analizy odpowiedzi respondentów. Pełny zestaw 21 kart przypadków, stanowiący kompletną dokumentację analizy wyników ankietowych, zamieszczono w Załączniku nr.4, TOM 2 Rozprawy.

W analizie poszczególnych przypadków szczególną uwagę zwrócono na trzy kwestie:

- zgodność lub rozbieżność pomiędzy techniczną kwalifikacją przypadku z oceną użytkowników.
- relacje pomiędzy warstwami poziomymi i pionowymi, zwłaszcza w zakresie widoczności elewacji, stref wejściowych i zieleni w stosunku do warstw komunikacyjnych.
- wpływ rozkładu oświetlenia na ocenę czytelności, estetyki i poczucia bezpieczeństwa po zmroku. Szczególne znaczenie przypisano tu relacjom luminancyjnym pomiędzy warstwą podstawową, to jest jezdnią albo chodnikiem, a warstwami uzupełniającymi

Karta badawcza P 2.1

Badany typ przestrzeni	P2 Ulica osiedlowa – zabudowa kwartałowa
Wariant	właściwy
Numer w badaniu	2.1
Numer pytania	17,18
Kraj	Polska
Miasto	Poznań
Ulica	Wyspiańskiego
GoogleMaps link	https://maps.app.goo.gl/1daGGxdvnapvqMpEA
Geolokalizacja	52.398709, 16.897374
Opis	Ulica zbiorcza osiedlowa
Morfologia	ulica lub obszar zabudowany
Funkcja	mieszkalna i komercyjna
Rodzaj wnętrza/ kompozycja	zamknięte, liniowe h> 10m
Użytkownicy (społeczność)	mieszkańcy, podróżni, turyści
Środowisko	zielen przyuliczna
Użytkowanie	podstawowe



Charakterystyka luminancyjna i odniesienie do wymagań

Lp.	Obszar wnętrza urbanistycznego	Wymagana klasa oświetleniowa	L [cd/m²]	jasność	E [lx] skalkulowane	Luminancja w stosunku do wymagań	Stosunek L obszaru do L jezdni [%]
2	L chodnik	P3	0,75	j	0,75	100%	100%
3	L ścieżka rowerowa	-	-	-	-		
4	L elewacja 1	-	0,50	j			67%
5	L elewacja 2	-	0,30	j			40%
6	L elewacja 3	-	0,20	j			27%
7	L zieleń niska	-	-	-			
8	L drzewa	-	0,20	-			27%

Karta badawcza P 2.1 | Wyniki

Ocena ilości światła na poszczególnych składowych przestrzeni

Składowa przestrzeń	Mediana	Średnia (pomocniczo)	Dominujący kierunek oceny	Polaryzacja
Jezdnia	3	3,10	odpowiednio	nie
Chodnik / droga rowerowa	3	2,99	odpowiednio	nie
Elewacje budynków – partery (obszary wejść, <3 m)	3	3,07	odpowiednio	nie
Elewacje budynków – wyższe partie (3–12 m)	3	3,06	odpowiednio	nie
Zieleń niska (trawniki, klomby)	3	3,02	odpowiednio	nie
Zieleń wysoka (drzewa)	3	3,06	odpowiednio	nie

Ocena aspektów odbioru przestrzeni w nocy w porównaniu do dnia

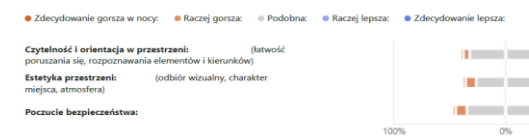
Wymiar oceny („noc–dzień”)	Mediana	Średnia (pomocniczo)	Dominujący kierunek oceny
Czytelność i orientacja w przestrzeni	3	3,24	podobna
Estetyka przestrzeni	3	3,30	podobna
Poczucie bezpieczeństwa	3	3,08	podobna

Rozkłady odpowiedzi dla składowych przestrzeni (Likert, poziome słupki skumulowane)

17. 2.1 Jak oceniasz ilość światła w tej przestrzeni dla poszczególnych jej składowych?



18. 2.1 Jak oceniasz poniższe aspekty odbioru tej przestrzeni w nocy w porównaniu do dnia?



Pytanie 18.2.1 – odbiór przestrzeni nocą względem dnia

Pytanie 17.2.1 – ocena ilości światła 11.1.1 – ocena ilości światła

Wyniki badania

Warstwy poziome:

Jezdnia — dominująco: odpowiednio; poziom względem wymagań: 100%

Chodnik / droga rowerowa — dominująco: odpowiednio; poziom względem wymagań: 100%

Warstwy pionowe:

Elewacje budynków – partery (obszary wejść, <3 m) — dominująco: odpowiednio

Elewacje budynków – wyższe partie (3–12 m) — dominująco: odpowiednio

Elewacje budynków – górne partie (szczyty, partie >12m) — dominująco: odpowiednio

Zieleń:

Zieleń wysoka (drzewa) — dominująco: odpowiednio

Analiza wyników badania

Analizowany przypadek dotyczy ulicy zbiorczej osiedlowej w zabudowie kwartałowej, o funkcji mieszkalno-komercyjnej, zamkniętym liniowym układzie wnętrza urbanistycznego i podstawowym sposobie użytkowania. W takim typie przestrzeni znaczenie ma nie tylko czytelność jezdni i chodnika, lecz również widoczność parterów, wejść, pierzei oraz elementów wspierających orientację pieszą. Ulica pełni równocześnie funkcję komunikacyjną i lokalnie usługową, dlatego jakość oświetlenia powinna być rozpatrywana jako relacja pomiędzy warstwą ruchu, warstwą pieszą i pionową strukturą zabudowy. Pod względem pomiarowym jezdnia klasy M4 oraz chodnik klasy P3 osiągają po 100% poziomu odniesienia. Poprawne oświetlenie podstawowych warstw komunikacyjnych. Warstwy pionowe i krajobrazowe analizowano przez relację luminancji do jezdni. Elewacje parterów osiągają około 67% luminancji jezdni, partie średnie około 40%, partie górne około 27%, a drzewa około 27%. Zieleń niska nie stanowiła istotnej warstwy pomiarowej. Taki rozkład wskazuje na stopniowane przejście od jasnej warstwy komunikacyjnej do słabszej, ale nadal czytelnie obecnych warstw pionowych. Wyniki ankietowe są spójne z charakterystyką pomiarową. Wszystkie analizowane składowe przestrzeni zostały ocenione jako odpowiednio oświetlone. Jezdnia uzyskała medianę 3 i średnią 3,10, chodnik medianę 3 i średnią 2,99, elewacje parterów medianę 3 i średnią 3,07, a wyższe partie elewacji medianę 3 i średnią 3,06. Zieleń niska uzyskała medianę 3 i średnią 3,02, natomiast drzewa medianę 3 i średnią 3,06. Wyniki te wskazują na brak istotnego przesunięcia ocen w stronę niedoboru lub nadmiaru światła. Odbiór przestrzeni nocą pozostaje zbliżony do dziennego. Czytelność i orientacja uzyskały medianę 3 i średnią 3,24, estetyka medianę 3 i średnią 3,30, a poczucie bezpieczeństwa medianę 3 i średnią 3,08. W tym przypadku oświetlenie nie tylko zapewnia poprawną ocenę ilości światła na poszczególnych warstwach, ale także pozwala utrzymać dobrą jakość odbioru nocnego w stosunku do dnia. Wniosek cząstkowy wskazuje na dobrze zrównoważony układ światła w zwartej przestrzeni mieszkalno-komercyjnej. Poprawne oświetlenie jezdni i chodnika zostało uzupełnione wystarczającą widocznością pierzei oraz elementów budujących granice wnętrza ulicznego. Wynik należy traktować jako korzystny punkt odniesienia dla pozostałych przypadków typologii P2.

6.4.3 Wnioski przekrojowe z analizy przypadków

Analiza przypadków prowadzi do wniosku podstawowego: oczekiwania użytkowników wobec oświetlenia przestrzeni publicznych nie mają charakteru uniwersalnego ani liniowego. Respondenci nie formułują prostego postulatu zwiększania lub ograniczania ilości światła jako takiej, lecz różnicują swoje oceny zależnie od typu przestrzeni, sposobu jej użytkowania oraz od tego, która warstwa nocnego obrazu miejsca podlega ocenie. Dla użytkownika równie ważne jak ilość światła w danym miejscu jest to, gdzie zostało ono rozdystribuowane i które elementy przestrzeni uczyniono dzięki niemu czytelnymi.

Zróźnicowanie ocen dotyczy struktury rozkładu światła, a nie jego ilości globalnej. W części analizowanych miejsc respondenci koncentrowali swoje oczekiwania na warstwach funkcjonalnych, przede wszystkim na jezdni, ciągach pieszych i strefach wejściowych. W innych przypadkach wyraźniej ujawniała się potrzeba doświetlenia elementów pionowych oraz krajobrazowych, takich jak elewacje, granice wnętrza urbanistycznego czy zieleni. Zmienność oczekiwań dotyczy głównie warstw pionowych, zieleni oraz komponentów porządkujących obraz przestrzeni. Założenie o analizie warstwowej znajduje bezpośrednie potwierdzenie w odpowiedziach respondentów. Różnice pomiędzy kobietami i mężczyznami dotyczą przede wszystkim tych warstw, które współtworzą czytelność całego obrazu przestrzeni, a nie jedynie warstwy ruchu.

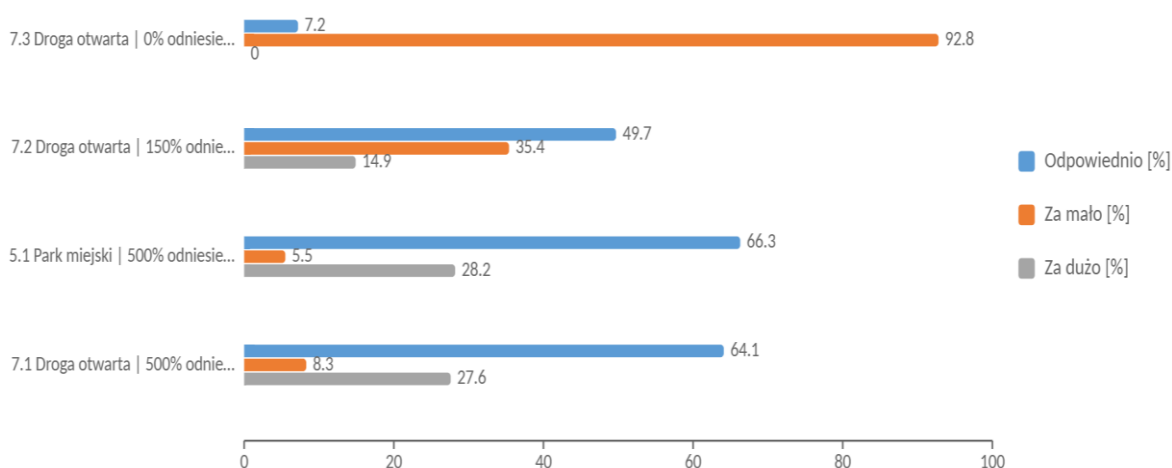
Dobrym przykładem jest przypadek 1.1, w którym jezdnia osiąga 100% poziomu odniesienia, a chodnik 150%, jednak warstwy pionowe elewacji uzyskują już wyniki graniczne, a zieleń niska oceniana jest jako niedoświetlona. W rezultacie przestrzeń pozostaje gorzej odbierana w nocy niż w dzień we wszystkich trzech wymiarach. Podobny mechanizm ujawnia się w przypadku 4.2, gdzie jezdnia osiąga 100% poziomu odniesienia, a mimo to 64,6% respondentów oceniło poczucie bezpieczeństwa jako gorsze w nocy. Poprawność ilościowa warstwy podstawowej nie gwarantuje jeszcze korzystnej oceny całego wnętrza przestrzeni, jeśli słabiej czytelne pozostają elewacje, zieleń i warstwy pomocnicze.

Zgodność oświetlenia z Normą dla warstwy podstawowej nie jest wystarczającym warunkiem pozytywnego odbioru nocnej przestrzeni. Zebrany materiał nie potwierdza uproszczonego założenia, że prawidłowe oświetlenie warstwy ruchu automatycznie zapewnia wysoką jakość nocnego odbioru przestrzeni. W wielu przypadkach warstwa podstawowa była oceniana jako oświetlona właściwie, natomiast słabiej oceniano elewacje, zieleń lub strefy pomocnicze, a wraz z nimi obniżała się ocena czytelności, estetyki i poczucia bezpieczeństwa. Redukcyjny model projektowy, koncentrujący się na nawierzchniach, okazuje się niewystarczający z perspektywy percepcyjnej. Wniosek oznacza, że brak dostatecznej czytelności warstw pionowych i uzupełniających może osłabiać nocny odbiór miejsca nawet wtedy, gdy warstwa ruchu jest technicznie poprawna.

Odbiór prześwietlenia ma charakter kontekstowy. Jednym z najbardziej interesujących ustaleń badania jest to, że prześwietlenie nie jest odbierane automatycznie negatywnie. W części przypadków użytkownicy akceptują poziomy wyraźnie przekraczające odniesienie normatywne, jeżeli układ światła poprawia

czytelność miejsca i porządkuje jego nocny obraz. W przypadku 7.1, odpowiadającym drodze w obszarach niezabudowanych i osiagającym około 500% poziomu odniesienia, aż 64,1% respondentów uznało ilość światła na jezdni za odpowiednią, a jedynie 27,6% za nadmierną. Co więcej, 68,5% badanych oceniło czytelność i orientację jako podobną do dziennej, a tylko 14,9% jako gorszą. Podobny efekt ujawnia się w przypadku parkowym 5.1, gdzie przy około 500% poziomu odniesienia dla ciągu pieszego 66,3% respondentów uznało ilość światła za odpowiednią, a 28,2% za zbyt dużą. Równocześnie materiał bardzo wyraźnie pokazuje, że większa ilość światła nie prowadzi automatycznie do lepszego odbioru. W przypadku 7.2, przy poziomie około 150% odniesienia, jedynie 49,7% respondentów uznało ilość światła za odpowiednią, natomiast 35,4% nadal wskazało niedobór. W tym samym przypadku ponad połowa badanych uznała czytelność, estetykę i poczucie bezpieczeństwa za gorsze w nocy. Wzrost ponad poziom odniesienia może pozostawiać projektowo nieskuteczny, jeśli nie buduje czytelnej struktury miejsca i nie wzmacnia rozpoznawalności przestrzeni. Wykres dla 4 przypadków (Ryc.73) pokazuje, że odbiór użytkowników nie pozostaje prostą funkcją poziomu odniesienia wyrażonego procentowo. Szczególnie istotny jest tu kontrast pomiędzy przypadkami 7.1 i 7.2. W przypadku 7.1, przy około 500% poziomu odniesienia, 64,1% respondentów uznało ilość światła za odpowiednią, a 27,6% za nadmierną. Z kolei w przypadku 7.2, przy poziomie około 150%, jedynie 49,7% badanych uznało ilość światła za odpowiednią, natomiast 35,4% nadal wskazało niedobór. Sama nadwyżka ilościowa nie przesądza jeszcze o korzystnym odbiorze, jeżeli układ światła nie prowadzi do wystarczającej czytelności przestrzeni.

Struktura ocen ilości światła dla wybranych przypadków



Ryc.73. Struktura ocen ilości światła dla wybranych przypadków reprezentujących różne relatywne warianty oświetlenia. Opracowanie własne.

Przypadki niedoświetlone są rozpoznawane znacznie bardziej jednoznacznie niż przypadki prześwietlone. Materiał badawczy pokazuje wyraźną asymetrię percepcyjną. Przypadki relatywnie niedoświetlone są rozpoznawane przez

respondentów bardzo jednoznacznie. W przypadku 7.3, przy około 0% poziomu odniesienia, aż 92,8% respondentów uznało jezdnię za niedoświetloną, a 93,4% oceniło poczucie bezpieczeństwa jako gorsze w nocy. W przypadku 4.3, dotyczącym ulicy mieszkaniowo handlowej o poziomach około 20% i 10% dla warstw podstawowych, 96,7% badanych oceniło zarówno jezdnię, jak i chodnik jako niedoświetlone, a 87,8% uznało poczucie bezpieczeństwa za gorsze w nocy. Granica niedoświetlenia jest dla użytkowników relatywnie łatwa do rozpoznania, natomiast górna granica akceptowalności światła okazuje się znacznie bardziej zależna od typu przestrzeni i struktury jej nocnego obrazu.

Ocena ilości światła na elementach pionowych i krajobrazowych nie może być rozpatrywana w oderwaniu od typu przestrzeni oraz od luminancji warstwy podstawowej. W zależności od charakteru przypadku warstwą tą odniesienia była jezdnia albo ciąg pieszy. Analizowano zatem przez relację luminancji do głównej płaszczyzny użytkowej oraz przez sposób, w jaki relacja ta została oceniona przez respondentów. Zestawienie przypadków pokazuje, że w przestrzeniach mieszkaniowych, mieszkalno-komercyjnych i śródmiejskich użytkownicy są bardziej wrażliwi na niedostateczną czytelność warstw bocznych: parterów, wejść, elewacji, zieleni niskiej oraz elementów tworzących granice wnętrza urbanistycznego. W tych typach przestrzeni poprawne oświetlenie jezdni nie gwarantowało pozytywnej oceny nocnego odbioru miejsca. W parkach i terenach rekreacyjnych użytkownicy oceniali ciąg pieszy, zieleni oraz głębię przestrzeni, natomiast w drogach tranzytowych i otwartych większe znaczenie miała czytelność podstawowej warstwy komunikacyjnej.

W poniższej tabeli zestawiono relacje luminancji zaobserwowane w badanych przypadkach oraz ich powiązanie z ocenami respondentów.

Typ / przypadek	Relacja luminancji warstw do warstwy podstawowej	Odbiór respondentów	Wniosek interpretacyjny
P1_1.1 – ulica rezydencjalna, zabudowa jednorodzinna	Elewacje parterów i zieleni niska ok. 40% L jezdni, drzewa ok. 27% L jezdni. Jezdnia 100% poziomu odniesienia, chodnik 150%.	Jezdnia oceniona jako odpowiednio oświetlona. Chodnik i elewacje uzyskały wyniki graniczne, a zieleni niska została oceniona dominująco jako zbyt słabo oświetlona. Odbiór nocny gorszy niż dzienny we wszystkich wymiarach.	W ulicy o zabudowie rezydencjalnej relacja rzędu 40% luminancji jezdni dla zieleni i dolnych partii otoczenia może być odbierana jako niewystarczająca, jeżeli przestrzeń ma zachować czytelność i poczucie bezpieczeństwa po zmroku.
P2_2.1 – ulica osiedlowa, zabudowa kwartałowa	Elewacje parterów ok. 67% L jezdni, partie średnie ok. 40%, partie górne ok. 27%, drzewa ok. 27%. Jezdnia i chodnik po 100% poziomu odniesienia.	Wszystkie warstwy ocenione jako odpowiednio oświetlone. Odbiór nocny zbliżony do dziennego.	W zwartej zabudowie kwartałowej stopniowana widoczność pierzei – wyraźniejsza w parterach, słabsza w wyższych partiach – współwystępowała z korzystną oceną przestrzeni.
P2_2.3 – ulica osiedlowa, zabudowa kwartałowa	Chodnik, dolne partie elewacji ok. 100% L jezdni, partie średnie ok. 67%, górne ok. 33%, ale jezdnie i chodnik osiągały tylko 40% poziomu odniesienia.	Jezdnia i chodnik ocenione jako niedoświetlone. Elewacje parterów miały wynik graniczny przesunięty w stronę niedoboru. Odbiór nocny gorszy niż dzienny.	Sama relacja procentowa względem ciemnej jezdni nie wystarcza do pozytywnej oceny. Zachowane proporcje luminancji warstw nie kompensują zbyt niskiej luminancji całego układu.
P4_4.2 – ulica zbiorcza, zabudowa blokowa	Dolne elewacje ok. 75% L jezdni, partie średnie ok. 30%, górne ok. 20%, zieleni niska ok. 50%, drzewa ok. 30%. Jezdnia	Jezdnia oceniona zasadniczo jako odpowiednio oświetlona, natomiast chodnik, elewacje i zieleni jako niedostatecznie oświetlone. Poczucie	W ulicy zbiorczej z zabudową blokową poprawność jezdni nie kompensuje słabszej oceny chodnika i warstw bocznych. Istotna okazuje się czytelność

	100%, chodnik 50% poziomu odniesienia.	bezpieczeństwa wyraźnie gorsze w nocy.	poziomu komunikacji pieszej oraz ciągłość widoczności elewacji i zieleni.
P4_4.3 – stara część miasta, ulica mieszkalno-komercyjna	Partery ok. 100% L jezdni, partie średnie ok. 200%, górne ok. 500%, ale jezdnia osiągała tylko 20%, a chodnik 10% poziomu odniesienia.	Jezdnia, chodnik i partery ocenione jako niedoświetlone. Odbiór nocny wyraźnie gorszy niż dzienny, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa.	Wysoka relacja luminancji wyższych partii elewacji względem bardzo ciemnej jezdni nie oznacza dobrej jakości oświetlenia. W zwartej przestrzeni historycznej kluczowa pozostaje czytelność poziomu użytkownika: chodnika, jezdni, parterów i wejść.
P5_5.1 – park zdrojowy / przestrzeń rekreacyjna reprezentacyjna	Zieleń niska ok. 67% L chodnika, drzewa ok. 33% L chodnika. Chodnik ok. 500% poziomu odniesienia.	Chodnik, zieleń niska i drzewa ocenione jako odpowiednio oświetlone. Odbiór nocny zbliżony do dziennego.	W przestrzeni rekreacyjnej o charakterze reprezentacyjnym większa widoczność zieleni współwystępowała z pozytywną oceną użytkowników. Nie przesądza to jednak o zasadności ekologicznej tak wysokiego poziomu światła.
P5_5.2 – park miejski	Zieleń niska ok. 40% L chodnika, drzewa ok. 13% L chodnika. Chodnik 100% poziomu odniesienia.	Chodnik oceniony jako odpowiedni, zieleń niska zasadniczo poprawnie, natomiast drzewa granicznie, z przesunięciem w stronę niedoboru. Czytelność, estetyka i bezpieczeństwo gorsze w nocy.	W parku miejskim poprawne oświetlenie alejki nie wystarcza do utrzymania jakości nocnego odbioru, jeżeli zieleń wysoka i głęboka przestrzeni pozostają zbyt słabo czytelne.
P6_6.2 – przestrzeń przesiadkowa / dworzec	Elewacje parterów ok. 300% L jezdni, partie średnie ok. 100%, drzewa ok. 150%. Jezdnia 67%, chodnik 50% poziomu odniesienia.	Mimo obniżonych poziomów jezdni i chodnika, wszystkie istotne warstwy oceniono jako odpowiednio oświetlone. Odbiór nocny zbliżony do dziennego.	W przestrzeni przesiadkowej silna widoczność elementów pionowych, wejść, elewacji i punktów orientacyjnych może częściowo równoważyć niższą luminancję nawierzchni. Dotyczy to odbioru percepcyjnego, nie formalnego spełnienia wymagań dla warstw komunikacyjnych.
P6_6.3 – obszar przemysłowy / techniczny	Chodnik ok. 30% L jezdni, dolne elewacje ok. 50% L jezdni, pozostałe warstwy pomijalne. Jezdnia 133%, chodnik 60% poziomu odniesienia.	Mimo podwyższonej luminancji jezdni wszystkie składowe oceniono jako niedostatecznie oświetlone. Poczucie bezpieczeństwa gorsze w nocy.	Nadmierna dominacja jezdni przy słabej czytelności chodnika, poboczy i tła przestrzennego obniża odbiór całej przestrzeni. Użytkownicy oceniają nie tylko jasność drogi, ale również możliwość rozpoznania jej otoczenia.
P7_7.1 – droga w krajobrazie otwartym	Drzewa ok. 10% L jezdni, pozostałe warstwy boczne pomijalne. Jezdnia ok. 500% poziomu odniesienia.	Jezdnia oraz elementy otoczenia ocenione jako odpowiednie. Odbiór nocny zbliżony do dziennego.	W drodze tranzytowej i otwartej użytkownicy koncentrują ocenę głównie na czytelności jezdni i osi ruchu. Znaczenie warstw bocznych jest mniejsze niż w przestrzeniach miejskich, choć nie eliminuje to potrzeby oceny środowiskowej nadmiaru światła.
P7_7.2 – łącznik między osiedlami	Zieleń niska ok. 100% L jezdni, drzewa ok. 40% L jezdni. Jezdnia ok. 150% poziomu odniesienia.	Jezdnia i zieleń ocenione jako odpowiednie, ale czytelność, estetyka i bezpieczeństwo gorsze w nocy.	W przestrzeni otwartej, ale powiązanej z obszarami zamieszkania, sama czytelność jezdni i zieleni nie musi wystarczać do pozytywnego odbioru. Znaczenie ma przestrzenne domknięcie i rozpoznawalność otoczenia.
P7_7.3 – droga tranzytowa niedoświetlona	Jezdnia, zieleń i drzewa: wartości zerowe lub pomijalne. Jezdnia ok. 0% poziomu odniesienia.	Jezdnia i otoczenie ocenione jako zdecydowanie niedoświetlone. Czytelność i bezpieczeństwo jako dużo gorsze w nocy.	W drogach w krajobrazie otwartym minimalna czytelność jezdni pozostaje warunkiem podstawowym. Jeżeli jej brakuje, brak widoczności otoczenia dodatkowo wzmacnia negatywny odbiór przestrzeni.

Tabela 42. Relacje luminancji warstw pionowych i krajobrazowych względem warstwy podstawowej w wybranych przypadkach badawczych. Opracowanie własne.

Z przedstawionego zestawienia wynika trend, który należy interpretować ostrożnie, ale który jest wyraźny w analizowanym materiale. W przestrzeniach mieszkaniowych, mieszkalno-komercyjnych i śródmiejskich respondenci poza oczekiwaniem poprawnego oświetlenia jezdni i chodnika, oczekiwali także czytelności warstw pionowych oraz

bocznych, zwłaszcza parterów, wejść, elewacji i zieleni współtworzącej granice wnętrza urbanistycznego. Jeżeli warstwa podstawowa była oświetlona poprawnie, ale warstwy boczne pozostawały słabo czytelne, ocena nocnej przestrzeni mogła pozostawać gorsza niż ocena dzienna, zwłaszcza w zakresie poczucia bezpieczeństwa.

W parkach i przestrzeniach rekreacyjnych istotna okazała się relacja między ciągiem pieszym a zielenią i głębią przestrzeni. Wyniki wskazują, że respondenci nie oceniali wyłącznie samej alejki, lecz całą scenę przestrzenną. Dlatego poprawne oświetlenie ciągu pieszego mogło być niewystarczające, jeżeli drzewa i tło pozostawały zbyt słabo widoczne. Równocześnie przypadek parku zdrojowego wskazuje, że większa widoczność zieleni może być pozytywnie odbierana percepcyjnie, ale wymaga odrębnej oceny środowiskowej.

W drogach o charakterze tranzytowym i otwartym oczekiwania wobec warstw bocznych były mniejsze. Respondenci w większym stopniu koncentrowali się na czytelności jezdni i przebiegu drogi. Relacje luminancji otoczenia zachowują jednak znaczenie, zwłaszcza w przestrzeniach powiązanych z obszarami zamieszkania lub słabiej zdefiniowanych przestrzennie. W takich przypadkach sama czytelność jezdni może być niewystarczająca dla utrzymania pozytywnego odbioru nocnego.

Najważniejsze ograniczenie tej interpretacji wynika z liczby i charakteru badanych przypadków. Analiza obejmuje 21 rzeczywistych lokalizacji, a więc nie wyczerpuje pełnego spektrum możliwych układów przestrzennych i oświetleniowych. Zaobserwowane relacje luminancji nie powinny być traktowane jako wartości graniczne. Stanowią natomiast empiryczną przesłankę do dalszej syntezy: ocena jakości oświetlenia przestrzeni publicznych powinna uwzględniać zarówno poziom światła na warstwie podstawowej, jak i proporcje pomiędzy tą warstwą a elementami pionowymi, krajobrazowymi i orientacyjnymi, przy czym proporcje te powinny być różnicowane w zależności od typu przestrzeni.

Zestawienie wyników potwierdza założenie, w którym oczekiwania wobec oświetlenia mają charakter typologicznie zróżnicowany. W obszarach zamieszkałych, obejmujących zabudowę jednorodziną, kwartałową oraz ulice mieszkaniowo handlowe, wyraźniej ujawniają się oczekiwania dotyczące czytelności całego wnętrza ulicznego. Użytkownik ocenia tam nie tylko jezdnię i chodnik, lecz także wejścia, elewacje, granice posesji i zielen przyuliczną. W parkach i terenach rekreacyjnych ujawnia się z kolei jedno z najciekawszych wniosków badawczych dotyczących relacyjności oświetlenia przestrzeni: normatywny punkt odniesienia dotyczy głównie alejek, ale użytkownik ocenia całą przestrzeń, jej atmosferę, krawędzie i relacje pomiędzy światłem a zielenią. Projektowanie takich miejsc nie może być redukowane do oświetlenia ciągu ruchu. W drogach w krajobrazie otwartym rośnie zaś znaczenie podstawowej czytelności ruchu przy jednoczesnej zróżnicowanej tolerancji dla nadmiaru światła.

Oczekiwania wobec oświetlenia mają charakter typologiczny i warstwowy.

Poniżej przedstawiono uogólnienia wobec oczekiwań analizy 7 typów przestrzeni, z których każdy został pokazany przez trzy warianty. Dzięki temu można wskazać względnie spójne profile oczekiwań. Poniższe zestawienie porządkuje najważniejsze profile oczekiwań ujawnione w analizie przypadków na poziomie typologii, czyli na poziomie najbardziej użytecznym dla dalszych wniosków projektowych.

Typ przestrzeni	Główne oczekiwania użytkowników	Warstwy istotne	Wniosek projektowy
Ulica rezydencjalna zabudowa jednorodzinna	czytelność codziennego wnętrza ulicy, granic posesji i stref wejściowych	jezdnia, chodnik, wejścia, zieleń niska, wybrane elewacje	nie wystarcza poprawność warstwy ruchu
Ulica osiedlowa zabudowa kwartałowa	ciągłość i hierarchia obrazu ulicy	jezdnia, chodnik, pierzeje, wejścia	potrzebny zrównoważony układ poziome pionowe
Ulica osiedlowa zabudowa blokowa	czytelność skali miejsca i większych brył	warstwa ruchu, elewacje, zieleń, tło	znaczenie ma wieloplanowość
Ulica mieszkaniowo handlowa	spójna, uporządkowana scena nocna	chodnik, partery, elewacje, zieleń	ważniejsza jest hierarchia niż maksymalizacja
Park miejski i tereny rekreacyjne	odbiór całej przestrzeni, nie tylko alejki	alejki, zieleń, granice, tło	użytkownik ocenia całą scenę, nie tylko trasę
Droga w obszarach przemysłowych i technicznych	funkcjonalna czytelność przy minimalnej czytelności otoczenia	jezdnia, chodnik, wybrane tła	zbyt silna redukcja warstw pomocniczych osłabia odbiór
Droga w krajobrazie otwartym	podstawowa czytelność ruchu przy zróżnicowanej tolerancji dla nadmiaru	jezdnia, pobocze, wybrane tło krajobrazowe	potrzebne podejście selektywne i zależne od kontekstu użytkownika

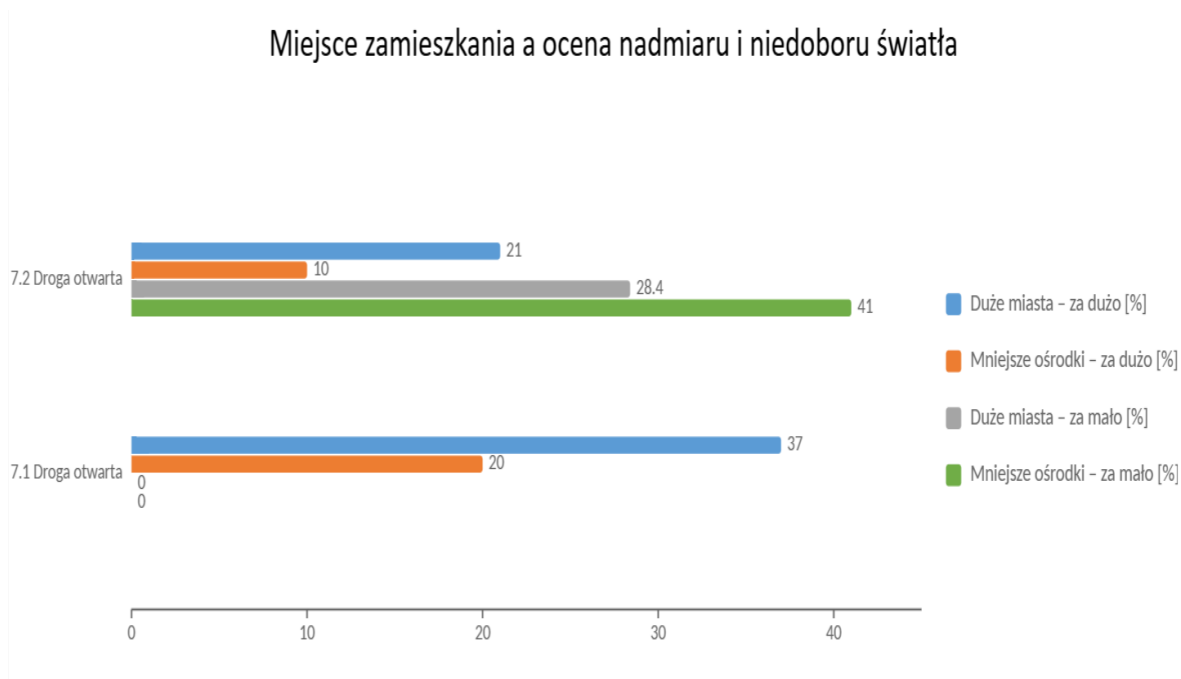
Tabela 43. Typologiczne profile oczekiwań wobec oświetlenia w siedmiu analizowanych klasach przestrzeni. Opracowanie własne.

Zmienność oczekiwań dotyczy przede wszystkim warstw pionowych, zieleni oraz komponentów porządkujących obraz przestrzeni. Analiza uzupełniająca pokazuje, że różnice pomiędzy grupami respondentów nie ujawniają się równomiernie we wszystkich warstwach. Kobiety częściej niż mężczyźni wskazywały niedobór światła na elewacjach parterów o 8,4 p.p., na elewacjach w strefie 3–12 m o 8,5 p.p., a na zieleni niskiej o 10,8 p.p.. Różnice te są wyraźnie większe niż w ocenie samej jezdni. Kobiety częściej oczekują pełniejszej czytelności całego obrazu przestrzeni. Równocześnie w przypadku 7.1, czyli przestrzeni relatywnie prześwietlonej, nadmiar światła na jezdni wskazało 37,2% kobiet i tylko 17,9% mężczyzn, co oznacza różnicę 19,3 p.p. Wynik ten sugeruje, że kobiety częściej oczekują lepszego rozłożenia światła, ale zarazem wykazują większą wrażliwość na jego nadmierną intensywność.

Interesujący wynik badania pojawia się w odniesieniu do miejsca zamieszkania. W przypadku 7.1 nadmiar światła wskazało 37,0% mieszkańców dużych miast, ale tylko 20,0% mieszkańców mniejszych ośrodków i obszarów wiejskich, czyli o 17,0 p.p. mniej. W przypadku 7.2 mieszkańcy dużych miast częściej wskazywali nadmiar (21,0% wobec 10,0%, różnica 11,0 p.p.), natomiast mieszkańcy mniejszych ośrodków wyraźniej sygnalizowali niedobór (41,0% wobec 28,4%, różnica 12,6 p.p.). Użytkownicy wnoszą do oceny przestrzeni własne doświadczenie świetlne. Osoby mieszkające na co dzień w silnie zurbanizowanym środowisku okazują się bardziej wrażliwe na prześwietlenie poza miastem, natomiast osoby z mniejszych ośrodków częściej akcentują potrzebę podstawowej czytelności i bezpieczeństwa.

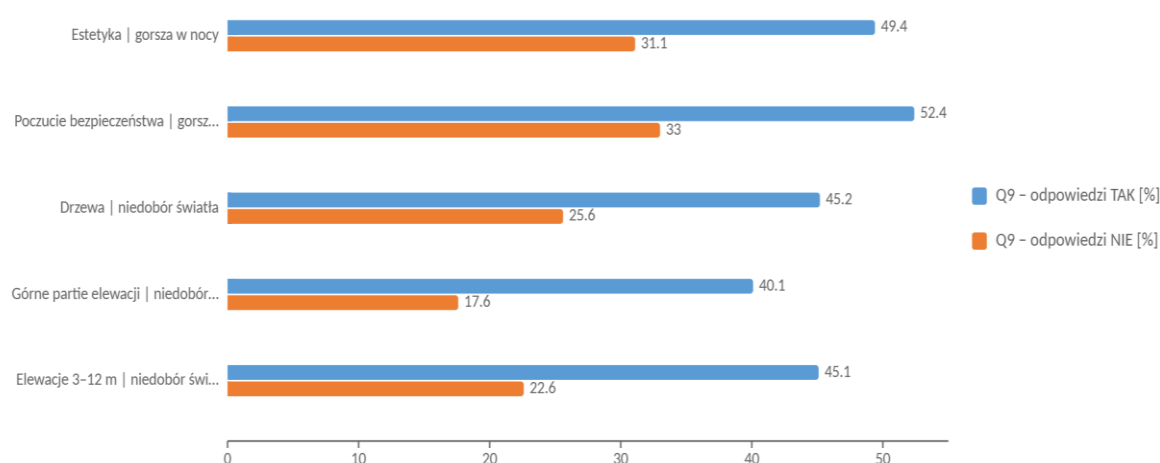
Najsilniejszy czynnik różnicujący profil ocen nie ma charakteru demograficznego, lecz wynika z deklarowanej postawy wobec korzystania z przestrzeni publicznych po zmroku. Na tle zmiennych społecznych szczególnie silnie działa odpowiedź na pytanie 9, dotyczące tego, czy lepsze oświetlenie zwiększyłoby skłonność do korzystania z przestrzeni po zmroku. Respondenci odpowiadający twierdząco wyraźnie częściej wskazywali niedobór światła na elewacjach w strefie 3–12

m: 45,1% wobec 22,6%, czyli o 22,5 p.p. częściej. W odniesieniu do górnych partii elewacji różnica wyniosła 22,5 p.p. (40,1% wobec 17,6%), a dla zieleni wysokiej 19,5 p.p. (45,2% wobec 25,6%). Ta sama grupa częściej oceniała też poczucie bezpieczeństwa jako gorsze w nocy (52,4% wobec 33,0%, różnica 19,4 p.p.) oraz estetykę jako gorszą w nocy (49,4% wobec 31,1%, różnica 18,3 p.p.). Deklarowana gotowość do częstszego korzystania z przestrzeni po zmroku wiąże się nie tyle z prostym oczekiwaniem większej ilości światła, ile z potrzebą pełniejszego i bardziej czytelnego nocnego obrazu miejsca.



Ryc.74. Wpływ miejsca zamieszkania i deklarowanej skłonności do korzystania z przestrzeni po zmroku na profil oczekiwań oświetleniowych. Opracowanie własne.

Deklarowana skłonność do korzystania z przestrzeni po zmroku a profil oczekiwań



Ryc.75. Typologiczne profile oczekiwań wobec oświetlenia w siedmiu klasach przestrzeni. Opracowanie własne.

Analiza różnic społecznych pokazuje, że na profil oczekiwań wpływa zarówno doświadczenie świetlne użytkownika, jak i jego deklarowana gotowość do korzystania z przestrzeni po zmroku. Wykres (Ryc.75) pokazuje, że profil oczekiwań wobec światła różnicowany jest nie tylko przez typ przestrzeni, lecz również przez doświadczenie użytkownika i jego deklarowaną aktywność po zmroku. W przypadku 7.1 nadmiar światła wskazało 37,0% mieszkańców dużych miast, ale tylko 20,0% mieszkańców mniejszych ośrodków i obszarów wiejskich. Równocześnie respondenci deklarujący, że lepsze oświetlenie zwiększyłoby ich skłonność do korzystania z przestrzeni po zmroku, częściej wskazywali niedobór światła na elewacjach w strefie 3-12 m: 45,1% wobec 22,6%, czyli o 22,5 p.p. częściej. Oczekiwania wobec światła mają nie tylko wymiar techniczny i typologiczny, ale także społeczny i behawioralny.

Dla uporządkowania najważniejszych wyników liczbowych zestawiono poniżej obserwacje, które mają największe znaczenie interpretacyjne dla dalszych wniosków projektowych.

Obserwacja	Wynik	Znaczenie interpretacyjne
Akceptacja relatywnie prześwietlonej jezdni w przypadku 7.1	64,1% „odpowiednio”, 27,6% „za dużo” przy ok. 500% odniesienia	Nadwyżka ilościowa nie jest automatycznie oceniana negatywnie
Akceptacja relatywnie prześwietlonego ciągu pieszego w przypadku 5.1	66,3% „odpowiednio”, 28,2% „za dużo” przy ok. 500% odniesienia	W parkach liczy się odbiór całej sceny, nie tylko wartość odniesienia
Nieskuteczność umiarkowanego prześwietlenia w przypadku 7.2	49,7% „odpowiednio”, 35,4% „za mało” przy ok. 150% odniesienia	Więcej światła nie gwarantuje lepszego odbioru
Jednoznaczność niedoboru w przypadku 7.3	92,8% „za mało” dla jezdni; 93,4% „gorsze bezpieczeństwo”	Niedobór jest rozpoznawany łatwiej niż nadmiar
Jednoznaczność niedoboru w przypadku 4.3	96,7% „za mało” dla jezdni i chodnika; 87,8% „gorsze bezpieczeństwo”	Skrajne niedoświetlenie silnie obniża ocenę miejsca
Różnica płci w ocenie zieleni niskiej	kobiety częściej wskazywały niedobór o 10,8 p.p.	Różnice społeczne dotyczą głównie warstw pomocniczych
Różnica płci w ocenie nadmiaru w przypadku 7.1	37,2% kobiet vs 17,9% mężczyzn	Kobiety częściej identyfikują nadmiar światła w krajobrazie otwartym
Różnica miejsca zamieszkania w przypadku 7.1	37,0% duże miasta vs 20,0% mniejsze ośrodki wskazało nadmiar	Doświadczenie świetlne użytkownika wpływa na ocenę
Pytanie 9 a niedobór światła na elewacjach 3-12 m	45,1% vs 22,6%, różnica 22,5 p.p.	Najsilniejszy czynnik różnicujący ma charakter podstawowy
Pytanie 9 a zieleń wysoka	45,2% vs 25,6%, różnica 19,5 p.p.	Oczekiwania dotyczą pełniejszego obrazu miejsca, nie tylko warstwy ruchu

Tabela 44. Najsilniejsze obserwacje liczbowe wynikające z analizy przekrojowej przypadków.
Opracowanie własne.

Dane w zestawieniu pozwalają na wysunięcie wniosków potwierdzających, że najważniejsze wyniki badania nie dotyczą prostego wzrostu lub spadku ilości światła, lecz relacji między poziomem odniesienia, typem przestrzeni, strukturą warstw oraz profilem

oczekiwań użytkowników. Szczególnie istotne są tu trzy prawidłowości: wysoka tolerancja części przypadków relatywnie prześwieconych, jednoznaczność rozpoznawania niedoboru oraz większa wrażliwość części grup respondentów na niedostateczną czytelność warstw pionowych i zieleni.

Wniosek syntetyczny

Najważniejszy wynik analizy przekrojowej wskazuje, że współczesne projektowanie oświetlenia przestrzeni publicznych powinno opierać się na selektywnym, kontekstowym i hierarchicznym kształtowaniu światła. Oświetlenie elewacji, zieleni i innych warstw pionowych stanowi istotny element organizacji nocnego obrazu przestrzeni, jednak jego zakres powinien wynikać z funkcji miejsca, struktury urbanistycznej, sposobu użytkowania oraz relacji do podstawowej warstwy oświetlenia. Materiał badawczy potwierdza, że właściwe podejście polega na świadomym różnicowaniu poziomu ekspozycji poszczególnych warstw przestrzeni, a nie na ograniczaniu oświetlenia wyłącznie do nawierzchni ani na równomiernym eksponowaniu wszystkich elementów. W takim ujęciu światło staje się narzędziem porządkowania hierarchii przestrzennej, wzmacniania czytelności miejsca i dostosowywania rozwiązań do rzeczywistych potrzeb użytkowych, percepcyjnych i krajobrazowych.

6.5 Wnioski z badań empirycznych dla dalszej syntezy modelowej

Przeprowadzone badania empiryczne pozwoliły na zdefiniowanie preferencji użytkowników dotyczących oświetlenia przestrzeni publicznych, a także ujawniły strukturę problemu decyzyjnego istotną dla budowy modelu decyzyjnego. Badania terenowe umożliwiły rozpoznanie rzeczywistych parametrów oświetleniowych, ich zróżnicowania typologicznego oraz relacji pomiędzy warstwą podstawową i warstwami uzupełniającymi. Badanie ankietowe pozwoliło natomiast określić, jak te relacje są odbierane przez użytkowników oraz które warstwy przestrzeni stają się przedmiotem ich oczekiwań.

Wyniki badań wskazują na nadrzędne znaczenie typu przestrzeni. Oczekiwania wobec oświetlenia zmieniają się w zależności od funkcji miejsca, jego morfologii, sposobu użytkowania oraz charakteru krajobrazowego. Innego układu światła wymaga ulica mieszkaniowa, innego plac miejski, park, promenada, przestrzeń śródmiejska, droga w krajobrazie otwartym czy węzeł komunikacyjny. **Typ przestrzeni stanowi podstawową zmienną porządkującą dalsze decyzje dotyczące wymagań, warstw, kryteriów oraz wag stosowanych w modelu.**

Zebrany materiał potwierdza znaczenie warstwowej interpretacji przestrzeni. Badanie ankietowe pokazało, że użytkownicy różnicują swoje oceny pomiędzy jezdnią, ciągami pieszymi, elewacjami, strefami wejściowymi, zielenią oraz innymi elementami współtworzącymi obraz przestrzeni po zmroku. Badania terenowe dostarczyły natomiast danych umożliwiających opis tych warstw za pomocą parametrów ilościowych. **W modelu należy operować zarówno kategorią przestrzeni jako całości, jak i poszczególnymi warstwami przestrzennymi.**

Istotnym wynikiem badań jest potwierdzenie znaczenia relacji pomiędzy warstwami poziomymi i pionowymi. Poprawne oświetlenie nawierzchni nie wyczerpuje problemu jakości oświetlenia przestrzeni publicznej. Większa ilość światła na jezdni lub chodniku nie zastępuje czytelności elewacji, zieleni, wejść, krawędzi oraz innych elementów pionowych, które współtworzą orientację, poczucie bezpieczeństwa, kompozycję i atmosferę miejsca. **Spełnienie wymagań oświetlenia dla warstwy podstawowej stanowi ważny, ale niewystarczający warunek pozytywnej oceny rozwiązania.**

Badania potwierdziły także nieliniowy charakter zależności pomiędzy ilością światła a oceną użytkowników. Większa ilość światła nie prowadzi automatycznie do wyższej oceny przestrzeni, jeżeli nie poprawia czytelności istotnych warstw miejsca. Jednocześnie przypadki relatywnie prześwietlone mogą być odbierane pozytywnie, jeżeli układ światła wzmacnia orientację, porządkuje obraz przestrzeni i odpowiada funkcji miejsca. Niedobór światła jest rozpoznawany bardziej jednoznacznie niż jego nadmiar, co wskazuje na asymetryczny charakter granic projektowej akceptowalności.

Kolejny wynik dotyczy znaczenia jasności powierzchni dla interpretacji luminancji. Badania terenowe potwierdziły, że luminancja zależy od ilości światła, a także od właściwości odbiciowych oświetlanej powierzchni. Ma to szczególne znaczenie w przypadku warstw pionowych, których jasność wpływa na odbierany efekt świetlny. Z tego względu w modelu zasadne jest wykorzystanie operacyjnych klas jasności powierzchni, umożliwiających praktyczne zastosowanie wyników badań bez konieczności każdorazowego wykonywania szczegółowych analiz materiałowych.

Wyniki badań tworzą podstawę struktury modelu decyzyjnego: typ przestrzeni określa punkt wyjścia analizy, układ warstw wskazuje elementy wymagające czytelności po zmroku, a parametry odniesienia zapewniają porównywalny opis warunków świetlnych. Hierarchia celów jakościowych umożliwia natomiast uporządkowanie relacji pomiędzy bezpieczeństwem, orientacją, estetyką, środowiskiem, energią i kosztami. Przeprowadzone badania mają charakter aplikacyjny i modelowy. Dostarczają podstaw do budowy procedury wspomagania decyzji projektowych, a jednocześnie wskazują kierunek dalszych badań nad relacją między parametrami oświetleniowymi, typami przestrzeni, jasnością powierzchni i oceną użytkowników. Wyniki nie budują samodzielnej podstawy do bezpośredniego formułowania nowych wymagań normatywnych, lecz tworzą uporządkowaną podstawę do dalszego rozwijania metody oceny oświetlenia przestrzeni publicznych.

W ujęciu syntetycznym wyniki badań uzasadniają przyjęcie modelu:

- kontekstowego – opartego na typie przestrzeni, sposobie użytkowania i cechach miejsca;
- warstwowego – obejmującego nawierzchnie, elementy pionowe, zieleni i składniki krajobrazowe;
- hierarchicznego – różnicującego znaczenie kryteriów zależnie od funkcji, kompozycji i sposobu odbioru przestrzeni;
- operacyjnego – przekładającego wyniki badań na procedurę przydatną w praktyce projektowej.

W ten sposób część empiryczna bezpośrednio uzasadnia przyjęcie wielokryterialnej procedury oceny wariantów oświetlenia. Ocena ta obejmuje parametry techniczne, rozpoznanie kontekstu, analizę warstw przestrzeni, interpretację relacji świetlnych oraz hierarchizację kryteriów użytkowych, środowiskowych, estetycznych, energetycznych

i ekonomicznych. Poniższe zestawienie porządkuje najważniejsze wyniki badań empirycznych i wskazuje ich bezpośrednie przełożenie na strukturę autorskiego modelu oceny oświetlenia. Tabela nie powtarza pełnej interpretacji wyników, lecz syntetyzuje te zależności, które decydują o konstrukcji modelu: typ przestrzeni, warstwowość, relacje świetlne, operacyjne parametry odniesienia oraz zmienność priorytetów projektowych. Zależność między wynikami badań empirycznych a założeniami autorskiego modelu oceny oświetlenia pokazano w ujęciu tabelarycznym (

Tabela 45).

Wynik badań empirycznych	Konsekwencj dla modelu	Znaczenie projektowe
Oczekiwania wobec oświetlenia różnią się w zależności od typu przestrzeni.	Typ przestrzeni stanowi zmienną nadrzędną organizującą logikę oceny.	Model nie przyjmuje jednego schematu oświetlenia dla wszystkich miejsc, lecz różnicuje wymagania w zależności od funkcji, morfologii i sposobu użytkowania przestrzeni.
Użytkownicy różnicują oceny pomiędzy jezdnią, ciągami pieszymi, elewacjami, wejściami i zielenią.	Warstwa przestrzeni staje się podstawową jednostką interpretacji projektowej.	Ocena wariantu obejmuje nie tylko przestrzeń jako całość, lecz także rolę poszczególnych warstw w budowaniu czytelności i komfortu użytkowania.
Poprawność oświetlenia warstwy podstawowej nie wyczerpuje oceny jakości przestrzeni po zmroku.	Model uwzględnia relacje pomiędzy warstwami poziomymi i pionowymi.	Samo spełnienie wymagań dla nawierzchni jest warunkiem ważnym, ale niewystarczającym dla oceny jakości rozwiązania.
Ilość światła nie przekłada się liniowo na ocenę użytkowników.	Model rozróżnia poziom światła, układ światła i czytelność przestrzeni.	Wariant jaśniejszy nie jest automatycznie wariantem lepszym; znaczenie ma sposób rozmieszczenia światła oraz jego relacja do funkcji miejsca.
Niedobór światła jest rozpoznawany bardziej jednoznacznie niż jego nadmiar.	Model powinien odróżniać progi minimalnej czytelności od progów górnej akceptowalności.	Granice projektowe nie są symetryczne: brak światła szybciej obniża ocenę przestrzeni niż umiarkowany nadmiar, jeśli wspiera on orientację i czytelność.
Luminancja zależy od jasności i właściwości odbiciowych oświetlanej powierzchni.	Model wykorzystuje operacyjne klasy jasności powierzchni.	Ocena luminancji zostaje powiązana z praktyką projektową i nie wymaga każdorazowo szczegółowych badań refleksyjności materiałów.
Znaczenie warstw pionowych i krajobrazowych zmienia się w zależności od typu przestrzeni.	Model różnicuje priorytety dla elewacji, zieleni i innych elementów uzupełniających.	Inne warstwy wymagają ekspozycji w ulicy śródmiejskiej, inne w parku, a inne w drodze prowadzonej przez krajobraz otwarty.
Różnice w ocenach użytkowników dotyczą szczególnie warstw pionowych, zieleni i elementów budujących orientację.	Model dopuszcza modulację preferencji nadrzędnych i wag kryteriów.	Procedura oceny pozwala uwzględnić różne konfiguracje priorytetów: bezpieczeństwo, czytelność, estetykę, środowisko, energię i koszty.

Tabela 45. Zależność między wynikami badań empirycznych a założeniami autorskiego modelu oceny oświetlenia. Opracowanie własne.

7

Synteza badań własnych i formalizacja modelu decyzyjnego

7 Synteza badań własnych i formalizacja modelu decyzyjnego

Dotychczasowe rozdziały rozprawy prowadziły do rozpoznania problemu, który w praktyce projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych ujawnia się jako konieczność podejmowania decyzji w warunkach wielu równoległych uwarunkowań. Decyzja oświetleniowa obejmuje wymagania widzialności i zapewnienia bezpieczeństwa, jakość odbioru przestrzeni, relacje kompozycyjne, wpływ na środowisko, ograniczenia techniczne, koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz możliwość późniejszego zarządzania systemem. Taki układ przesłanek to problem wielokryterialny, w którym wynik decyzji zależy od relacji pomiędzy celami częściowo komplementarnymi i częściowo konkurencyjnymi (Belton & Stewart, 2002; Keeney & Raiffa, 1976). W odniesieniu do decyzji infrastrukturalnych i publicznych znaczenie takiego ujęcia potwierdzają badania wskazujące ograniczenia analiz opartych wyłącznie na kryteriach kosztowych lub jednowymiarowych wskaźnikach efektywności (Beria et al., 2012; Sayers et al., 2003; Tudela et al., 2006).

Rozdział niniejszy stanowi etap syntezy i formalizacji. Jego zadaniem jest przełożenie ustaleń wynikających z części analitycznej, badań terenowych oraz badania ankietowego na strukturę modelu wspomagania decyzji projektowych. W tym miejscu diagnoza złożoności problemu zostaje przełożona na procedurę klasyfikacji kontekstu, określania celów nadrzędnych, porządkowania kryteriów oraz porównywania wariantów oświetleniowych w sposób jawny i powtarzalny. Takie rozdzielenie etapów odpowiada logice metod MCDA, w których strukturyzacja problemu, modelowanie preferencji oraz agregacja ocen powinny być prowadzone jako odrębne, lecz powiązane fazy postępowania (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018).

Logikę przejścia od wyników badań własnych do formalizacji modelu decyzyjnego przedstawiono poniżej (Tabela 46). Zestawienie to porządkuje kolejne operacje wykonywane w niniejszym rozdziale: od syntezy materiału empirycznego, przez wyprowadzenie struktury modelu, do procedury oceny wariantów oraz weryfikacji działania modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych, uzupełnionej analizą czułości wag i testem wpływu kryteriów kosztowych. Szczególne znaczenie dla dalszej formalizacji mają badania empiryczne przedstawione w rozdziale szóstym. Badanie terenowe pozwoliło rozpoznać rzeczywiste poziomy i relacje luminancyjne w zróżnicowanych przestrzeniach oraz zestawić je z wymaganiami normatywnymi. Badanie ankietowe umożliwiło natomiast określenie, w jaki sposób użytkownicy oceniają ilość światła na poszczególnych składowych przestrzeni oraz jak wiążą ją z czytelnością, orientacją, estetyką i poczuciem bezpieczeństwa. Potrzeba łączenia parametrów technicznych z oceną użytkowników znajduje uzasadnienie w badaniach dotyczących czynników ludzkich w oświetleniu oraz percepcji bezpieczeństwa i komfortu w środowisku nocnym (Boomsma & Steg, 2014; Boyce, 2014; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018).

Etap rozdziału 7	Zakres syntezy / formalizacji	Znaczenie dla modelu
1	Synteza wyników badań w odniesieniu do klasyfikacji przestrzeni	Określenie, które cechy kontekstu różnicują potrzeby oświetleniowe
2	Synteza wyników badań w odniesieniu do oczekiwań użytkowników	Wskazanie, które warstwy przestrzeni i aspekty odbioru powinny być uwzględnione w ocenie
3	Przejsie od wyników badań do struktury modelu	Uporządkowanie zależności między kontekstem, preferencjami, kryteriami i oceną wariantów
4	Określenie założeń modelu decyzyjnego	Zdefiniowanie celu, zakresu i logiki działania modelu
5	Formalizacja elementów modelu	Opis klasyfikacji kontekstu, preferencji nadrzędnych, kryteriów i deskryptorów
6	Formalizacja procedury wielokryterialnej	Określenie sposobu ważenia, porównywania wariantów i interpretacji wyniku
7	Weryfikacja Aplikacyjna. Analiza odporności rekomendacji	Sprawdzenie działania modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych, uzupełniona analizą czułości wag i testem wpływu kosztów.

Tabela 46. Logika syntezy badań własnych i formalizacji modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

Zestawienie obu strumieni badań tworzy podstawę do określenia, które cechy przestrzeni, parametry i kryteria powinny zostać uwzględnione w procedurze oceny wariantów. Innych przesłanek projektowych wymaga więc ulica rezydencjalna, innych przestrzeń śródmiejska, innych teren zieleni, obszar przemysłowy, układ komunikacyjny lub przestrzeń o podwyższonej wrażliwości środowiskowej. Dlatego dalsza część rozdziału rozwija klasyfikację kontekstu przestrzennego jako pierwszy poziom porządkowania decyzji oświetleniowej. Na tej podstawie w rozdziale przedstawiono kolejne elementy modelu: klasyfikację kontekstu przestrzennego, preferencje nadrzędne, kryteria szczegółowe, deskryptory oceny oraz procedurę wielokryterialnego porównywania wariantów. Przyjęta struktura pozwala powiązać cechy miejsca z hierarchią kryteriów, a następnie przełożyć je na ocenę konkretnych rozwiązań projektowych. Wprowadzenie poziomu preferencji nadrzędnych odpowiada praktyce budowy modeli MCDA, w których złożone problemy decyzyjne wymagają pośredniego uporządkowania

celów, zanim zostaną one przekształcone w kryteria szczegółowe i wagi (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018). W tym ujęciu model przenosi ocenę wariantów z poziomu intuicyjnego lub jednowymiarowego na poziom jawnej procedury porównawczej. Porządkuje przesłanki projektowe, ujawnia zależności pomiędzy kontekstem przestrzennym sposobem oceny wariantów oraz umożliwia wskazanie rozwiązania najlepiej odpowiadającego przyjętym założeniom funkcjonalnym, przestrzennym, środowiskowym, ekonomicznym i zarządczym.

Formalnym narzędziem porównania wariantów przyjętym w modelu jest metoda PROMETHEE II, której dobór został uzasadniony w rozdziale 5.7 na podstawie charakteru kryteriów decyzyjnych wynikających z wcześniejszych analiz. Ocena wariantów oświetleniowych obejmuje kryteria techniczne, ekonomiczne, energetyczne, środowiskowe, estetyczne, społeczne i zarządcze, a więc zarówno dane liczbowe i finansowe, jak i oceny jakościowe, eksperckie oraz porządkowe. Z tego względu wymaga procedury zdolnej do porównywania wariantów przy wielu kryteriach, różnych kierunkach preferencji i częściowej konfliktowości celów. PROMETHEE II umożliwia porównywanie wariantów parami, stosowanie wag, uwzględnianie kryteriów maksymalizowanych i minimalizowanych oraz interpretację wyniku w postaci przepływów preferencji dodatniej, ujemnej i netto (Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005). W przyjętym modelu metoda porządkuje końcowy etap procedury: ocenę i ranking wariantów, poprzedzone rozpoznaniem kontekstu przestrzennego oraz określeniem preferencji nadrzędnych i wag kryteriów. Wynik rankingu wspiera decyzję projektową, dostarczając jej uporządkowanej, powtarzalnej i możliwej do uzasadnienia podstawy. Dalsza część rozdziału została podporządkowana tej logice. Najpierw przedstawiono syntezę badań własnych w odniesieniu do klasyfikacji przestrzeni publicznych i oczekiwań użytkowników wobec oświetlenia. Następnie omówiono przejście od wyników badań do struktury modelu decyzyjnego, założenia modelu, klasyfikację kontekstu przestrzennego, preferencje nadrzędne, kryteria szczegółowe i deskryptory oceny oraz formalizację procedury MCDA/PROMETHEE. Rozdział zamyka weryfikacja działania modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych, analiza czułości wag, test scenariuszowy wpływu kryteriów kosztowych oraz określenie zakresu jego stosowalności, ograniczeń i znaczenia dla rozwiązania problemu badawczego.

7.1 Synteza badań własnych w kontekście klasyfikacji przestrzeni publicznych

Badania własne przeprowadzone w ramach rozprawy potwierdziły zasadność traktowania klasyfikacji przestrzeni publicznych jako pierwszego etapu procesu decyzyjnego w projektowaniu i ocenie oświetlenia. W świetle uzyskanych wyników potrzeby oświetleniowe przestrzeni publicznych wynikają z układu relacji pomiędzy morfologią miejsca, jego funkcją, kompozycją przestrzenną, strukturą użytkowników, uwarunkowaniami środowiskowymi oraz sposobem użytkowania po zmroku. Klasyfikacja przestrzeni pełni w modelu funkcję pierwszego poziomu formalizacji decyzji projektowej. Tak rozumiana klasyfikacja bezpośrednio wiąże się z zasadniczym tematem rozprawy, czyli kontekstowym kształtowaniem oświetlenia przestrzeni publicznych. Kontekstowość

oznacza metodyczne powiązanie decyzji oświetleniowej z charakterem miejsca, jego strukturą przestrzenną, sposobem użytkowania oraz rolą, jaką światło ma pełnić po zmroku. W takim ujęciu rozpoznanie przestrzeni poprzedza ocenę wariantów i wpływa na hierarchię celów oraz kryteriów. Ulica rezydencjalna, przestrzeń śródmiejska, park, teren przemysłowy, droga tranzytowa, obszar otwarty oraz przestrzeń o podwyższonej wrażliwości środowiskowej generują odmienne potrzeby oświetleniowe. Różnią się one skalą, funkcją, intensywnością użytkowania, relacją do zabudowy i zieleni oraz oczekiwanym sposobem odbioru po zmroku. W każdej z tych sytuacji inaczej kształtuje się znaczenie bezpieczeństwa, czytelności, estetyki, oddziaływania środowiskowego, efektywności energetycznej, kosztów i zarządzalności systemu. Dla modelu wielokryterialnego istotne jest to, że klasyfikacja kontekstu poprzedza ocenę wariantów technicznych³¹. W przypadku oświetlenia przestrzeni publicznych etap ten wymaga rozpoznania przestrzeni jako sytuacji projektowej obejmującej funkcję, strukturę, użytkowników, środowisko i sposób korzystania po zmroku. Dopiero po takim rozpoznaniu można zasadnie określać, które cele oświetleniowe powinny uzyskać większe znaczenie w dalszej ocenie wariantów.

Badania terenowe pozwoliły zweryfikować to założenie na materiale rzeczywistych przestrzeni. Analiza przypadków wykazała znaczne zróżnicowanie relacji luminancyjnych pomiędzy jezdnią, chodnikiem, elewacjami, zielenią i innymi składowymi wnętrza urbanistycznego. W części przypadków podstawowa warstwa komunikacyjna była oświetlona zgodnie z wymaganiami lub powyżej wartości odniesienia, podczas gdy warstwy wspierające czytelność przestrzeni, takie jak elewacje, zieleń lub granice wnętrza urbanistycznego, pozostawały słabiej eksponowane. W innych lokalizacjach wysokie poziomy światła występowały w przestrzeniach o mniejszej intensywności użytkowania lub większej wrażliwości środowiskowej. Wyniki te wskazują, że ocena jakości oświetlenia wymaga rozpoznania relacji pomiędzy światłem a strukturą miejsca oraz odniesienia parametrów świetlnych do funkcji i charakteru analizowanej przestrzeni. Badanie ankietowe wzmocniło ten wniosek, ponieważ respondenci oceniali ilość światła na poszczególnych składowych przestrzeni. Odpowiedzi dotyczące jezdni, chodników i dróg rowerowych nie zawsze były zbieżne z ocenami dotyczącymi elewacji, zieleni niskiej i zieleni wysokiej. Użytkownicy postrzegają przestrzeń nocną jako układ warstw. W konsekwencji model decyzyjny powinien uwzględniać pytanie, które elementy przestrzeni mają być widoczne, które powinny wspierać orientację, które budują tło i charakter miejsca, a które ze względów środowiskowych, krajobrazowych lub kompozycyjnych powinny pozostać mniej eksponowane. Takie ujęcie jest spójne z badaniami dotyczącymi relacji pomiędzy oświetleniem, percepcją bezpieczeństwa, czytelnością przestrzeni i komfortem użytkowania środowiska nocnego (Boyce, 2014; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018; Wänström Lindh & Jägerbrand, 2021).

Kluczowe wnioski z badań własnych, które mają znaczenie dla konstrukcji modelu decyzyjnego, zestawiono w Tabeli 47. Tabela pokazuje sposób przełożenia

³¹ W procedurach MCDA etap strukturyzacji problemu ma znaczenie podstawowe, ponieważ określa, jakie cechy sytuacji decyzyjnej powinny zostać opisane, jakie cele są istotne oraz w jaki sposób zostaną one później reprezentowane przez kryteria i wagi (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018).

rozpoznanych zależności empirycznych na formalne elementy modelu: klasyfikację kontekstu, preferencje nadrzędne, kryteria oceny, deskryptory oraz granice stosowalności procedury.

Wniosek z badań	Znaczenie dla modelu decyzyjnego
Potrzeby oświetleniowe zależą od kontekstu przestrzennego	Model rozpoczyna się od klasyfikacji miejsca przed oceną wariantów technicznych
Użytkownicy oceniają przestrzeń nocną warstwowo	Ocena obejmuje relacje między jezdnią, chodnikiem, elewacjami, zielenią i granicami wnętrza urbanistycznego
Ocena jakości nocnego odbioru wymaga uzupełnienia parametrów ilościowych o kryteria percepcyjne i przestrzenne	Model obejmuje kryteria jakościowe i deskryptory odnoszące się do czytelności, estetyki i odbioru przestrzeni
Adekwatność ilości światła zależy od funkcji, skali, użytkowania i wrażliwości środowiskowej miejsca	Model równoważy bezpieczeństwo, jakość przestrzenną, środowisko, koszty i zarządzalność
Oświetlenie wyższych partii elewacji i iluminacja architektoniczna wymagają odrębnego procesu projektowego	Model uwzględnia znaczenie warstw pionowych dla czytelności przestrzeni, ale nie zastępuje koncepcji iluminacyjnej

Tabela 47. Kluczowe wnioski z badań własnych jako podstawa formalizacji modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

Zasadniczą innowacją proponowanego podejścia jest przesunięcie punktu wyjścia procesu oceny oświetlenia. W klasycznym podejściu normatywnym punktem początkowym są parametry związane z ruchem, takie jak prędkość, natężenie, struktura użytkowników drogi oraz wynikająca z nich klasa oświetleniowa. W modelu rozwijanym w niniejszej pracy punktem wyjścia jest urbanistyczny charakter przestrzeni: jej morfologia, funkcja, sposób użytkowania, kompozycja wnętrza, relacje z zabudową i zielenią oraz wrażliwość środowiskowa. Na tej podstawie możliwe jest określenie, jakie znaczenie powinny uzyskać wymagania bezpieczeństwa, czytelności, estetyki, efektywności energetycznej, kosztów, zarządzalności i ograniczania oddziaływania światła. Wymagania normatywne pozostają w tym układzie warunkiem brzegowym poprawności technicznej, natomiast charakter przestrzeni wyznacza logikę różnicowania potrzeb i hierarchii kryteriów

Badania potwierdziły, że ten sam poziom oświetlenia może pełnić różną funkcję w zależności od charakteru przestrzeni. W ulicy rezydencjalnej istotne stają się czytelność ciągów pieszych, rozpoznawalność wejść, skala zabudowy, relacja światła do zieleni i poczucie bezpieczeństwa. W przestrzeni śródmiejskiej większe znaczenie uzyskują pierzeje, partery, identyfikacja miejsca, kompozycja świetlna i atrakcyjność nocnego obrazu. W terenach zieleni, przestrzeniach otwartych i obszarach o większej wrażliwości środowiskowej rośnie znaczenie ograniczania zbędnej emisji światła, kontroli kierunku świecenia i dostosowania poziomu oświetlenia do rzeczywistej intensywności

użytkowania. W przestrzeniach komunikacyjnych podstawowe znaczenie zachowują widzialność i bezpieczeństwo ruchu, jednak także w tym przypadku ocena powinna uwzględniać relacje pomiędzy jezdnią, pobocznymi, chodnikami, granicami przestrzeni i otoczeniem.

Drugi wniosek dotyczy warstwowego odbioru przestrzeni nocnej. Wyniki ankiety wskazują, że użytkownicy różnicują ocenę ilości światła w zależności od warstwy przestrzeni. Model powinien więc ujmować oświetlenie jako relację między powierzchniami komunikacyjnymi, elewacjami, zielenią niską i zielenią wysoką. Dopiero układ powierzchni buduje czytelność, orientację, poczucie bezpieczeństwa i charakter miejsca. Taki sposób ujęcia problemu wpisuje się w szersze rozumienie jakości przestrzeni publicznej, w którym znaczenie mają parametry funkcjonalne, struktura, czytelność i relacja użytkownika z otoczeniem (Carmona et al., 2010; Gehl, 2010; Lynch, 1960; Mehta, 2014).

Trzeci wniosek odnosi się do relacji pomiędzy zgodnością ilościową a oceną jakościową. Badania wykazały, że spełnienie wymagań ilościowych stanowi istotny warunek poprawności oświetlenia, jednak jakość nocnego odbioru przestrzeni zależy także od czytelności, estetyki, poczucia bezpieczeństwa oraz sposobu oświetlenia elementów budujących strukturę miejsca. Wynik ten uzasadnia wprowadzenie do modelu kryteriów jakościowych oraz deskryptorów oceny, które pozwalają opisać cechy wariantu wykraczające poza wartości luminancji, natężenia oświetlenia lub wskaźników energetycznych.

Czwarty wniosek dotyczy adekwatności ilości światła. Analizowany materiał wskazuje, że ilość światła powinna być oceniana w relacji do funkcji, skali, sposobu użytkowania, charakteru przestrzeni i jej wrażliwości środowiskowej. W modelu decyzyjnym przekłada się to konieczność równoważenia kryteriów, z uwzględnieniem bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, efektywności energetycznej, kosztów eksploatacyjnych oraz ograniczania negatywnego oddziaływania światła na środowisko (Gaston et al., 2015; Zielińska-Dąbkowska, 2022).

Piąty wniosek doprecyzowuje zakres modelu. Badania potwierdziły znaczenie pionowych powierzchni w odbiorze przestrzeni nocnej, szczególnie w zakresie czytelności granic wnętrza urbanistycznego, orientacji i identyfikacji miejsca. W modelu powinny być uwzględnione te elementy pionowe, które pełnią funkcję przestrzenną, użytkową, orientacyjną lub porządkującą. Ten zakres należy do twórczego projektowania iluminacji architektonicznej i wymaga indywidualnej analizy kompozycyjnej, krajobrazowej, kulturowej i konserwatorskiej. Model może wskazywać znaczenie warstw pionowych w strukturze przestrzeni, natomiast decyzje dotyczące iluminacji wyższych partii elewacji powinny być prowadzone w ramach odrębnej koncepcji projektowej.

Zestawienie badań terenowych i ankietowych wskazuje, że klasyfikacja przestrzeni publicznych powinna mieć charakter wielowymiarowy. Dla potrzeb modelu niewystarczająca jest typologia oparta wyłącznie na funkcji, kategorii drogi lub klasie oświetleniowej. W dalszej formalizacji przyjęto więc, że opis kontekstu przestrzennego powinien obejmować sześć grup zmiennych: morfologię, funkcję, rodzaj wnętrza lub kompozycję przestrzenną, strukturę użytkowników, uwarunkowania środowiskowe oraz sposób użytkowania. Klasyfikacja kontekstu łączy analizę przestrzeni z późniejszym określaniem preferencji nadrzędnych, ważeniem kryteriów i oceną wariantów. Ogranicza

ryzyko przenoszenia tych samych założeń projektowych na przestrzenie o odmiennym charakterze, a zarazem stanowi pierwszą operację decyzyjną modelu.

Wnioski z badań własnych prowadzą do przyjęcia, że model oceny wariantów oświetleniowych powinien rozpoczynać się od rozpoznania charakteru analizowanej przestrzeni. Po określeniu kontekstu można zasadnie rozstrzygać, które cele oświetleniowe powinny mieć większe znaczenie: bezpieczeństwo, jakość przestrzenna, estetyka, ograniczenie oddziaływania środowiskowego, efektywność energetyczna, koszty czy zarządzalność systemu. W tym miejscu klasyfikacja kontekstu została uzasadniona jako konieczny pierwszy poziom modelu decyzyjnego. Jej szczegółową formalizacją, obejmującą grupy cech i warianty opisu analizowanej przestrzeni, przedstawiono w podrozdziale 7.5. Na tej podstawie możliwe będzie kolejny etap: określanie preferencji nadrzędnych, wag kryteriów oraz procedury oceny wariantów oświetleniowych.

7.2 Synteza badań własnych w kontekście oczekiwań wobec oświetlenia

Drugim obszarem syntezy badań własnych jest rozpoznanie oczekiwań użytkowników wobec oświetlenia przestrzeni publicznych. Zestawienie dwóch poziomów – cech przestrzeni i oczekiwań użytkowników – tworzy podstawę modelu, w którym warianty oświetleniowe są oceniane równocześnie w wymiarze technicznym, przestrzennym i percepcyjnym. Badanie ankietowe zostało zaprojektowane w taki sposób, aby uchwycić dwa powiązane, ale odrębne porządki oceny. Wyniki badań wskazują, że oczekiwania wobec oświetlenia obejmują znacznie więcej niż podstawową widzialność powierzchni komunikacyjnych. Respondenci odnosili swoje oceny do tych elementów, które budują czytelność miejsca, granice wnętrza urbanistycznego, tło dla ruchu pieszego, orientację przestrzenną oraz poczucie bezpieczeństwa. Znaczenie uzyskały jezdnie, chodniki i drogi rowerowe, a także partery i elewacje budynków, zieleń oraz pionowe i krajobrazowe elementy struktury miejsca. W projektowaniu oświetlenia publicznego należy więc analizować światło jako układ relacji pomiędzy warstwami przestrzeni: powierzchniami komunikacyjnymi, elementami pionowymi, zielenią, granicami wnętrza urbanistycznego oraz tłem widokowym. Wyniki badania uzasadniają rozszerzenie modelu o kryteria jakościowe i deskryptory opisujące te cechy przestrzeni, których nie wyrażają bezpośrednio podstawowe parametry ilościowe. Badania wskazały, że ocena ilości światła wymaga odniesienia do funkcji, skali, intensywności użytkowania i wrażliwości środowiskowej miejsca. W przestrzeniach intensywnie użytkowanych wyższy poziom światła może wspierać orientację i poczucie bezpieczeństwa. W przestrzeniach spokojniejszych, zielonych, krajobrazowych lub środowiskowo wrażliwych nadmierna ekspozycja może zaburzać charakter miejsca, wzmacniać kontrasty, rozjaśniać tło lub zwiększać oddziaływanie światła poza obszarem rzeczywistej potrzeby użytkowej. W modelu decyzyjnym wniosek ten prowadzi do równoważenia kryteriów bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, oddziaływania środowiskowego, efektywności energetycznej, kosztów i zarządzalności. Rola oświetlenia powinna pozostawać powiązana ze skalą, funkcją

i wrażliwością środowiskową miejsca³². Szczęólnego znaczenia nabiera relacja pomiędzy oświetleniem poziomymi pionowym. Wyniki badań własnych potwierdziły, że użytkownicy odnoszą ocenę przestrzeni nocnej nie tylko do powierzchni, po których się poruszają, ale również do elementów znajdujących się w polu widzenia. Elewacje, partery budynków, obszary zieleni, granice wnętrza urbanistycznego wpływają na to, czy przestrzeń jest czytelna, rozpoznawalna i odbierana jako bezpieczna. W modelu decyzyjnym powinno to znaleźć odzwierciedlenie w kryteriach odnoszących się do czytelności struktury przestrzeni, jakości nocnego obrazu oraz relacji pomiędzy warstwami oświetlenia.

Równocześnie należy zachować rozróżnienie pomiędzy oświetleniem pionowych elementów wspierających czytelność przestrzeni publicznej a iluminacją architektoniczną rozumianą jako autonomiczna kompozycja świetlna. Wyniki badań uzasadniają włączenie do modelu tych elementów pionowych, które są istotne dla orientacji, rozpoznawalności wejść, granic przestrzeni, parterów i podstawowej struktury wnętrza urbanistycznego. Oświetlenie wyższych partii elewacji, dominant, detalu architektonicznego lub kompozycji iluminacyjnych powinno być traktowane jako zagadnienie projektowe wymagające indywidualnej koncepcji. Model może wskazywać znaczenie tej warstwy dla odbioru miejsca, natomiast jej szczegółowe rozwiązanie należy do procesu twórczego, kompozycyjnego i iluminacyjnego.

Kluczowe zależności wynikające z badań ankietowych oraz ich znaczenie dla modelu zestawiono w Tabeli 48. Oczekiwania użytkowników zostają w niej przeniesione do modelu w trzech grupach rozstrzygnięć modelowych:

- kryteria jakościowe – określające zakres oceny czytelności, orientacji, estetyki, poczucia bezpieczeństwa oraz relacji między warstwami przestrzeni;
- deskryptory oceny – opisujące poziomy jakości w sposób możliwy do zastosowania w analizie wielokryterialnej;
- wagi kryteriów – różnicujące znaczenie oczekiwań użytkowników zależnie od kontekstu przestrzennego i sposobu użytkowania miejsca.

Etapem dalszej formalizacji modelu jest przełożenie oczekiwań użytkowników na kryteria szczegółowe, deskryptory oceny oraz mechanizm ważenia (Ryc.76). Oczekiwania użytkowników różnicują się w zależności od składowej przestrzeni, odnoszą się zarówno do ilości światła, jak i jakości nocnego odbioru, a ich znaczenie zmienia się wraz z funkcją i charakterem miejsca. Dzięki temu wyniki badania ankietowego mogą zostać powiązane z klasyfikacją kontekstu przestrzennego oraz procedurą wielokryterialnej oceny

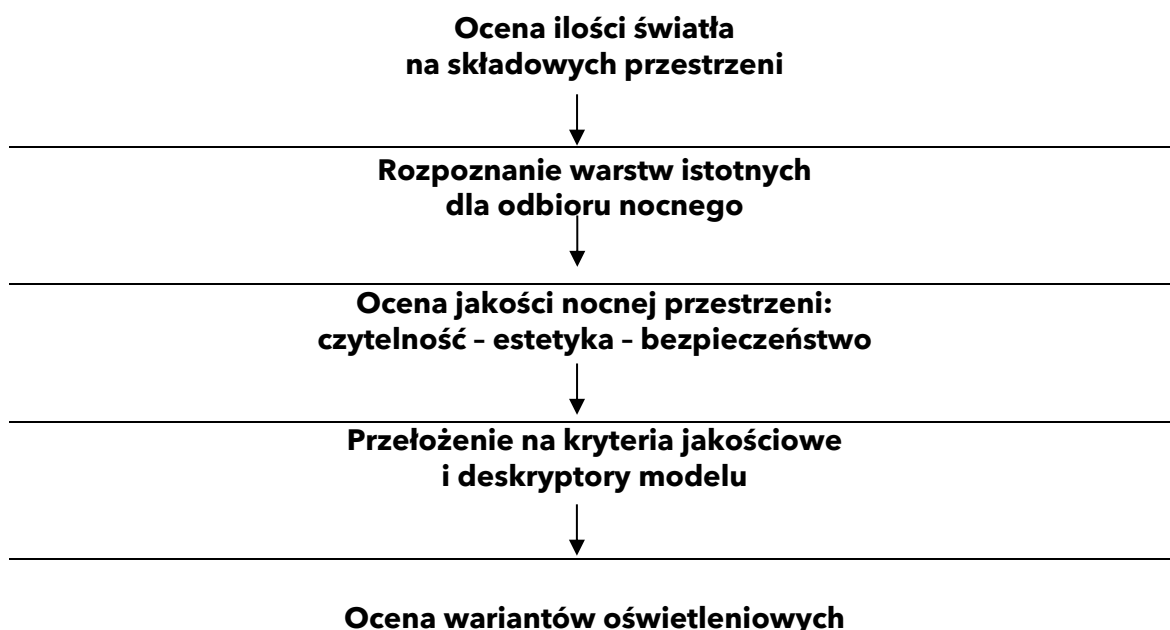
³² Takie ujęcie jest spójne z badaniami dotyczącymi percepcji środowisk nocnych, w których jakość oświetlenia wiąże się z rozkładem światła, widzialnością otoczenia, poczuciem bezpieczeństwa, możliwością orientacji i komfortem użytkowania przestrzeni (Boyce, 2014; Haans & de Kort, 2012; van Rijswijk & Haans, 2018; Wänström Lindh & Jägerbrand, 2021). Wyniki van Rijswijk i Haans wskazują na znaczenie jakości oświetlenia oraz cech środowiska, takich jak możliwość obserwacji otoczenia i ograniczenie poczucia pułapki, dla oceny bezpieczeństwa przestrzeni nocnej. Z kolei badania Burattini, Bisegny i De Santoliego pokazują, że komfort pieszego zależy m.in. od luminancji całej sceny, chodnika, ścian bocznych i sylwetki człowieka, co wzmacnia zasadność traktowania przestrzeni nocnej jako układu warstw widzenia.

wariantów³³. W dalszej części rozdziału, w podrozdziale 7.3, przedstawiono sposób przejścia od tych wniosków do struktury modelu decyzyjnego. Oczekiwania użytkowników są w modelu przesłanką kształtowania kryteriów jakościowych, deskryptorów i relacji pomiędzy kontekstem przestrzennym a wagami kryteriów. Dzięki temu wyniki badań ankietowych zostają powiązane z klasyfikacją przestrzeni oraz procedurą wielokryterialnego porównywania wariantów oświetleniowych.

Obszar oczekiwań użytkowników	Wniosek z badań	Znaczenie dla modelu
Ilość światła na składowych przestrzeni	Respondenci różnicowali oceny jezdni, chodników, elewacji, zieleni niskiej i zieleni wysokiej.	Ocena wariantu powinna obejmować relacje pomiędzy warstwami przestrzeni, a nie wyłącznie poziom światła na powierzchni komunikacyjnej.
Czytelność i orientacja	Odbiór przestrzeni po zmroku zależy od widoczności elementów prowadzących, granic wnętrza urbanistycznego i punktów rozpoznawczych.	Model powinien uwzględniać kryteria związane z czytelnością układu, orientacją i rozpoznawalnością miejsca.
Estetyka i charakter miejsca	Ocena ilości światła nie wyczerpuje oceny jakości nocnego obrazu przestrzeni.	Model powinien zawierać kryteria jakości przestrzennej i kompozycji świetlnej.
Poczucie bezpieczeństwa	Bezpieczeństwo było powiązane z poziomem światła, widocznością otoczenia i możliwością rozpoznania przestrzeni.	Model powinien łączyć wymagania bezpieczeństwa z oceną widoczności warstw pionowych, ciągów pieszych i granic przestrzeni.
Adekwatność światła	Korzystna ocena przestrzeni zależy od dopasowania światła do funkcji, skali i wrażliwości miejsca.	Model powinien równoważyć jakość, bezpieczeństwo, środowisko, efektywność energetyczną, koszty i zarządzalność.
Warstwy pionowe	Elewacje i zieleń wpływają na odbiór przestrzeni, natomiast iluminacja wyższych partii elewacji wymaga odrębnej koncepcji projektowej.	Model powinien uwzględniać pionowe warstwy istotne dla czytelności przestrzeni, zachowując odrębność procesu projektowania iluminacji architektonicznej.

Tabela 48. Oczekiwania wobec oświetlenia wynikające z badań ankietowych i ich znaczenie dla modelu. Opracowanie własne.

³³ Wyniki badań własnych są w tym zakresie zgodne z kierunkiem współczesnych badań nad publicznym oświetleniem i oceną użytkowników. Castilla, Blanca-Giménez, Pérez-Carramiñana i Llinares wskazują, że subiektywna ocena środowiska oświetleniowego przez mieszkańców pozostaje istotna również w kontekście rozwoju systemów smart city i efektywności energetycznej. Z kolei Wänström Lindh i Jägerbrand ujmują oświetlenie miejskie w relacji do potrzeb człowieka, co wspiera przyjęte w pracy powiązanie parametrów technicznych z percepcją i użytkowaniem przestrzeni. Włączenie oczekiwań użytkowników do modelu decyzyjnego ma więc znaczenie nie tylko empiryczne, ale także metodologiczne: pozwala przekształcić dane ankietowe w element struktury oceny wariantów.



Ryc.76. Przejście od ocen użytkowników do kryteriów modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

7.3 Przejście od wyników badań do struktury modelu decyzyjnego

Zestawienie ustaleń z wcześniejszych części rozprawy³⁴ prowadzi do wyodrębnienia pięciu powiązanych poziomów modelu.

- 1 poziom obejmuje opis kontekstu przestrzennego.
- 2 porządkuje preferencje nadrzędne, czyli ogólne priorytety wynikające z charakteru miejsca i celu decyzji.
- 3 obejmuje kryteria szczegółowe, pozwalające ocenić warianty w zakresie bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, oddziaływania środowiskowego, trwałości, zarządzalności, efektywności energetycznej oraz kosztów.
- 4 poziom stanowią deskryptory, które nadają ocenie jakościowej uporządkowaną postać możliwą do zastosowania w analizie wielokryterialnej.
- 5 poziom obejmuje procedurę porównywania wariantów i interpretacji wyniku.

Z metodologicznego punktu widzenia kluczowe znaczenie ma rozdzielenie trzech porządków: opisu kontekstu, modelu preferencji i oceny wariantów. Opis kontekstu określa, jaka przestrzeń jest analizowana i które jej cechy wpływają na potrzeby

³⁴ Badania empiryczne opisane w Rozdziale 6 pełnią w rozprawie funkcję operacjonalizującą. Pozwalają przełożyć wcześniejsze ustalenia analityczne i teoretyczne na elementy modelu możliwe do zastosowania w ocenie wariantów oświetleniowych. Rozdział 3 dostarcza podstaw do przyjęcia klasyfikacji kontekstu przestrzennego jako pierwszego modułu modelu, rozdział 4 określa projektowe, techniczne i normatywne wymiary oceny, rozdział 5 uzasadnia zastosowanie podejścia wielokryterialnego, natomiast rozdział 6 wskazuje cechy przestrzeni, parametry oświetleniowe, warstwy widzenia oraz wymiary odbioru, które powinny zostać przeniesione do struktury oceny wariantów.

oświetleniowe. Model preferencji wskazuje, które cele uzyskują większe znaczenie w danej sytuacji projektowej. Ocena wariantów umożliwia porównać konkretne rozwiązania według przyjętych kryteriów i wag. Rozdzielenie zwiększa przejrzystość procedury oraz umożliwia kontrolę nad tym, w którym miejscu procesu decyzyjnego wprowadzane są dane opisowe, wartościujące i obliczeniowe. Jest to istotne szczególnie w problemach projektowych, w których strukturyzacja problemu poprzedza właściwą analizę wielokryterialną, a cele decyzji muszą zostać ujawnione przed oceną dostępnych wariantów³⁵. Ważnym jest odróżnienie badań empirycznych od reguł decyzyjnych. Badania opisane w rozdziale 6 pokazują zależności występujące w analizowanym materiale: relacje pomiędzy typem przestrzeni, ilością i rozkładem światła, widocznością poszczególnych warstw oraz oceną użytkowników. Model przekształca te zależności w procedurę możliwą do zastosowania przy ocenie kolejnych przypadków. Badania pełnią więc funkcję uzasadniającą i kalibracyjną, natomiast model pełni funkcję operacyjną.

Przyjęta struktura ma znaczenie aplikacyjne. W praktyce projektowej rozpoznanie miejsca, preferencje inwestora, wymagania normowe, koszty i intuicyjna ocena jakości rozwiązania często występują równocześnie. Model porządkuje te elementy w sekwencję działań: najpierw rozpoznawany jest charakter przestrzeni, następnie określone są preferencje i wagi, a dopiero później oceniane są warianty. Taki układ zapewnia czytelność oceny dla projektanta, zarządcy i decydenta oraz kontrolę przyjętych założeń. W dalszej części rozdziału założenia te zostaną rozwinięte w postaci autorskiego modelu decyzyjnego. Podrozdział 7.4 określa ogólne założenia modelu, natomiast kolejne podrozdziały przedstawiają jego elementy: klasyfikację kontekstu przestrzennego, preferencje nadrzędne i logikę wag, kryteria szczegółowe i deskryptory oceny oraz formalizację procedury MCDA/PROMETHEE.

7.4 Założenia autorskiego modelu decyzyjnego

Autorski model decyzyjny opracowany w niniejszej rozprawie stanowi procedurę wspomagającą ocenę i porównywanie wariantów oświetlenia przestrzeni publicznych. Jego konstrukcja wynika z założenia, że decyzja oświetleniowa powinna być wyprowadzana z rozpoznania charakteru konkretnej przestrzeni, sposobu jej użytkowania oraz wynikających z nich potrzeb oświetleniowych. Model porządkuje przejście od opisu miejsca, przez określenie preferencji i wag, do wielokryterialnej oceny wariantów projektowych. Punktem wyjścia modelu jest przestrzeń. Procedura rozpoczyna się od rozpoznania morfologii, funkcji, kompozycji wnętrza urbanistycznego, struktury użytkowników, uwarunkowań środowiskowych oraz sposobu użytkowania po zmroku. Z wcześniejszych rozdziałów rozprawy wynika, że potrzeby oświetleniowe zależą od

³⁵ Takie ujęcie pozostaje spójne z podejściem zorientowanym na wartości, w którym punktem wyjścia oceny są cele decyzji, a nie wyłącznie dostępne warianty techniczne (Keeney, 1992), oraz z podejściem wskazującym, że strukturyzacja problemu powinna poprzedzać właściwą analizę wielokryterialną i pozwalać na uchwycenie relacji między celami, kryteriami i wariantami decyzji (Marttunen et al., 2017). Znaczenie tej sekwencji jest szczególnie istotne w decyzjach przestrzennych, w których skutki wariantów odnoszą się do wielu grup interesariuszy, różnych skal oddziaływania oraz częściowo konfliktowych celów (Ferretti & Montibeller, 2016).

kontekstu przestrzennego, a ten sam poziom światła może pełnić odmienne funkcje w różnych typach przestrzeni. Wymagania normatywne są podstawowym punktem odniesienia dla oceny poprawności technicznej wszędzie tam, gdzie mają zastosowanie, natomiast charakter przestrzeni określa sposób różnicowania potrzeb, preferencji i kryteriów oceny.

Model został zbudowany jako sekwencja trzech powiązanych kroków (Tabela 49). Pierwszy obejmuje klasyfikację kontekstu przestrzennego. Drugi prowadzi do określenia preferencji nadrzędnych oraz wag kryteriów. Trzeci obejmuje ocenę wariantów oświetleniowych i ich porównanie z wykorzystaniem procedury MCDA/PROMETHEE. Takie rozdzielenie ma znaczenie metodologiczne. Porządkuje trzy różne poziomy analizy: opis przestrzeni, wartościowanie celów oraz ocenę konkretnych rozwiązań projektowych. Dzięki temu możliwe staje się wskazanie, które elementy wyniku wynikają z cech miejsca, które z przyjętych preferencji, a które z jakości analizowanych wariantów.

Klasyfikacja kontekstu ma charakter opisowy i poprzedza ocenę wariantów. Na tym etapie model tworzy profil przestrzeni, który w kolejnym kroku zostaje przełożony na preferencje nadrzędne i wagi kryteriów. Takie uporządkowanie zwiększa przejrzystość procedury oraz ogranicza ryzyko mieszania danych opisowych, wartościujących i obliczeniowych, które w praktyce projektowej często funkcjonują równocześnie.

Krok	Wejście	Operacja	Wynik
1. Rozpoznanie kontekstu	Cechy analizowanej przestrzeni	Klasyfikacja kontekstu przestrzennego	Profil przestrzeni
2. Preferencje i wagi	Profil przestrzeni, reguły preferencji, priorytety decyzyjne	Wyznaczenie preferencji nadrzędnych i wag kryteriów	Wektor wag
3. Ocena wariantów	Warianty oświetleniowe, oceny kryterialne, funkcje preferencji	Porównanie wariantów metodą PROMETHEE	Ranking i wariant rekomendowany

Tabela 49. Trójetapowa procedura oceny wariantów oświetleniowych w autorskim modelu decyzyjnym. Opracowanie własne.

Pierwszym założeniem modelu jest kontekstowość oceny. Oświetlenie przestrzeni publicznej traktowane jest jako element kształtowania nocnego środowiska przestrzennego, obejmujący funkcje komunikacyjne, użytkowe, percepcyjne, kompozycyjne, środowiskowe i eksploatacyjne. Ocenie podlega poziom światła oraz jego rola w organizacji widzenia, orientacji, poczucia bezpieczeństwa, relacji między warstwami przestrzeni, jakości nocnego obrazu, oddziaływania środowiskowego oraz kosztów realizacji i eksploatacji. Takie ujęcie pozwala włączyć do oceny zarówno warstwę komunikacyjną, jak i elementy pionowe, zieleń, granice wnętrza urbanistycznego oraz miejsca o znaczeniu orientacyjnym. Zasadność uwzględniania użytkowej i percepcyjnej oceny oświetlenia potwierdzają współczesne badania nad subiektywną oceną

środowiska oświetleniowego przez mieszkańców oraz nad wpływem luminancji całej sceny, chodnika, ścian bocznych i sylwetki człowieka na komfort pieszego po zmroku (Burattini et al., 2025; Castilla et al., 2024).

Drugim założeniem jest wielokryterialność decyzji. Wybór wariantu oświetleniowego wymaga równoczesnego uwzględnienia bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, estetyki, ekologii, trwałości i niezawodności, efektywności energetycznej, kosztów oraz zarządzalności systemu. Kryteria te tworzą układ współzależności i napięć. Wariant korzystny kosztowo może generować wyższe koszty eksploatacyjne, rozwiązanie energooszczędne może obniżać jakość odbioru przestrzeni, a intensywniejsza ekspozycja świetlna może wzmacniać poczucie bezpieczeństwa w jednym kontekście i zwiększać obciążenie środowiskowe w innym. Analiza wielokryterialna umożliwia uporządkowanie tych relacji oraz jawne przedstawienie konsekwencji wyboru.

Trzecim założeniem jest jawność procesu ważenia. W modelu przyjęto mechanizm preferencji nadrzędnych, który porządkuje główne cele oświetleniowe i stanowi warstwę pośrednią pomiędzy opisem przestrzeni a szczegółowymi kryteriami oceny. Preferencje nadrzędne obejmują pięć obszarów: bezpieczeństwo, ekonomię, ekologię, estetykę oraz zarządzalność. Dzięki temu proces określania wag staje się czytelny dla projektanta, zarządcy i decydenta, a jednocześnie możliwy do formalnego przełożenia na kryteria szczegółowe.

Czwartym założeniem jest możliwość pracy w dwóch wariantach ważenia. Wariant ekspercki opiera się na charakterze przestrzeni i prowadzi do wyznaczenia wag wynikających z logiki miejsca. Pełni funkcję referencyjną, ponieważ pokazuje hierarchię kryteriów wynikającą z kontekstu. Wariant decyzyjny umożliwia kontrolowane uwzględnienie aktualnych priorytetów zarządczych, takich jak redukcja kosztów, zwiększenie bezpieczeństwa, ograniczenie oddziaływania środowiskowego albo poprawa jakości przestrzennej. Oba warianty korzystają z tej samej struktury kryteriów i deskryptorów, co zapewnia porównywalność wyników oraz możliwość prowadzenia analiz scenariuszowych.

Piątym założeniem jest łączenie danych ilościowych i jakościowych. Ocena wariantów obejmuje parametry mierzalne, takie jak koszty, zużycie energii, trwałość, możliwość sterowania czy spełnienie wymagań ilościowych oraz kryteria jakościowe dotyczące spójności architektonicznej, estetyki infrastruktury, czytelności przestrzeni, relacji z krajobrazem i oddziaływania światła na charakter miejsca. Deskryptory oceny porządkują sposób przypisywania wartości kryteriom jakościowym i wzmacniają powtarzalność oceny eksperckiej.

Szóstym założeniem jest porównawczy charakter wyniku. Model wskazuje wariant, który w ramach przyjętego kontekstu, preferencji i zestawu kryteriów osiąga najkorzystniejszy bilans przewag i słabości. Wynik ma charakter relacyjny i powinien być interpretowany w odniesieniu do pozostałych wariantów. Zastosowanie metody PROMETHEE pozwala przedstawić ranking końcowy oraz strukturę przewag wariantów względem siebie, co wzmacnia interpretacyjny i diagnostyczny charakter modelu.

Siódmym założeniem jest aplikacyjność modelu. Procedura została zaprojektowana jako narzędzie możliwe do zastosowania w praktyce projektowej, zarządczej i inwestycyjnej. Model porządkuje przesłanki wyboru, ujawnia wpływ przyjętych preferencji i ułatwia porównanie wariantów. W takim ujęciu model staje się narzędziem

argumentacji projektowej i zarządczej, wspierającym przejście od intuicyjnego lub kosztowego wyboru wariantu do procedury bardziej przejrzystej, porównywalnej i uzasadnionej.

Podsumowanie założenia modelu zestawiono syntetycznie w Tabeli 50. Przyjęta struktura wzmacnia przejrzystość modelu. Opis kontekstu pozostaje oddzielony od ocenianych wariantów, preferencje i wagi wynikają z charakteru przestrzeni lub z kontrolowanych priorytetów decyzyjnych, a ocena wariantów następuje po zdefiniowaniu kryteriów i zasad porównania. Kontekst przestrzenny określa warunki decyzji, preferencje nadrzędne wskazują hierarchię celów, kryteria szczegółowe i deskryptory umożliwiają ocenę wariantów, a procedura MCDA/PROMETHEE porządkuje ich porównanie. Wynik oceny należy interpretować jako wskazanie wariantu rekomendowanego oraz jako informację o strukturze jego przewag i słabości. Ma to znaczenie praktyczne, ponieważ w decyzjach dotyczących oświetlenia przestrzeni publicznych sam ranking wymaga uzupełnienia o wyjaśnienie, z czego wynika przewaga danego rozwiązania: z kosztu, trwałości, jakości przestrzennej, ograniczenia oddziaływania środowiskowego czy z lepszego bilansu kilku kryteriów. Z tego względu w dalszej formalizacji modelu znaczenie ma końcowy wynik, stabilność rekomendacji, relacje przewagi i słabości pomiędzy wariantami oraz wrażliwość wyniku na przyjęty układ wag.

Założenie	Znaczenie dla modelu
Kontekstowość oceny	Punktem wyjścia jest charakter przestrzeni: morfologia, funkcja, kompozycja, użytkownicy, środowisko i sposób użytkowania po zmroku.
Wielokryterialność decyzji	Ocena obejmuje równoczesne uwzględnienie bezpieczeństwa, jakości przestrzeni, estetyki, ekologii, ekonomii, zarządzalności oraz trwałości i niezawodności jako kryteriów eksploatacyjnych.
Jawność preferencji i wag	Znaczenie kryteriów jest określane przez warstwę preferencji nadrzędnych oraz formalny mechanizm ważenia.
Dwa warianty ważenia	Wariant ekspercki wynika z cech kontekstu, a wariant decyzyjny pozwala analizować kontrolowane scenariusze priorytetów zarządczych.
Łączenie danych ilościowych i jakościowych	Model wykorzystuje parametry mierzalne oraz deskryptory jakościowe możliwe do zastosowania w analizie MCDA.
Porównawczy charakter wyniku	Wynik wskazuje wariant najlepiej równoważący przyjęte cele w określonym kontekście przestrzennym i decyzyjnym.
Aplikacyjność	Procedura może wspierać ocenę pojedynczych projektów, wariantów modernizacyjnych oraz decyzji strategicznych w planowaniu oświetlenia.

Tabela 50. Główne założenia autorskiego modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

Zakres stosowania modelu obejmuje sytuacje, w których możliwe jest porównanie co najmniej dwóch wariantów oświetleniowych opisanych według wspólnego zestawu

kryteriów. Model może być wykorzystywany na etapie koncepcyjnym, gdy porównywane są odmienne kierunki projektowe oraz na etapie wyboru rozwiązania technicznego, gdy analizie podlegają warianty infrastruktury, sterowania, kosztu, oddziaływania środowiskowego lub jakości przestrzennej. W przypadku rozwiązań artystycznych, iluminacyjnych lub eventowych model może pełnić funkcję pomocniczą, uzupełniając odrębną ocenę ekspercką wartości kompozycyjnej i symbolicznej.

Podsumowując, autorski model decyzyjny opiera się na siedmiu założeniach: kontekstowości, wielokryterialności, jawności preferencji, dwuwariantowym mechanizmie ważenia, łączeniu kryteriów ilościowych i jakościowych, porównawczym charakterze wyniku oraz aplikacyjności. Założenia te wyznaczają przejście od rozpoznania przestrzeni i potrzeb użytkowników do formalnej procedury oceny wariantów oświetleniowych. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono szczegółowe elementy modelu: klasyfikację kontekstu przestrzennego, preferencje nadrzędne i logikę wag, kryteria szczegółowe wraz z deskryptorami oraz procedurę porównawczą MCDA/PROMETHEE.

7.5 Klasyfikacja kontekstu przestrzennego

Pierwszym etapem modelu decyzyjnego jest klasyfikacja kontekstu przestrzennego analizowanej przestrzeni publicznej (Tabela 51). Celem tego kroku jest jednoznaczne określenie charakteru miejsca za pomocą zestawu cech opisowych, niezależnych od rozpatrywanych wariantów oświetlenia. Na tym etapie model nie zawiera jeszcze ocen, wag ani preferencji względem konkretnych rozwiązań technicznych. Klasyfikacja pełni funkcję formalnego opisu kontekstu decyzyjnego. Przyjęcie takiego kroku wynika z założenia, że priorytety oświetleniowe różnią się w zależności od funkcji przestrzeni, jej użytkowników, formy urbanistycznej, sposobu użytkowania oraz wrażliwości środowiskowej.

Formalna klasyfikacja kontekstu pozwala w kolejnym etapie różnicować wagi kryteriów w sposób jawny, obiektywizowany i powtarzalny. Jest to zgodne z logiką MCDA, w której strukturyzacja problemu poprzedza model preferencji oraz agregację wyników (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Marttunen et al., 2017).

W modelu przyjęto sześć grup cech opisujących analizowaną przestrzeń:

- K1- morfologia,
- K2 - funkcja,
- K3 - rodzaj wnętrza lub kompozycja przestrzenna
- K4 - użytkownicy,
- K5 - środowisko,
- K6 - sposób użytkowania.

Wynikiem klasyfikacji jest opisowy profil przestrzeni, stanowiący dane wejściowe do drugiego kroku modelu. Profil ten można zapisać jako zestaw wskazań:

- $K = \{K1, K2, K3, K4, K5, K6\}$, gdzie każda zmienna oznacza wybraną cechę analizowanej przestrzeni w danej kategorii.

Kategoria	Opis
Morfologia	Ulica lub obszar zabudowany
	Droga lub obszar niezabudowany
Funkcja	Mieszkalna
	Mieszkalna i komercyjna
	Komercyjna i usługowa
	Przemysłowa
	Rekreacyjna
	Rolna
	Lasy, nieużytki / natura
	Usługi dla mieszkańców
	Komunikacja drogowa
	Mieszkalna i komunikacyjna
Rodzaj wnętrza / kompozycja	Zamknięte, liniowe, h < 10 m
	Zamknięte, liniowe, h > 10 m
	Zamknięte, regularne
	Półzamknięte, regularne
	Półzamknięte, nieregularne
	Półzamknięte, liniowe
	Otwarte
Użytkownicy / społeczność	Mieszkańcy
	Podróżni
	Turyści
	Mieszkańcy, podróżni
	Mieszkańcy, podróżni, turyści
	Przyjezdni
Środowisko	Zieleń przyuliczna
	Zieleńce, klomby
	Parki
	Zieleń i parki osiedlowe
	Woda, nabrzeża, promenady
	Łąki i obszary rolne
	Lasy
	Zieleń niezagospodarowana
	Przyrodnicze / naturalne
Użytkowanie	Podstawowe
	Okazjonalne
	Podstawowe i okazjonalne

Tabela 51. Macierz kontekstowa analizowanej przestrzeni. Opracowanie własne.

Zadaniem zestawu cech jest opisanie tych właściwości miejsca, które mają znaczenie dla decyzji oświetleniowej. Ta sama funkcja może bowiem występować w różnych układach morfologicznych i środowiskowych. Przestrzeń mieszkalna może być zwartą ulicą śródmiejską, ulicą w zabudowie jednorodzinnej, przestrzenią osiedlową z zielenią albo układem mieszkaniowo-komunikacyjnym. Każda z tych sytuacji generuje inne relacje pomiędzy bezpieczeństwem, czytelnością, estetyką, kosztami, zarządzalnością i oddziaływaniem środowiskowym. W celu ograniczenia niejednoznaczności interpretacyjnej opracowano słownik kategorii opisowych stosowanych w klasyfikacji kontekstu przestrzennego (Tabela 52). Zestawienie definiuje sposób rozumienia poszczególnych pojęć używanych przy opisie morfologii, funkcji, kompozycji,

użytkowników, środowiska oraz sposobu użytkowania analizowanych przestrzeni. Dzięki temu klasyfikacja może być stosowana w sposób bardziej jednolity, a przypisanie konkretnego przypadku do danej kategorii staje się elementem procedury badawczej, a nie wyłącznie intuicyjną oceną projektanta.

Opis	Definicja / sposób rozumienia w modelu
Ulica lub obszar zabudowany	Przestrzeń położona w strukturze zurbanizowanej, której charakter określają zabudowa, ciągi komunikacyjne, elewacje, wejścia, infrastruktura techniczna oraz stałe lub okresowe użytkowanie przez ludzi.
Droga lub obszar niezabudowany	Przestrzeń komunikacyjna lub otwarta położona poza zwartą strukturą zabudowy, w której dominują funkcje przejazdu, krajobraz otwarty, tereny przyrodnicze, rolne lub techniczne.
Mieszkalna	Przestrzeń, której podstawowy charakter wynika z funkcji zamieszkania oraz codziennego użytkowania przez mieszkańców.
Mieszkalna i komercyjna	Przestrzeń łącząca funkcję zamieszkania z aktywnymi parterami, usługami, handlem lub innymi formami użytkowania komercyjnego.
Komercyjna i usługowa	Przestrzeń z dominacją funkcji handlowych, gastronomicznych, biurowych, usługowych lub innych aktywności związanych z obsługą użytkowników.
Przemysłowa	Przestrzeń związana z produkcją, logistyką, magazynowaniem, zapleczem technicznym lub obsługą terenów przemysłowych.
Rekreacyjna	Przestrzeń służąca wypoczynkowi, spacerom, aktywności fizycznej, spotkaniom społecznym lub czasowemu przebywaniu użytkowników.
Rolna	Przestrzeń związana z użytkowaniem rolniczym, położona poza zwartą strukturą miejską, zwykle o niskim poziomie urbanizacji i ograniczonej infrastrukturze.
Lasy, nieużytki / natura	Obszary o dominującym charakterze przyrodniczym, leśnym lub niezagospodarowanym, w których istotne znaczenie ma ochrona ciemności nocnej i ograniczenie presji światła.
Usługi dla mieszkańców	Przestrzeń związana z codzienną obsługą lokalnej społeczności, obejmująca m.in. dojścia do usług, placówek publicznych, sklepów, szkół, przystanków lub lokalnych centrów aktywności.
Komunikacja drogowa	Przestrzeń, której podstawową funkcją jest ruch pojazdów, pieszych lub rowerzystów, a decyzje oświetleniowe muszą uwzględniać bezpieczeństwo, czytelność i organizację ruchu.
Mieszkalna i komunikacyjna	Przestrzeń, w której funkcja zamieszkania współwystępuje z istotną funkcją przemieszczania się, np. ulice osiedlowe, dojazdowe lub pieszo-jezdne.
Zamknięte, liniowe, $h < 10$ m	Wnętrze urbanistyczne o wyraźnym przebiegu liniowym i niskim domknięciu przestrzennym, tworzonym przez zabudowę, zieleni lub inne granice o wysokości poniżej 10 m.
Zamknięte, liniowe, $h > 10$ m	Wnętrze urbanistyczne o wyraźnym przebiegu liniowym i silnym domknięciu przestrzennym, tworzonym przez wyższe elewacje, pierzeje lub inne granice przekraczające 10 m wysokości.
Zamknięte, regularne	Wnętrze urbanistyczne o czytelnych granicach i uporządkowanej geometrii, np. plac, dziedziniec, rynek lub regularnie ukształtowana przestrzeń zabudowy.
Półzamknięte, regularne	Przestrzeń częściowo domknięta, o względnie uporządkowanej kompozycji, w której granice są czytelne, lecz nie tworzą pełnego zamknięcia wnętrza.
Półzamknięte, nieregularne	Przestrzeń częściowo domknięta, ale o niejednorodnej geometrii, zmiennych granicach, różnej wysokości zabudowy, zieleni lub elementów ograniczających.
Półzamknięte, liniowe	Przestrzeń o przebiegu liniowym, w której jedna lub obie strony są częściowo ograniczone przez zabudowę, zieleni, skarpy, ogrodzenia lub inne elementy przestrzenne.
Otwarte	Przestrzeń o słabo zarysowanych granicach, dużej ekspozycji widokowej i ograniczonym domknięciu urbanistycznym, np. teren otwarty, nabrzeże, park lub krajobraz niezabudowany.
Mieszkańcy	Użytkownicy stałe lub regularnie związani z daną przestrzenią, najczęściej poprzez miejsce zamieszkania, codzienne dojścia, lokalne aktywności i powtarzalne użytkowanie.
Podróżni	Użytkownicy przemieszczający się przez daną przestrzeń w ramach podróży, przesiadek, dojazdów lub ruchu tranzytowego.

Turyści	Użytkownicy odwiedzający przestrzeń czasowo, często kierujący się potrzebą orientacji, identyfikacji miejsca, atrakcyjności wizualnej i czytelności przestrzeni reprezentacyjnych.
Mieszkańcy, podróżni	Przestrzeń użytkowana zarówno przez lokalną społeczność, jak i osoby przemieszczające się przez nią w ramach ruchu codziennego lub tranzytowego.
Mieszkańcy, podróżni, turyści	Przestrzeń o złożonej strukturze użytkowników, łącząca codzienne użytkowanie lokalne, ruch komunikacyjny oraz obecność użytkowników okazjonalnych lub odwiedzających.
Przyjezdni	Użytkownicy niezwiązani stale z miejscem, korzystający z przestrzeni czasowo, np. w związku z dojazdem, wydarzeniem, usługą, turystyką lub funkcją ponadlokalną.
Zieleń przyuliczna	Zieleń towarzysząca ulicom i ciągom komunikacyjnym, obejmująca drzewa, pasy zieleni, trawniki, krzewy i nasadzenia w bezpośredniej relacji z ruchem.
Zieleńce, klomby	Niewielkie formy zieleni urządzonej, pełniące funkcję estetyczną, kompozycyjną lub porządkującą w przestrzeni publicznej.
Parki	Większe tereny zieleni urządzonej, przeznaczone do rekreacji, spacerów, odpoczynku, kontaktu z przyrodą oraz aktywności społecznych.
Zieleń i parki osiedlowe	Tereny zieleni związane z zabudową mieszkaniową, użytkowane głównie przez mieszkańców, często łączące funkcje dojścia, rekreacji, odpoczynku i lokalnej integracji.
Woda, nabrzeża, promenady	Przestrzenie związane z obecnością wody, brzegiem rzeki, jeziora, kanału lub morza, w których istotne są ekspozycja krajobrazowa, odbicia światła i ochrona nocnego pejzażu.
Łąki i obszary rolne	Otwarte tereny zielone lub użytkowane rolniczo, zwykle o niskim poziomie zabudowy, ograniczonej infrastrukturze i podwyższonej wrażliwości krajobrazowej.
Lasy	Obszary z dominacją zieleni wysokiej i charakterem przyrodniczym, w których szczególnego znaczenia nabiera ograniczenie ingerencji świetlnej oraz ochrona siedlisk.
Zieleń niezagospodarowana	Tereny zielone nieurządzone lub częściowo spontaniczne, bez wyraźnej zdefiniowanej funkcji rekreacyjnej, mogące pełnić funkcję buforową, krajobrazową lub przyrodniczą.
Przyrodnicze / naturalne	Obszary, w których dominują wartości przyrodnicze, ekologiczne lub krajobrazowe, a potrzeby oświetleniowe powinny być podporządkowane zasadzie minimalnej i kontrolowanej ingerencji.
Podstawowe	Użytkowanie przestrzeni wynikające z konieczności przemieszczania się, dojścia do celu, obsługi codziennych aktywności lub realizacji podstawowych funkcji komunikacyjnych.
Okazjonalne	Użytkowanie przestrzeni związane z pobytem, rekreacją, spotkaniami, turystyką, konsumpcją, obserwacją otoczenia lub świadomym doświadczaniem miejsca, a więc wykraczające poza samo przemieszczanie się.
Podstawowe i okazjonalne	Użytkowanie łączące funkcje codziennego przemieszczania się z funkcjami pobytowymi, rekreacyjnymi lub reprezentacyjnymi, w których przestrzeń pełni jednocześnie rolę trasy, miejsca zatrzymania oraz środowiska aktywności społecznej.

Tabela 52. Słownik kategorii opisowych stosowanych w klasyfikacji kontekstu przestrzennego.
Opracowanie własne.

Przykładowo analizowana przestrzeń może zostać opisana jako: ulica lub obszar zabudowany; funkcja mieszkalna i komunikacyjna; wewnątrz zamknięte liniowe $h > 10$ m; użytkownicy: mieszkańcy i podróżni; środowisko: zieleń przyuliczna; użytkowanie podstawowe. Taki profil nie przesądza jeszcze o jakości oświetlenia ani o wyborze wariantu. Określa natomiast kontekst, który w kolejnym etapie zostanie powiązany z preferencjami nadrzędnymi i wagami kryteriów. Wprowadzenie macierzy kontekstowej porządkuje pierwszy etap modelu bez wchodzenia w ocenę wariantów. Dwie osoby analizujące tę samą przestrzeń powinny dojść do zbliżonego opisu kontekstu, nawet jeżeli później różnią się w ocenie wariantów lub w przyjętych priorytetach decyzyjnych.

Macierz pełni zatem funkcję stabilizującą: ogranicza arbitralność późniejszego ważenia, Wagi nie są ustalane bezpośrednio, lecz wynikają z wcześniej jawnie opisanego profilu przestrzeni. Klasyfikacja kontekstu przestrzennego ma także znaczenie komunikacyjne. Umożliwia projektantowi, zarządcy i decydentowi rozpocząć analizę od wspólnego pytania: jaki typ przestrzeni jest przedmiotem decyzji. Dopiero po uzgodnieniu odpowiedzi można przejść do pytania o priorytety i warianty techniczne. Takie postępowanie wzmacnia przejrzystość procesu. Najpierw rozstrzyga się, „o jakim miejscu mówimy”, a dopiero później „jakie światło wprowadzamy”. Ten sposób pracy jest szczególnie zasadny w projektach publicznych, w których różne grupy interesariuszy mogą odmiennie rozumieć cel oświetlenia i odmiennie oceniać jego skutki.

Klasyfikacja kontekstu przestrzennego pełni w modelu trzy funkcje. Po pierwsze, opisuje charakter miejsca przed oceną wariantów. Po drugie, oddziela dane opisowe od późniejszego wartościowania i obliczeń. Po trzecie, tworzy podstawę do różnicowania preferencji i wag kryteriów w zależności od typu przestrzeni. Przełożenie cech kontekstu na preferencje nadrzędne i logikę wag przedstawiono w podrozdziale 7.7.

7.6 Kryteria szczegółowe i deskryptory oceny

Po sklasyfikowaniu kontekstu przestrzennego kolejnym etapem modelu jest określenie kryteriów szczegółowych, według których oceniane są warianty oświetleniowe. Kryteria te stanowią operacyjne przełożenie ustaleń wypracowanych w poprzednich częściach rozprawy na strukturę modelu decyzyjnego. Ich zadaniem jest przekształcenie złożonego problemu projektowego, obejmującego wymiar techniczny, przestrzenny, percepcyjny, środowiskowy, ekonomiczny i zarządczy, w zestaw kategorii możliwych do zastosowania w macierzy MCDA/PROMETHEE ³⁶.

Przyjęty zestaw kryteriów ma charakter autorskiej operacjonalizacji problemu decyzyjnego. Został wyprowadzony w procedurze syntezy obejmującej pięć źródeł: analizę problemu decyzyjnego, strukturyzację kontekstu przestrzennego, analizę projektowo-techniczną, uzasadnienie wielokryterialnej oceny oraz badania empiryczne. Takie postępowanie jest zgodne z podejściem MCDA, w którym złożony problem zostaje najpierw rozpisany na cele, kryteria i warianty, a następnie podlega formalnej procedurze

³⁶ W modelach wielokryterialnych kryteria są formalnym zapisem tego, co w danej decyzji uznaje się za istotne. Ich dobór powinien wynikać ze strukturyzacji problemu, a następnie umożliwiać porównywanie wariantów według jawnych i powtarzalnych zasad (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018). W przypadku decyzji publicznych i infrastrukturalnych szczególne znaczenie ma transparentność kryteriów. Wynik oceny powinien być możliwy do wyjaśnienia projektantom, zarządcom, decydentom i interesariuszom. Literatura dotycząca transportu i infrastruktury miejskiej wskazuje, że analizy oparte wyłącznie na kosztach lub klasycznej analizie kosztów i korzyści nie obejmują pełnego zakresu społecznych, środowiskowych i przestrzennych konsekwencji wariantów inwestycyjnych (Beria et al., 2012; Sayers et al., 2003; Tudela et al., 2006). Z tego względu konstrukcja kryteriów w niniejszym modelu została podporządkowana logice wielokryterialnej.

porównawczej (Belton & Stewart, 2002; Keeney & Raiffa, 1976; Papathanasiou & Ploskas, 2018). Kryteria obejmują zarówno parametry ilościowe, jak i jakościowe. W decyzjach wielokryterialnych przedmiotem oceny są cele i wartości, które dane rozwiązanie ma realizować, a nie wyłącznie dostępność mierników technicznych (Keeney & Raiffa, 1976). Ocena oświetlenia przestrzeni publicznych powinna łączyć koszty, efektywność energetyczną, trwałość i zgodność techniczną z czytelnością przestrzeni, kompozycją światła, relacją z architekturą, percepcją użytkowników oraz wpływem na środowisko nocne. Dobór liczby kryteriów został podporządkowany zasadzie kompletności, rozłączności interpretacyjnej i użyteczności aplikacyjnej. Kompletność oznacza objęcie głównych wymiarów decyzji zidentyfikowanych w rozprawie: bezpieczeństwa, jakości przestrzenno-estetycznej, oddziaływania środowiskowego, ekonomiki rozwiązania, trwałości eksploatacyjnej oraz zarządzalności. Rozłączność interpretacyjna oznacza, że każde kryterium akcentuje inny wymiar oceny wariantu, nawet jeżeli w praktyce projektowej pomiędzy tymi wymiarami występują zależności. Użyteczność aplikacyjna oznacza ograniczenie liczby kryteriów do poziomu możliwego do zastosowania w realnym procesie projektowym, zarządczym i inwestycyjnym. Podobną potrzebę przejrzystości, elastyczności i użyteczności procedur wielokryterialnych wskazywano w badaniach dotyczących transportu, rewitalizacji miejskiej i planowania infrastruktury (Coutinho-Rodrigues et al., 2011; Palicki, 2015; Rybarczyk & Wu, 2010; Sayers et al., 2003; Yannis et al., 2020). Źródła wyprowadzenia kryteriów szczegółowych oraz uzasadnienie ich włączenia do modelu zestawiono w Tabeli 53.

Na tej podstawie w modelu przyjęto jedenaście kryteriów szczegółowych oznaczonych symbolami C1-C11. Kryteria te obejmują wymagania techniczne i normatywne, jakość przestrzenną, percepcję użytkowników, oddziaływanie środowiskowe, trwałość, zarządzalność oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne (Tabela 54). Wszystkie kryteria jakościowe w modelu oceniane są w pięciostopniowej skali porządkowej od 1 do 5. Skala została oparta na deskryptorach, ze względu na część cech wariantu oświetleniowego który ma charakter jakościowy i wymaga eksperckiego uporządkowania. Dotyczy to zwłaszcza kompozycji świetlnej, czytelności przestrzeni, relacji oświetlenia do architektury, wpływu na krajobraz nocny, serwisowalności systemu i zarządzalności. Przyjęcie pięciostopniowej skali deskryptorowej zapewnia równowagę pomiędzy precyzją oceny a jej komunikowalnością. Skala 1-5 jest czytelna dla decydentów, zgodna z logiką ocen eksperckich i wystarczająca do różnicowania wariantów w procedurze MCDA. Deskryptory wzmacniają powtarzalność oceny, ponieważ każdemu poziomowi skali przypisują określone znaczenie merytoryczne. Pełnią zatem funkcję operacjonalizacji jakości i porządkują profesjonalny osąd projektowy. Kryteria kosztowe C10 i C11 mają charakter minimalizowany. Wartości finansowe są przekształcane do skali 1-5, aby mogły zostać włączone do wspólnej macierzy decyzyjnej razem z kryteriami jakościowymi. Ocena 5 oznacza wariant najkorzystniejszy kosztowo w zbiorze porównywanych rozwiązań, a ocena 1 wariant najmniej korzystny. Normalizacja CAPEX i TCO ma charakter relatywny wobec zbioru porównywanych wariantów. Ocena 5 nie oznacza kosztu absolutnie niskiego, lecz najkorzystniejszy koszt w danym zestawie wariantów.

Kryterium	Źródło wyprowadzenia w rozprawie	Uzasadnienie włączenia do modelu
C1. Bezpieczeństwo	Rozdział 2: funkcje oświetlenia; rozdział 4: wymagania PN-EN 13201; rozdział 6: odniesienie pomiarów do poziomów normatywnych i ocen bezpieczeństwa	Bezpieczeństwo stanowi warunek podstawowy użytkowania przestrzeni po zmroku, ale wymaga uzupełnienia o aspekt percepcyjny, w tym rozpoznawalność użytkowników.
C2. Estetyka i wzornictwo infrastruktury	Rozdział 3: relacja infrastruktury do przestrzeni; rozdział 4: warstwa architektoniczna i technologiczna; rozdział 5: estetyka i wizerunek miejsca	Infrastruktura oświetleniowa jest widocznym elementem przestrzeni publicznej także w dzień, dlatego jej forma, lokalizacja i jakość wykonania wpływają na odbiór miejsca.
C3. Jakość oświetlenia przestrzeni	Rozdział 3: warstwy przestrzeni; rozdział 4: kompozycja świetlna; rozdział 6: ankietowa ocena jezdni, chodników, elewacji i zieleni	Badania wykazały, że jakość oświetlenia nie może być oceniana wyłącznie przez warstwę komunikacyjną; istotne są relacje poziome, pionowe i krajobrazowe.
C4. Spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej	Rozdział 3: kompozycja wnętrza urbanistycznego; rozdział 4: koncepcja świetlna, masterplany i światło kreatywne; rozdział 5: jakość przestrzenna	Kryterium pozwala ocenić, czy światło wynika ze świadomej koncepcji przestrzennej, czy pozostaje rozwiązaniem techniczno-infrastrukturalnym.
C5. Gospodarka zasobami i materiały systemu	Rozdział 4: infrastruktura i technologie; rozdział 5: zrównoważony rozwój, trwałość, środowisko i eksploatacja	System oświetleniowy jest materialną infrastrukturą o określonym cyklu życia; jego ocena wymaga uwzględnienia materiałów, serwisowości i możliwości ponownego użycia.
C6. Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy	Rozdział 3: kontekst środowiskowy; rozdział 5: wpływ światła na środowisko nocne; rozdział 6: zróżnicowanie przestrzeni zielonych, otwartych i wrażliwych	Kryterium wynika z potrzeby ograniczania światła zbędnego, kontroli kierunku emisji, czasu świecenia i barwy światła, zwłaszcza w przestrzeniach środowiskowo wrażliwych.
C7. Trwałość i niezawodność	Rozdział 4: infrastruktura i technologie; rozdział 5: ekonomiczny i eksploatacyjny wymiar decyzji	Trwałość i niezawodność wpływają na koszty eksploatacji, ciągłość działania systemu oraz realną jakość rozwiązania w czasie.
C8. Zarządzalność systemu	Rozdział 4: technologie, sterowanie, masterplany; rozdział 5: zarządzanie oświetleniem publicznym; rozdział 6: zmienność użytkowania przestrzeni	Zarządzalność pozwala dostosowywać oświetlenie do czasu, intensywności użytkowania i wrażliwości środowiskowej, dlatego stanowi osobny wymiar oceny.
C9. Efektywność energetyczna	Rozdział 4: technologie oświetleniowe; rozdział 5: efektywność energetyczna i koszty energii	Kryterium pozwala ocenić relację między uzyskanym efektem świetlnym a zużyciem energii, przy zachowaniu jakości przestrzeni.
C10. Koszt instalacji	Rozdział 5: ekonomiczny wymiar decyzji; rozdział 7: potrzeba porównywania wariantów inwestycyjnych	CAPEX jest podstawowym parametrem decyzji inwestycyjnej, ale powinien być analizowany jako jedno z kryteriów, a nie jako jedyny czynnik wyboru.
C11. Koszt eksploatacji	Rozdział 5: koszty utrzymania i cykl życia; rozdział 7: normalizacja TCO w modelu MCDA	TCO pozwala ocenić długookresowe skutki wyboru wariantu i przeciwdziała wyborom opartym wyłącznie na najniższym koszcie instalacji.

Tabela 53. Źródła i uzasadnienie wyprowadzenia kryteriów szczegółowych modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.

W poprzednich rozdziałach rozprawy wypracowano zasób wiedzy dotyczący funkcji oświetlenia, kontekstu przestrzennego, warstw widoczności, wymagań technicznych, uwarunkowań środowiskowych, ekonomicznych i zarządczych oraz wyników badań terenowych i ankietowych. Na etapie budowy modelu wiedza ta została przekształcona w zestaw kryteriów możliwych do zastosowania w praktycznej procedurze oceny

wariantów. **Przyjęty zestaw kryteriów stanowi celową redukcję i operacjonalizację wcześniejszych ustaleń. Takie uproszczenie ma charakter metodyczny, ponieważ celem modelu jest wspomaganie decyzji projektowej, a nie prowadzenie pełnej, odrębnej analizy każdego pojedynczego przypadku.** Część zagadnień połączono w szersze kryteria syntetyczne, aby zachować czytelność modelu i ograniczyć nadmierne rozdrobnienie oceny. Jednocześnie pozostawiono te wymiary, które mają kluczowe znaczenie dla jakości oświetlenia przestrzeni publicznych: bezpieczeństwo, jakość przestrzenną, estetykę infrastruktury, spójność koncepcji, oddziaływanie środowiskowe, gospodarkę zasobami, trwałość, zarządzalność, efektywność energetyczną oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Zasadniczą rolę w modelu pełnią deskryptory. Ich zadaniem jest uporządkowanie sposobu interpretacji kryteriów oraz ułatwienie klasyfikowania wariantów według wspólnej logiki oceny. Deskryptory wskazują, jakie cechy rozwiązania odpowiadają kolejnym poziomom skali, dzięki czemu pojęcia jakościowe, takie jak czytelność przestrzeni, spójność architektoniczna, estetyka infrastruktury czy adekwatność światła do charakteru miejsca, mogą zostać włączone do procedury MCDA/PROMETHEE.

Zestaw C1-C11 nie jest katalogiem wszystkich możliwych zagadnień związanych z oświetleniem, lecz strukturą decyzyjną. Jego celem jest umożliwienie prostej, porównywalnej i merytorycznie uzasadnionej oceny wariantów, możliwej do zastosowania przez projektantów, zarządców i decydentów publicznych.

Kod	Kryterium	Obszar oceny
C1	bezpieczeństwo	bezpieczeństwo
C2	estetyka i wzornictwo infrastruktury oświetleniowej	estetyka
C3	jakość oświetlenia przestrzeni	estetyka / jakość przestrzenna
C4	spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej	estetyka / kompozycja
C5	gospodarka zasobami i materiały systemu	ekologia
C6	oddziaływanie środowiskowe światła w nocy	ekologia
C7	trwałość i niezawodność	ekonomia / eksploatacja
C8	zarządzalność systemu oświetlenia	zarządzalność
C9	efektywność energetyczna	ekonomia / energia
C10	koszt instalacji	ekonomia / capex
C11	koszt eksploatacji	ekonomia / tco

Tabela 54. Kryteria szczegółowe oceny wariantów oświetleniowych. Opracowanie własne.

C1. Bezpieczeństwo. Obejmuje podstawową poprawność oświetlenia w zakresie widzialności, zgodności z wymaganiami właściwej klasy oświetleniowej oraz warunków rozpoznawania użytkowników w przestrzeni pieszej. Łączy wymiar techniczny, związany z poziomem luminancji lub natężenia oświetlenia, równomiernością i ograniczeniem olśnienia, z wymiarem percepcyjnym, dotyczącym możliwości rozpoznawania sylwetek, twarzy oraz kierunków ruchu. W modelu jest to podstawowy warunek użytkowania przestrzeni po zmroku. Deskryptory porządkują ocenę od sytuacji niespełnienia wymagań normatywnych do rozwiązania, które poza zgodnością techniczną wspiera rozpoznawalność i komfort użytkowania przestrzeni pieszej.

Ocena	Deskryptory C1 Bezpieczeństwo
1	Oświetlenie niezgodne z wymaganiami PN-EN 13201.
2	Oświetlenie poniżej wymagań właściwej klasy, lecz osiągające poziom zbliżony do klasy niższej.
3	Oświetlenie zgodne z wymaganiami PN-EN 13201 dla przyjętej klasy.
4	Oświetlenie zgodne z wymaganiami PN-EN 13201, z poprawioną równomiernością, ograniczeniem oślnienia lub lepszymi warunkami widzenia względem poziomu minimalnego.
5	Oświetlenie zgodne z wymaganiami PN-EN 13201, uzupełnione o rozwiązania wspierające rozpoznawanie użytkowników i twarzy w przestrzeni pieszej.

Tabela 55 Deskryptory oceny kryterium C1 – bezpieczeństwo w modelu decyzyjnym.
Opracowanie własne.

C2. Estetyka i wzornictwo infrastruktury oświetleniowej. Odnoszą się do jakości elementów oświetleniowych jako widocznych składników przestrzeni publicznej. Znaczenie mają forma słupów, opraw, wysięgników i elementów montażowych, sposób ich lokalizacji, jakość wykonania oraz dopasowanie do skali, geometrii i charakteru miejsca. Infrastruktura oświetleniowa funkcjonuje tu jako obiekt materialny obecny w przestrzeni zarówno w dzień, jak i w nocy. Wysoka ocena oznacza, że infrastruktura została zaprojektowana jako integralny element kompozycji przestrzennej. Deskryptory odróżniają rozwiązania przypadkowe lub podporządkowane wyłącznie zastanym lokalizacjom montażowym od rozwiązań świadomie dobranych pod względem formy, jakości wykonania, lokalizacji i relacji z architekturą.

Ocena	Deskryptory C2. Estetyka i wzornictwo infrastruktury oświetleniowej
1	Oprawy montowane przypadkowo lub na infrastrukturze współdzielonej, bez relacji z kompozycją przestrzeni.
2	Oświetlenie techniczne, rozmieszczone głównie w zastanych lokalizacjach, o ograniczonej jakości estetycznej.
3	Oświetlenie techniczne zaplanowane i dopasowane do podstawowej geometrii przestrzeni.
4	Infrastruktura oświetleniowa wysokiej jakości, stylizowana lub nowoczesna, z układem częściowo dostosowanym do charakteru miejsca.
5	Infrastruktura oświetleniowa wysokiej jakości, zaprojektowana jako integralny element architektury, geometrii i kompozycji przestrzeni.

Tabela 56. Deskryptory oceny kryterium C2 – estetyka i wzornictwo infrastruktury oświetleniowej. Opracowanie własne.

C3. Jakość oświetlenia przestrzeni. Jakość oświetlenia przestrzeni dotyczy efektu świetlnego w układzie warstw: komunikacyjnych, pieszych, pionowych, krajobrazowych i orientacyjnych. Istotne są rozmieszczenie światła oraz jego relacje z jezdnią, chodnikami, drogami rowerowymi, elewacjami, wejściami, zielenią, granicami wnętrza urbanistycznego i elementami wspierającymi orientację. Wysoka ocena oznacza, że światło wspiera czytelność, orientację i komfort użytkowania w danym kontekście przestrzennym. Deskryptory porządkują ocenę od oświetlenia ograniczonego do podstawowej powierzchni ruchu do rozwiązania kształtującego spójny nocny obraz przestrzeni.

Ocena	Deskryptory C3 Jakość oświetlenia przestrzeni
1	Oświetlenie ograniczone zasadniczo do jezdni lub podstawowej powierzchni ruchu.
2	Oświetlenie obejmujące jezdnię oraz podstawowe ciągi piesze lub rowerowe.
3	Oświetlenie obejmujące jezdnię, ciągi piesze lub rowerowe oraz poprawiające rozpoznawalność użytkowników w strefie pieszej.
4	Oświetlenie obejmujące warstwę komunikacyjną, strefy piesze oraz podstawowe elementy pionowe, takie jak partery, wejścia lub granice wnętrza urbanistycznego.
5	Oświetlenie kształtujące spójny nocny obraz przestrzeni poprzez świadome powiązanie warstwy komunikacyjnej, pieszej, pionowej, zieleni oraz elementów orientacyjnych, z zachowaniem adekwatności do kontekstu miejsca.

Tabela 57. Deskryptory oceny kryterium C3 – jakość oświetlenia przestrzeni. Opracowanie własne.

C4. Spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej. Dotyczą relacji światła z architekturą, strukturą urbanistyczną i zamierzonym sposobem nocnego odbioru miejsca. Znaczenie mają skala przestrzeni, hierarchia układu, osie widokowe, granice wnętrza urbanistycznego, charakter zabudowy, funkcja przestrzeni oraz czytelność przyjętej intencji projektowej. Wysoka ocena oznacza, że oświetlenie współtworzy charakter i kompozycję przestrzeni po zmroku, wykraczając poza podstawową funkcję technicznej widzialności. Deskryptory pozwalają odróżnić rozwiązania techniczne i fragmentaryczne od koncepcji, w których światło zostało świadomie podporządkowane strukturze architektonicznej i urbanistycznej.

Ocena	Deskryptory C4 Spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej
1	Chaotyczne oświetlenie techniczne, bez czytelnej relacji z przestrzenią.
2	Oświetlenie funkcjonalne, rozwiązane poprawnie technicznie, lecz bez wyraźnej koncepcji przestrzennej.
3	Oświetlenie poprawne, respektujące podstawowe relacje przestrzenne i użytkowe.
4	Spójna koncepcja świetlna, podporządkowana strukturze przestrzeni i jej podstawowej hierarchii.
5	Wyraźna, intencjonalna koncepcja światła, budująca charakter, czytelność i tożsamość miejsca po zmroku.

Tabela 58. Deskryptory oceny kryterium C4 – spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej. Opracowanie własne.

C5. Gospodarka zasobami i materiały systemu. Odnoszą się do materialnego i zasobowego wymiaru infrastruktury oświetleniowej. Znaczenie mają zgodność materiałowa, dostępność informacji środowiskowych, serwisowalność, modułowość, możliwość naprawy, recyklingu i ponownego wykorzystania komponentów. System oświetleniowy traktowany jest tu jako infrastruktura o określonym cyklu życia, a nie wyłącznie jako zestaw urządzeń służących emisji światła. Wysoka ocena oznacza rozwiązanie trwałe, serwisowalne i zaprojektowane z uwzględnieniem zasad racjonalnego gospodarowania zasobami. Deskryptory porządkują ocenę od systemów o

ograniczonej dokumentacji i niskiej serwisowalności do rozwiązań modułowych, rozbieralnych i zgodnych z logiką gospodarki o obiegu zamkniętym.

Ocena	Deskryptor C5 Gospodarka zasobami i materiały systemu
1	Brak udokumentowanej zgodności materiałowej i informacji środowiskowych; system nierozbieralny lub nieserwisowalny.
2	Spełnienie podstawowych wymagań materiałowych i formalnych; ograniczona serwisowalność urządzeń.
3	Udokumentowana zgodność materiałowa, np. EPD, deklaracje środowiskowe lub równoważne informacje; możliwość podstawowego serwisu komponentów.
4	System modułowy i rozbieralny, z możliwością wymiany głównych komponentów oraz udokumentowaną oceną cyklu życia.
5	System zaprojektowany zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym, umożliwiający długie użytkowanie, pełną serwisowalność, recykling i ponowne użycie komponentów.

Tabela 59. Deskryptory oceny kryterium C5 – gospodarka zasobami i materiały systemu.
Opracowanie własne.

C6. Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy. Obejmuje wpływ emisji światła sztucznego na środowisko nocne, krajobraz, ekosystemy oraz uciążliwość światła dla otoczenia. Kluczowe znaczenie mają kontrola kierunku emisji, ograniczenie światła zbędnego, temperatura barwowa, czas świecenia, możliwość redukcji nocnej oraz ochrona obszarów wrażliwych. Wysoka ocena oznacza, że światło jest dostosowane do kontekstu środowiskowego, a jego emisja, barwa i czas pracy są świadomie kontrolowane. Deskryptory porządkują ocenę od rozwiązań bez kontroli emisji i czasu działania do systemów aktywnie ograniczających światło zbędne oraz chroniących strefy wrażliwe.

Ocena	Deskryptory C6 Oddziaływanie środowiskowe światła w nocy
1	Brak kontroli emisji światła, kierunku świecenia i czasu pracy; silne oddziaływanie na otoczenie.
2	Podstawowe ograniczenia pasywne emisji światła, np. przez optykę lub ograniczenie ULOR, bez sterowania czasowego.
3	Ograniczenie emisji światła oraz podstawowe zarządzanie czasem świecenia, np. redukcja nocna.
4	Kontrola emisji, czasu świecenia i barwy światła z uwzględnieniem kontekstu środowiskowego.
5	Aktywne zarządzanie światłem, jego barwą, kierunkiem i czasem emisji, z ochroną stref wrażliwych i ograniczeniem światła zbędnego.

Tabela 60. Deskryptory oceny kryterium C6 – oddziaływanie środowiskowe światła w nocy.
Opracowanie własne.

C7. Trwałość i niezawodność. Określają zdolność systemu oświetleniowego do zachowania funkcji w czasie. Znaczenie mają przewidywana opraw, długość gwarancji, dostępność serwisu, możliwość wymiany części oraz ograniczenie ryzyka awarii. Ocena powinna opierać się na deklarowanych i udokumentowanych parametrach trwałości, warunkach gwarancji oraz realnej dostępności obsługi serwisowej. Wysoka ocena oznacza rozwiązanie o długiej przewidywanej trwałości, dobrej dostępności części zamiennych i ograniczonym ryzyku utraty funkcjonalności. Deskryptory porządkują ocenę

od systemów o podstawowej trwałości i krótkiej gwarancji do rozwiązań o wysokiej niezawodności, pełnej serwisowalności i długim okresie użytkowania.

Ocena	Deskryptory C7 Trwałość i niezawodność
1	Trwałość podstawowych komponentów powyżej 20 000 h; gwarancja powyżej 1 roku.
2	Trwałość powyżej 40 000 h; gwarancja powyżej 2 lat; podstawowa serwisowalność urządzeń.
3	Trwałość powyżej 60 000 h; gwarancja powyżej 3 lat; zapewniona serwisowalność głównych komponentów.
4	Trwałość powyżej 80 000 h; gwarancja powyżej 5 lat; dobra dostępność serwisu i części zamiennych.
5	Trwałość powyżej 100 000 h; gwarancja powyżej 7 lat; wysoka serwisowalność, dostępność części i ograniczone ryzyko awarii systemu.

Tabela 61. Deskryptory oceny kryterium C7 – trwałość i niezawodność. Opracowanie własne.

C8. Zarządzalność systemu oświetlenia. Zarządzalność systemu oświetlenia dotyczy stopnia kontroli nad pracą infrastruktury oświetleniowej. Obejmuje możliwość redukcji nocnej, indywidualnego sterowania oprawami, monitoringu, diagnostyki, integracji z infrastrukturą elektroenergetyczną oraz dostosowania pracy systemu do zmiennych scenariuszy użytkowania przestrzeni. Ma szczególne znaczenie tam, gdzie sposób użytkowania przestrzeni zmienia się w czasie, sezonowo lub zależnie od intensywności ruchu. Wysoka ocena oznacza zdolność systemu do pracy scenariuszowej, diagnostyki oraz dostosowania poziomów oświetlenia do czasu, intensywności użytkowania i ograniczeń środowiskowych. Deskryptory porządkują ocenę od podstawowego załączania systemu do rozwiązań umożliwiających indywidualne sterowanie, monitoring, diagnostykę i integrację z zarządzaniem energią.

Ocena	Deskryptory C8 Zarządzalność systemu oświetlenia
1	Sterowanie podstawowe, np. zegar astronomiczny lub układ załączania bez indywidualnej kontroli opraw.
2	Zegar astronomiczny oraz stała redukcja nocna.
3	System indywidualnego sterowania oprawami.
4	Indywidualne sterowanie oprawami oraz monitoring szaf lub podstawowych elementów infrastruktury.
5	Indywidualne sterowanie oprawami, monitoring szaf, diagnostyka pracy systemu oraz integracja z elementami zarządzania energią, np. kompensacją mocy biernej.

Tabela 62 Deskryptory oceny kryterium C8 – zarządzalność systemu oświetlenia. Opracowanie własne.

C9. Efektywność energetyczna. Efektywność energetyczna odnosi się do zużycia energii potrzebnego do uzyskania wymaganego efektu oświetleniowego. W modelu kryterium to ma charakter aplikacyjny i służy porównaniu wariantów w ramach tej samej analizowanej przestrzeni. Wysoka ocena oznacza rozwiązanie, które zapewnia wymagany poziom bezpieczeństwa, widoczności, czytelności przestrzeni i adekwatności do

kontekstu przy niższym zużyciu energii. Podstawą oceny powinien być wskaźnik energetyczny dostępny na danym etapie opracowania wariantu. W pierwszej kolejności zaleca się stosowanie rocznego zużycia energii, np. kWh/rok, kWh/rok/km, kWh/rok/m² albo wskaźnika AECl, jeżeli został wyznaczony. Jeżeli analiza prowadzona jest na wcześniejszym etapie koncepcyjnym i dane roczne nie są jeszcze dostępne, ocenę można oprzeć na mocy zainstalowanej, skuteczności opraw, doborze optyki, przewidywanym czasie pracy, redukcji nocnej i sposobie sterowania. C9 jest kryterium minimalizowanym. Korzystniejszy jest wariant zużywający mniej energii przy zachowaniu wymaganej jakości oświetlenia. Kryterium to nie ocenia samego systemu sterowania ani samej skuteczności opraw, lecz końcowy efekt energetyczny wariantu. Sterowanie, redukcja nocna, właściwa optyka i dobór mocy są traktowane jako środki prowadzące do ograniczenia zużycia energii, natomiast ich funkcjonalna i zarządcza wartość oceniana jest odrębnie w kryterium C8.

Jeżeli dostępne są dane liczbowe, wartość energetyczną wariantu przekształca się do skali 1-5 analogicznie do kryteriów kosztowych:

$$S_E(A) = 1 + 4 \cdot \frac{E_{max} - E(A)}{E_{max} - E_{min}}$$

gdzie:

$S_E(A)$ – ocena efektywności energetycznej wariantu A w skali 1-5,

$E(A)$ – przyjęty wskaźnik energetyczny wariantu A, np. kWh/rok, kWh/rok/km, kWh/rok/m² albo AECl,

E_{min} – najniższa wartość wskaźnika energetycznego wśród analizowanych wariantów,

E_{max} – najwyższa wartość wskaźnika energetycznego wśród analizowanych wariantów.

Wariant o najniższym zużyciu energii otrzymuje ocenę najwyższą, a wariant o najwyższym zużyciu energii ocenę najniższą. Ocena energetyczna powinna być interpretowana po uwzględnieniu, że wariant spełnia wymagania bezpieczeństwa i jakości oświetlenia określone w pozostałych kryteriach modelu.

Ocena	Deskryptory C9 Efektywność energetyczna
1	Niska efektywność energetyczna systemu; wysoka moc zainstalowana lub niska skuteczność opraw w relacji do uzyskanego efektu.
2	Podstawowa efektywność energetyczna; parametry niekorzystne względem większości analizowanych wariantów.
3	Efektywność energetyczna na poziomie typowym dla współczesnych rozwiązań LED i wymagań projektowych.
4	Wysoka efektywność energetyczna opraw i systemu, z ograniczeniem zużycia energii przy zachowaniu jakości oświetlenia.
5	Bardzo wysoka efektywność energetyczna systemu, uwzględniająca skuteczne oprawy, właściwą optykę, sterowanie i redukcję zużycia energii w czasie.

Tabela 63. Deskryptory oceny kryterium C9 – efektywność energetyczna. Opracowanie własne.

C10. Koszt instalacji. Koszt instalacji odnosi się do nakładów inwestycyjnych koniecznych do wykonania analizowanego wariantu oświetleniowego. W modelu kryterium to ma charakter ilościowy i minimalizowany, gdyż korzystniejszy jest wariant wymagający niższego nakładu początkowego przy zachowaniu wymaganej jakości technicznej, przestrzennej i użytkowej. Kryterium obejmuje całkowity koszt realizacji systemu, czyli CAPEX. W zależności od zakresu inwestycji mogą to być koszty opraw,

słupów, wysięgników, fundamentów, zasilania, okablowania, szaf oświetleniowych, sterowania, robót budowlano-montażowych, dokumentacji, uzgodnień, uruchomienia, pomiarów odbiorowych oraz kosztów dodatkowych, takich jak demontaż istniejącej infrastruktury lub odtworzenie nawierzchni. Zakres składników powinien być taki sam dla wszystkich porównywanych wariantów. W celu zachowania porównywalności wyników koszt instalacji może być odnoszony do właściwej jednostki analizy, np. kilometra drogi, metra kwadratowego placu, parku lub liczby punktów świetlnych. W przypadku porównywania wariantów dla tego samego obszaru możliwe jest stosowanie całkowitego kosztu instalacji wariantu.

Koszt instalacji (CAPEX) wariantu A można zapisać jako:

$$\begin{aligned} CAPEX(A) = & C_{oprawy}(A) + C_{słupy}(A) + C_{wysięgniki}(A) + C_{fundamenty}(A) + C_{zasilanie}(A) \\ & + C_{okablowanie}(A) + C_{szafy}(A) + C_{sterowanie}(A) + C_{roboty}(A) + C_{projekt}(A) \\ & + C_{uruchomienie}(A) + C_{pozostałe}(A) \end{aligned}$$

, gdzie poszczególne składniki oznaczają:

C_{oprawy} zakup opraw (z osprzętem, uchwyty, złączami),

$C_{słupy}$ zakup słupów,

$C_{wysięgniki}$ zakup wysięgników/ramion,

$C_{fundamenty}$ fundamenty i posadowienie,

$C_{zasilanie}$ przyłącza, zabezpieczenia, rozdzielnie,

$C_{okablowanie}$ kable, rury osłonowe, studnie i przepusty,

C_{szafy} szafy oświetleniowe i wyposażenie,

$C_{sterowanie}$ urządzenia sterujące, komunikacja, licencje uruchomieniowe,

C_{roboty} roboty budowlano-montażowe, odtworzenia nawierzchni, organizacja ruchu,

$C_{projekt}$ dokumentacja projektowa, uzgodnienia, nadzór autorski,

$C_{uruchomienie}$ pomiary odbiorowe, uruchomienie i konfiguracja,

$C_{pozostałe}$ koszty dodatkowe wymagane zakresem (np. demontaż istniejących urządzeń, utylizacja).

W celu zapewnienia porównywalności wyników zaleca się raportowanie CAPEX w odniesieniu do właściwej jednostki:

$$CAPEX_j(A) = \frac{CAPEX(A)}{J}$$

gdzie **J** oznacza jednostkę odniesienia, np. kilometr drogi, metr kwadratowy placu lub parku albo liczbę punktów świetlnych.

Ponieważ CAPEX jest kryterium minimalizowanym, jego wartość przekształca się do skali 1-5 według zależności:

$$S_{CAPEX}(A) = 1 + 4 \cdot \frac{CAPEX_{\max} - CAPEX(A)}{CAPEX_{\max} - CAPEX_{\min}}$$

gdzie $CAPEX_{\min}$ i $CAPEX_{\max}$ oznaczają minimalną i maksymalną wartość kosztu instalacji wśród analizowanych wariantów.

Ocena	Deskryptory C10 Koszt instalacji
1-5	Ocena wyznaczona na podstawie znormalizowanego kosztu instalacji; wariant o najniższym CAPEX otrzymuje ocenę najwyższą, a wariant o najwyższym CAPEX ocenę najniższą.

Tabela 64 Deskryptory oceny kryterium C10 – koszt instalacji. Opracowanie własne.

C11. Koszt eksploatacji. Koszt eksploatacji odnosi się do nakładów ponoszonych w okresie użytkowania systemu oświetleniowego. W modelu kryterium to ma charakter ilościowy i minimalizowany, gdyż korzystniejszy jest wariant generujący niższe koszty utrzymania w przyjętym horyzoncie czasowym przy zachowaniu wymaganej jakości działania systemu. Kryterium obejmuje całkowity koszt posiadania i eksploatacji, czyli TCO. W zależności od zakresu analizy mogą być uwzględniane koszty energii elektrycznej, serwisu, napraw, konserwacji, planowych wymian komponentów, utrzymania infrastruktury oraz utrzymania systemu sterowania i komunikacji. Warianty powinny być porównywane dla tego samego horyzontu czasowego i przy tych samych założeniach dotyczących cen energii, czasu pracy, redukcji nocnych, zakresu serwisu oraz częstotliwości wymian.

Roczny koszt eksploatacji można zapisać jako:

$$C_{\text{rok}} = C_E + C_S + C_K + C_M + C_W + C_{ST}$$

gdzie:

C_E – roczny koszt energii elektrycznej,
 C_S – koszty serwisu i napraw awaryjnych,
 C_K – koszty konserwacji okresowej,
 C_M – koszty utrzymania infrastruktury,
 C_W – koszty planowych wymian komponentów,
 C_{ST} – koszty utrzymania systemu sterowania.

Roczny koszt energii oblicza się jako:

$$C_E = E_{\text{rok}} \cdot p$$

gdzie E_{rok} oznacza roczne zużycie energii elektrycznej [kWh/rok], a p cenę energii [zł/kWh].

Całkowity koszt eksploatacji w horyzoncie H lat wyznacza się w uproszczonej postaci:

$$TCO = C_{\text{rok}} \cdot H$$

Przyjęcie liniowego modelu kosztów eksploatacji jest celowym uproszczeniem metodycznym. Umożliwia porównywalną ocenę wariantów w warunkach praktycznych, bez konieczności stosowania rozbudowanych modeli finansowych, które często wymagają danych trudnych do wiarygodnego oszacowania na etapie koncepcji lub porównania wariantów.

Ponieważ TCO jest kryterium minimalizowanym, jego wartość przekształca się do skali 1–5 według zależności:

$$S_{TCO,i} = 1 + 4 \cdot \frac{TCO_{\text{max}} - TCO_i}{TCO_{\text{max}} - TCO_{\text{min}}}$$

gdzie TCO_i oznacza całkowity koszt eksploatacji wariantu i , natomiast TCO_{min} i TCO_{max} są minimalną i maksymalną wartością TCO wśród porównywanych wariantów.

Ocena	Deskryptory C11 Koszt eksploatacji
1-5	Ocena wyznaczona na podstawie znormalizowanego kosztu eksploatacji; wariant o najniższym TCO otrzymuje ocenę najwyższą, a wariant o najwyższym TCO ocenę najniższą.

Tabela 65 Deskryptory oceny kryterium C11 – koszt eksploatacji. Opracowanie własne.

Zastosowana transformacja zapewnia, że wariant o najniższym koszcie eksploatacji otrzymuje najwyższą ocenę (5), natomiast wariant o najwyższym TCO ocenę najniższą (1).

Pozostałe warianty lokują się proporcjonalnie pomiędzy tymi wartościami, co pozwala zachować informację o względnych różnicach kosztowych przy jednoczesnym ujednoliceniu skali ocen (Papathanasiou & Ploskas, 2018; Belton & Stewart, 2002).

Podsumowując, zestaw kryteriów C1-C11 stanowi operacyjne przełożenie ustaleń wypracowanych w rozdziałach 2-6 na strukturę modelu wielokryterialnego. Kryteria te obejmują warunki poprawności technicznej, jakość przestrzenną, percepcję użytkowników, wpływ środowiskowy, trwałość, zarządzalność oraz koszty inwestycyjne eksploatacyjne. Deskryptory nadają ocenom jakościowym jednoznaczne znaczenie, a normalizacja kryteriów kosztowych umożliwia włączyć je do tej samej macierzy decyzyjnej.

7.7 Preferencje nadrzędne i logika wag

Po określeniu kryteriów szczegółowych kolejnym etapem modelu jest wyznaczenie ich wag. Etap określa relacje pomiędzy poszczególnymi wymiarami oceny i bezpośrednio wpływa na końcowy ranking wariantów oświetleniowych. W oświetleniu przestrzeni publicznych ważenie kryteriów jest konieczne ze względu na napięcia między bezpieczeństwem, jakością przestrzenną, oddziaływaniem środowiskowym, kosztami, trwałością, efektywnością energetyczną i zarządzalnością. Hierarchia tych kryteriów nie ma charakteru uniwersalnego; zależy od charakteru przestrzeni oraz przyjętych celów decyzyjnych. W praktyce projektowej i samorządowej znaczenie poszczególnych kryteriów bywa ustalane intuicyjnie, pośrednio lub dorozumianie. Często prowadzi to do dominacji kryteriów kosztowych, zwłaszcza kosztu instalacji, przy równoczesnym osłabieniu znaczenia jakości przestrzeni nocnej, oddziaływania środowiskowego, zarządzalności systemu lub długookresowych skutków eksploatacyjnych ³⁷. Z perspektywy MCDA takie podejście ogranicza transparentność procesu, utrudnia porównywalność analiz i osłabia możliwość odtworzenia decyzji. W modelu przyjęto więc zasadę jawnego i replikowanego wyznaczania wag. Wagi nie są przypisywane bezpośrednio do jedenastu kryteriów szczegółowych przez arbitralną decyzję projektanta lub inwestora. **Pomiędzy kryteriami a procesem ważenia wprowadzono poziom preferencji nadrzędnych wynikających z kontekstu przestrzeni.** Preferencje te porządkują główne cele oświetleniowe i stanowią warstwę pośrednią pomiędzy opisem kontekstu przestrzennego a wagami kryteriów C1-C11 ³⁸. Wprowadzenie poziomu preferencji nadrzędnych ma także znaczenie aplikacyjne. Decydenci i interesariusze zwykle operują kategoriami ogólnymi, takimi jak bezpieczeństwo, koszty, ekologia, estetyka lub zarządzalność, a nie pełnym zestawem kryteriów szczegółowych.

³⁷ W literaturze dotyczącej decyzji infrastrukturalnych wskazuje się, że ograniczenie oceny do jednego wymiaru, zwłaszcza kosztowego, nie pozwala uchwycić pełnych skutków społecznych, przestrzennych i środowiskowych wariantów inwestycyjnych (Beria et al., 2012; Sayers et al., 2003; Tudela et al., 2006).

³⁸ Takie rozwiązanie odpowiada logice MCDA, w której modelowanie preferencji powinno być poprzedzone strukturyzacją problemu i jednoznacznym określeniem kryteriów oceny (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018).

Warstwa preferencji nadrzędnych upraszcza proces, zwiększa komunikowalność modelu i umożliwia kontrolowane różnicowanie wag³⁹.

Kod	Preferencja nadrzędna	Znaczenie w modelu
P1	Bezpieczeństwo	Bezpieczeństwo ruchu i użytkowników, warunki widzenia oraz komfort percepcyjny.
P2	Ekonomia	Koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne, trwałość, niezawodność i efektywność ekonomiczna rozwiązania.
P3	Ekologia	Oddziaływanie na środowisko nocne, zużycie zasobów, gospodarka materiałowa i ograniczanie światła zbędnego.
P4	Estetyka	Jakość przestrzeni, kompozycja światła, wzornictwo infrastruktury, czytelność i wizerunek miejsca.
P5	Zarządzalność	Elastyczność infrastruktury oświetleniowej, możliwość sterowania, monitoringu, redukcji i dostosowania pracy systemu.

Tabela 66. Struktura preferencji nadrzędnych w autorskim modelu wspomagania decyzji.
Opracowanie własne.

Preferencje nadrzędne są powiązane z kryteriami szczegółowymi (Tabela 67) opisanymi w podrozdziale 7.5. Bezpieczeństwo odpowiada kryterium C1. Estetyka obejmuje kryteria C2-C4. Ekologia obejmuje kryteria C5-C6. Ekonomia obejmuje kryteria C7 oraz C9-C11. Zarządzalność odpowiada kryterium C8.

Preferencja nadrzędna	Kryteria szczegółowe
Bezpieczeństwo	C1
Estetyka	C2, C3, C4
Ekologia	C5, C6
Ekonomia	C7, C9, C10, C11
Zarządzalność	C8

Tabela 67 Przypisanie kryteriów szczegółowych C1-C11 do preferencji nadrzędnych P1-P5.
Opracowanie własne.

Krok ważenia został zaprojektowany w dwóch wariantach. Wariant A, czyli profil ekspercki, wyprowadza wagi z cech kontekstu przestrzennego określonego w pierwszym etapie modelu. Wariant B, czyli profil decyzyjny, pozwala scenariuszowo uwzględnić aktualne priorytety zarządcze, finansowe, środowiskowe lub społeczne. Oba warianty korzystają z tej samej struktury kryteriów i preferencji nadrzędnych, ale różnią się źródłem informacji o ich względnym znaczeniu.

³⁹ Podobny postulat przejrzystości i użyteczności procedur wielokryterialnych pojawia się w badaniach dotyczących transportu, infrastruktury i decyzji publicznych (Palicki, 2015; Sayers et al., 2003; Yannis et al., 2020).

7.7.1 Wariant A – profil ekspercki

W wariacie eksperckim wagi kryteriów wynikają z charakteru analizowanej przestrzeni. Celem tego wariantu jest wskazanie hierarchii kryteriów najbardziej adekwatnej kontekstu miejsca, niezależnie od bieżących ograniczeń budżetowych, doraźnych priorytetów politycznych lub preferencji inwestora. Profil ekspercki pełni funkcję referencyjną. Pokazuje, jak powinien rozkładać się ciężar oceny, jeżeli punktem wyjścia jest kontekst urbanistyczny, funkcjonalny, społeczny i środowiskowy. Wariant ekspercki służy trzem celom:

- zapewnia porównywalność ocen pomiędzy różnymi typami przestrzeni publicznych,
- ogranicza automatyczną dominację kryteriów ekonomicznych, która często występuje w realnych procesach decyzyjnych,
- formalizuje wiedzę ekspercką w postaci jawnego i możliwego o odtworzenia algorytmu.

Wagi są wynikiem procedury przejścia od profilu kontekstu do struktury preferencji.

Zbiór kryteriów szczegółowych przyjętych w modelu można zapisać jako:

$$C = \{C1, C2, \dots, C11\}$$

gdzie:

C1 – bezpieczeństwo,
C2-C4 – kryteria estetyczne i przestrzenne,
C5-C6 – kryteria ekologiczne,
C7, C9-C11 – kryteria ekonomiczne i eksploatacyjne,
C8 – zarządzalność systemu.

W pierwszym etapie definiuje się wagi bazowe kryteriów (Tabela 68), niezależne od charakteru obszaru. Przyjęto, że bezpieczeństwo ma stałą wagę bazową 0,15, natomiast zarządzalność systemu ma stałą wagę bazową 0,05. Pozostała masa wag zostaje rozdzielona równo pomiędzy pozostałe dziewięć kryteriów.

Kryterium	Waga bazowa
C1 Bezpieczeństwo	0,15
C8 Zarządzalność systemu	0,05
Pozostałe dziewięć kryteriów	równe udziały w pozostałej masie wag

Tabela 68. Wagi bazowe kryteriów w profilu eksperckim. Opracowanie własne.

Pozostała masa wag wynosi:

$$1 - 0,15 - 0,05 = 0,8$$

Stąd waga bazowa każdego z pozostałych kryteriów wynosi:

$$w_{\text{pozostałe}} = \frac{0,80}{9}$$

Przyjęcie stałej wagi bazowej dla bezpieczeństwa wynika z założenia, że bezpieczeństwo jest warunkiem podstawowym poprawności rozwiązania oświetleniowego. Zarządzalność systemu otrzymuje odrębną wagę bazową, ponieważ stanowi warunek późniejszej adaptacji oświetlenia do zmiennych potrzeb użytkowania, ograniczania zużycia energii i kontroli oddziaływania środowiskowego. Niższa wartość bazowa zarządzalności wynika z jej pomocniczego charakteru wobec celów przestrzennych,

użytkowych i środowiskowych, jednak kryterium to może zostać wzmocnione przez kontekst lub profil decyzyjny.

Kontekst przestrzeni, opisany w macierzy kontekstowej, stanowi źródło modyfikacji wag. Uwzględnia się sześć grup cech: morfologię, funkcję, rodzaj wnętrza urbanistycznego lub kompozycję przestrzenną, użytkowników, środowisko oraz sposób użytkowania. Każda z cech może wzmacniać jedną lub kilka preferencji nadrzędnych. Zależności te zapisano w macierzy preferencji obszarowych. Znak „+” oznacza, że dana cecha kontekstu uzasadnia wzmocnienie określonej preferencji. Macierz preferencji eksperckiej stanowi autorską formalizację wiedzy projektowej, określając, które cechy kontekstu wzmacniają wybrane cele oświatleniowe.

Kategoria	Cecha kontekstu	Ekonomia	Estetyka	Ekologia	Bezpieczeństwo	Zarządzalność
Morfologia	Ulica lub obszar zabudowany		+		+	
	Droga lub obszar niezabudowany	+			+	
Funkcja	Mieszkalna		+		+	
	Mieszkalna i komercyjna		+		+	
	Komercyjna i usługowa		+		+	+
	Przemysłowa	+				
	Rekreacyjna		+		+	+
	Rolna	+		+		
	Lasy, nieużytki / natura			+		+
	Usługi dla mieszkańców		+		+	+
	Komunikacja drogowa	+				
	Mieszkalna i komunikacyjna		+		+	
Rodzaj wnętrza / kompozycja	Zamknięte, liniowe, h < 10 m		+		+	
	Zamknięte, liniowe, h > 10 m		+		+	
	Zamknięte, regularne		+		+	+
	Półzamknięte, regularne		+		+	+
	Półzamknięte, nieregularne		+		+	+
	Półzamknięte, liniowe		+		+	+
	Otwarte				+	
Użytkownicy / społeczność	Mieszkańcy					
	Podróżni					
	Turyści		+		+	+
	Mieszkańcy, podróżni		+		+	
	Mieszkańcy, podróżni, turyści		+		+	+
	Przyjezdni					
Środowisko	Zieleń przyuliczna	+				
	Zieleńce, klomby		+			
	Parki		+		+	+
	Zieleń i parki osiedlowe		+	+	+	+
	Woda, nabrzeża, promenady		+	+		+
	Łąki i obszary rolne	+		+		+
	Lasy	+		+		+
	Zieleń niezagospodarowana	+		+		+
Użytkowanie	Przyrodnicze / naturalne	+		+		+
	Podstawowe					
	Okazjonalne		+		+	+
	Podstawowe i okazjonalne		+		+	+

Tabela 69. Macierz powiązań między cechami kontekstu przestrzennego a preferencjami nadrzędnymi P1-P5. Opracowanie własne.

Dla analizowanego obszaru zlicza się liczbę wskazań „+” w każdej grupie preferencji:

$$P_k = \sum (+)_k$$

gdzie k oznacza jedną z pięciu preferencji nadrzędnych: ekonomię, estetykę, ekologię, bezpieczeństwo lub zarządzalność. Maksymalną liczbę wskazań w profilu kontekstu oznacza się jako P_{max} . Przestrzenie zabudowane wzmacniają głównie estetykę i bezpieczeństwo, obszary niezabudowane, przemysłowe i komunikacyjne: ekonomię i bezpieczeństwo, a przestrzenie zielone, naturalne i wodne: ekologię oraz zarządzalność. Układ ten odzwierciedla odmienne znaczenie światła dla użytkowników, granic wnętrza urbanistycznego, efektywności, kosztu utrzymania, kontroli emisji i scenariuszy pracy systemu.

Stopień wpływu charakteru przestrzeni na wagi kryteriów wyrażony jest przez współczynnik modyfikujący:

$$m_k = 1 + \beta \cdot \frac{P_k}{P_{max}}$$

gdzie:

m_k - współczynnik modyfikujący dla preferencji k ,

β - parametr siły wpływu (przyjęto $\beta = 0,40$).

Współczynniki te spełniają warunek:

$$m_k \geq 1$$

Parametr β pełni w zaproponowanym modelu rolę regulatora siły wpływu kontekstu przestrzennego na hierarchię kryteriów oceny. Nie determinuje on samych preferencji nadrzędnych, które wynikają z cech obszaru określonych w kroku pierwszym, lecz kontroluje zakres, w jakim charakter przestrzeni modyfikuje wagi bazowe kryteriów.

Wartość parametru **β określa stopień wrażliwości modelu** na zróżnicowanie kontekstu przestrzennego. Dla $\beta = 0$ hierarchia kryteriów pozostaje niezależna od cech obszaru, co odpowiadałoby podejściu uśredniającemu, nieuwzględniającemu specyfiki miejsca. Wraz ze wzrostem wartości β rośnie znaczenie cech morfologicznych, funkcjonalnych i środowiskowych w procesie różnicowania wag, przy czym modyfikacja ma charakter wyłącznie wzmacniający i nie prowadzi do redukcji znaczenia żadnej z preferencji nadrzędnych poniżej poziomu bazowego.

W niniejszej pracy **przyjęto wartość $\beta = 0,40$** , co stanowi kompromis pomiędzy wrażliwością modelu na kontekst przestrzenny a stabilnością uzyskiwanych wyników. Przyjęta wartość umożliwia zauważalne różnicowanie hierarchii kryteriów pomiędzy odmiennymi typami przestrzeni publicznych, jednocześnie zapobiegając nadmiernej dominacji pojedynczych cech obszaru nad całą strukturą wag.

Dla każdego kryterium i wyznacza się wagę po modyfikacji:

$$w'_i = w_i \cdot m_k$$

gdzie w_i jest wagą bazową, a m_k współczynnikiem przypisanym do preferencji, z którą związane jest kryterium i .

Normalizacja wag.

Aby zachować warunek sumy wag równej 1, stosuje się normalizację:

$$w_i^{final} = \frac{w'_i}{\sum_{j=1}^{11} w'_j}$$

Otrzymany wektor wag:

$$\mathbf{w}^{final} = \{w_1^{final}, w_2^{final}, \dots, w_{11}^{final}\}$$

stanowi wejście do procedury rankingowej metody PROMETHEE.

Wariant ekspercki formalizuje wiedzę projektową w sposób jawny i liczbowy. Morfologia, funkcja, struktura użytkowników, środowisko i sposób użytkowania nie są traktowane jako opis tła, lecz jako czynniki wpływające na relacje pomiędzy kryteriami. Dzięki temu model pozwala różnicować priorytety decyzyjne zgodnie z charakterem przestrzeni i ogranicza redukowanie oceny oświetlenia do kryteriów kosztowych. Wagi są określone przed etapem porównywania wariantów, a ich interpretacja pozostaje niezależna od wyniku rankingu, co jest zgodne z logiką metod MCDA oraz metod typu outranking (Behzadian et al., 2010; Brans & Mareschal, 2005; Roy, 1991).

Wariant ekspercki umożliwia porównywanie różnych typów przestrzeni publicznych w ramach jednego modelu decyzyjnego. Dzięki zastosowaniu wspólnego zestawu kryteriów oraz kontekstowego mechanizmu ważenia możliwe jest prowadzenie analiz zarówno dla pojedynczych ulic, parków czy placów, jak i dla większych struktur przestrzennych, w tym dzielnic, gmin lub miast. Ma to znaczenie przy planowaniu modernizacji systemów oświetleniowych, gdzie porównuje się różne obszary i warianty projektowe z zachowaniem wspólnej logiki oceny.

7.7.2 Wariant B – profil decyzyjny

Wariant decyzyjny umożliwia uwzględnienie aktualnych priorytetów zarządczych jednostki samorządu terytorialnego, inwestora lub innego podmiotu odpowiedzialnego za decyzję. W odróżnieniu od wariantu eksperckiego, opartego na profilu kontekstu przestrzennego, służy sprawdzeniu zmian rankingu przy kontrolowanym wzmocnieniu wybranych preferencji nadrzędnych. Ma funkcję scenariuszową i interpretacyjną, dlatego nie zastępuje profilu eksperckiego, lecz daje podstawę do analizy konsekwencji takich priorytetów jak ograniczenie kosztów, poprawa bezpieczeństwa, redukcja oddziaływania środowiskowego, poprawa jakości przestrzennej lub zwiększenie zarządzalności systemu. Model ogranicza zarazem ryzyko arbitralnego wzmocnienia wszystkich celów jednocześnie.

W wariantcie decyzyjnym decydent dokonuje wyboru spośród pięciu preferencji nadrzędnych:

- P1 – bezpieczeństwo,
- P2 – ekonomia,
- P3 – ekologia,
- P4 – estetyka,
- P5 – zarządzalność.

Wprowadzono zasadę selektywności wyboru. Decydent może wskazać maksymalnie dwie preferencje nadrzędne jako dominujące. Pozostałe preferencje traktowane są jako neutralne, czyli niewzmocniane. Ograniczenie to ma znaczenie metodologiczne i praktyczne. Po pierwsze, zapobiega sytuacji, w której wszystkie preferencje zostają uznane za jednakowo istotne, co prowadziłoby do utraty zdolności różnicowania wag. Po drugie, wymusza hierarchizację celów i odzwierciedla realia zarządzania publicznego, w których decyzje podejmowane są przy ograniczonych zasobach finansowych,

organizacyjnych i społecznych. Po trzecie, ogranicza ryzyko arbitralnego kształtowania wyniku poprzez nadmierne wzmacnianie wszystkich obszarów jednocześnie.

Punktem wyjścia wariantu decyzyjnego jest udział danej preferencji nadrzędnej w profilu eksperckim. Udział ten wyznacza się przez zsumowanie wag kryteriów szczegółowych przypisanych do danej preferencji:

$$W_k^{EXP} = \sum_{i \in C_k} w_i^{EXP}$$

gdzie:

W_k^{EXP} oznacza udział preferencji nadrzędnej k w profilu eksperckim,

w_i^{EXP} oznacza wagę kryterium szczegółowego i w profilu eksperckim,

C_k oznacza zbiór kryteriów szczegółowych przypisanych do preferencji nadrzędnej k .

Dla poszczególnych preferencji nadrzędnych:

$$W_{Bezpieczeństwo}^{EXP} = w_{C1}^{EXP}$$

$$W_{Estetyka}^{EXP} = w_{C2}^{EXP} + w_{C3}^{EXP} + w_{C4}^{EXP}$$

$$W_{Ekologia}^{EXP} = w_{C5}^{EXP} + w_{C6}^{EXP}$$

$$W_{Ekonomia}^{EXP} = w_{C7}^{EXP} + w_{C9}^{EXP} + w_{C10}^{EXP} + w_{C11}^{EXP}$$

$$W_{Zarządzalność}^{EXP} = w_{C8}^{EXP}$$

Tak wyznaczony udział preferencji nadrzędnych stanowi bazę wariantu decyzyjnego:

$$W_k^{base} = W_k^{EXP}$$

gdzie:

W_k^{base} oznacza bazową wagę preferencji nadrzędnej w wariantcie decyzyjnym, natomiast:

W_k^{EXP} oznacza udział tej preferencji wynikający z profilu eksperckiego.

Dla preferencji wskazanych przez decydenta jako dominujące stosuje się współczynnik wzmocnienia:

$$m_k = 1 + \gamma$$

Dla pozostałych preferencji przyjmuje się:

$$m_k = 1$$

gdzie: γ oznacza parametr siły wpływu preferencji decyzyjnej.

W niniejszym modelu rekomenduje się stosowanie parametru:

$$\gamma \in [0,25; 0,40]$$

Zakres ten umożliwia zauważalne, lecz kontrolowane wzmocnienie wybranych preferencji. Parametr γ nie zastępuje hierarchii wynikającej z profilu eksperckiego, lecz pozwala przeprowadzić scenariuszową modyfikację wag w celu sprawdzenia konsekwencji przyjętych priorytetów zarządczych. Dla wartości:

$$\gamma = 0$$

wariant decyzyjny jest tożsamy z profilem eksperckim. Wraz ze wzrostem wartości γ rośnie znaczenie wskazanych preferencji, jednak mechanizm normalizacji oraz zasada wyboru maksymalnie dwóch preferencji dominujących zapobiegają przejściu modelu w tryb faktycznie jednokryterialny.

Wagi preferencji nadrzędnych, po uwzględnieniu wyboru decydenta oblicza się zgodnie z zależnością:

$$W_k^{DEC} = \frac{W_k^{base} \cdot m_k}{\sum_{j=1}^5 W_j^{base} \cdot m_j}$$

co zapewnia warunek:

$$\sum_{k=1}^5 W_k^{DEC} = 1$$

Następnie wagi preferencji nadrzędnych zostają przełożone na kryteria szczegółowe zgodnie z mapowaniem przedstawionym wcześniej w tabeli przypisania preferencji do kryteriów. Dla każdego kryterium i , należącego do preferencji k , waga decyzyjna może zostać wyznaczona jako proporcjonalna korekta wagi eksperckiej:

$$w_i^{DEC} = w_i^{EXP} \cdot \frac{W_k^{DEC}}{W_k^{EXP}}$$

gdzie:

w_i^{DEC} oznacza wagę kryterium i w profilu decyzyjnym,

w_i^{EXP} oznacza wagę kryterium i w profilu eksperckim,

W_k^{DEC} oznacza wagę preferencji nadrzędnej k po wzmocnieniu decyzyjnym,

W_k^{EXP} oznacza wagę preferencji nadrzędnej k w profilu eksperckim.

Takie rozwiązanie jest bardziej spójne niż ponowny równy podział wag wewnątrz preferencji. Zzachowuje wewnętrzną strukturę profilu eksperckiego. Decyzja zarządcza wzmacnia wybrany obszar preferencji, ale nie zmienia arbitralnie relacji pomiędzy kryteriami należącymi do tej samej grupy. Przykładowo wzmocnienie ekonomii zwiększa łączny udział kryteriów ekonomicznych, ale zachowuje relacje między trwałością, efektywnością energetyczną, kosztem instalacji i kosztem eksploatacji wynikające z profilu eksperckiego. Wariant decyzyjny zwiększa użyteczność modelu w zarządzaniu oświeceniem publicznym: umożliwia zestawienie profilu wynikającego z charakteru przestrzeni z aktualnymi priorytetami polityki zarządczej lub inwestycyjnej. Dzięki temu model wskazuje ranking wariantów oraz ujawnia konsekwencje przyjętych założeń. Decyzja o wyborze wariantu może być analizowana jako świadomy kompromis pomiędzy jakością przestrzeni, bezpieczeństwem, środowiskiem, kosztami i zarządzalnością.

Wariant neutralny, w którym wszystkie preferencje nadrzędne otrzymują równy udział, może być stosowany wyłącznie pomocniczo jako scenariusz diagnostyczny:

$$W_k^{neutral} = \frac{1}{5}$$

Nie stanowi on jednak podstawowego wariantu modelu, ponieważ pomija kontekst przestrzenny. W modelu kontekstowym podstawą wariantu decyzyjnego pozostaje profil ekspercki wyprowadzony z cech analizowanej przestrzeni.

7.7.3 Stabilność wag i zakres kontroli parametrów

Wprowadzenie parametrów β i γ ma charakter parametryczny. Hierarchia kryteriów nie jest stała dla wszystkich przestrzeni, lecz różnicowana w zależności od kontekstu i scenariusza decyzyjnego. Z perspektywy poprawności metodologicznej konieczne jest jednak zachowanie stabilności procedury, tak aby ranking wariantów nie był artefaktem przypadkowego doboru parametrów. Parametr β określa siłę wpływu kontekstu przestrzennego na profil ekspercki. Parametr γ określa siłę wpływu deklarowanych

preferencji decyzyjnych na profil scenariuszowy. W obu przypadkach kluczowe znaczenie ma normalizacja wag oraz ograniczenie zakresu wzmocnienia. Parametry te należy traktować jako regulatory siły wpływu, a nie jako swobodne narzędzia kształtowania wyniku. W dalszej formalizacji modelu należy sprawdzić, jak zmiany wag wpływają na ranking wariantów. Analiza wrażliwości jest kluczowa w metodach PROMETHEE, ponieważ końcowy ranking zależy od wag, ocen cząstkowych, funkcji preferencji i progów interpretacji różnic pomiędzy wariantami⁴⁰.

Dla potrzeb modelu przyjęto, że wartość:

$$\beta = 0,40$$

stanowi ustawienie rekomendowane. Pozwala kontekstowi przestrzennemu realnie różnicować hierarchię kryteriów, a jednocześnie ogranicza ryzyko niestabilności wyników. Warianty o niższej wartości β mogą być traktowane jako scenariusze bardziej uśredniające, natomiast wartości wyższe jako scenariusze silniej kontekstowe.

W przypadku parametru γ rekomendowany zakres:

$$\gamma \in [0,25; 0,40]$$

pozwala uwzględnić realne priorytety zarządcze bez utraty wielokryterialnego charakteru analizy. Wartości wyższe powinny być traktowane wyłącznie diagnostycznie, ze względu na to, że mogą prowadzić do nadmiernej dominacji wskazanych preferencji. Dlatego wariant decyzyjny należy interpretować jako narzędzie analizy scenariuszowej, a nie jako mechanizm dowolnego korygowania wyniku.

Rozdzielenie profilu eksperckiego i decyzyjnego zwiększa transparentność procedury. Profil ekspercki określa hierarchię kryteriów wynikającą z charakteru przestrzeni, a profil decyzyjny służy sprawdzeniu zmian wyniku po wprowadzeniu kontrolowanych priorytetów zarządczych. Umożliwia to rozpoznanie czy zmiana rankingu wynika z jakości wariantów, cech kontekstu czy przyjętego scenariusza decyzyjnego. Stabilność wag opiera się na ograniczeniu zakresu parametrów β i γ , normalizacji wag po każdej modyfikacji oraz analizie wrażliwości wyniku. Mechanizm ten zachowuje kontekstowy i scenariuszowy charakter modelu, utrzymując jego porównywalność, przejrzystość i odporność interpretacyjną. Otrzymany wektor wag jest danymi wejściowymi do procedury MCDA/PROMETHEE.

7.8 Formalizacja modelu MCDA/PROMETHEE

Po określeniu kontekstu przestrzennego, zdefiniowaniu kryteriów szczegółowych oraz wyznaczeniu wag możliwe jest przejście do formalizacji procedury porównywania wariantów oświetleniowych. W niniejszej pracy przyjęto metodę PROMETHEE, należącą do grupy metod outrankingowych. Metoda umożliwia porównanie wariantów w warunkach wielu kryteriów, zróżnicowanych skal ocen oraz częściowo konfliktowych celów decyzyjnych. Metoda ta opiera się na relacjach preferencji pomiędzy parami

⁴⁰ Znaczenie stabilności rankingu i jakości relacji preferencji jest podkreślane zarówno w klasycznych opracowaniach metody PROMETHEE, jak i w nowszych analizach dotyczących jakości rankingu oraz porównywalności metod MCDA (Behzadian et al., 2010; Brans & Mareschal, 2005; Coquelet, 2025; Sałabun et al., 2020).

wariantów, a nie na prostym sumowaniu punktów⁴¹. Zastosowanie PROMETHEE wynika z charakteru analizowanego problemu. W jednej macierzy decyzyjnej łączone są kryteria jakościowe oceniane w skali porządkowej 1–5, kryteria techniczne, kryteria środowiskowe oraz kryteria kosztowe. Procedura umożliwia porównywanie wariantów przy zachowaniu jawnej struktury wag, kierunków preferencji, funkcji preferencji oraz progów interpretacji różnic. Procedura porównuje warianty w oparciu o jawną strukturę wag, kierunków preferencji, funkcji preferencji oraz progów interpretacji różnic. Wzmacnia replikowalność modelu i umożliwia analizę wrażliwości wyniku (Behzadian et al., 2010; Papathanasiou & Ploskas, 2018; Sałabun et al., 2020).

Formalizacja modelu obejmuje cztery elementy: macierz ocen wariantów, wektor wag, funkcje preferencji oraz przepływy preferencji PROMETHEE.

Zbiór wariantów oświetleniowych można zapisać jako:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$$

a zbiór kryteriów jako:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_{11}\}$$

Dla każdego wariantu i każdego kryterium wyznacza się ocenę cząstkową:

$$g_j(a_i)$$

Oceny te tworzą macierz decyzyjną, w której wiersze odpowiadają wariantom, a kolumny kryteriom. Kryteria jakościowe i techniczne są oceniane w skali 1–5 zgodnie z deskryptorami przedstawionymi w podrozdziale 7.5. Kryteria kosztowe, czyli koszt instalacji i koszt eksploatacji, są przed włączeniem do macierzy normalizowane do tej samej skali. Dzięki temu wszystkie oceny cząstkowe są porównywalne interpretacyjnie, przy czym normalizacja kosztów ma charakter relatywny wobec zbioru analizowanych wariantów.

Każdemu kryterium przypisana jest waga:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_{11}\}, \sum_{j=1}^{11} w_j = 1$$

Wagi mogą pochodzić z profilu eksperckiego albo decyzyjnego, zgodnie z procedurą przedstawioną w podrozdziale 7.7. Profil wag musi zostać określony przed rozpoczęciem procedury rankingowej.

W celu zachowania jednoznacznej interpretacji macierzy decyzyjnej wszystkie kryteria zostały sprowadzone do wspólnego kierunku preferencji, w którym wyższa wartość oznacza korzystniejszą ocenę wariantu. Kryteria C1–C9 mają charakter maksymalizowany już na poziomie deskryptorów jakościowych, technicznych, środowiskowych i zarządczych. Kryteria kosztowe C9 (warunkowo), C10 i C11 mają natomiast charakter pierwotnie minimalizowany, dlatego przed włączeniem do macierzy MCDA są przekształcane do skali 1–5 w taki sposób, aby niższy koszt instalacji lub eksploatacji odpowiadał wyższej ocenie punktowej. Dzięki temu wszystkie kryteria mogą być porównywane w procedurze PROMETHEE w jednolitym kierunku preferencji.

⁴¹ Ma to znaczenie w problemach, w których bardzo dobry wynik w jednym kryterium nie powinien całkowicie kompensować słabości w innym obszarze, np. bezpieczeństwie, oddziaływaniu środowiskowym lub kosztach eksploatacyjnych (Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005; Roy, 1991).

Podstawą porównania wariantów w PROMETHEE jest różnica ocen dwóch wariantów w danym kryterium:

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$$

Różnica ta jest następnie przekształcana przez funkcję preferencji $P_j(a, b)$, której wartość mieści się w przedziale od 0 do 1. Wartość 0 oznacza brak preferencji wariantu a nad wariantem b w danym kryterium, natomiast wartość 1 oznacza preferencję pełną.

W modelu rekomenduje się zastosowanie funkcji typu V-shape. Dla kryteriów ocenianych w skali 1-5 przyjęto próg preferencji:

$$p = 2$$

oraz brak progę obojętności:

$$q = 0$$

Różnica jednego poziomu w skali deskryptorowej daje preferencję częściową, natomiast różnica dwóch lub więcej poziomów daje preferencję pełną. Takie rozwiązanie ogranicza ryzyko nadinterpretacji małych różnic w ocenach jakościowych, a równocześnie zachowuje możliwość wyraźnego odróżnienia wariantów istotnie lepszych w danym kryterium.

Typ kryterium	Kryteria	Funkcja preferencji	q	p
Kryteria jakościowe i techniczne w skali 1-5	C1-C9	V-shape	0	2
Kryteria kosztowe po normalizacji do skali 1-5	C10-C11	V-shape	0	2
Kryteria kosztowe analizowane w wartościach pieniężnych	C10-C11	V-shape lub progowa	ustalane dla analizy	ustalane dla analizy

Tabela 70. Założenia dotyczące funkcji preferencji i progów różnicowania ocen w procedurze PROMETHEE. Opracowanie własne.

Po normalizacji kryteriów kosztowych do skali 1-5 można zastosować tę samą funkcję preferencji. Przy analizie kosztów bezpośrednio w jednostkach pieniężnych progi należy określić osobno, np. jako procentową różnicę kosztu znaczącą dla inwestora.

Po określeniu funkcji preferencji oblicza się wielokryterialny indeks preferencji wariantu a nad wariantem b :

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^{11} w_j \cdot P_j(a, b)$$

Następnie dla każdego wariantu oblicza się dodatni przepływ preferencji $\phi^+(a)$, ujemny przepływ preferencji $\phi^-(a)$ oraz przepływ netto:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

W metodzie PROMETHEE II warianty porządkowane są malejąco według wartości przepływu netto. Najwyższa wartość $\phi(a)$ oznacza wariant najkorzystniejszy w świetle przyjętej struktury kryteriów, wag i funkcji preferencji. Wartość przepływu dodatniego pokazuje, w jakim stopniu dany wariant przewyższa pozostałe, natomiast przepływ ujemny wskazuje, w jakim stopniu jest przez nie przewyższany. Dwa warianty mogą uzyskać zbliżony przepływ netto, ale różnić się strukturą przewag i słabości. Dlatego ranking PROMETHEE II powinien być analizowany łącznie z ocenami cząstkowymi i

strukturą przepływów preferencji. Wariant rekomendowany jest wariantem najlepiej zbilansowanym w ramach przyjętego modelu, określonego kontekstu przestrzennego i wybranego profilu wag. Wynik rankingu należy traktować jako podstawę do decyzji projektowej lub zarządczej, a nie jako automatyczne rozstrzygnięcie. Ostateczna decyzja może wymagać uwzględnienia ograniczeń formalnych, budżetowych, własnościowych, konserwatorskich, społecznych lub organizacyjnych, które wykraczają poza zakres macierzy MCDA.

Formalizacja MCDA/PROMETHEE zamyka konstrukcyjną część autorskiego modelu decyzyjnego. Klasyfikacja kontekstu określa charakter przestrzeni, kryteria i deskryptory określają przedmiot oceny, preferencje nadrzędne i wagi określają znaczenie poszczególnych wymiarów, a procedura PROMETHEE pozwala porównać warianty w sposób jawny, powtarzalny i możliwy do interpretacji.

7.9 Model wspomagania decyzji projektowych: procedura oceny wariantów oświetleniowych

Autorski model wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych (Ryc.77) łączy klasyfikację kontekstu przestrzennego, system preferencji nadrzędnych, wagi kryteriów oraz procedurę wielokryterialnej oceny wariantów z wykorzystaniem metody PROMETHEE. Jego zastosowanie prowadzi do wskazania wariantu rekomendowanego wraz z uzasadnieniem przewag, słabości i kompromisów wynikających z przyjętych kryteriów oraz wag. Formalizacja MCDA PROMETHEE określa matematyczną logikę porównywania wariantów, natomiast w zastosowaniu projektowym i zarządczym wymaga przełożenia na procedurę czytelną dla decydenta publicznego, projektanta lub zarządcy infrastruktury. Dlatego model zorganizowano w trzech krokach odpowiadających podstawowym pytaniom decyzyjnym: jakiej przestrzeni dotyczy decyzja, jakie cele mają w niej największe znaczenie oraz który wariant oświetlenia najlepiej odpowiada przyjętym kryteriom. Taki układ zachowuje strukturę analizy wielokryterialnej, rozdzielając opis problemu, modelowanie preferencji i ocenę wariantów, a zarazem zwiększa użyteczność modelu w praktyce samorządowej. Decydent nie przypisuje wag bezpośrednio do wszystkich kryteriów szczegółowych ani nie interpretuje pełnej procedury PROMETHEE. Udziela odpowiedzi na uporządkowane pytania, które model przekształca w jawny, sprawdzalny i porównywalny wynik.⁴²

W ujęciu aplikacyjnym procedura stosowania modelu obejmuje trzy kroki oraz rezultat końcowy (Tabela 71). Schemat modelu (Ryc.77) przedstawia logikę tej procedury: od podstaw badawczych i klasyfikacji kontekstu, przez preferencje nadrzędne i kryteria oceny, do rankingu PROMETHEE oraz wskazania wariantu rekomendowanego.

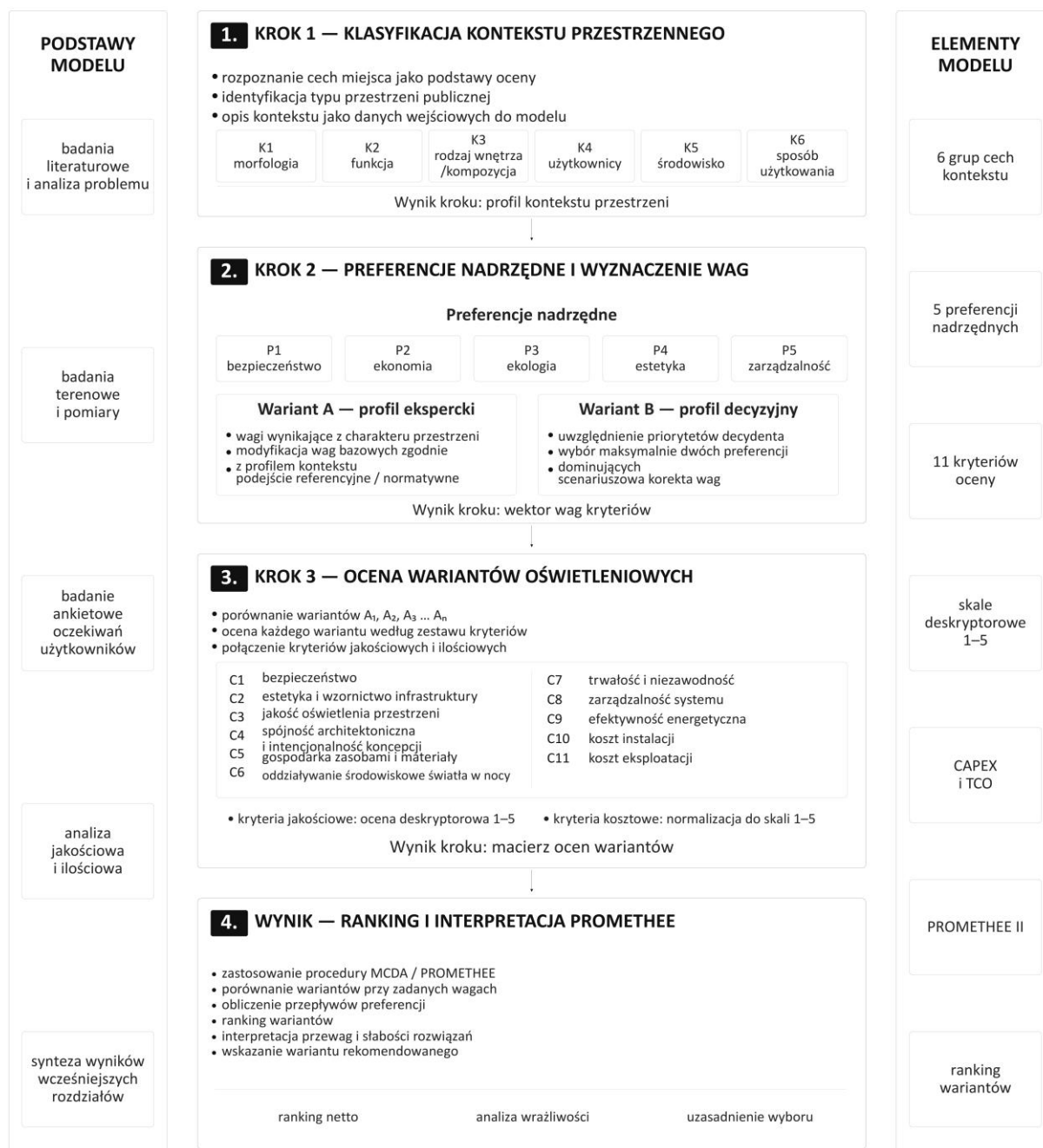
⁴² Takie rozdzielenie etapów odpowiada podstawowej logice MCDA, w której strukturyzacja problemu, określenie preferencji, ocena wariantów i agregacja wyników powinny być prowadzone w sposób przejrzysty i możliwy do odtworzenia (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Papathanasiou & Ploskas, 2018).

MODEL WSPOMAGANIA DECYZJI PROJEKTOWYCH

Kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych.

Procedura oceny wariantów: od rozpoznania kontekstu przestrzennego do wskazania wariantu rekomendowanego w modelu MCDA / PROMETHEE

Schemat przedstawia logikę autorskiej metody decyzyjnej. Procedura prowadzi od identyfikacji cech przestrzeni, przez określenie preferencji i wag kryteriów, do oceny wariantów oświetleniowych oraz wskazania rozwiązania rekomendowanego.



WARIANT REKOMENDOWANY

Model wspomaga wybór rozwiązania najlepiej dopasowanego do charakteru miejsca, przyjętych preferencji oraz kryteriów jakościowych, środowiskowych, technicznych i ekonomicznych.

Metoda łączy kontekst przestrzenny, preferencje i ocenę wariantów, prowadząc do transparentnej rekomendacji.

Ryc.77. Model wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych

W schemacie ujęto podstawy modelu, obejmujące badania literaturowe, badania terenowe, badanie ankietowe, analizę jakościową i ilościową oraz syntezę wyników wcześniejszych rozdziałów, a także główne elementy modelu: sześć grup cech kontekstu, pięć preferencji nadrzędnych, jedenaście kryteriów oceny, skale deskryptorowe 1-5, CAPEX, TCO, PROMETHEE II i ranking wariantów. W modelu zaproponowanym w rozprawie, wszystkie te wymiary zostają wprowadzone do jednej procedury oceny w sposób uporządkowany i możliwy do audytu.

Etap	Pytanie decyzyjne	Działanie w modelu	Wynik etapu
Krok 1	Jaki jest charakter analizowanej przestrzeni?	Klasyfikacja kontekstu przestrzennego według K1-K6	Profil kontekstu przestrzeni
Krok 2	Jakie cele oświetleniowe powinny mieć większe znaczenie?	Wyznaczenie preferencji nadrzędnych i wag kryteriów	Wektor wag kryteriów
Krok 3	Który wariant oświetlenia najlepiej spełnia przyjęte kryteria?	Ocena wariantów C1-C11 i ranking PROMETHEE	Ranking wariantów
Rezultat modelu	Który wariant jest rekomendowany i z jakiego powodu?	Interpretacja rankingu, przewag, słabości i stabilności wyniku	Rekomendacja projektowa lub zarządcza

Tabela 71. Procedura przejścia od klasyfikacji kontekstu przestrzennego do rekomendacji wariantu oświetleniowego. Opracowanie własne

Krok 1. Klasyfikacja kontekstu przestrzennego

Pierwszy krok ma charakter opisowy. Jego zadaniem jest określenie, jakiego miejsca dotyczy decyzja. Analizowana przestrzeń zostaje opisana według sześciu grup cech: morfologii, funkcji, rodzaju wnętrza lub kompozycji przestrzennej, użytkowników, środowiska oraz sposobu użytkowania. Etap ten służy rozpoznaniu sytuacji decyzyjnej i przygotowaniu profilu kontekstu, który stanowi podstawę dalszego ważenia kryteriów. Kluczowe jest tu określenie, jaką logikę oświetleniową narzuca analizowana przestrzeń: inną w ulicy rezydencjalnej, inną w przestrzeni śródmiejskiej, parku, ciągu komunikacyjnym, nabrzeżu, obszarze przemysłowym czy drodze przebiegającej przez teren niezabudowany. Wynikiem kroku pierwszego jest profil kontekstu przestrzeni. Profil ten stanowi podstawę dalszych obliczeń, ponieważ określa, które preferencje nadrzędne powinny zostać wzmocnione. Dzięki temu punktem wyjścia oceny staje się charakter przestrzeni, a dopiero w kolejnych etapach analizowane są technologia, koszty i parametry wariantów. Ma to zasadnicze znaczenie dla kontekstowego kształtowania oświetlenia, gdyż przenosi ocenę z poziomu ilości światła na jego rolę w konkretnym miejscu.

Krok 2. Modelowanie preferencji i wyznaczanie wag

Drugi krok ma charakter preferencyjny. Jego zadaniem jest określenie, jakie cele oświetleniowe powinny mieć w danej przestrzeni większe znaczenie. W modelu zastosowano poziom preferencji nadrzędnych: bezpieczeństwo, ekonomię, ekologię,

estetykę i zarządzalność. Warstwa preferencji nadrzędnych pełni funkcję interfejsu pomiędzy praktyką decyzyjną a formalnym modelem MCDA. Decydenci w realnych procesach planowania nie operują zwykle pełnym zestawem kryteriów szczegółowych, lecz kategoriami ogólnymi: bezpieczeństwem, kosztami, środowiskiem, estetyką, trwałością lub sterowaniem systemem. Model przekształca preferencje nadrzędne w wagi kryteriów szczegółowych, zachowując prostotę stosowania oraz formalną poprawność procedury. W kroku drugim możliwe są dwa profile wag: ekspercki i decyzyjny. Profil ekspercki wynika z charakteru przestrzeni określonego w kroku pierwszym i jest punktem odniesienia dla hierarchii kryteriów związanej z cechami miejsca. Profil decyzyjny ma charakter scenariuszowy: służy sprawdzeniu zmian wyniku po wprowadzeniu określonych priorytetów zarządczych, takich jak ograniczenie kosztów, podwyższenie znaczenia bezpieczeństwa, wzmocnienie celów środowiskowych albo poprawa jakości przestrzennej. Punktem wyjścia pozostaje hierarchia wynikająca z kontekstu przestrzeni, korygowana następnie przez kontrolowane priorytety decydenta. Decyzja polityczna lub budżetowa nie zostaje ukryta w wyniku, lecz znajduje odzwierciedlenie w zmianie wag i może być odczytana w rankingu wariantów. Wynikiem kroku drugiego jest wektor wag kryteriów C1-C11, określający ich znaczenie w danej analizie. Etap ten wzmacnia transparentność modelu, gdyż umożliwia rozpoznanie czy ranking wynika z cech przestrzeni, przyjętych priorytetów czy jakości samych wariantów.

Krok 3. Ocena wariantów i ranking PROMETHEE

Trzeci krok ma charakter porównawczy. Jego zadaniem jest ustalenie, który wariant oświetlenia najlepiej spełnia przyjęte kryteria. Na tym etapie analizuje się warianty projektowe. Warianty mogą różnić się rozmieszczeniem opraw, wysokością montażu, optyką, barwą światła, sposobem sterowania, zakresem oświetlenia warstw pionowych, typem infrastruktury, kosztem instalacji, kosztem eksploatacji, trwałością albo oddziaływaniem środowiskowym. Każdy wariant oceniany jest według jedenastu kryteriów szczegółowych C1-C11. Kryteria jakościowe oceniane są na podstawie pięciostopniowych deskryptorów, które nadają ocenom konkretne znaczenie merytoryczne. Kryteria kosztowe, czyli CAPEX i TCO, są przeliczane do wspólnej skali oceny. Dzięki temu w jednej macierzy można porównać zarówno dane ilościowe, jak i oceny jakościowe. Przed wprowadzeniem wariantu do rankingu należy sprawdzić warunki brzegowe. Dotyczy to wymagań normatywnych, prawnych, technicznych oraz bezpieczeństwa. Wariant, który nie spełnia minimalnych wymagań obowiązujących dla danej przestrzeni, powinien zostać pokazany diagnostycznie jako stan istniejący albo wariant wymagający korekty. Nie powinien natomiast uzyskać rekomendacji wyłącznie dzięki niskim kosztom lub innym korzystnym parametrom. Takie założenie ogranicza ryzyko pełnej kompensacji w obszarach krytycznych, co pozostaje zgodne z logiką metod outrankingowych. Po zestawieniu ocen częściowych i wag model oblicza ranking metodą PROMETHEE. Procedura porównuje warianty parami i określa, w jakim stopniu jeden wariant przewyższa drugi w świetle przyjętych kryteriów i wag. Wynikiem są przepływy preferencji: dodatni, ujemny oraz netto. Przepływ dodatni pokazuje, jak silnie dany wariant przewyższa pozostałe. Przepływ ujemny pokazuje, jak silnie jest przez nie przewyższany. Przepływ netto stanowi bilans tych relacji i jest podstawą rankingu PROMETHEE II (Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Behzadian et al., 2010).

Wynik. Rekomendacja i interpretacja

Wynikiem zastosowania modelu jest rekomendacja wariantu oświetleniowego wraz z uzasadnieniem. Rekomendacja ta powstaje przez połączenie czterech elementów: profilu kontekstu przestrzeni, wektora wag kryteriów, macierzy ocen wariantów oraz rankingu PROMETHEE. Każdy z tych elementów pochodzi z innego etapu modelu i pełni inną funkcję w procesie dochodzenia do wyniku. Profil kontekstu przestrzeni wynika z klasyfikacji obszaru według zmiennych K1-K6. Określa on charakter miejsca i wskazuje, które cele oświetleniowe powinny zostać wzmocnione. Wektor wag kryteriów wynika z profilu kontekstu oraz w wariancie decyzyjnym, z kontrolowanego wskazania preferencji dominujących przez decydenta. Macierz ocen wariantów powstaje przez ocenę każdego rozwiązania według kryteriów C1-C11, z wykorzystaniem deskryptorów jakościowych oraz znormalizowanych wartości kosztowych CAPEX i TCO. Ranking PROMETHEE jest wynikiem porównania wariantów przy przyjętych ocenach i wagach. W ten sposób rekomendacja stanowi syntetyczny wynik procedury, w której charakter przestrzeni wpływa na hierarchię kryteriów, kryteria porządkują ocenę wariantów, a metoda PROMETHEE wskazuje relacje przewagi pomiędzy rozwiązaniami.

Składnik wyniku	Źródło w modelu	Znaczenie dla rekomendacji
Profil kontekstu przestrzeni	Krok 1: klasyfikacja K1-K6	Określa charakter miejsca i wpływa na wzmocnienie odpowiednich preferencji nadrzędnych
Wektor wag kryteriów	Krok 2: preferencje P1-P5, profil ekspercki lub decyzyjny	Określa znaczenie kryteriów C1-C11 w danej analizie
Macierz ocen wariantów	Krok 3: ocena wariantów według C1-C11	Pokazuje, jak poszczególne warianty spełniają kryteria jakościowe, techniczne, środowiskowe i ekonomiczne
Przepływ dodatni PROMETHEE	Porównania parami wariantów	Wskazuje, w jakim stopniu dany wariant przewyższa pozostałe
Przepływ ujemny PROMETHEE	Porównania parami wariantów	Wskazuje, w jakim stopniu dany wariant jest przewyższany przez inne rozwiązania
Przepływ netto PROMETHEE	Bilans przepływu dodatniego i ujemnego	Stanowi podstawę rankingu wariantów
Ranking wariantów	PROMETHEE II	Porządkuje warianty od najbardziej do najmniej preferowanego
Analiza stabilności wyniku	Porównanie profili wag i scenariuszy	Pokazuje, czy rekomendacja jest odporna na zmianę założeń
Rekomendacja wariantu	Synteza rankingu, ocen cząstkowych i stabilności	Wskazuje wariant preferowany oraz uzasadnia jego wybór

Tabela 72. Składniki wyniku modelu i ich znaczenie dla rekomendacji wariantu oświetleniowego. Opracowanie własne.

Ranking PROMETHEE należy interpretować na trzech poziomach (Ryc.73). Pierwszy poziom stanowi kolejność wariantów wynikająca z przepływu netto. Drugi poziom stanowi analiza przewag i słabości poszczególnych wariantów, odczytywana przez

przepływ dodatni, przepływ ujemny oraz oceny cząstkowe w kryteriach C1-C11. Trzeci poziom stanowi ocena stabilności wyniku, obejmująca porównanie profilu eksperckiego, profilu decyzyjnego oraz ewentualnych scenariuszy wrażliwości. Dopiero łączne odczytanie tych trzech poziomów pozwala sformułować rekomendację projektową lub zarządczą.

Element wyniku	Znaczenie interpretacyjne	Konsekwencja projektowa
Najwyższy przepływ netto	Najkorzystniejszy bilans przewag i słabości	Wariant rekomendowany w ramach przyjętych założeń
Wysoki przepływ dodatni	Wariant silnie przewyższa inne rozwiązania	Wskazuje wyraźne przewagi projektowe
Wysoki przepływ ujemny	Wariant jest wyraźnie przewyższany przez inne rozwiązania	Wymaga identyfikacji słabych kryteriów
Zbliżone wartości przepływu netto	Brak jednoznacznej dominacji jednego wariantu	Konieczna analiza cząstkowa i analiza stabilności
Zmiana rankingu po zmianie wag	Wynik zależny od profilu preferencji	Konieczne ujawnienie wpływu priorytetów decyzyjnych
Stabilny ranking w różnych profilach	Wariant odporny na zmianę założeń	Silniejsza podstawa rekomendacji

Tabela 73. Zasady interpretacji wyniku PROMETHEE w ocenie wariantów oświetleniowych.
Opracowanie własne.

Analiza wrażliwości stanowi element interpretacji wyniku. Jej zadaniem jest sprawdzenie czy ranking wariantów pozostaje stabilny przy zmianie wag, profilu preferencji lub parametrów modelu. Jeżeli ten sam wariant utrzymuje najwyższą pozycję w profilu eksperckim i decyzyjnym, rekomendacja ma silniejsze uzasadnienie. Jeżeli ranking zmienia się znacząco, wskazuje to na konflikt celów decyzyjnych, który powinien zostać ujawniony i omówiony. Zmiana rankingu pokazuje, które preferencje i kryteria mają decydujący wpływ na wybór wariantu.

Końcowym produktem procedury stanowi karta rekomendacji wariantu (Ryc.74). Karta ta porządkuje wynik modelu w sposób zrozumiały dla decydenta, projektanta i interesariuszy. Jej zadaniem jest pokazanie który wariant został wskazany jako preferowany oraz z jakich przesłanek ten wynik wynika. Karta łączy opis przestrzeni, profil wag, oceny cząstkowe, ranking PROMETHEE, analizę stabilności oraz syntetyczne uzasadnienie rekomendacji. Wynik modelu ma strukturę audytowalną. Można wskazać, które dane wejściowe doprowadziły do określonego rozstrzygnięcia: z klasyfikacji K1-K6 wynika profil kontekstu, z profilu kontekstu i preferencji P1-P5 wynika wektor wag, z ocen C1-C11 wynika macierz wariantów, a z procedury PROMETHEE wynika ranking.

Rekomendacja jest końcową syntezą tych elementów. Dzięki temu wybór wariantu oświatleniowego może zostać przedstawiony jako rezultat uporządkowanej procedury, a nie jako efekt intuicyjnej decyzji, presji kosztowej lub niejawnych preferencji. Dla decydenta publicznego jest to przejście od ogólnej dyskusji o kosztach, bezpieczeństwie, estetyce, środowisku i zarządzalności do procedury, w której każde założenie zostaje przypisane do odpowiedniego etapu analizy i powiązane z wynikiem końcowym. Ranking PROMETHEE wskazuje kolejność wariantów, natomiast interpretacja przepływów preferencji pozwala wyjaśnić źródła tej kolejności: przewagi wariantu rekomendowanego, jego słabsze strony oraz kompromisy wynikające z przyjętej struktury kryteriów i wag. Dzięki temu wynik modelu może stanowić podstawę merytorycznego uzasadnienia decyzji projektowej, inwestycyjnej lub zarządczej.

Element karty	Źródło danych	Zakres informacji
Identyfikacja przestrzeni	Dane wejściowe analizy	Lokalizacja, typ przestrzeni, granice analizy
Profil kontekstu	Krok 1: K1-K6	Charakter przestrzeni i cechy wpływające na logikę oświatleniową
Profil wag	Krok 2: P1-P5	Wariant ekspercki lub decyzyjny oraz znaczenie kryteriów
Warianty	Dane projektowe	Krótki opis wariantów A1-An
Oceny cząstkowe	Krok 3: C1-C11	Macierz ocen jakościowych, technicznych, środowiskowych i kosztowych
Wynik PROMETHEE	Obliczenia rankingowe	Przepływy preferencji i kolejność wariantów
Wariant rekomendowany	Synteza wyniku	Wskazanie wariantu preferowanego
Uzasadnienie rekomendacji	Interpretacja rankingu i ocen cząstkowych	Najważniejsze przewagi, słabości i kompromisy
Wynik analizy wrażliwości	Porównanie profili i scenariuszy	Informacja o stabilności albo zależności rankingu od wag

Tabela 74. Struktura karty rekomendacji wariantu jako końcowego produktu procedury decyzyjnej. Opracowanie własne.

Podsumowując, przedstawiona procedura stanowi operacyjną postać autorskiego modelu wspomagania decyzji projektowych. Model zachowuje trzyetapową strukturę: rozpoznanie kontekstu, określenie preferencji i wag oraz ocenę wariantów metodą PROMETHEE. Jego najważniejszą cechą jest jawność postępowania: każdy etap może zostać sprawdzony, powtórzony i zakwestionowany na podstawie określonych danych wejściowych. Dzięki temu model porządkuje proces wyboru wariantu oświatleniowego

i dostarcza podstaw do merytorycznego uzasadnienia decyzji projektowej, inwestycyjnej lub zarządczej w kontekstowym kształtowaniu oświetlenia przestrzeni publicznych.

7.10 Weryfikacja działania modelu na wybranych przykładach projektowych

Weryfikację działania modelu zaprojektowano jako sprawdzenie, czy opracowana procedura może zostać zastosowana w rzeczywistych warunkach podejmowania decyzji projektowych dotyczących oświetlenia przestrzeni publicznych. Przyjęty sposób postępowania wynika z celu rozprawy, którym jest opracowanie modelu wspomagania decyzji projektowych, a nie modelu predykcyjnego służącego przewidywaniu zachowań inwestorów lub klasyfikowaniu dużej liczby przypadków. Weryfikacji podlega działanie całej procedury: od rozpoznania kontekstu przestrzennego, przez określenie preferencji i wag, po ocenę wariantów, uzyskanie rankingu oraz interpretację rekomendacji. W modelach wspomagania decyzji wartość procedury wynika z wyniku liczbowego, porządkowania złożonego problemu, ujawniania przesłanek wyboru i wspierania argumentacji projektowej (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005; Roy, 1996). Podstawą weryfikacji są rzeczywiste przypadki projektowe. Taki dobór pozwala sprawdzić model w warunkach, w których wariant oświetleniowy jest konkretną propozycją przestrzenną, technologiczną, estetyczną i ekonomiczną, osadzoną w określonym kontekście inwestycyjnym. W badaniach projektowych i studiach przypadków znaczenie ma zdolność przypadku do ujawnienia sposobu działania procedury w określonej sytuacji, a nie sama liczebność próby (Stake, 1995; Flyvbjerg, 2006; Groat & Wang, 2013; Niezabitowska, 2014; Yin, 2018).

Weryfikację podzielono na trzy części:

1. Sprawdzenie aplikacyjne modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych – zestawia rekomendację modelową z decyzją podjętą w praktyce i pozwala ocenić użyteczność procedury w realnych sytuacjach projektowych.
2. Analiza czułości wag – określa stabilność rekomendacji przy zmianie priorytetów decyzyjnych oraz wskazuje, czy wynik zależy od przyjętej hierarchii kryteriów.
3. Test scenariuszowy wpływu kryterium kosztowego – sprawdza, czy koszt pozostaje elementem szerszej oceny wielokryterialnej, czy zaczyna dominować nad pozostałymi przesłankami wyboru.

Weryfikacja obejmuje zatem użyteczność modelu, stabilność rekomendacji oraz wpływ kosztu na końcowy ranking. Sprawdzeniu podlega nie tylko pozycja wariantu w rankingu, lecz także źródło jego przewagi, odporność wyniku na zmianę założeń oraz związek rekomendacji z całościowym bilansem kryteriów.

7.10.1 Założenia weryfikacji modelu

Weryfikację modelu przeprowadzono według założenia, że sprawdzana jest pełna procedura prowadząca do rekomendacji wariantu. Ocenie podlegały: klasyfikacja kontekstu przestrzennego, wybór trybu określania preferencji, wyznaczenie wag, ocena wariantów w kryteriach C1-C11, obliczenie przepływów preferencji oraz interpretacja

rankingu. Model uznano za operacyjnie sprawny, jeżeli procedura mogła zostać przeprowadzona na rzeczywistym materiale projektowym, a uzyskany wynik dawał się wyjaśnić przez oceny cząstkowe i przyjęty profil wag. Materiał weryfikacyjny obejmował rzeczywiste przypadki projektowe, w których analizowano po dwa lub trzy warianty rozwiązań oświetleniowych. Łącznie porównano siedemnaście wariantów. Taki zakres odpowiada typowej sytuacji projektowej, w której decyzja dotyczy ograniczonego zestawu realnych koncepcji możliwych do wdrożenia w danym miejscu. Wszystkie przypadki oceniono według tej samej struktury kryteriów, natomiast profil wag wynikał z trybu oceny: eksperckiego lub w uzasadnionych sytuacjach, decyzyjnego. Podstawowym trybem weryfikacji był profil ekspercki, ponieważ pozwala on sprawdzić działanie modelu przy założeniu, że hierarchia kryteriów wynika z rozpoznania kontekstu przestrzennego. Profil decyzyjny zastosowano w przypadkach, w których rzeczywisty wybór inwestora był wyraźnie związany z określonymi preferencjami zamawiającego. Pozwoliło to odróżnić rekomendację wynikającą z logiki eksperckiej od wyboru kształtowanego przez szczególnie profil priorytetów decyzyjnych. Dla każdego przypadku określono wariant rekomendowany przez model, jego pozycję względem pozostałych wariantów oraz relację do decyzji podjętej w rzeczywistym procesie projektowym lub inwestorskim. Zgodność rekomendacji z decyzją inwestora traktowano jako potwierdzenie aplikacyjnej trafności procedury w danym przypadku. Rozbieżność interpretowano diagnostycznie, wskazując kryteria lub preferencje, które doprowadziły do odmiennego wyniku.

Zakres sprawdzenia obejmował: możliwość przeprowadzenia pełnej procedury, jednoznaczność rankingu, interpretowalność przepływu netto, relację wyniku do decyzji inwestora, stabilność rekomendacji w analizie czułości wag oraz reakcję modelu na zmianę znaczenia kryteriów kosztowych. Taki zakres pozwala ocenić, który wariant uzyskał pierwszą pozycję, dlaczego ją uzyskał i czy wynik pozostaje odporny na zmianę założeń. W tekście głównym przedstawiono syntetyczne tabele oraz komentarze interpretacyjne. Pełne karty wyników, obejmujące dane wejściowe, profile wag, oceny kryteriów, wartości przepływów preferencji oraz rankingi wariantów, zamieszczono w Załączniku nr 6 w TOM-ie 2 Rozprawy.

7.10.2 Weryfikacja aplikacyjna na rzeczywistych przypadkach projektowych

Weryfikację aplikacyjną przeprowadzono na sześciu rzeczywistych przypadkach projektowych, zróżnicowanych pod względem skali, funkcji, charakteru przestrzennego oraz rodzaju decyzji inwestorskiej (Tabela 75). Dobór przypadków obejmował zarówno przestrzenie codziennego użytkowania, jak i lokalizacje o wysokiej randze reprezentacyjnej, historycznej lub infrastrukturalnej. Celem tego etapu było sprawdzenie, czy opracowana procedura może zostać zastosowana do porównywania rzeczywistych wariantów oświetleniowych, osadzonych w konkretnym kontekście przestrzennym, technicznym, ekonomicznym i decyzyjnym.

Zestawienie przypadków pokazuje, że model został sprawdzony w odmiennych sytuacjach projektowych. Ulica Kasztanowa w Wirach reprezentuje kontekst codziennego użytkowania przestrzeni mieszkaniowej, w którym znaczenie mają bezpieczeństwo, skala zabudowy, trwałość rozwiązania i koszt eksploatacji.

Przypadek projektowy	Charakter kontekstu	Znaczenie przypadku dla weryfikacji modelu
Wiry – ul. Kasztanowa	ulica w osiedlu domów jednorodzinnych	sprawdzenie modelu w kontekście codziennego użytkowania przestrzeni mieszkaniowej, bezpieczeństwa, kosztu, trwałości i dopasowania oświetlenia do skali zabudowy jednorodzinnej
Jarocin – ul. Wrocławska	ulica miejska o funkcji mieszkaniowej, komercyjnej i usługowej w historycznym centrum miasta	sprawdzenie relacji pomiędzy funkcjonalnością, estetyką infrastruktury, kosztami, jakością przestrzeni ulicy oraz dopasowaniem rozwiązania do historycznego kontekstu zabudowy
Kalisz – Rynek	przestrzeń historyczna i reprezentacyjna	sprawdzenie modelu w kontekście wysokiej rangi przestrzennej, ekspozycji architektury, czytelności wnętrza urbanistycznego i spójności rozwiązania z charakterem miejsca
Poznań – skwer Eki z Małeki	lokalna przestrzeń publiczna z udziałem zieleni	sprawdzenie modelu w przestrzeni przebywania, rekreacji, użytkowania społecznego oraz relacji pomiędzy oświetleniem funkcjonalnym, zielenią i atmosferą miejsca
Poznań – ul. Taczaka	ulica miejska o funkcji mieszkaniowej, komercyjnej i usługowej w historycznym centrum miasta	sprawdzenie diagnostycznej roli modelu w sytuacji zderzenia wyboru między wariantem nowoczesnym a rozwiązaniem lepiej dopasowanym do historycznego kontekstu ulicy
Warszawa – most i wiadukt księcia Józefa Poniatowskiego	obiekt infrastrukturalny o wysokiej ekspozycji miejskiej i krajobrazowej	sprawdzenie wpływu preferencji decydenta oraz relacji między techniką, trwałością, kosztami, zarządzalnością i ekspozycją architektoniczną

Tabela 75. Zakres weryfikacji aplikacyjnej modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych. Opracowanie własne.

Ulica Wrocławska w Jarocinie oraz ulica Taczaka w Poznaniu odnoszą model do ulic miejskich o funkcji mieszkaniowej, usługowej i komercyjnej, zlokalizowanych w historycznym kontekście zabudowy. Rynek w Kaliszu sprawdza działanie procedury w przestrzeni reprezentacyjnej, gdzie szczególne znaczenie mają ekspozycja architektury, czytelność wnętrza urbanistycznego i spójność rozwiązania z charakterem miejsca. Skwer Eki z Małeki w Poznaniu wprowadza kontekst lokalnej przestrzeni przebywania, rekreacji i użytkowania społecznego, z udziałem zieleni i atmosfery miejsca. Most i wiadukt księcia Józefa Poniatowskiego w Warszawie reprezentują natomiast obiekt infrastrukturalny o wysokiej ekspozycji miejskiej i krajobrazowej, w którym silnie ujawniają się relacje między techniką, trwałością, kosztami, zarządzalnością i ekspozycją architektoniczną.

Zgodność rekomendacji modelowej z decyzją podjętą w praktyce traktowano jako przesłankę aplikacyjnej trafności procedury w danym przypadku. Nie oznacza to utożsamienia modelu z decyzją inwestorską, lecz wskazuje, że przyjęta struktura

kryteriów, wag i deskryptorów formalizuje przesłanki obecne w rzeczywistym procesie projektowym. Rozbieżność między rekomendacją modelu a decyzją inwestora interpretowano diagnostycznie – jako informację o kryteriach, preferencjach lub ograniczeniach, które mogły przesunąć wybór w innym kierunku. Interesujący jest przypadek ulicy Taczaka w Poznaniu. Model wskazał wariant historyzujący jako lepiej dopasowany do kontekstu przestrzennego, podczas gdy pierwotna decyzja inwestorska preferowała wariant nowoczesny. Późniejsza korekta rozwiązania wzmacnia diagnostyczną interpretację tego przypadku i wskazuje na ryzyko wyboru wariantu słabiej powiązanego z charakterem miejsca. Przypadek ten pokazuje, że wartość modelu nie ogranicza się do potwierdzania decyzji podjętych w praktyce. Istotna jest także możliwość ujawnienia napięć między estetyką infrastruktury, kosztem, preferencją zamawiającego i jakością kontekstowego dopasowania.

Weryfikacja aplikacyjna potwierdza użyteczność modelu jako procedury porządkującej wybór wariantu oświetleniowego. Wspólna struktura oceny umożliwia zestawienie kryteriów technicznych, jakościowych, środowiskowych, ekonomicznych i zarządczych oraz wskazanie przesłanek końcowej rekomendacji. W tym sensie model wzmacnia transparentność wyboru wariantu oraz dostarcza podstaw do argumentacji projektowej w rozmowie z inwestorem o konsekwencjach przyjętego rozwiązania.

7.10.3 Analiza czułości wag

Analizę czułości wag przeprowadzono w celu sprawdzenia stabilności rekomendacji modelu przy kontrolowanej zmianie priorytetów decyzyjnych. W modelu wielokryterialnym wynik rankingu zależy zarówno od ocen wariantów w poszczególnych kryteriach, jak i od wag przypisanych tym kryteriom. Z tego względu informację o wariancie rekomendowanym w profilu bazowym uzupełniono oceną odporności wyniku na zmianę hierarchii kryteriów.

W analizie przyjęto pięć profili wag: bazowy, kosztowy, jakości przestrzennej, środowiskowy oraz bezpieczeństwa. Profil bazowy odpowiadał wagom wynikającym z modelu dla danego przypadku projektowego. W pozostałych profilach wykorzystano mechanizm profilu decyzyjnego: wybrane grupy preferencji wzmacniano parametrem $\gamma = 0,30$, odpowiadającym mnożnikowi 1,30, a następnie normalizowano cały wektor wag do sumy 100%. Oceny wariantów pozostawiono bez zmian. Analiza obejmowała więc wyłącznie wpływ zmiany hierarchii kryteriów na ranking, bez ingerencji w deskryptory oraz oceny cząstkowe.

Profile wag odpowiadały czterem kierunkom przesunięcia priorytetów. Profil kosztowy wzmacniał znaczenie kosztu instalacji i eksploatacji. Profil jakości przestrzennej obejmował estetykę infrastruktury, jakość oświetlenia przestrzeni oraz spójność architektoniczną koncepcji świetlnej. Profil środowiskowy odnosił się do gospodarki zasobami, oddziaływania światła w nocy oraz efektywności energetycznej. Profil bezpieczeństwa wzmacniał kryteria związane z bezpieczeństwem użytkowania i jakością oświetlenia przestrzeni, ponieważ czytelność podstawowych warstw przestrzeni wpływa na orientację i warunki widzenia po zmroku.

Interpretację wyników oparto na dwóch poziomach. Pierwszy dotyczył stabilności formalnej, czyli utrzymania pierwszej pozycji przez ten sam wariant w kolejnych profilach

wag. Drugi dotyczył siły rekomendacji, ocenianej na podstawie zakresu zmian przepływu netto ϕ oraz minimalnego marginesu przewagi wariantu rekomendowanego nad drugim wariantem. Za wynik stabilny uznano utrzymanie pierwszej pozycji przez ten sam wariant w co najmniej czterech z pięciu profili, a za pełną stabilność – utrzymanie rekomendacji we wszystkich profilach. Wynik częściowo stabilny oznaczał zmianę wariantu rekomendowanego w wybranych profilach, możliwą do wyjaśnienia zmianą priorytetów decyzyjnych. Dodatni minimalny margines przewagi oznaczał zachowanie przewagi wariantu bazowego we wszystkich profilach, natomiast wartość ujemna – utratę pierwszej pozycji w co najmniej jednym profilu.

Przypadek projektowy	Profil bazowy	Profil kosztowy	Profil jakości przestrzennej	Profil środowiskowy	Profil bezpieczeństwa	Ocena stabilności
Wiry ul. Kasztanowa	wariant rezydencjalny	wariant rezydencjalny	wariant rezydencjalny	wariant rezydencjalny	wariant rezydencjalny	stabilny
Jarocin ul. Wrocławska	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	stabilny
Kalisz Główny Rynek	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	stabilny
Poznań skwer Eki z Małeki	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	stabilny
Poznań ul. Taczaka	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	stabilny
Warszawa - most i wiadukt księcia Poniatowskiego	historyzujący złożony	techniczny	historyzujący złożony	techniczny	historyzujący złożony	częściowo stabilny

Tabela 76. Stabilność rekomendacji modelu w analizie czułości wag. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu MCDA/PROMETHEE.

Zestawienie (Tabela 76) wskazuje na stabilność rekomendacji w pięciu spośród sześciu analizowanych przypadków. W przypadku ulicy Kasztanowej w Wirach, ulicy Wrocławskiej w Jarocinie, Rynku w Kaliszu, skweru Eki z Małeki w Poznaniu oraz ulicy Taczaka w Poznaniu ten sam wariant utrzymał pierwszą pozycję we wszystkich profilach wag. Rekomendacje w tych lokalizacjach nie wynikają z pojedynczego ustawienia wag, lecz z korzystnego bilansu ocen wariantów w kilku odmiennych układach preferencji. Odmienny charakter ma przypadek mostu i wiaduktu księcia Józefa Poniatowskiego w Warszawie. W profilu bazowym, profilu jakości przestrzennej i profilu bezpieczeństwa najwyższą pozycję uzyskał wariant historyzujący złożony. W profilu kosztowym i środowiskowym pierwsze miejsce zajął wariant techniczny. Wynik ten wskazuje na zależność rekomendacji od przyjętego profilu preferencji i ujawnia napięcie pomiędzy wartościami przestrzennymi oraz reprezentacyjnymi obiektu a kryteriami kosztowymi i środowiskowo-energetycznymi.

Przypadek projektowy	Wariant rekomendowany w profilu bazowym	ϕ netto bazowe	Zakres ϕ netto wariantu bazowego	$\Delta\phi$ netto	Minimalny margines przewagi	Maksymalny margines przewagi	Ocena siły rekomendacji
Wiry ul. Kasztanowa	wariant rezydencjalny	0,0897	0,0378–0,1222	0,0844	0,0756	0,2444	wysoka
Jarocin ul. Wrocławska	wariant nowoczesny	0,3658	0,3059–0,4074	0,1014	0,4348	0,6022	wysoka
Kalisz Główny Rynek	wariant historyczny	0,2371	0,2087–0,2598	0,0511	0,0431	0,0592	umiarkowana
Poznań skwer Eki z Małeki	pełny – kompozycja	0,2244	0,1721–0,2908	0,1188	0,3441	0,5816	wysoka
Poznań ul. Taczaka	wariant historyczny	0,1008	0,0525–0,1651	0,1126	0,0268	0,1663	umiarkowana
Warszawa – most i wiadukt księcia Poniatowskiego	historyzujący złożony	0,0092	-0,0262–0,0597	0,0859	-0,0570	0,0360	zależna od profilu

Tabela 77. Zakres zmian przepływu netto i margines przewagi wariantu rekomendowanego w analizie czułości wag. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu MCDA/PROMETHEE

Analiza zakresu zmian przepływu netto oraz marginesu przewagi określa siłę rekomendacji modelowej (Tabela 77). Najsilniejsze wyniki uzyskano dla ulicy Wrocławskiej w Jarocinie oraz skweru Eki z Małeki w Poznaniu. W obu przypadkach wariant rekomendowany utrzymał pierwszą pozycję we wszystkich profilach wag, a minimalny margines przewagi był wysoki: 0,4348 dla Jarocina oraz 0,3441 dla skweru Eki z Małeki. Oznacza to, że zmiana priorytetów decyzyjnych nie podważyła rekomendacji, a przewaga wariantu wskazanego przez model miała charakter wyraźny.

Stabilny wynik uzyskano także dla ulicy Kasztanowej w Wirach. Wariant rezydencjalny pozostał najwyżej oceniony we wszystkich profilach wag, przy zakresie przepływu netto od 0,0378 do 0,1222 oraz minimalnym marginesie przewagi 0,0756. Rekomendacja pozostaje więc odporna na zmianę profilu wag, choć jej siła jest mniejsza niż w przypadkach Jarocina i skweru Eki z Małeki.

W przypadku Rynku w Kaliszu oraz ulicy Taczaka w Poznaniu rekomendacje były stabilne formalnie, lecz umiarkowane pod względem siły. Wariant historyczny utrzymał pierwszą pozycję we wszystkich profilach, jednak minimalny margines przewagi wyniósł 0,0431 dla Kalisza oraz 0,0268 dla ulicy Taczaka. Oznacza to, że pozycja rankingowa pozostała stabilna, ale niewielka różnica między wariantami wymaga interpretacji wyniku wraz z wartością przewagi.

Odrębnej interpretacji wymaga przypadek mostu i wiaduktu księcia Józefa Poniatowskiego. Wariant historyzujący złożony uzyskał najwyższą pozycję w profilu bazowym, jakości przestrzennej i bezpieczeństwa, natomiast w profilu kosztowym oraz środowiskowym pierwsze miejsce zajął wariant techniczny. Zakres ϕ netto wariantu bazowego wynosił od -0,0262 do 0,0597, a minimalny margines przewagi miał wartość ujemną: -0,0570. Rekomendacja jest tu zależna od profilu wag, co ujawnia konflikt między

wartościami przestrzennymi i reprezentacyjnymi a ekonomią oraz ograniczeniem oddziaływania środowiskowego.

Analiza czułości wag potwierdza możliwość oceny odporności rekomendacji na zmianę założeń decyzyjnych. W pięciu przypadkach rekomendacje pozostały stabilne we wszystkich profilach, choć ich siła była zróżnicowana. W jednym przypadku wynik zależał od profilu preferencji, co wskazuje na rzeczywisty konflikt kryteriów, a nie na niespójność procedury. Analiza określa więc, czy rekomendacja ma charakter silny, umiarkowany czy zależny od przyjętej hierarchii celów. Pełne zestawienia wyników analizy czułości, obejmujące wartości ϕ dodatniego, ϕ ujemnego i ϕ netto dla wszystkich wariantów oraz profili wag, zamieszczono w Załączniku nr 6 w Tomie 2 rozprawy. W tekście głównym przedstawiono zestawienie syntetyczne: warianty zwycięskie, zakres zmian ϕ netto oraz margines przewagi, czyli elementy bezpośrednio informujące o stabilności i sile rekomendacji modelowej.

7.10.4 Test scenariuszowy wpływu kryterium kosztowego

Test przeprowadzono w celu sprawdzenia, w jaki sposób zwiększenie znaczenia kosztów wpływa na rekomendację modelu. W odróżnieniu od ogólnej analizy czułości wag, której celem było sprawdzenie odporności rekomendacji na zmianę różnych profili preferencji, niniejszy test koncentruje się wyłącznie na roli kryteriów kosztowych. Jego zadaniem jest sprawdzenie czy model działa jako procedura wielokryterialna, czy też w warunkach zwiększonej presji ekonomicznej automatycznie przesuwając rekomendację w stronę wariantu najtańszego lub najkorzystniejszego kosztowo. Test ma bezpośredni związek z jednym z podstawowych problemów wskazanych w rozprawie, czyli z dominacją podejść normowo-kosztowych w praktyce podejmowania decyzji oświatleniowych. Koszt inwestycyjny i koszt eksploatacyjny są niezbędnymi elementami oceny. Koszty warunkują wykonalność i racjonalność ekonomiczną inwestycji. Ich nadmierna dominacja może jednak prowadzić do wyboru rozwiązań słabiej dopasowanych do kontekstu przestrzennego, mniej korzystnych estetycznie, mniej trwałych albo ograniczających jakość nocnego obrazu miejsca.

W teście przyjęto pięć scenariuszy. Scenariusz S0 odpowiadał profilowi bazowemu wynikającemu z modelu. Scenariusz S1 wzmacniał łącznie kryteria kosztowe C10 i C11, czyli koszt instalacji oraz koszt eksploatacji. Scenariusz S2 wzmacniał wyłącznie koszt instalacji CAPEX, natomiast S3 – koszt eksploatacji TCO. Scenariusz S4 wyłączał kryteria kosztowe z oceny, umożliwiając sprawdzenie pozycji wariantów na podstawie kryteriów pozakosztowych. W scenariuszach S1–S3 wzmacniano znaczenie kryteriów kosztowych, a następnie normalizowano wektor wag do sumy 100%; oceny wariantów pozostawiono bez zmian. Taki układ rozdziela trzy sytuacje decyzyjne: pełną ocenę wielokryterialną, reakcję modelu na wzmocnienie kryteriów ekonomicznych oraz ocenę przewagi wariantów po wyłączeniu kosztów. Test pokazuje rzeczywisty wpływ kosztu na rekomendację.

Przypadek projektowy	S0 – profil bazowy	S1 – koszt dominujący	S2 – CAPEX dominujący	S3 – TCO dominujący	S4 – bez kosztów	Interpretacja wyniku
Wiry ul. Kasztanowa	wariant rezydencjalny, $\phi = 0,0897$	wariant ekonomiczny, $\phi = 0,0660$	wariant ekonomiczny, $\phi = 0,0660$	wariant ekonomiczny, $\phi = 0,0660$	wariant rezydencjalny, $\phi = 0,3075$	wynik zależny od kosztu; bez kryteriów kosztowych wyraźnie wzmacnia się wariant lepiej dopasowany do kontekstu mieszkaniowego
Jarocin ul. Wrocławska	wariant nowoczesny, $\phi = 0,3658$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,1848$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,1848$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,1848$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,6122$	rekomendacja bardzo stabilna; wariant nowoczesny utrzymuje przewagę zarówno przy presji kosztowej, jak i bez kosztów
Kalisz Główny Rynek	wariant historyczny, $\phi = 0,2371$	wariant historyczny, $\phi = 0,1501$	wariant historyczny, $\phi = 0,1579$	wariant historyczny, $\phi = 0,1422$	wariant historyczny, $\phi = 0,3507$	rekomendacja stabilna; koszt obniża siłę przewagi, ale nie zmienia wariantu rekomendowanego
Poznań skwer Eki z Małeki	pełny – kompozycja, $\phi = 0,2244$	pełny – kompozycja, $\phi = 0,0658$	pełny – kompozycja, $\phi = 0,0658$	pełny – kompozycja, $\phi = 0,0658$	pełny – kompozycja, $\phi = 0,4383$	rekomendacja stabilna; wariant pełny zachowuje pierwszą pozycję mimo wzmocnienia kryteriów kosztowych
Poznań ul. Taczaka	wariant historyczny, $\phi = 0,1008$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,0480$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,0425$	wariant nowoczesny, $\phi = 0,0534$	wariant historyczny, $\phi = 0,2993$	wynik diagnostyczny; koszt przesuw ranking w stronę wariantu nowoczesnego, natomiast ocena pozakosztowa wyraźnie wzmacnia wariant historyczny
Warszawa – most i wiadukt księcia Poniatowskiego	HISTORYZUJĄCY ZŁOŻONY, $\phi = 0,0092$	TECHNICZNY, $\phi = 0,1160$	TECHNICZNY, $\phi = 0,1160$	TECHNICZNY, $\phi = 0,1160$	HISTORYZUJĄCY ZŁOŻONY, $\phi = 0,1529$	wynik zależny od profilu; kryteria kosztowe przesuwają rekomendację w stronę wariantu technicznego, a kryteria pozakosztowe wzmacniają wariant historyzujący złożony

Tabela 78. Wyniki testu scenariuszowego wpływu kryterium kosztowego. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu MCDA/PROMETHEE.

Wyniki testu wskazują, że wpływ kosztu nie jest jednakowy we wszystkich przypadkach. W części lokalizacji zwiększenie znaczenia kryteriów kosztowych nie zmieniło wariantu rekomendowanego. Dotyczy to ulicy Wrocławskiej w Jarocinie, Rynku w Kaliszu oraz skweru Eki z Małeki w Poznaniu. W tych przypadkach wariant wskazany w profilu bazowym utrzymał pierwszą pozycję także w scenariuszach kosztowych. Rekomendacja była rezultatem pełnej oceny wielokryterialnej. Koszt wpływał na wartość przepływu netto, lecz jego rola została zrównoważona przez pozostałe kryteria jakościowe, środowiskowe, użytkowe i eksploatacyjne.

Najsilniejszą odporność na presję kosztową wykazał przypadek ulicy Wrocławskiej w Jarocinie. Wariant nowoczesny uzyskał najwyższą pozycję we wszystkich scenariuszach, a po wyłączeniu kryteriów kosztowych jego przepływ netto wzrósł do 0,6122. Przewaga tego wariantu wynika z całościowego bilansu ocen, a nie wyłącznie z profilu ekonomicznego. Stabilny wynik uzyskano dla Rynku w Kaliszu oraz skweru Eki z Małeki w Poznaniu. W przypadku Kalisza koszt obniżał wartość przepływu netto wariantu historycznego, lecz nie zmieniał końcowej rekomendacji. W przypadku skweru Eki z Małeki wariant „pełny – kompozycja” utrzymał pierwszą pozycję we wszystkich scenariuszach, choć w scenariuszach kosztowych jego przewaga wyraźnie słabła.

Najbardziej diagnostyczne wyniki uzyskano dla ulicy Kasztanowej w Wirach, ulicy Taczaka w Poznaniu oraz mostu i wiaduktu księcia Józefa Poniatowskiego w Warszawie. W tych przypadkach zwiększenie znaczenia kosztu zmieniło wariant rekomendowany. Dla ulicy Kasztanowej profil bazowy wskazał wariant rezydencjalny, natomiast scenariusze kosztowe przesunęły rekomendację na wariant ekonomiczny. Po wyłączeniu kosztów wariant rezydencjalny uzyskał wyraźną przewagę, osiągając ϕ netto 0,3075. Wynik ten pokazuje, że w przestrzeni mieszkaniowej rozwiązanie lepiej dopasowane do skali i charakteru zabudowy uzyskuje przewagę jakościową, ale decyzja może zostać przesunięta przez wzmocnienie kryteriów ekonomicznych. Przypadek ulicy Taczaka ma szczególne znaczenie interpretacyjne. W profilu bazowym rekomendowany był wariant historyczny, natomiast w scenariuszach kosztowych pierwsze miejsce uzyskał wariant nowoczesny. Po wyłączeniu kryteriów kosztowych wariant historyczny ponownie uzyskał wyraźną przewagę, osiągając ϕ netto 0,2993. Taki wynik wskazuje, że wariant nowoczesny może być uzasadniany w układzie silnej presji ekonomicznej, natomiast jego przewaga zanika po przeniesieniu ciężaru oceny na kryteria jakości przestrzennej, spójności architektonicznej i dopasowania do kontekstu historycznego. Wynik ma charakter diagnostyczny, ponieważ pokazuje, jakie przesłanki wzmacniały pierwotny wybór inwestorski oraz dlaczego wariant historyczny uzyskał przewagę w ocenie pozakosztowej.

Przypadek projektowy	Rekomendacja bazowa	Rekomendacja przy dominacji kosztów	Rekomendacja bez kosztów	Wniosek
Wiry ul. Kasztanowa	wariant rezydencjalny	wariant ekonomiczny	wariant rezydencjalny	koszt może przesunąć decyzję w stronę rozwiązania tańszego, ale ocena pozakosztowa wzmacnia wariant dopasowany do kontekstu mieszkaniowego
Jarocin ul. Wrocławska	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	wariant nowoczesny	koszt nie zmienia rekomendacji; wariant utrzymuje przewagę w każdym układzie
Kalisz Główny Rynek	wariant historyczny	wariant historyczny	wariant historyczny	rekomendacja odporna na zmianę roli kosztu
Poznań skwer Eki z Małeki	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	pełny - kompozycja	koszt osłabia siłę rekomendacji, ale nie zmienia wariantu zwycięskiego
Poznań ul. Taczaka	wariant historyczny	wariant nowoczesny	wariant historyczny	koszt ujawnia możliwe uzasadnienie wariantu nowoczesnego, ale ocena jakościowa wzmacnia wariant historyczny
Warszawa - most i wiadukt księcia Poniatowskiego	historyzujący złożony	techniczny	historyzujący złożony	wybór zależy od profilu preferencji; wariant techniczny wzmacnia się kosztowo, wariant historyzujący złożony jakościowo i reprezentacyjnie

Tabela 79. Kierunek wpływu kryteriów kosztowych na rekomendację modelu. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu MCDA/PROMETHEE

Podobny mechanizm ujawnia się w przypadku mostu i wiaduktu księcia Józefa Poniatowskiego. W profilu bazowym oraz w scenariuszu bez kosztów najwyższą pozycję uzyskał wariant historyzujący złożony. W scenariuszach kosztowych rekomendacja przesunęła się na wariant techniczny. Wariant techniczny jest silnie wspierany przez kryteria ekonomiczne, natomiast wariant historyzujący złożony wykazuje przewagę w ocenie pozakosztowej, związanej z ekspozycją architektoniczną, jakością przestrzenną i wizerunkową rolą obiektu. Wynik ten pokazuje znaczenie jawnego określenia profilu preferencji, gdyż przy odmiennym znaczeniu kosztów końcowa rekomendacja może ulec zmianie. Test scenariuszowy wskazuje, że model nie działa jako automatyczny mechanizm wyboru wariantu najtańszego. W trzech przypadkach zwiększenie znaczenia kosztu nie zmieniło rekomendacji, co oznacza, że warianty wskazane przez model zachowały przewagę mimo wzmocnienia kryteriów ekonomicznych. W trzech pozostałych przypadkach koszt zmienił ranking, ale zmiana ta była możliwa do jednoznacznej interpretacji. Model pokazał, które warianty uzyskują przewagę w logice ekonomicznej, a które bronią się przede wszystkim poprzez kryteria jakościowe, przestrzenne, środowiskowe lub reprezentacyjne.

Test potwierdza, że koszt pozostaje w modelu ważnym, lecz kontrolowanym elementem oceny. Jego zwiększenie może zmienić rekomendację, bez unieważniania pozostałych kryteriów, natomiast wyłączenie kosztów ujawnia warianty o największej wartości jakościowej i kontekstowej. Wyniki odróżniają decyzję opartą na minimalizacji kosztów od decyzji wynikającej z bilansu wielu kryteriów. Dzięki temu model może wspierać rozmowę z inwestorem nie tylko o tym, który wariant jest najtańszy, lecz także o tym, jakie jakości przestrzenne, środowiskowe, techniczne i eksploatacyjne są wzmacniane albo tracone w zależności od przyjętego profilu kosztowego.

7.10.5 Wnioski z weryfikacji modelu

Przeprowadzona weryfikacja wykazała możliwość zastosowania modelu w rzeczywistych sytuacjach projektowych obejmujących różne typy przestrzeni publicznych: ulicę mieszkaniową, ulice miejskie w historycznych centrach, rynek, lokalny skwer oraz obiekt infrastrukturalny o wysokiej ekspozycji miejskiej. We wszystkich przypadkach możliwe było przeprowadzenie pełnej procedury oceny: od rozpoznania kontekstu przestrzennego, przez wybór trybu preferencji, określenie wag i ocenę kryteriów C1-C11, po obliczenie przepływów PROMETHEE, wskazanie wariantu rekomendowanego oraz interpretację wyniku. **Model ma charakter operacyjny i może być stosowany w warunkach praktyki projektowej**, w której decyzja dotyczy ograniczonego zestawu rzeczywistych wariantów.

Weryfikacja aplikacyjna wskazała, że rekomendacje modelu w większości przypadków były zgodne z decyzjami podejmowanymi w praktyce projektowej lub inwestorskiej. Zgodność ta stanowi przesłankę aplikacyjnej trafności procedury, ponieważ pokazuje, że struktura kryteriów, wag i deskryptorów formalizuje przesłanki obecne w rzeczywistych procesach decyzyjnych. Model wskazuje wariant o najwyższym przepływie netto i porządkuje źródła jego przewagi nad rozwiązaniami alternatywnymi.

Analiza czułości wag wykazała stabilność rekomendacji w pięciu spośród sześciu analizowanych przypadków. Warianty rekomendowane utrzymywały pierwszą pozycję

we wszystkich profilach wag, co wskazuje, że ich przewaga nie wynikała z jednego ustawienia preferencji. Jednocześnie analiza zakresu zmian przepływu netto oraz marginesów przewagi pozwoliła rozróżnić rekomendacje silne, umiarkowane i zależne od profilu preferencji. Model umożliwia więc ocenę nie tylko kierunku rekomendacji, lecz także jej odporności interpretacyjnej.

Test scenariuszowy wpływu kryterium kosztowego wykazał, że model nie działa jako automatyczny mechanizm wyboru wariantu najtańszego. W części przypadków zwiększenie znaczenia kosztów nie zmieniło rekomendacji, a w innych zmiana rankingu była czytelna i możliwa do interpretacji. Koszt pozostaje w modelu istotnym, lecz kontrolowanym elementem oceny. Rozróżnia to decyzję opartą na minimalizacji kosztów od decyzji wynikającej z bilansu kryteriów funkcjonalnych, przestrzennych, środowiskowych, technicznych i eksploatacyjnych.

Szczególne znaczenie miały przypadki diagnostyczne. W przypadku mostu i wiaduktu księcia Józefa Poniatowskiego wynik był zależny od profilu preferencji, co ujawniło napięcie pomiędzy reprezentacyjnością, techniką, kosztami i oddziaływaniem środowiskowym. W przypadku ulicy Taczaka w Poznaniu rekomendacja modelowa wskazywała wariant historyczny jako lepiej dopasowany do kontekstu przestrzennego, podczas gdy pierwotna decyzja inwestorska preferowała wariant nowoczesny. Późniejsza korekta rozwiązania wzmacnia diagnostyczną interpretację tego przypadku i pokazuje, że rozbieżność między rekomendacją modelową a decyzją inwestora może stanowić istotną informację projektową.

Wyniki weryfikacji wspierają zasadnicze założenie rozprawy, zgodnie z którym dobór oświetlenia przestrzeni publicznych powinien wynikać z rozpoznania kontekstu, a nie wyłącznie ze spełnienia wymagań normowych, ograniczenia kosztów lub redukcji zużycia energii. Model rozszerza zakres oceny o jakość przestrzenną, estetykę infrastruktury, spójność architektoniczną, oddziaływanie środowiskowe, trwałość i zarządzalność. Rozdzielenie trybu eksperckiego i decyzyjnego odróżnia rekomendację wynikającą z charakteru miejsca od rekomendacji kształtowanej przez szczególne priorytety inwestora. Przeprowadzona weryfikacja aplikacyjna i odpornościowa potwierdza przydatność modelu na obecnym etapie badań oraz wskazuje potrzebę dalszej kalibracji na większej liczbie przypadków, w różnych typologiach przestrzeni i z udziałem szerszego grona ekspertów oraz decydentów. W obecnym zakresie model spełnia zasadniczy cel: porządkuje decyzję, ujawnia wpływ wag i preferencji, wspiera interpretację rankingu oraz kontrolę znaczenia kryteriów kosztowych. Ostatecznie model przenosi wybór wariantu oświetleniowego z poziomu intuicyjnego porównania kilku rozwiązań na poziom jawnej, wielokryterialnej analizy. Jego znaczenie polega na powiązaniu rozpoznania konkretnego miejsca, przyjętych celów oraz kryteriów jakości w procedurę umożliwiającą bardziej świadome, kontekstowe i odpowiedzialne kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych.

7.11 Zakres stosowalności i znaczenie modelu dla rozwiązania problemu badawczego

Opracowany model decyzyjny należy rozumieć jako narzędzie porządkujące ocenę wariantów oświetlenia przestrzeni publicznych, wspierający schemat projektowania. Jego zadaniem jest przełożenie złożonego problemu projektowego na czytelną strukturę decyzyjną, w której możliwe staje się łączne uwzględnienie cech miejsca, sposobu jego użytkowania, wymagań technicznych, jakości przestrzennej, oddziaływania środowiskowego, kosztów oraz zagadnień eksploatacyjnych i zarządczych. Takie ujęcie odpowiada przyjętej w pracy tezie, zgodnie z którą potrzeby oświetleniowe nie mają charakteru uniwersalnego, lecz wynikają z kontekstu przestrzennego i użytkowego. Zakres stosowalności modelu wynika przede wszystkim z przyjętego sposobu definiowania analizowanej przestrzeni. Zmienne kontekstowe K1-K6 umożliwiają opis różnych typów przestrzeni publicznych i ogólnodostępnych: ulic, placów, ciągów pieszych, przestrzeni mieszkaniowych, obszarów zieleni, stref rekreacyjnych, przestrzeni infrastrukturalnych, obszarów przemysłowych oraz terenów o mniejszym stopniu urbanizacji. Model nie opiera się na zamkniętym katalogu typów przestrzeni, lecz na zestawie cech, które mogą być łączone w różne profile kontekstowe. Zwiększa to jego elastyczność i pozwala stosować go także do przestrzeni pośrednich, hybrydowych lub trudnych do jednoznacznego przypisania do jednej kategorii funkcjonalnej. Kryteria szczegółowe i deskryptory oceny należy traktować jako strukturę możliwą do dalszej kalibracji, uszczegółowienia albo redukcji, zależnie od celu analizy, skali opracowania i dostępności danych a przede wszystkim rozwoju wiedzy i technologii. W pracy przyjęto rozwiązanie pośrednie, którego celem było zachowanie równowagi pomiędzy kompletnością opisu problemu a aplikacyjnością metody. Przyjęty zestaw kryteriów i deskryptorów stanowi kompromis metodologiczny: jest wystarczająco szeroki, aby objąć najważniejsze wymiary jakości oświetlenia, a jednocześnie na tyle uporządkowany, aby możliwe było jego zastosowanie w realnym procesie projektowym lub decyzyjnym.

Stosowanie modelu jest szczególnie uzasadnione, gdy porównywane warianty różnią się poza parametrami fotometrycznymi, sposobem kształtowania nocnego obrazu miejsca, zakresem ekspozycji elementów pionowych, oddziaływaniem na zieleni, poziomem zarządzalności, kosztami cyklu życia oraz potencjalnym wpływem na komfort, orientację i poczucie bezpieczeństwa użytkowników. Zasadniczą cechą modelu jest rozdzielenie trzech poziomów postępowania: opisu kontekstu, określenia preferencji i wag oraz oceny wariantów. Rozdzielenie to ogranicza ryzyko mieszania informacji o miejscu z oceną konkretnego rozwiązania projektowego. Najpierw określany jest charakter przestrzeni, następnie ustalane jest znaczenie poszczególnych wymiarów oceny, a dopiero w kolejnym kroku porównywane są warianty oświetleniowe. Takie uporządkowanie odpowiada logice metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w których strukturyzacja problemu poprzedza przypisanie wag i agregację wyników (Belton & Stewart, 2002; Figueira et al., 2005).

Zastosowanie metody PROMETHEE wzmacnia użyteczność modelu w sytuacjach, w których warianty projektowe uzyskują zróżnicowane wyniki w wielu kryteriach i nie mogą być jednoznacznie uporządkowane na podstawie jednej miary. Metody typu outranking są przydatne zwłaszcza wtedy, gdy decyzja wymaga ujawnienia przewag i słabości wariantów, a nie wyłącznie obliczenia syntetycznej oceny punktowej (Brans & Vincke, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 2005).

Zakres stosowalności modelu należy odróżnić od jego uniwersalności. Model nie zastępuje obliczeń fotometrycznych, dokumentacji projektowej, analizy formalnoprawnej, uzgodnień branżowych ani odpowiedzialności zawodowej projektanta. Wynik procedury należy traktować jako uporządkowaną rekomendację, zależną od przyjętych danych wejściowych, deskryptorów, wag oraz sposobu oceny wariantów. Model powinien być stosowany jako narzędzie wspomagające decyzję, a nie jako mechanizm zastępujący wiedzę ekspercką, ocenę projektową lub proces konsultacyjny. Znaczenie modelu dla rozwiązania problemu badawczego polega na utworzeniu struktury, w której cechy miejsca nie są traktowane jako opis tła, lecz jako dane wejściowe wpływające na logikę oceny. W konsekwencji wybór wariantu oświetleniowego zostaje powiązany z morfologią, funkcją, użytkownikami, środowiskiem, kompozycją oraz sposobem użytkowania przestrzeni po zmroku. Model umożliwia przejście od ogólnego postulatu „dobrego oświetlenia” do procedury oceny, w której poziom światła, zgodność z normą, energooszczędność, koszt, estetyka i jakość przestrzenna są traktowane jako odrębne, lecz współzależne wymiary decyzji. Ostatecznie zaproponowany model porządkuje złożoność decyzji oświetleniowych i przekłada ją na możliwą do analizy strukturę postępowania. Umożliwia wyprowadzenie rekomendacji projektowej z rozpoznania konkretnego miejsca, przyjętych celów oraz jawnie określonych kryteriów oceny. W takim ujęciu kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych uzyskuje wymiar operacyjny: staje się metodą postępowania łączącą wiedzę techniczną, urbanistyczną, środowiskową i decyzyjną oraz wspierającą świadomy wybór wariantu najlepiej odpowiadającego warunkom analizowanej przestrzeni.

8

Dyskusja

8 Dyskusja

Przeprowadzone badania wykazały zasadność przyjęcia kontekstu przestrzennego jako punktu wyjścia dla oceny i doboru rozwiązań oświetleniowych w przestrzeniach publicznych. Najważniejsze znaczenie uzyskanych wyników polega na wykazaniu, że jakość oświetlenia sztucznego po zmroku nie może być sprowadzana do spełnienia parametrów normatywnych, kosztu instalacji, efektywności energetycznej ani ogólnego poziomu ilości światła. W badanym materiale jakość ta ujawnia się jako relacja między strukturą przestrzeni, sposobem jej użytkowania, widocznością istotnych warstw, hierarchią jasności, czytelnością miejsca, poczuciem bezpieczeństwa, estetyką nocnego obrazu oraz skutkami środowiskowymi i ekonomicznymi.

Uzyskane wyniki uzasadniają przyjęcie tezy, że cechy przestrzeni oraz sposób jej użytkowania powinny stanowić podstawę doboru rozwiązań oświetleniowych, a ich uporządkowanie w modelu wielokryterialnego wspomaganie decyzji umożliwia bardziej przejrzystą ocenę wariantów projektowych. Uzasadnienie tej tezy wynika z połączenia badań terenowych, pomiarów luminancyjnych, badania ankietowego, syntezy kryteriów oraz aplikacyjnego sprawdzenia modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych. Rezultatem pracy jest metoda porządkowania decyzji projektowej w warunkach złożoności, konfliktu kryteriów i niepełnej jednoznaczności danych. Jej znaczenie praktyczne polega na tym, że odpowiada logice realnych procesów inwestycyjnych, w których decyzja oświetleniowa obejmuje zarówno wymagania techniczne i koszty, jak i bezpieczeństwo, czytelność przestrzeni, oczekiwania użytkowników, jakość architektoniczną, estetykę nocnego krajobrazu, trwałość, zarządzalność systemu oraz ograniczenia środowiskowe. Wyniki rozprawy pokazują, że złożoność decyzji oświetleniowej może zostać uporządkowana bez jej redukcji do jednego dominującego kryterium.

Istotnym wymiarem dyskusji jest świadomość decyzyjna osób odpowiedzialnych za kształtowanie i modernizację oświetlenia publicznego. Oświetlenie jest aktywnym elementem infrastruktury miejskiej. Może wzmacniać bezpieczeństwo, orientację, aktywność społeczną, ekspozycję architektury, tożsamość miejsca oraz estetyczną jakość miasta po zmroku. Jednocześnie może generować negatywne skutki: nadmierne zużycie energii, intruzję świetlną, olśnienie, presję na ludzi, faunę i florę, degradację nocnego krajobrazu oraz utratę czytelności przestrzeni poprzez przypadkowe lub nadmierne rozjaśnienie. Z tego względu decyzja oświetleniowa powinna być traktowana jako decyzja przestrzenna, środowiskowa, społeczna i ekonomiczna, a nie wyłącznie techniczna.

W odniesieniu do pytań badawczych uzyskane wyniki pozwalają sformułować trzy zasadnicze rozstrzygnięcia. Po pierwsze, potrzeby oświetleniowe różnicują się nie tylko ze względu na funkcję miejsca lub klasę oświetleniową, lecz przede wszystkim ze względu na morfologię przestrzeni, rodzaj wnętrza urbanistycznego, obecność powierzchni pionowych, zieleni, stref pieszych, charakter użytkowników i sposób korzystania z przestrzeni po zmroku. Po drugie, elementami wymagającymi uwzględnienia w projektowaniu są nie tylko jezdnie, chodniki i drogi rowerowe, lecz także elewacje, strefy wejściowe, granice wnętrza urbanistycznego, zieleń niska i wysoka oraz elementy

wspierające orientację. Po trzecie, porównanie wariantów oświetleniowych wymaga procedury, która oddzieli opis kontekstu od preferencji decyzyjnych i od oceny konkretnych rozwiązań technicznych. Taką funkcję pełni opracowany model MCDA/PROMETHEE, prowadzący od klasyfikacji miejsca, przez określenie wag i kryteriów, do rankingu oraz interpretacji przewag i słabości wariantów.

W odniesieniu do przyjętych celów szczegółowych wyniki pracy pozwoliły na uporządkowanie relacji między cechami przestrzeni, oczekiwaniami użytkowników, kryteriami jakości oraz procedurą oceny wariantów projektowych. W tym zakresie rozprawa wykazuje, że kontekstowe kształtowanie oświetlenia może zostać przełożone na procedurę projektowo-decyzyjną. Nie pozostaje wyłącznie postulatem jakościowym, ale staje się możliwym do zastosowania sposobem analizy, porównywania i uzasadniania wyboru wariantu.

8.1 Najważniejsze ustalenia badawcze

Głównym ustaleniem pracy jest przesunięcie oceny oświetlenia z poziomu pojedynczego parametru technicznego na poziom decyzji dotyczącej relacji między światłem, przestrzenią, użytkownikiem oraz skutkami środowiskowo-ekonomicznymi. W przyjętym ujęciu przestrzeń publiczna stanowi strukturę relacji obejmującą nawierzchnie, elewacje, zielen, granice wnętrza urbanistycznego, strefy wejściowe, punkty orientacyjne, plany widokowe oraz sposoby użytkowania. Dopiero tak zdefiniowany przedmiot decyzji pozwala określić, jakie zadania powinno pełnić światło i które elementy przestrzeni wymagają widoczności po zmroku. W tym sensie głównym wynikiem pracy jest nie tylko zestaw kryteriów, lecz zmiana sposobu definiowania przedmiotu decyzji oświetleniowej.

Z przeprowadzonych badań wynika, że potrzeby oświetleniowe mają charakter kontekstowy. Zależą od morfologii, skali, kompozycji, funkcji, użytkowników, intensywności korzystania z przestrzeni po zmroku, obecności zieleni, stopnia zabudowy, wrażliwości środowiskowej oraz znaczenia danego miejsca w strukturze miasta. Ten sam poziom światła może być odbierany inaczej w przestrzeni mieszkaniowej, inaczej w śródmieściu, na placu, w parku, przy drodze tranzytowej lub w obszarze otwartym. Kontekst nie jest więc dodatkiem do projektu, lecz warunkiem właściwego rozpoznania potrzeb oświetleniowych.

Istotnym rezultatem pracy jest uporządkowanie pojęcia warstw przestrzeni jako elementów współdecydujących o jakości oświetlenia. Badania wykazały, że użytkownik nie odbiera przestrzeni nocnej wyłącznie przez jezdnię, chodnik lub drogę rowerową. Na ocenę wpływają również elewacje, strefy wejściowe, zielen niska, wysoka i elementy wolnostojące, granice wnętrza urbanistycznego oraz elementy wspierające orientację. Szczególne znaczenie ma rola powierzchni pionowych i tła przestrzennego, ponieważ to one współtworzą nocną czytelność miejsca, pozwalają identyfikować skalę przestrzeni, jej granice, kierunki ruchu, wejścia, dominanty i relacje kompozycyjne. Ich pominięcie może prowadzić do sytuacji, w której przestrzeń spełnia wymagania techniczne, ale pozostaje nieczytelna kompozycyjnie lub pozbawiona jakości estetycznej.

Kolejne ustalenie dotyczy ograniczeń oceny opartej wyłącznie na parametrach ilościowych. Wymagania normatywne w oświetleniu pozostają niezbędnym punktem

odniesienia dla zapewnienia podstawowej widzialności, bezpieczeństwa ruchu oraz porównywalności parametrów technicznych. Ich rola nie powinna być jednak utożsamiana z pełną oceną jakości przestrzeni nocnej. Norma określa minimalne lub referencyjne warunki oświetleniowe dla wybranych sytuacji użytkowych, lecz nie rozstrzyga samodzielnie o jakości kompozycji świetlnej, czytelności granic wnętrza urbanistycznego, ekspozycji elementów pionowych, relacji światła do zieleni, atmosferze miejsca ani hierarchii znaczeń przestrzennych. Z tego względu zgodność z normą należy traktować jako warunek konieczny, lecz niewystarczający dla oceny jakości oświetlenia przestrzeni publicznych.

Wyniki badań pozwalają również zakwestionować uproszczoną interpretację, zgodnie z którą poprawa warunków oświetleniowych wymaga przede wszystkim zwiększenia ilości światła. Nadmiar światła może być równie problematyczny jak jego niedobór, jeżeli prowadzi do zaburzenia hierarchii przestrzennej, osłabienia kontrastu kompozycyjnego, spłaszczenia nocnego obrazu miejsca, wzrostu oślnienia, zwiększenia intruzji świetlnej lub nieuzasadnionej presji środowiskowej. Jakość oświetlenia wynika z adekwatnego rozmieszczenia, kierunku, intensywności, barwy, kontroli i relacji luminancyjnych, a nie z samego wzrostu poziomu oświetlenia. Dobre oświetlenie pozwala nie tylko widzieć, lecz także rozumieć, porządkować i pozytywnie doświadczać przestrzeń po zmroku.

Adekwatne oświetlenie nie ma jednej uniwersalnej postaci. W przestrzeni reprezentacyjnej miasta oznacza podkreślenie kompozycji urbanistycznej i architektury, w przestrzeni typowo mieszkaniowej – czytelność dojść, wejść i skali sąsiedzkiej, w parku – równowagę między bezpieczeństwem użytkownika a ograniczeniem presji na środowisko, a w przestrzeni komunikacyjnej – widzialność i orientację bez nadmiernego rozjaśniania otoczenia. Adekwatność wynika z cech miejsca, a nie z powielania jednego rozwiązania projektowego.

Zasadniczym wynikiem pracy jest także wskazanie, że decyzja oświetleniowa ma charakter złożony i konfliktowy. Obejmuje jednocześnie bezpieczeństwo, czytelność przestrzeni, estetykę, wpływ na środowisko, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne, trwałość, możliwość sterowania oraz zarządzania systemem. Kryteria te nie zawsze prowadzą do tego samego wyboru. Wariant najtańszy może być ograniczony przestrzennie, wariant najbardziej efektowny może być mniej korzystny środowiskowo, a rozwiązanie energooszczędne może wymagać korekty ze względu na odbiór użytkowników. Dlatego jednym z kluczowych ustaleń pracy jest potrzeba modelowego porządkowania decyzji projektowej.

Opracowany model pełni funkcję pośrednią między wiedzą projektową, danymi pomiarowymi, oceną jakościową i procesem decyzyjnym. Jego zadaniem jest uporządkowanie argumentów, ujawnienie konfliktów oraz wskazanie, które rozwiązanie jest najlepiej uzasadnione. Model przenosi ocenę z poziomu pojedynczego parametru na relację między światłem, przestrzenią i użytkownikiem, a jednocześnie umożliwia interpretację źródeł przewagi danego wariantu: bezpieczeństwa, jakości przestrzennej, ograniczenia oddziaływania środowiskowego, ekonomii, zarządzalności albo równowagi kilku kryteriów.

Innowacyjność zaproponowanego modelu decyzyjnego polega na zintegrowaniu trzech porządków, które w praktyce projektowej i w badaniach nad oświetleniem często

funkcjonują rozdzielnie: opisu kontekstu urbanistyczno-architektonicznego, oceny parametrów i efektów oświetleniowych oraz formalnej procedury wspomagania decyzji. Model łączy klasyfikację miejsca, ocenę warstw widzialności, kryteria jakościowe i ilościowe oraz metodę MCDA/PROMETHEE w jedną procedurę prowadzącą od diagnozy przestrzeni do rekomendacji wariantu projektowego. Jego wartość nie polega wyłącznie na zastosowaniu metody wielokryterialnej, lecz na osadzeniu tej metody w logice projektowania przestrzeni publicznej.

Weryfikację aplikacyjną i odpornościową należy interpretować jako sprawdzenie operacyjności modelu, a nie pełną walidację jego uniwersalnej skuteczności. Przeprowadzone testy wykazały, że procedura może zostać zastosowana do rzeczywistych wariantów projektowych, umożliwia interpretację źródeł przewagi poszczególnych rozwiązań oraz pozwala ocenić stabilność rekomendacji przy zmianie wag i przy zwiększeniu znaczenia kryteriów kosztowych. Wyniki te potwierdzają użyteczność modelu jako narzędzia wspomagania decyzji, przy jednoczesnym zachowaniu potrzeby dalszej kalibracji wag, deskryptorów i reguł interpretacyjnych w kolejnych zastosowaniach projektowych.

Tak rozumiane ustalenia stanowią podstawę dalszej dyskusji nad znaczeniem wyników dla teorii projektowania, praktyki zarządzania oświetleniem publicznym oraz dalszego rozwoju metody.

8.2 Znaczenie wyników dla teorii projektowania oraz praktyki zarządzania oświetleniem publicznym

Znaczenie wyników pracy polega na potencjalnej zmianie podejścia projektantów oświetlenia przestrzeni publicznych. Projekt nie powinien rozpoczynać się wyłącznie od pytania o klasę oświetleniową, wymaganą wartość natężenia oświetlenia lub luminancji, lecz od rozpoznania sensu przestrzennego decyzji: co oświetlamy, po co oświetlamy, dla kogo oświetlamy i w jakim kontekście podejmowana jest decyzja projektowa. Dopiero odpowiedź na te pytania pozwala właściwie określić wymagania techniczne, użytkowe, kompozycyjne, środowiskowe i ekonomiczne. W tym zakresie wyniki rozprawy przesuwają projektowanie oświetlenia od logiki parametryczno-normatywnej w stronę logiki kontekstowo-decyzyjnej.

Dla teorii projektowania oznacza to konieczność traktowania oświetlenia jako narzędzia kształtowania nocnej struktury przestrzeni, a nie jedynie jako technicznego środka zapewnienia widzialności. Światło po zmroku organizuje hierarchię planów, ujawnia lub zaciera granice wnętrza urbanistycznego, wzmacnia albo osłabia czytelność architektury. W tym ujęciu jakość oświetlenia nie wynika wyłącznie z osiągnięcia wymaganych parametrów na nawierzchniach komunikacyjnych, lecz z relacji między widzialnością, czytelnością, bezpieczeństwem, estetyką, orientacją i oddziaływaniem środowiskowym.

Istotną konsekwencją teoretyczną pracy jest włączenie estetyki przestrzeni nocnej do oceny jakości oświetlenia jako kategorii projektowej. Miasto po zmroku tworzy odrębny obraz przestrzenny, w którym światło sztuczne wpływa na rozpoznawalność miejsca, poczucie skali, atmosferę, ekspozycję architektury oraz odbiór krajobrazu miejskiego.

Estetyka oświetlenia pozostaje więc związana z jakością życia miejskiego, ponieważ warunkuje sposób doświadczania przestrzeni publicznych po zmroku, ich atrakcyjność, czytelność i zdolność budowania tożsamości miejsca.

Wyniki pracy mają również znaczenie dla praktyki projektowej, ponieważ wskazują na potrzebę łączenia oceny parametrów technicznych z oceną realnego obrazu nocnej przestrzeni. Szczególne znaczenie ma tu uporządkowanie relacji między analizą luminancyjną a projektowaniem opartym na natężeniu oświetlenia. Takie podejście pozwala lepiej wiązać wymagania techniczne z widzialnością powierzchni pionowych, zieleni, tła przestrzennego i elementów kompozycyjnych, które w wielu sytuacjach decydują o czytelności oraz jakości percepcyjnej miejsca. W praktyce oznacza to odejście od projektowania skoncentrowanego wyłącznie na nawierzchniach komunikacyjnych na rzecz projektowania całego nocnego wnętrza urbanistycznego.

Proponowane podejście ma wartość porządkującą, ponieważ prowadzi projektanta przez kolejne etapy rozpoznania miejsca, określenia priorytetów, oceny wariantów i interpretacji wyniku. Model umożliwia wskazanie, czy w danym przypadku kluczowe znaczenie ma bezpieczeństwo ruchu, orientacja piesza, ekspozycja architektury, ograniczenie oddziaływania światła na środowisko, ekonomika rozwiązania, trwałość, sterowalność systemu czy równowaga kilku kryteriów. Dzięki temu decyzja projektowa zostaje oparta na jawnej strukturze argumentów, a nie na pojedynczym parametrze technicznym, przyzwyczajeniu projektowemu lub dominacji kryterium kosztowego.

Znaczenie aplikacyjne modelu polega na przekształceniu eksperckiego osądu projektowego w czytelną, sprawdzalną i komunikowalną procedurę decyzyjną. Model porządkuje przesłanki wyboru, umożliwia porównanie wariantów według tych samych kryteriów, pokazuje wpływ preferencji i kosztów oraz wspiera uzasadnienie rekomendacji przedstawianej inwestorowi. W tym sensie może pełnić funkcję mediacyjną między projektantem, zarządcą infrastruktury, inwestorem, konserwatorem, decydentem publicznym i użytkownikami przestrzeni. Dla Autora miało szczególne znaczenie zwiększenie świadomości decydentów w zakresie wielowymiarowego oddziaływania oświetlenia publicznego. Dyskusja o oświetleniu przestaje dotyczyć wyłącznie ceny, mocy opraw, liczby słupów i spełnienia klasy oświetleniowej, a zaczyna obejmować efekt przestrzenny, użytkowy, estetyczny, środowiskowy i eksploatacyjny.

Autor podkreśla znaczenie opracowanego modelu dla głównych decydentów w obszarze oświetlenia sztucznego – samorządów. Podejmują one decyzje w warunkach presji kosztowej, oczekiwań mieszkańców, wymagań bezpieczeństwa, celów energetycznych, ograniczeń środowiskowych oraz odpowiedzialności za środki publiczne. Model może wspierać te procesy, ponieważ pokazuje, z czego wynika przewaga rekomendowanego wariantu: z poprawy bezpieczeństwa, jakości przestrzeni, ograniczenia presji środowiskowej, ekonomii, zarządzalności albo z równowagi kilku kryteriów. Ułatwia to podejmowanie decyzji bardziej świadomych, lepiej uzasadnionych i odporniejszych na redukcję do najniższej ceny.

Model wzmacnia także operacyjne rozumienie zrównoważonego rozwoju w obszarze oświetlenia publicznego. Pozwala przełożyć wybrane aspekty środowiskowe, energetyczne, eksploatacyjne, społeczne i przestrzenne na kryteria oceny wariantów, dzięki czemu stają się one częścią porównania, a nie wyłącznie deklaracją projektową. Oświetlenie może wspierać życie społeczne, poprawiać estetykę przestrzeni i wzmacniać

nocny obraz miasta, ale zastosowane nadmiernie, przypadkowo lub niespójnie prowadzi do rozjaśnienia, utraty ciemności, pogorszenia warunków środowiskowych oraz obniżenia jakości doświadczenia przestrzeni. Model porządkuje te zależności, zwiększając świadomość konsekwencji decyzji oświetleniowych.

Najważniejsza konsekwencja teoretyczna i praktyczna przeprowadzonych badań polega zatem na przesunięciu oceny oświetlenia z poziomu wymaganej ilości światła na poziom jego adekwatności wobec miejsca, użytkowników i struktury przestrzeni. Norma pozostaje koniecznym punktem odniesienia, ale nie wystarcza do opisu jakości nocnej przestrzeni publicznej. Projektowanie i zarządzanie oświetleniem publicznym powinno rozpoczynać się od rozpoznania znaczenia miejsca, a dopiero następnie prowadzić do doboru parametrów, opraw, sterowania, kosztów i sposobu eksploatacji systemu. W tym sensie wyniki rozprawy wzmacniają zarówno teorię projektowania oświetlenia, jak i praktykę podejmowania decyzji w procesach inwestycyjnych oraz zarządczych.

8.3 Ograniczenia przeprowadzonych badań i modelu

Zakres badań przeprowadzonych w rozprawie wynikał z interdyscyplinarnego charakteru problemu oraz z potrzeby połączenia analiz przestrzennych, pomiarowych, percepcyjnych i decyzyjnych w jednej procedurze badawczej. Ograniczenia pracy należy zatem rozpatrywać jako konsekwencję próby zintegrowania kilku odmiennych porządków oceny oświetlenia przestrzeni publicznych. Przyjęta procedura pozwoliła uchwycić relacje między cechami miejsca, parametrami oświetleniowymi, oceną użytkowników i procesem decyzyjnym, ale jednocześnie określiła zakres obowiązywania uzyskanych wyników.

Badanie ankietowe miało charakter rozpoznawczo-porównawczy. Objęło 21 przypadków ocenianych przez 181 respondentów, co dało łącznie 3801 obserwacji na poziomie relacji respondent-przypadek. Taki materiał pozwolił rozpoznać różnice w odbiorze wybranych typów przestrzeni i wariantów oświetlenia. Jego celem było uchwycenie kierunków oceny, a nie budowa uniwersalnych wytycznych statystycznych dla wszystkich przestrzeni publicznych. Dobór przypadków miał charakter celowy i typologiczny. Został podporządkowany potrzebie pokazania zróżnicowania kontekstów oraz sprawdzenia logiki modelu. Budowa reprezentatywnej próby przestrzeni publicznych wymagałaby odrębnego, znacznie szerszego programu badawczego. Rozwiązanie to zapewniło porównywalność ocen i kontrolę sposobu prezentacji przypadków, ale nie odtworzyło pełnego doświadczenia nocnej przestrzeni, na które wpływają m.in. ruch, obecność innych osób, pogoda, adaptacja wzroku, znajomość miejsca, dźwięk, poczucie kontroli oraz indywidualne doświadczenia użytkownika.

Ograniczenia dotyczą także autorskiego charakteru kryteriów, wag i deskryptorów. Zostały one opracowane na podstawie literatury, badań własnych, analizy praktyki projektowej, konsultacji z praktykami oraz doświadczenia projektowego autora. Takie połączenie pozwoliło stworzyć spójną i operacyjną procedurę oceny, ale wymaga dalszej kalibracji w szerszych badaniach eksperckich, projektowych i aplikacyjnych. W obecnym kształcie model należy traktować jako uzasadnioną propozycję metodyczną, której wartość polega na uporządkowaniu procesu decyzyjnego, a nie na ustaleniu wag

i deskryptorów dla wszystkich typów przestrzeni publicznych. Lista wag i deskryptorów nie powinna być traktowana jako zamknięty i ostateczny katalog. Powinna podlegać okresowej ewaluacji oraz aktualizacji wraz z rozwojem wiedzy o percepcji przestrzeni nocnej, postępie technologicznym, zmianami standardów projektowych oraz doświadczeniami wynikającymi z kolejnych zastosowań modelu.

Podobnie należy interpretować weryfikację aplikacyjną i odpornościową. Wykazała ona operacyjną czytelność modelu oraz jego przydatność w porównywaniu rzeczywistych wariantów projektowych, lecz nie zastępuje testowania na dużej liczbie projektów, modernizacji i kontekstów przestrzennych. Dalsze zastosowania modelu powinny służyć ocenie stabilności wag, odporności deskryptorów oraz powtarzalności rekomendacji w różnych warunkach organizacyjnych, inwestycyjnych i przestrzennych.

Najważniejsze ograniczenie dotyczy statusu zaproponowanego rozwiązania. Model opracowany w rozprawie nie jest normą ani powszechnym standardem projektowym. Uzyskanie takiego statusu wymagałoby wieloetapowej walidacji w środowisku eksperckim oraz procedur formalno-prawnych i normalizacyjnych. Wdrożenie tego typu podejścia do praktyki projektowej i zarządczej należy traktować jako proces wieloletni, wymagający potwierdzenia skuteczności modelu w różnych warunkach projektowych, instytucjonalnych i środowiskowych.

Ograniczenia te nie podważają wyników rozprawy, lecz określają zakres ich obowiązywania. Praca dostarcza metody porządkowania decyzji projektowej, a nie zamkniętego standardu projektowania oświetlenia dla wszystkich możliwych przypadków. Jej znaczenie polega na zaproponowaniu procedury, która może być dalej rozwijana, uszczegóławiana i testowana w kolejnych zastosowaniach projektowych.

8.4 Kierunki dalszego rozwijania metody

Dalszy rozwój przedstawionej w dysertacji metody powinien koncentrować się na dwóch powiązanych obszarach: pogłębianiu wiedzy o oświetleniu pełnej struktury przestrzeni publicznej oraz rozwijaniu modelu wspomagania decyzji projektowych w warstwie metodologicznej i narzędziowej. Pierwszy obszar dotyczy relacji między światłem, strukturą wnętrza urbanistycznego i sposobem odbioru przestrzeni po zmroku. Drugi obejmuje kalibrację modelu, rozwój deskryptorów, doprecyzowanie wag oraz przygotowanie narzędzia możliwego do stosowania w praktyce projektowej i zarządczej.

W dalszych badaniach należy określić, które warstwy przestrzeni wymagają widoczności w różnych typach miejsc, z jaką intensywnością i w jakiej relacji luminancyjnej do powierzchni poziomych. Szczególne znaczenie powinno mieć badanie relacji między luminancją powierzchni pionowych i poziomych, ponieważ wpływa ona na czytelność, orientację, poczucie bezpieczeństwa, odbiór skali oraz jakość kompozycji nocnego wnętrza urbanistycznego. Rozwój tej części badań może prowadzić do bardziej precyzyjnych zasad kształtowania nocnego obrazu przestrzeni publicznych.

Kolejny kierunek dotyczy rozszerzenia badań terenowych i percepcyjnych na większą liczbę miast, typów przestrzeni, kultur użytkowania oraz warunków środowiskowych. Zasadne jest prowadzenie analiz w skali ponadlokalnej i europejskiej, z wykorzystaniem pomiarów luminancyjnych, oceny natężenia oświetlenia, analizy jasności nawierzchni, dokumentacji fotograficznej, badań percepcyjnych oraz ocen prowadzonych

bezpośrednio w przestrzeni. Pozwoliłoby to lepiej określić zakres powtarzalności wniosków oraz zróżnicowanie oczekiwań użytkowników w zależności od kontekstu miejsca.

Dalszej kalibracji wymagają preferencje eksperckie, wagi i deskryptory oceny. Kolejnym etapem powinny być szerokie badania eksperckie z udziałem projektantów oświetlenia, architektów, urbanistów, zarządców infrastruktury, specjalistów środowiskowych oraz przedstawicieli samorządów. Ich celem powinno być sprawdzenie stabilności relacji między cechami kontekstu, preferencjami nadrzędnymi i kryteriami oceny oraz doprecyzowanie sposobu różnicowania wag dla różnych typów przestrzeni publicznych.

Istotnym kierunkiem rozwoju jest także wprowadzenie kontekstowych progów adekwatności lub funkcji użyteczności dla wybranych kryteriów. Obecna struktura modelu wskazuje, które kryteria powinny mieć większe znaczenie w danym kontekście. Kolejny etap powinien określić, jaki poziom realizacji danego kryterium można uznać za wystarczający dla określonego typu przestrzeni, funkcji, rangi miejsca, intensywności użytkowania i wrażliwości środowiskowej. Takie podejście pozwoliłoby lepiej identyfikować rozwiązania proporcjonalne do realnych potrzeb miejsca.

Rzeczony model powinien obejmować także jego cyfryzację. Narzędzie cyfrowe mogłoby prowadzić użytkownika przez kolejne etapy: rozpoznanie kontekstu, wybór preferencji, ocenę wariantów, analizę wyniku i przygotowanie uzasadnienia decyzji. Część danych potrzebnych do klasyfikacji kontekstu mogłaby być pozyskiwana lub wspierana automatycznie z systemów GIS, baz danych miejskich, ortofotomap, modeli 3D, danych o funkcjach zabudowy, zieleni, układzie komunikacyjnym i intensywności użytkowania. Pozwoliłoby to zwiększyć powtarzalność pierwszego etapu oceny oraz ograniczyć zależność wyniku od opisowej interpretacji użytkownika narzędzia.

W narzędziu cyfrowym powinien zostać rozwinięty również moduł analizy odpornościowej. Analiza czułości wag, test wpływu kryteriów kosztowych, informacja o sile rekomendacji, marginesie przewagi oraz wrażliwości wyniku powinny stanowić standardowy element raportu wynikowego. Taki sposób prezentacji ograniczałby ryzyko traktowania rankingu jako automatycznego rozstrzygnięcia i wzmacniałby interpretacyjny charakter modelu.

Dalszy rozwój metody powinien więc łączyć badania nad nocnym wnętrzem urbanistycznym z rozwojem skalibrowanego, cyfrowego i odpornościowo testowanego narzędzia wspomagania decyzji projektowych. Dopiero połączenie tych kierunków może prowadzić do szerszego wdrożenia kontekstowego i wielokryterialnego podejścia do projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych.

9

Podsumowanie i wnioski

9 Podsumowanie i wnioski

9.1 Końcowe wnioski rozprawy

Celem rozprawy było opracowanie podstaw metodologicznych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych oraz stworzenie modelu wspomagania decyzji projektowych umożliwiającego uporządkowane porównywanie wariantów oświetleniowych. Punktem wyjścia było rozpoznanie rozbieżności między techniczno-parametrycznym opisem oświetlenia a rzeczywistą złożonością jego wpływu na funkcjonowanie, percepcję i jakość przestrzeni publicznych po zmroku.

Według autora założona w rozprawie teza (1.3 Teza badawcza) w wyniku toku przeprowadzonych badań została potwierdzona. Należy rozumieć w granicach przyjętego materiału badawczego, zastosowanej procedury oraz przeprowadzonej weryfikacji aplikacyjnej.

Najważniejsze wnioski rozprawy można ująć w sześciu zasadniczych punktach.:

1. Kontekst przestrzenny stanowi podstawę decyzji oświetleniowej.

Potrzeby oświetleniowe wynikają z cech miejsca, jego funkcji, sposobu użytkowania, struktury przestrzennej, intensywności aktywności po zmroku oraz wrażliwości środowiskowej. Dobór rozwiązań oświetleniowych powinien więc wynikać z rozpoznania konkretnej przestrzeni, a nie wyłącznie z formalnej klasy drogi, kategorii technicznej lub typowego schematu projektowego.

2. Jakość oświetlenia jest relacją między parametrami, przestrzenią, użytkownikiem i środowiskiem.

Spełnienie wymagań normowych pozostaje koniecznym punktem odniesienia, lecz nie wyczerpuje oceny jakości nocnej przestrzeni publicznej. Wysoka jakość oświetlenia wymaga powiązania parametrów technicznych z czytelnością miejsca, komfortem użytkownika, estetyką nocnego obrazu, relacjami luminancyjnymi, oddziaływaniem środowiskowym oraz adekwatnością rozwiązania do charakteru przestrzeni. Większa ilość światła nie oznacza automatycznie wyższej jakości.

3. Przestrzeń nocna powinna być oceniana warstwowo.

Odbiór przestrzeni po zmroku nie ogranicza się do powierzchni komunikacyjnych. Istotne są również powierzchnie pionowe, zieleń, strefy wejściowe, granice wnętrza urbanistycznego i elementy orientacyjne. Jakość oświetlenia zależy od sposobu uporządkowania tych warstw, ich wzajemnych relacji oraz roli, jaką pełnią w budowaniu czytelności, orientacji, bezpieczeństwa i estetyki miejsca.

4. Decyzja oświetleniowa ma charakter wielokryterialny i konfliktowy.

Projektowanie oświetlenia wymaga równoważenia bezpieczeństwa, jakości przestrzeni, estetyki, oddziaływania środowiskowego, efektywności energetycznej, kosztów, trwałości i zarządzalności systemu. Poszczególne kryteria mogą prowadzić do odmiennych

rekomendacji, dlatego ocena wariantów wymaga jawnej procedury porządkowania przesłanek decyzyjnych.

5. Opracowany model porządkuje proces oceny wariantów projektowych.

Model prowadzi od klasyfikacji kontekstu przestrzennego, przez określenie preferencji nadrzędnych i wag kryteriów, do oceny wariantów z wykorzystaniem metody MCDA/PROMETHEE. Jego znaczenie metodologiczne polega na oddzieleniu opisu miejsca od preferencji decyzyjnych oraz od oceny konkretnych rozwiązań technicznych. Dzięki temu możliwe jest bardziej przejrzyste porównanie wariantów i uzasadnienie rekomendacji.

6. Model wspiera decyzję projektową, ale jej nie automatyzuje.

Wartość modelu polega na ujawnieniu źródeł przewagi danego wariantu, sprawdzeniu stabilności rekomendacji oraz kontroli wpływu kryteriów kosztowych na wynik końcowy. Model nie eliminuje złożoności decyzji oświatleniowej, lecz czyni ją widoczną, uporządkowaną i możliwą do analizy. Stanowi narzędzie wspomagania projektanta, inwestora i decydenta, a nie mechanizm zastępujący ocenę ekspercką.

Rozprawa prowadzi zatem do wniosku, że kontekstowe kształtowanie oświetlenia przestrzeni publicznych może być traktowane jako metoda postępowania projektowego. Metoda ta opiera się na rozpoznaniu miejsca, określeniu celów, zdefiniowaniu kryteriów oraz przeprowadzeniu jawnej oceny wariantów.

Ostateczny wniosek rozprawy można sprowadzić do stwierdzenia, że jakość oświetlenia publicznego nie wynika z samej obecności oświetlenia, lecz z trafności jego użycia. Światło powinno ujawniać strukturę miejsca, wspierać orientację, wzmacniać poczucie bezpieczeństwa, poprawiać estetykę przestrzeni nocnej i ograniczać negatywne skutki środowiskowe. W takim ujęciu projektowanie oświetlenia staje się elementem odpowiedzialnego kształtowania miasta po zmroku.

9.2 Wkład rozprawy w rozwój wiedzy o projektowaniu i ocenie oświetlenia publicznego

Wkład rozprawy w rozwój wiedzy polega na zmianie podstawowego sposobu myślenia o oświetleniu publicznym. Praca przesuwając ocenę oświetlenia z poziomu parametrów technicznych na poziom relacji pomiędzy światłem, strukturą przestrzeni, użytkownikiem, środowiskiem oraz procesem podejmowania decyzji. W tym sensie rozprawa wzmacnia architektoniczno-urbanistyczne rozumienie oświetlenia publicznego jako narzędzia kształtowania jakości przestrzeni po zmroku. Za najważniejszy wkład rozprawy, skromnym zdaniem autora, należy uznać opracowanie metody, która modyfikuje i porządkuje proces projektowania oświetlenia – od rozpoznania kontekstu przestrzennego do wyboru wariantu oświatleniowego przestrzeni publicznych, łącząc analizę miejsca, ocenę parametrów oświatleniowych, kryteria jakościowe oraz wielokryterialną procedurę porównania wariantów.

Kluczowe elementy wkładu rozprawy można uporządkować w czterech wymiarach.

Wkład teoretyczny.

Rozprawa porządkuje sposób rozumienia jakości oświetlenia przestrzeni publicznych. Jakość ta została ujęta jako relacja między parametrami technicznymi, cechami miejsca, sposobem użytkowania, percepcją, estetyką, bezpieczeństwem, środowiskiem i systemem zarządzania. Takie ujęcie wzmacnia odejście od redukcjonowania oświetlenia do spełnienia wymagań normatywnych, kosztu, mocy zainstalowanej lub ilości światła.

Do najważniejszych elementów wkładu teoretycznego należą:

- ujęcie oświetlenia publicznego jako problemu architektoniczno-urbanistycznego, środowiskowego i decyzyjnego;
- wprowadzenie warstwowego opisu przestrzeni jako podstawy oceny oświetlenia po zmroku;
- wskazanie znaczenia pełnej struktury nocnego wnętrza urbanistycznego, a nie wyłącznie powierzchni komunikacyjnych;
- powiązanie jakości oświetlenia z czytelnością miejsca, orientacją, estetyką, poczuciem bezpieczeństwa i oddziaływaniem środowiskowym;
- wykazanie, że jakość oświetlenia zależy od adekwatności rozwiązania do kontekstu, a nie od samej ilości światła.

Wkład metodologiczny.

Rozprawa wnosi procedurę przejścia od rozpoznania kontekstu przestrzennego do oceny wariantów oświetleniowych. Metoda łączy klasyfikację miejsca, preferencje nadrzędne, kryteria szczegółowe, deskryptory oraz wielokryterialną procedurę porównania wariantów. Jej znaczenie polega na tym, że pozwala uporządkować decyzję projektową w warunkach konfliktu kryteriów i niepełnej jednoznaczności danych.

Do najważniejszych elementów wkładu metodologicznego należą:

- opracowanie autorskiej struktury modelu obejmującej klasyfikację kontekstu, preferencje, kryteria, deskryptory i ocenę wariantów;
- oddzielenie opisu miejsca od preferencji decyzyjnych oraz od oceny konkretnych rozwiązań technicznych;
- zastosowanie metody MCDA/PROMETHEE do porównywania wariantów oświetleniowych w sposób jawny i interpretowalny;
- powiązanie oceny ilościowej, jakościowej, środowiskowej, ekonomicznej i zarządczej w jednej procedurze;
- wprowadzenie analizy odpornościowej obejmującej analizę czułości wag oraz test scenariuszowy wpływu kryteriów kosztowych.

Wkład empiryczny.

Wartością poznawczą rozprawy jest połączenie badań terenowych, pomiarów luminancyjnych, odniesień normatywnych i badań percepcyjnych. Takie zestawienie pozwoliło powiązać porządek techniczny z odbiorem użytkowników oraz wykazać, że ilościowa poprawność oświetlenia i jakość nocnego doświadczenia przestrzeni nie są pojęciami tożsamymi.

Do najważniejszych elementów wkładu empirycznego należą:

- zgromadzenie i uporządkowanie materiału terenowego obejmującego zróżnicowane typy przestrzeni publicznych;
- wykorzystanie pomiarów luminancyjnych do analizy realnego obrazu nocnej przestrzeni;
- zestawienie wyników pomiarowych z odniesieniami normatywnymi oraz oceną percepcyjną;
- rozpoznanie znaczenia warstw przestrzeni w odbiorze oświetlenia po zmroku;
- wskazanie rozbieżności między poziomem światła, zgodnością techniczną i oceną jakości przestrzeni.

Wkład aplikacyjny.

Najważniejszym rezultatem aplikacyjnym pracy jest model wspomagania decyzji projektowych, który może służyć do porządkowania, porównywania i uzasadniania wyboru wariantów oświetleniowych. Model ujawnia przesłanki decyzji, wskazuje źródła przewagi wariantu i pozwala komunikować konsekwencje różnych priorytetów projektowych oraz ekonomicznych.

Do najważniejszych elementów wkładu aplikacyjnego należą:

- stworzenie procedury możliwej do wykorzystania w praktyce projektowej i zarządczej;
- wsparcie porównywania wariantów w różnych kontekstach przestrzennych i inwestycyjnych;
- możliwość uzasadniania rekomendacji wobec inwestora, zarządcy infrastruktury lub decydenta publicznego;
- ograniczenie ryzyka redukcji decyzji do najniższego kosztu, samej klasy oświetleniowej lub intuicyjnej oceny estetycznej;
- wskazanie podstaw do dalszego rozwoju narzędzia cyfrowego wspomagającego projektowanie, ocenę i zamawianie oświetlenia publicznego.

Rozprawa wnosi zatem do wiedzy o projektowaniu i ocenie oświetlenia publicznego zarówno autorską strukturę modelu, jak i sposób jego stosowania oraz interpretowania wyników. Jej znaczenie polega na pokazaniu, że jakość oświetlenia można oceniać jako relację pomiędzy parametrami technicznymi, strukturą przestrzeni, percepcją użytkownika, środowiskiem i procesem decyzyjnym. Dzięki temu światło zostaje ujęte jako narzędzie świadomego, odpowiedzialnego i możliwego do uzasadnienia kształtowania przestrzeni publicznej po zmroku.

9.3 Perspektywy dalszych badań i doskonalenia modelu

Przeprowadzona rozprawa wyznacza podstawę dalszego rozwoju kontekstowego i wielokryterialnego podejścia do projektowania oświetlenia przestrzeni publicznych. Najważniejszą perspektywą jest przeniesienie opracowanej metody do szerszej praktyki projektowej wraz z jej weryfikacją w rzeczywistych sytuacjach decyzyjnych. Włączenie modelu do kolejnych projektów pozwoli rozwijać jego użyteczność, odporność i komunikatywność w warunkach praktyki.

Dalsze prace powinny koncentrować się na trzech kierunkach. Pierwszym jest rozszerzanie bazy przypadków projektowych i pomiarowych, co pozwoli wzmacniać porównywalność rekomendacji w różnych typach przestrzeni publicznych. Drugim jest kalibracja kryteriów, wag i deskryptorów w kolejnych zastosowaniach eksperckich oraz inwestycyjnych, dzięki czemu model będzie mógł lepiej odpowiadać zróżnicowanym warunkom przestrzennym, środowiskowym i organizacyjnym. Trzecim jest cyfryzacja procedury, obejmująca integrację danych przestrzennych, parametrów techniczno-fotometrycznych, ekonomicznych oraz modułów analizy odpornościowej procedury.

Istotną perspektywę aplikacyjną stanowi rozwijany w ramach programu grantowego SMART projekt badawczo-rozwojowy dotyczący: „Opracowania prototypu Innowacyjnego system wspierającego proces ekoprojektowania oświetlenia miejskiego, który łączy dane przestrzenne, semantykę urbanistyczną oraz metody sztucznej inteligencji w celu optymalizacji decyzji projektowych”. Projekt ten rozwija zasadniczą logikę rozprawy: przejście od rozpoznania kontekstu miejsca, przez ocenę jakości i parametrów oświetleniowych, do uzasadnionej rekomendacji projektowej, a jego wynikiem gotowe do wdrożenia na rynku narzędzie. Autor jako współtwórca i badacz w projekcie, będzie miał możliwość dalszego rozwoju badań i doskonalenia wypracowanego w Rozprawie modelu.

Dalszy rozwój modelu powinien więc prowadzić przede wszystkim do jego skalowania, cyfryzacji i wdrażania w rzeczywistych procesach decyzyjnych. W takim ujęciu rozprawa nie zamyka problemu projektowania oświetlenia publicznego, lecz ustanawia metodologiczną podstawę dla jego bardziej świadomego, odpowiedzialnego i jakościowego kształtowania.

Najważniejszym kierunkiem dalszych prac pozostaje rozwijanie podejścia, w którym priorytetem staje się poprawa jakości oświetlenia. Przyszłość projektowania oświetlenia publicznego powinna opierać się na pytaniu, które elementy przestrzeni wymagają widoczności, w jakim stopniu, w jakim czasie i z jakiego powodu. Rozprawa wskazała ramy odpowiedzi na to pytanie oraz stworzyła podstawę dalszej weryfikacji, uszczegółowienia i wdrożenia. W opisanym ujęciu problemu badawczego, dobre oświetlenie publiczne oznacza lepsze użycie światła: bardziej świadome, kontekstowe, estetyczne, środowiskowo odpowiedzialne i możliwe do uzasadnienia wobec projektanta, inwestora, decydenta oraz użytkowników przestrzeni.

Taki krok jest niezbędny dla zrównoważonego rozwoju przestrzeni życia oraz naszego dobrostanu. Jak określił Jan Gehl –

*„Dobre miasto jest jak dobre przyjęcie,
ludzie zostają dłużej aniżeli potrzebują,
ponieważ dobrze się w nim czują...”*

10

Bibliografia

10 Bibliografia

- 1 Agramelal, F., Sadik, M., Moubarak, Y., & Abouzahir, S. (2023). Smart street light control: A review on methods, innovations, and extended applications. *Energies*, 16(21), 7415. <https://doi.org/10.3390/en16217415>
- 2 Al Irsyad, M. I., & Nepal, R. (2016). A survey based approach to estimating the benefits of energy efficiency improvements in street lighting systems in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1569-1577. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.294>
- 3 Appleyard, D. (1981). *Livable streets*. University of California Press.
- 4 Arefi, M., & Aelbrecht, P. (2022). Urban identity, perception, and urban design. *Urban Design International*, 27, 1-2. <https://doi.org/10.1057/s41289-022-00179-9>
- 5 Aslanoğlu, R., Kwiecińska, K., Jakóbiak, A., Zienowicz, M., Wiśniewska, A., Bartyńska-Zielińska, M., & Tokarczyk-Dorociak, K. (2025). Illuminating perceptions: A mixed-methods study of public views on urban park lighting. *Sustainability*, 17(20), 9266. <https://doi.org/10.3390/su17209266>
- 6 Attahiru, Y. B., Aziz, M. M. A., Kassim, K. A., Shahid, S., Bakar, W. A. W. A., & Ahamed, M. I. (2019). A review on green economy and development of green roads and highways using carbon neutral materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 600-613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.036>
- 7 Babbie, E. R. (2020). *The practice of social research* (15th ed.). Cengage.
- 8 Balázs, L., Braun, F., & Lengyel, J. (2023). Energy saving potential of traffic-regulated street lighting. *Sustainability*, 15(8), 6750.
- 9 Bartnicka, M. (2017). Światło w architekturze i urbanistyce: Niedoceniane spoiwo miasta. *Budownictwo i Architektura*, 16(1), 139-151.
- 10 Beccali, M., Bonomolo, M., Galatioto, A., & Zizzo, G. (2015). Improvement of energy efficiency and quality of street lighting in South Italy as an action of Sustainable Energy Action Plans: The case study of Comiso (RG). *Energy*, 92(Part 3), 394-408. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.008>
- 11 Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198-215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- 12 Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- 13 Bonomolo, M., Calabrò, C., Beccali, M., Zizzo, G., & Gagliano, A. (2017). Planning restoration of a historical landscape: A case study for integrating a sustainable street lighting system with conservation of historical values. *Journal of Cleaner Production*, 165, 579-586.
- 14 Boomsma, C., & Steg, L. (2014). Feeling safe in the dark: Examining the effect of entrapment, lighting levels, and gender on feelings of safety and lighting policy acceptability. *Environment and Behavior*, 46(2), 193-212. <https://doi.org/10.1177/0013916512453838>
- 15 Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press.
- 16 Boyce, P. R., Eklund, N. H., Hamilton, B. J., & Bruno, L. D. (2000). Perceptions of safety at night in different lighting conditions. *Lighting Research and Technology*, 32(2), 79-91.
- 17 Brandi, U., & Geissmar-Brandi, C. (2007). *Light for cities: Lighting design for urban spaces. A handbook*. Birkhäuser.
- 18 Brans, J.-P., & Mareschal, B. (2005). PROMETHEE methods. In J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrgott (Eds.), *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 163-186). Springer.
- 19 Brans, J.-P., & Vincke, P. (1985). A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making. *Management Science*, 31(6), 647-656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>
- 20 Brans, J.-P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- 21 Breukel, K., & Cieraad, E. (2024). Using light as a medium to convey its dark side: A light festival case study. *Sustainability*, 16(16), 6941.

- 22 Briggs, W. R. (2006). Physiology of plant responses to artificial lighting. In C. Rich & T. Longcore (Eds.), *Ecological consequences of artificial night lighting* (pp. 389-411). Island Press.
- 23 Burattini, C., Bisegna, F., & De Santoli, L. (2025). Street luminance and night-time walking comfort: A new perspective for urban lighting design. *Journal of Urban Design*, 30(1), 52-70. <https://doi.org/10.1080/13574809.2024.2351914>
- 24 Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2018). A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. *Computers & Operations Research*, 96, 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.016>
- 25 Carmona, M., Heath, T., Oc, T., & Tiesdell, S. (2003). *Public places—Urban spaces: The dimension of urban design*. Architectural Press.
- 26 Carmona, M., Heath, T., Oc, T., & Tiesdell, S. (2010). *Public places, urban spaces: The dimensions of urban design* (2nd ed.). Routledge.
- 27 Castilla, N., Blanca-Giménez, V., Pérez-Carramiñana, C., & Llinares, C. (2024). The influence of the public lighting environment on local residents' subjective assessment. *Applied Sciences*, 14(3), 1234. <https://doi.org/10.3390/app14031234>
- 28 Chalfin, A., Hansen, B., Lerner, J., & Parker, L. (2022). Reducing crime through environmental design: Evidence from a randomized experiment of street lighting in New York City. *Journal of Quantitative Criminology*, 38(1), 127-157. <https://doi.org/10.1007/s10940-020-09490-6>
- 29 Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). Wiley.
- 30 Cristea, M., Țirnovan, R. A., Cristea, C. S., Pică, C. S., & Făgărășan, C. (2018). A multi-criteria decision making approach for public lighting system selection. *MATEC Web of Conferences*, 184, 04006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818404006>
- 31 Cullen, G. (1961). *The concise townscape*. Architectural Press.
- 32 Curran, P. G. (2016). Methods for the detection of carelessly invalid responses in survey data. *Journal of Experimental Social Psychology*, 66, 4-19.
- 33 Davoudian, N. (2011). Visual saliency of urban objects at night: Impact of the density of background light patterns. *LEUKOS*, 8(2), 137-152. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2011.08.02.004>
- 34 Dincel, S., Besenecker, U., Koch, D., & Zielińska-Dąbkowska, K. M. (2024). Light formed through urban morphology and different organism groups: First findings from a systematic review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1320(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1320/1/012002>
- 35 Dominoni, D. M., Borniger, J. C., & Nelson, R. J. (2016). Light at night, clocks and health: From humans to wild organisms. *Biology Letters*, 12(2), 20160015. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0015>
- 36 Doulos, L. T., Sioutis, I., Kontaxis, P. A., Zissis, G., & Faidas, K. (2019). A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101759. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101759>
- 37 Duque, F. (2014). Public art and the making of urban space. *City, Territory and Architecture*, 1, 4.
- 38 Dwimirnani, P., Karimi, K., & Palaiologou, G. (2017). Space after dark: Measuring the impact of public lighting at night on visibility, movement, and spatial configuration in urban parks. In *Proceedings of the 11th International Space Syntax Symposium* (pp. 129.1-129.18).
- 39 Dymnicka, M. (2013). Przestrzeń publiczna a przemiany miasta. *Nauka*, 4, 53-67.
- 40 Eldridge, A., & Smith, A. (2019). Tourism and the night: Towards a broader understanding of nocturnal city destinations. *Journal of Policy Research in Tourism, Leisure and Events*, 11(3), 371-379. <https://doi.org/10.1080/19407963.2019.1631519>
- 41 Erel, Y., Kyriakidou, F., & Muro, R. (2024). Urban illuminations: Light art activating the public realm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1320(1), 012012.
- 42 Ernst, S., Łabuz, M., Środa, K., & Kotulski, L. (2018). Graph-based spatial data processing and analysis for more efficient road lighting design. *Sustainability*, 10(11), 3850. <https://doi.org/10.3390/su10113850>
- 43 European Commission. (b.d.). *Life-cycle costing*. Green Forum.

- 44 European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. (2021). *Buying social: A guide to taking account of social considerations in public procurement* (2nd ed.). Publications Office of the European Union.
- 45 Ewing, R., & Handy, S. (2009). Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability. *Journal of Urban Design*, 14(1), 65-84. <https://doi.org/10.1080/13574800802451155>
- 46 Fan, Z., & Biljecki, F. (2024). Nighttime Street View imagery: A new perspective for sensing urban lighting landscape. *Sustainable Cities and Society*, 116, 105862. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105862>
- 47 Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.
- 48 Figueira, J. R., Greco, S., & Ehr Gott, M. (Eds.). (2005). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b100605>
- 49 Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219-245. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- 50 Gabryjewski, Z., Czyżewski, D., & Golik, W. (2006). *Komentarz do Polskiej Normy PN-EN 13201:2005 (U): Oświetlenie dróg*. SEP.
- 51 Gasparovsky, D., Schwarcz, P., & Janiga, P. (2011). Assessment and measurement of energy demand and efficiency in public lighting networks. In K. Domke & C. A. Brebbia (Eds.), *Light in engineering, architecture and the environment* (WIT Transactions on the Built Environment, Vol. 121, pp. 133-145). WIT Press. <https://doi.org/10.2495/LIGHT110121>
- 52 Gaston, K. J., Gaston, S., Bennie, J., & Hopkins, J. (2015). Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23(1), 14-23. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0041>
- 53 Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140133. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- 54 Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.
- 55 Gehl, J. (2013). *Życie między budynkami* (wyd. polskie). RAM.
- 56 Gehl, J., & Svarre, B. (2021). *Jak studiować życie w przestrzeni publicznej*. Narodowy Instytut Architektury i Urbanistyki.
- 57 Gehl, J., Gemzøe, L., Kirknæs, S., & Søndergaard, B. S. (2006). *New city life*. Arkitektens Forlag.
- 58 Gerring, J. (2016). *Case study research: Principles and practices* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- 59 Giordano, E., & Ong, C.-E. (2017). Light festivals, policy mobilities and urban tourism. *Tourism Geographies*, 19(5), 699-716. <https://doi.org/10.1080/14616688.2017.1300936>
- 60 Goldrath, T., Ayalon, O., & Shechter, M. (2015). A combined sustainability index for electricity efficiency measures. *Energy Policy*, 86, 574-584. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.013>
- 61 Gorzelańczyk, P., & Miśkowski, M. (2022). Opinion of residents on lighting in the city of Pila. *Olsztyn Economic Journal*, 17(2), 213-229. <https://doi.org/10.31648/oej.8740>
- 62 Grabiec, A. M., Łacka, A., & Wiza, W. (2022). Material, functional, and aesthetic solutions for urban furniture in public spaces. *Sustainability*, 14(23), 16211.
- 63 Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods* (2nd ed.). Wiley.
- 64 Groves, R. M., Fowler, F. J., Jr., Couper, M. P., Lepkowski, J. M., Singer, E., & Tourangeau, R. (2009). *Survey methodology* (2nd ed.). Wiley.
- 65 Haans, A., & de Kort, Y. A. W. (2012). Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. *Journal of Environmental Psychology*, 32(4), 342-352. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.05.006>
- 66 Haffaf, A., Lakdja, F., Meziane, R., & Ould Abdeslam, D. (2020). Sustainable and cost-effective configuration of street lighting system. *Electrotehnică, Electronică, Automatică*, 68(1), 98-106.
- 67 Hao, X., Zhang, X., Du, J., Wang, M., & Zhang, Y. (2022). Pedestrians' psychological preferences for urban street lighting with different color temperatures. *Frontiers in Psychology*, 13, 971700. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.971700>

- 68 Herzog, T. R., Kaplan, S., & Kaplan, R. (1976). The prediction of preference for familiar urban places. *Environment and Behavior*, 8(4), 627-645. <https://doi.org/10.1177/001391657684008>
- 69 Hovorov, P., Kindinova, A., & Hovorov, V. (2022). Control of the modes of architectural and artistic lighting systems. In *2022 Seventh Junior Conference on Lighting (Lighting 2022)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/Lighting56379.2022.9929010>
- 70 Ilter, Ö., & Verovšek, Š. (2024). Defining places: The role of creative practices in urban placemaking. *Annales, Series Historia et Sociologia*, 34(4), 427-444.
- 71 International Astronomical Union. (2018). *Light pollution brochure*. <https://iauarchive.eso.org/public/images/detail/light-pollution-brochure/>
- 72 International Energy Agency. (2016). *Energy efficiency market report 2016*. IEA.
- 73 Istrate, A.-L., Mitchell, A., Russell, P., & Murphy, S. (2025). Comparative analyses of publicness in urban squares within a diversifying metropolis. *Urban Design International*, 30, 150-168. <https://doi.org/10.1057/s41289-024-00256-1>
- 74 Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
- 75 Javid, R. J., Nejat, A., & Hayhoe, K. (2014). Selection of CO₂ mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 960-972. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.005>
- 76 Kamińska, P., Michalak, H., & Ratajkiewicz, P. (2021). Light and shadow dynamics of modular building façades. In B. Gronostajska & R. Tarczewski (Eds.), *ACPS 2021: Architecture, City, People, Structure* (pp. 121-136). WUST Publishing House.
- 77 Kaplan, J., & Chalfin, A. (2022). Ambient lighting, use of outdoor spaces and perceptions of public safety: Evidence from a survey experiment. *Security Journal*, 35(3), 694-724. <https://doi.org/10.1057/s41284-021-00296-0>
- 78 Kim, K. H., Hwang, T., & Kim, G. (2024). The role and criteria of advanced street lighting to enhance urban safety in South Korea. *Buildings*, 14, 2305.
- 79 Kimic, K., & Polko, P. (2021). Perception of natural elements by park users in the context of security. In *Public recreation and landscape protection* (pp. 354-357).
- 80 Kimic, K., & Polko, P. (2022). The use of urban parks by older adults in the context of perceived security. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4184.
- 81 Kobav, M. B., Eržen, M., & Bizjak, G. (2021). Sustainable exterior lighting for cultural heritage buildings and monuments. *Sustainability*, 13(18), 10159.
- 82 Kotarba, A. Z. (Ed.). (2019). *Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki*. Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk.
- 83 Lis, A., Zalewska, K., Iwankowski, P., Betkier, K., Bilska, P., Dudar, V., & Łągiewka, A. (2024). Evaluation of sense of safety and privacy in parks in relation to the topography, the presence of dense vegetation and other people in the area. *Landscape and Urban Planning*, 242, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104948>
- 84 Lis, A., Zienowicz, M., Kącki, Z., Iwankowski, P., Kukowska, D., & Shestak, V. (2024). Park lighting after dark – Is it a route or a place? How people feel in park nightscapes (experiment). *Landscape and Urban Planning*, 248, 105098. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105098>
- 85 Lis, A., Zienowicz, M., Kukowska, D., Zalewska, K., Iwankowski, P., & Shestak, V. (2023). How to light up the night? The impact of city park lighting on visitors' sense of safety and preferences. *Urban Forestry & Urban Greening*, 89, 128124. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128124>
- 86 Liu, C., Liu, L., Wang, X., Han, B., & Chen, L. (2026). Evaluating urban nighttime lighting and perceived safety in residential areas: An empirical investigation in Xi'an City. *Building and Environment*, 289, 114044. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.114044>
- 87 Lynch, K. (1960). *The image of the city*. MIT Press.
- 88 Markvica, K., Richter, G., & Lenz, G. (2019). Impact of urban street lighting on road users' perception of public space and mobility behavior. *Building and Environment*, 154, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.009>
- 89 Marshall, S. (2005). *Streets and patterns*. Spon Press.
- 90 Martyniuk-Pęczek, J. (2010). *Nocne życie przestrzeni publicznych*. Wydawnictwo Urbanista.
- 91 Martyniuk-Pęczek, J. (2014). *Światła miasta*. Wydawnictwo Marina.

- 92 Meade, A. W., & Craig, S. B. (2012). Identifying careless responses in survey data. *Psychological Methods*, 17(3), 437–455. <https://doi.org/10.1037/a0028085>
- 93 Mehta, V. (2014). Evaluating public space. *Journal of Urban Design*, 19(1), 53–88. <https://doi.org/10.1080/13574809.2013.854698>
- 94 Michalak, H. (2020). Illusionistic game of light: The art of shaping of realistic space. In T. Kozłowski (Ed.), *Defining the architectural space: The truth and lie of architecture* (Vol. 5, pp. 35–45). Oficyna Wydawnicza ATUT; Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe.
- 95 Michalak, H., & Ratajkiewicz, P. (2020). Oświetlenie w służbie bezpiecznej przestrzeni publicznej. In T. Łodygowski, M. Ciałkowski, & A. Żyluk (Eds.), *Nauka dla obronności i środowiska* (pp. 85–96). Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.
- 96 Michalak, H., & Suchanek, J. (2021). Light in the interiors of the urban landscape. *Space & Form*, 46, 117–132.
- 97 Montgomery, J. (1998). Making a city: Urbanity, vitality and urban design. *Journal of Urban Design*, 3(1), 93–116.
- 98 Montgomery, J. (2008). *The new wealth of cities: City dynamics and the fifth wave*. Ashgate.
- 99 Nasar, J. L. (1998). *The evaluative image of the city*. Sage.
- 100 Neves, D., Baptista, P., Simões, M., Silva, C. A., & Figueira, J. R. (2018). Designing a municipal sustainable energy strategy using multi-criteria decision analysis. *Journal of Cleaner Production*, 176, 251–245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.114>
- 101 Niezabitowska, E. (2014). *Metody i techniki badawcze w architekturze*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- 102 Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli.
- 103 Oliveira, V. (2016). *Urban morphology: An introduction to the study of the physical form of cities*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32083-0>
- 104 Oliveira, V. M. A. (2022). *Urban morphology: An introduction to the study of the physical form of cities* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92454-6>
- 105 Papathanasiou, J., & Ploskas, N. (2018). *Multiple criteria decision aid: Methods, examples and Python implementations*. Springer.
- 106 Pasolini, G., Toppan, P., Toppan, A., Bandiera, R., Mirabella, M., Zabini, F., Bonata, D., & Andrisano, O. (2024). Comprehensive assessment of context-adaptive street lighting: Technical aspects, economic insights, and measurements from large-scale, long-term implementations. *Sensors*, 24(18), 5942. <https://doi.org/10.3390/s24185942>
- 107 Peña-García, A., Hurtado, A., & Aguilar-Luzón, M. C. (2016). Considerations about the impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. *Safety Science*, 89, 315–318.
- 108 Petelewicz, M., & Drabowicz, T. (2016). *Jakość życia – globalnie i lokalnie. Pomiar i wizualizacja*. Katedra Socjologii Ogólnej, Uniwersytet Łódzki.
- 109 Pérez Vega, C., Zielińska-Dąbkowska, K. M., & Hölker, F. (2021). Urban lighting research transdisciplinary framework—A collaborative process with lighting professionals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 624.
- 110 Pizzuti, S., Annunziato, M., & Moretti, F. (2013). Smart street lighting management. *Energy Efficiency*, 6(3), 607–616. <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9195-9>
- 111 Pracki, P. (2011). Sprawność oświetlenia i jej wpływ na wydajność energetyczną oświetlenia drogowego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 87(4), 90–92.
- 112 Pracki, P. (2020). A multi-criteria assessment procedure for outdoor lighting at the design stage. *Sustainability*, 12(4), 1330. <https://doi.org/10.3390/su12041330>
- 113 Pracki, P., Wiśniewski, A., Czyżewski, D., Krupiński, R., Skarżyński, K., Wesołowski, M., & Czaplicki, A. (2020). Strategies influencing energy efficiency of lighting solutions. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 68(4), 711–719. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2020.134172>
- 114 Radicchi, A., & Henckel, D. (2023). Planning artificial light at night for pedestrian visual diversity in public spaces. *Sustainability*, 15(2), 1488. <https://doi.org/10.3390/su15021488>
- 115 Rahm, J., & Johansson, M. (2018). Assessing the pedestrian response to urban outdoor lighting: A full-scale laboratory study. *PLOS ONE*, 13(10), e0204638. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204638>

- 116 Rahm, J., & Johansson, M. (2021). Assessment of outdoor lighting: Methods for capturing the pedestrian experience in the field. *Energies*, 14(13), 4005. <https://doi.org/10.3390/en14134005>
- 117 Rahm, J., Sternudd, C., & Johansson, M. (2021). "In the evening, I don't walk in the park": The interplay between street lighting and greenery in perceived safety. *Urban Design International*, 26, 42-52.
- 118 Rapoport, A. (1977). *Human aspects of urban form: Towards a man-environment approach to urban form and design*. Pergamon Press.
- 119 Rapoport, A. (1982). *The meaning of the built environment*. Sage.
- 120 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2019). Minimalizacja ilości parametrów oświetleniowych przyczyną zubożenia nocnego krajobrazu miast. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*.
- 121 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2020). Oświetlenie w służbie bezpiecznej przestrzeni publicznej. In T. Łodygowski, M. Ciałkowski, & A. Żyluk (Eds.), *Nauka dla obronności i środowiska* (pp. 85-96). Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.
- 122 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2023). Strategia oświetlenia jako element zrównoważonego rozwoju miast. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz*, 17, 479-500. <https://doi.org/10.21008/j.2658-2619.2023.17.31>
- 123 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2024). Inwestycje typu SRI/ESG w oświetleniu publicznym. In *Perspektywy rozwoju w naukach inżynieryjno-technicznych - trendy, innowacje i wyzwania* (Vol. 1). Wydawnictwo Naukowe TYGIEL.
- 124 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2024). *Inwestycje typu SRI/ESG w oświetleniu publicznym*. Maszynopis niepublikowany.
- 125 Ratajkiewicz, P., & Michalak, H. (2024). Lighting strategy as a part of sustainable urban development. *Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz*, 17(Wydanie Specjalne).
- 126 Rogińska-Nieśluchowska, M. (2010). Architektura i światło / Architecture and light. *Czasopismo Techniczne. Architektura*, 107(15), 323-327.
- 127 Rozman Cafuta, M. (2021). Sustainable city lighting impact and evaluation methodology of lighting quality from a user perspective. *Sustainability*, 13(6), 3409. <https://doi.org/10.3390/su13063409>
- 128 Rozman Cafuta, M. (2024). The sustainability coefficient of urban open space illumination compliance as a subjective indicator of environmental comfort. *Applied Sciences*, 14(22), 10375. <https://doi.org/10.3390/app142210375>
- 129 Sánchez-Lozano, J. M., Dobarganes-Nodar, A., & Sánchez de Miguel, A. (2021). Decision criteria for the analysis of light pollution in Spain: An AHP approach. In *25th International Congress on Project Management and Engineering (CIDIP 2021)* (pp. 1301-1313). AEIPRO.
- 130 Schönlau, M., & Toepoel, V. (2015). Straightlining in web survey panels over time. *Survey Research Methods*, 9(2), 125-137.
- 131 Seo, Y., & Kim, S.-M. (2013). Estimation of materials-induced CO₂ emission from road construction in Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 625-631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.003>
- 132 Skarżyński, K., & Wiśniewski, A. (2024). The reflections on energy costs and efficacy problems of modern LED lamps. *Energy Reports*, 12, 4926-4937. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.10.038>
- 133 Skarżyński, K., & Żagan, W. (2022). Quantitative assessment of architectural lighting designs. *Sustainability*, 14(7), 3934. <https://doi.org/10.3390/su14073934>
- 134 Son, D., Im, B., Her, J., Park, W., Kang, S.-J., Kim, Y.-J., & Kim, S.-N. (2025). Fear of crime revisited: Analyzing the effects of urban nighttime illuminance on neural and psychological responses using recorded virtual environments and electroencephalogram data. *Virtual Reality*, 29, 145. <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01211-3>
- 135 Strzebiński, W. (1958). *Teoria widzenia*. Wydawnictwo Literackie.
- 136 Tagliabue, L. C., Re Cecconi, F., Moretti, N., Rinaldi, S., Bellagente, P., & Ciribini, A. L. C. (2020). Security assessment of urban areas through a GIS-based analysis of lighting data generated by IoT sensors. *Applied Sciences*, 10(6), 2174. <https://doi.org/10.3390/app10062174>

- 137 Thiel, G. G., Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2017). Street lighting management and performance evaluation: Opportunities and challenges. *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, 15(2), 303-328. [https://doi.org/10.4335/15.2.303-328\(2017\)](https://doi.org/10.4335/15.2.303-328(2017))
- 138 Traverso, M., Donatello, S., Moons, H., Rodríguez Quintero, M., Gama Caldas, M., & Wolf, O. (2017). *Revision of the EU green public procurement criteria for street lighting and traffic signals: Preliminary report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/479108>
- 139 Trancik, R. (2003). *Finding lost space: Theories of urban design*. John Wiley & Sons.
- 140 Trop, T., Shoshany Tavory, S., & Portnov, B. A. (2023). Factors affecting pedestrians' perceptions of safety, comfort, and pleasantness induced by public space lighting: A systematic literature review. *Environment and Behavior*, 55(1-2), 3-46. <https://doi.org/10.1177/00139165231163550>
- 141 Turekulova, A. I., Kovatchev, A. D., & Iskhojanova, G. R. (2020). Methodological approach to creating an urban lighting atmosphere with regard to human needs. *Spatium*, 43, 16-25. <https://doi.org/10.2298/SPAT2043016T>
- 142 Tyndall, J. (2025). Road illumination and nighttime pedestrian deaths: Evidence from moonlight. *Economics of Transportation*, 42, 100411. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2025.100411>
- 143 Valencia Pavón, N. G., Aguila Téllez, A., García Torres, M., Rojas Urbano, J., & Krishnan, N. (2024). Optimal selection of distribution, power, and type of luminaires for street lighting designs using multi-criteria decision model. *Energies*, 17(9), 2194. <https://doi.org/10.3390/en17092194>
- 144 Valetti, L., Piccablotto, G., Taraglio, R., & Pellegrino, A. (2023). Long-term monitoring campaign of LED street lighting systems: Focus on photometric performances, maintenance and energy savings. *Sustainability*, 15(24), 16910. <https://doi.org/10.3390/su152416910>
- 145 van Rijswijk, L., & Haans, A. (2018). Illuminating for safety: Investigating the role of lighting appraisals on the perception of safety in the urban environment. *Environment and Behavior*, 50(8), 889-912. <https://doi.org/10.1177/0013916517718888>
- 146 van Uffelen, C. (2010). *Street furniture*. Braun.
- 147 Vriesema, C. C., & Gehlbach, H. (2021). Assessing survey satisficing: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 32, 100376. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100376>
- 148 Wänström Lindh, U., & Jägerbrand, A. K. (2021). Perceived lighting uniformity on pedestrian roads: From an architectural perspective. *Energies*, 14(12), 3647. <https://doi.org/10.3390/en14123647>
- 149 Wasserfurth-Grzybowski, N. W., & Enders, G. (2018). *The light code: Light encodes reality*. VIA Verlag Joachim Ritter.
- 150 Wejchert, K. (1984). *Elementy kompozycji urbanistycznej*. Arkady.
- 151 Whyte, W. H. (1980). *The social life of small urban spaces*. Project for Public Spaces.
- 152 Wojnicki, I., & Kotulski, L. (2018). Empirical study of how traffic intensity detector parameters influence dynamic street lighting energy consumption: A case study in Krakow, Poland. *Sustainability*, 10(4), 1221. <https://doi.org/10.3390/su10041221>
- 153 Wojnicki, I., Ernst, S., & Kotulski, L. (2016). Economic impact of intelligent dynamic control in urban outdoor lighting. *Energies*, 9(5), 314. <https://doi.org/10.3390/en9050314>
- 154 Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage.
- 155 Yücel, G. F. (2013). Street furniture and amenities: Designing the user-oriented urban landscape. In *Advances in landscape architecture*. IntechOpen.
- 156 Zieliński, J. (2007). *Latarnie warszawskie. Historia i technika*. Miasto Stołeczne Warszawa; Wydawnictwo Jeden Świat.
- 157 Zielińska-Dąbkowska, K. M. (2019). Urban lighting masterplan—Origins, definitions, methodologies and collaborations. In *Urban lighting for people: Evidence-based lighting design for the built environment*. RIBA Publishing.
- 158 Zielińska-Dąbkowska, K. M. (2022). Healthier and environmentally responsible sustainable cities and communities: A new design framework and planning approach for urban illumination. *Sustainability*, 14(21), 14525.
- 159 Zielińska-Dąbkowska, K. M. (2022). Paradigm shifts in urban design and city lighting. In *Rethinking sustainable cities at night*. Springer.

- 160 Zielińska-Dąbkowska, K. M., & Bobkowska, K. (2022). Rethinking sustainable cities at night: Paradigm shifts in urban design and city lighting. *Sustainability*, 14(10), 6062. <https://doi.org/10.3390/su14106062>
- 161 Żagan, W. (2021). *Oświetlenie ulic*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- 162 Żagan, W. (2021). *Podstawy techniki świetlnej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

LISTA DOKUMENTACJI MASTERPLANÓW

- 163 ABU DHABI, Abu Dhabi Public Realm & Street Lighting Handbook, Abu Dhabi City Municipality / Department of Municipal Affairs Abu Dhabi, 2014.
- 164 ARROWTOWN, Arrowtown Lighting Design & Masterplan: Stage One – Concept Design, Toulouse Group, 2017.
- 165 BARANGAROO, Barangaroo masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 166 BATH, Bath masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 167 BRYANT, Master Street Lighting Plan, City of Bryant, data nieustalona.
- 168 FRANKSTON, Lighting Frankston Plan, Frankston City Council, 2021.
- 169 GLIWICE, Masterplan Oświetlenia Obszaru Miejskiego Miasta Gliwice, Studio DL / Miasto Gliwice, 2012.
- 170 GRONINGEN, Groningen masterplan, STUDIO DL, 2013.
- 171 HAGA / DEN HAAG, Den Haag Lichtmasterplan, Studio DL, 2017
- 172 HONG / SINGAPORE, Design Basis to Quality Urban Lighting Masterplan, Ong Swee Hong, 2007.
- 173 JAROCIN, Masterplan oświetlenia i koncepcje, Studio DL, 2018
- 174 LONDON, London masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 175 LUSAIL, Nightscape Lighting Master Plan Strategy, autor nieustalony, 2012.
- 176 MALMÖ, Ljusplan för Malmö befintliga belysning, Malmö stad, data nieustalona.
- 177 MELBOURNE, Lighting Strategy, City of Melbourne, 2021.
- 178 OAKLAND, Oakland masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 179 POZNAŃ, Poznań Masterplan, Studio DL / ENEA oświetlenie, 2022.
- 180 PRINCETON, Princeton masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 181 PUTRAJAYA, Putrajaya Lighting Masterplan. Final Report, Perbadanan Putrajaya, 2002.
- 182 SAINT HELENA ISLAND, Exterior Lighting Master Plan for Saint Helena Island, James Hamilton Paterson, 2018.
- 183 SALT LAKE CITY, Salt Lake City masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 184 SEATTLE, Seattle park masterplan, autor nieustalony, data nieustalona.
- 185 SOUTH SALT LAKE, Lighting Master Plan, City of South Salt Lake, 2018.
- 186 SUNSHINE COAST, Urban Public Lighting Master Plan, Sunshine Coast Council, 2016.
- 187 WARSZAWA, Masterplan, Norbert Wasserfurth z zespołem Studio DL / m.st. Warszawa, 2012
- 188 WESTMINSTER, Lighting Master Plan 2020–2040, Westminster City Council, 2020.
- 189 ZANZIBAR, Zanzibar Night Light: A Lighting Plan for UNESCO World Heritage Zanzibar Stone Town, Freija Carlstén, 2018.
- 190 ZÜRICH / ZURYCH, Plan Lumière, Stadt Zürich, 2004.
- 191 ZUTPHEN, Masterplan Binnenstad en Wijnhuistoren, Studio DL / Gemeente Zutphen, 2015.

Normy, akty prawne, wytyczne techniczne i dokumenty odniesienia

- 192 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz. (2012). *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen*.
- 193 Chartered Institution of Building Services Engineers. (2023). *Lighting guide 6: The exterior environment*.
- 194 CIE Technical Report. (1992). *Guide to the lighting of urban areas* (No. 92).
- 195 Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to

- energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012. (2019). *Official Journal of the European Union*, L 315, 68–101.
- 196 Commission Internationale de l'Éclairage. (1993). *Guide for floodlighting* (CIE 94:1993). CIE.
 - 197 Commission Internationale de l'Éclairage. (1997). *Guidelines for minimizing sky glow* (CIE 126:1997). CIE.
 - 198 Commission Internationale de l'Éclairage. (2000). *Guide to the lighting of urban areas* (CIE 136:2000). CIE.
 - 199 Commission Internationale de l'Éclairage. (2003). *Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations* (CIE 150:2003). CIE.
 - 200 Commission Internationale de l'Éclairage. (2010). *Lighting of roads for motor and pedestrian traffic* (2nd ed., CIE 115:2010). CIE.
 - 201 Commission Internationale de l'Éclairage. (2014). *CIE 232:2014. Lighting of pedestrian crossings*. CIE.
 - 202 Commission Internationale de l'Éclairage. (2017). *Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations* (2nd ed., CIE 150:2017). CIE. <https://doi.org/10.25039/TR.150.2017>
 - 203 Commission Internationale de l'Éclairage. (2019). *A guide to urban lighting masterplanning* (CIE 234:2019). CIE.
 - 204 Commission Internationale de l'Éclairage. (2019). *Lighting for pedestrians: A summary of empirical data* (CIE 236:2019). CIE. <https://doi.org/10.25039/TR.236.2019>
 - 205 Commission Internationale de l'Éclairage. (2024). *CIE position statement on integrative lighting: Recommending proper light at the proper time* (3rd ed.). CIE.
 - 206 Commission Internationale de l'Éclairage. (2025). *CIE position statement on obtrusive light and light pollution*. CIE.
 - 207 Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council. (2019). *Official Journal of the European Union*, L 315, 209–240.
 - 208 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast). (2011). *Official Journal of the European Union*, L 174, 88–110.
 - 209 Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast). (2012). *Official Journal of the European Union*, L 197, 38–71.
 - 210 Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC. (2014). *Official Journal of the European Union*, L 94, 65–242.
 - 211 Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast). (2023). *Official Journal of the European Union*, L 231, 1–111.
 - 212 European Committee for Standardization. (2015). *EN 13201-2:2015. Road lighting—Part 2: Performance requirements*.
 - 213 European Committee for Standardization. (2015). *EN 13201-3:2015. Road lighting—Part 3: Calculation of performance*.
 - 214 European Committee for Standardization. (2015). *EN 13201-4:2015. Road lighting—Part 4: Methods of measuring lighting performance*.
 - 215 European Committee for Standardization. (2015). *EN 13201-5:2015. Road lighting—Part 5: Energy performance indicators*.
 - 216 European Committee for Standardization. (2018). *EN 12193:2018. Light and lighting—Sports lighting*.
 - 217 European Committee for Standardization. (2024). *EN 12464-2:2024. Light and lighting—Lighting of work places—Part 2: Outdoor work places*.
 - 218 Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. (2020). *Richtlijn Lichthinder* (3rd ed.).
 - 219 Österreichisches Normungsinstitut. (2022). *ÖNORM O 1052:2022. Lichtimmissionen—Messung und Beurteilung*.
 - 220 Polityka ekologiczna państwa 2030 – strategia rozwoju w obszarze środowiska i gospodarki wodnej. (2019). *Monitor Polski* 2019, poz. 794.

- 221 Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (2021). *Monitor Polski* 2021, poz. 264.
- 222 Polski Komitet Normalizacyjny. (2016a). *PKN-CEN/TR 13201-1:2016-02. Oświetlenie dróg – Część 1: Wytyczne dotyczące wyboru klas oświetlenia.*
- 223 Polski Komitet Normalizacyjny. (2016b). *PN-EN 13201-2:2016-03. Oświetlenie dróg – Część 2: Wymagania eksploatacyjne.*
- 224 Polski Komitet Normalizacyjny. (2016c). *PN-EN 13201-3:2016-03. Oświetlenie dróg – Część 3: Obliczenia parametrów oświetleniowych.*
- 225 Polski Komitet Normalizacyjny. (2016d). *PN-EN 13201-4:2016-03. Oświetlenie dróg – Część 4: Metody pomiaru parametrów oświetleniowych.*
- 226 Polski Komitet Normalizacyjny. (2016e). *PN-EN 13201-5:2016-03. Oświetlenie dróg – Część 5: Wskaźniki efektywności energetycznej.*
- 227 Prawo zamówień publicznych. (2024). Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 19 sierpnia 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo zamówień publicznych. *Dziennik Ustaw* 2024, poz. 1320.
- 228 Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542, and repealing Directive 2009/125/EC. (2024). *Official Journal of the European Union*.
- 229 Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej. (2016). *Dziennik Ustaw* 2016, poz. 831.
- 230 Ustawa z dnia 7 października 2022 r. o szczególnych rozwiązaniach służących ochronie odbiorców energii elektrycznej w 2023 roku oraz w 2024 roku w związku z sytuacją na rynku energii elektrycznej. (2022). *Dziennik Ustaw* 2022, poz. 2127.
- 231 Ustawa o efektywności energetycznej. (2024). Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 21 czerwca 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o efektywności energetycznej. *Dziennik Ustaw* 2024, poz. 1047.

Spis rycin z wykazem źródeł

11 Spis rycin z wykazem źródeł.

Ryc. 1. Schemat pracy doktorskiej. Opracowanie własne.....	20
Ryc.2 nocna przestrzeń miasta. Widok na miasto riva del garda (it).fot.p. Ratajkiewicz.	28
Ryc.3 schemat procedury badawczej. Opracowanie własne.....	30
Ryc.4. Grafika złożoności problemu decyzyjnego. Opracowanie własne.	35
Ryc.5. Przedmiot decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych. Opracowanie własne.....	39
Ryc.6. Wpływ sposobu rozmieszczenia infrastruktury oświetleniowej na nocny obraz przestrzeni w zabudowie mieszkaniowej wielorodzinnej: a) rozwiązanie lepiej zintegrowane z kompozycją przestrzeni i jej użytkowaniem; b) rozwiązanie podporządkowane przede wszystkim oświetleniu warstwy komunikacyjnej. Od lewej: ul. Chłapowskiego, ul. Taczaka, poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.	40
Ryc.7. Sezonowa zmienność okresu aktywności po zmroku (dla czasów miasta poznania). Zestawienie godzin wschodów i zachodów słońca dla 15. Dnia każdego miesiąca oraz czasu aktywności opcjonalnych po zachodzie słońca, przy założeniu przedziału aktywności opcjonalnych 16:00–24:00. Opracowanie własne na podstawie danych meteogram.org. 45	
Ryc.8. Ulice (po lewej: ul. Morenowa, puszczykowo; po prawej via giacomo matteotti, san remo, it), podlegają normatywnie tym samym wytycznym projektowym, ograniczając projekt do powierzchni posadzek. Fot. P. Ratajkiewicz.....	51
Ryc.9. Przestrzeń ulic w konstancji (de) oraz (na dole) w lecco (it) w ujęciach dziennym i nocnym – przykład redefinicji percepcji przestrzeni przez światło sztuczne. Fot. P. Ratajkiewicz.	55
Ryc.10. Funkcje światła w organizacji percepcji przestrzeni nocnej. Opracowanie własne.	57
Ryc.11. Obraz linii prowadzących dla tej samej przestrzeni w dzień i w nocy. Poznań ul. Droga dębińska, fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	58
Ryc.12. Logika przejścia od analizy kompozycji wnętrza urbanistycznego do definiowania jednostki analizy w projektowaniu oświetlenia. Opracowanie własne.	62
Ryc.13. Zróżnicowanie wnętrz traktów komunikacyjnych jako przykładów wnętrz urbanistycznych z punktu widzenia opisu kontekstu przestrzennego i projektowania oświetlenia. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.....	64
Ryc.14. Zmiana czytelności kompozycji wnętrza urbanistycznego w obrazie dziennym i nocnym. Poznań ul. Krasińskiego. Fot. P. Ratajkiewicz.	65
Ryc.15. Zmiana układu hierarchii oraz czytelności granic wnętrza urbanistycznego w warunkach nocnych. Poznań, ul. Piłsudskiego. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	66
Ryc. 16. Podstawowe elementy wnętrza urbanistycznego jako zakres przestrzeni projektowanej w oświetleniu. Gliwice, ul. Zwycięstwa. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	68
Ryc.17. Dwie perspektywy definiowania przestrzeni projektowanej w oświetleniu. Na górze: moduł do obliczeń ulicznych. Na dole moduł do obliczeń zewnętrznych – pełne wnętrze urbanistyczne. Obliczenia fotometryczne w programie dialux. Opracowanie własne.	69
Ryc.18. Nieboskłon jako sufit wnętrza urbanistycznego i obszar wymagający ochrony w projektowaniu oświetlenia. Konstancja (de) fot. P. Ratajkiewicz.	70
Ryc.19. Człowiek w centrum wielowarstwowej struktury przestrzeni: chodnik, ulica, zieleń niska, zielen, strefy wejść, elewacje warszawa, ul. Żelazna. Fot. P. Ratajkiewicz.....	73
Ryc.20. Kontekst układu urbanistycznego w relacji do oczekiwań i aktywności ludzi oraz znaczenia miejsca. Promenada w lecco (it). Fot. Piotr ratajkiewicz..	75
Ryc.21. Ulica w zwartej zabudowie jako przykład układu, w którym potrzeby oświetleniowe wynikają z relacji pomiędzy warstwą ruchu, pierzejami i strefami wejściowymi. Poznań, ul. Wrocławska. Fot. P. Ratajkiewicz.	77

Ryc.22. Plac jako przykład układu, w którym latarnie organizują zarówno orientację, jak i nocny obraz przestrzeni. Nicea (fr) fot. P. Ratajkiewicz.	77
Ryc.23. Węzeł komunikacyjny i punkt przesiadkowy. Dworzec kolejowy w san remo, (it).	78
Ryc.24. Aleja spacerowa w parku mickiewicza, poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.	79
Ryc.25. Przykład ulicy miejskiej w zabudowie wielorodzinnej, poznań os. Zwycięstwa.	79
Ryc.26. Przykład ulicy miejskiej w zabudowie rezydencjalnej, jednorodzinnej. Poznań ul. Grodziska. Fot. P. Ratajkiewicz.	79
Ryc.27. Droga w obszarze niezabudowanym. Poznań ul. Bałtycka. Fot. P. Ratajkiewicz.	82
Ryc. 28. Przykład wysokiej jakości projektu oświetlenia zabytkowej tkanki miasta. Stary rynek w poznaniu. Fot. P. Ratajkiewicz.	85
Ryc.29. Ulica w obszarze ochrony konserwatorskiej jako przykład przestrzeni, w której potrzeby oświetleniowe są modyfikowane przez wartość historyczną i rangę kompozycyjną miejsca. Fot. P. Ratajkiewicz.	86
Ryc.30. Przestrzeń promenady jako przykład układu, w którym potrzeby oświetleniowe są modyfikowane przez ekspozycję krajobrazową, obecność wody i relację z ciemnym tłem nocnego pejzażu. Konstancja (de). Fot. P. Ratajkiewicz.	86
Ryc.31. Zestaw podstawowych klasyfikatorów kontekstu przestrzennego: morfologia, funkcja, rodzaj wnętrza/kompozycja, użytkownicy, środowisko, użytkowanie. Opracowanie własne.	88
Ryc.32. Przestrzeń placów miejskich zrealizowana w zróżnicowany sposób w zakresie rozkładu oświetlenia. Od góry: świnoujście (pl), konstancja (de), lecco (it), poznań (pl). Fot. P. Ratajkiewicz.	95
Ryc.33. Logika wyboru wariantu projektu oświetlenia. Opracowanie własne.	97
Ryc.34. Przykład budowania hierarchii w kompozycji świetlnej. Stary rynek w poznaniu. Fot. P. Ratajkiewicz.	101
Ryc.35. Zmiana typu kompozycji widoku dziennego i nocnego: zanik linii prowadzących przez niedoświetlenie fasad, b) zanik zamknięcia widoku c) przejęcie roli akcentów przez oprawy i maszty. Lecco (it). Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	102
Ryc.36. Udział płaszczyzn pionowych i poziomych w polu widzenia pieszego w ulicy śródmiejskiej. Poznań, ul. Taczaka. Źródło: opracowanie własne.	103
Ryc.37. Zaprojektowany indywidualnie system konstrukcji-latarni oświetlenia ulicznego. Ul. Corso inghilterra, turyn (it), fot. P. Ratajkiewicz.....	111
Ryc.38. Rozwiązania masowe w postaci technicznej latarni oświetlenia ulicznego. Ul. Hetmańska, poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.....	112
Ryc.39. „dzwon poznański” jako przykład połączenia formy historyzującej z technologią współczesną (źródła led, sterowanie, regulacja dystrybucją światła). Stary rynek. Poznań. Fot. P. Ratajkiewicz.	113
Ryc.40. Schemat architektury infrastruktury współczesnego systemu oświetlenia ulicznego. Opracowanie własne.....	115
Ryc.41. System nocnego krajobrazu miasta. Riva del garda (it). Fot. P. Ratajkiewicz.....	117
Ryc.42. Grafika masterplanu oświetlenia ukazująca strukturę nocnej przestrzeni miasta kolonia w niemczech. Źródło studio dl.	119
Ryc.43. Kreacja światłem elementów małej architektury miejskiej. Świetlna droga bursztynowa zaznaczona na mapie europy. Główny rynek, kalisz. Fot. P. Ratajkiewicz.	121
Ryc.44. Instalacja świetlna stanowiąca galerię miejską. Główny rynek, kalisz. Fot. P. Ratajkiewicz.	122
Ryc.45. Wykorzystanie światła kreatywnego w tworzeniu nastroju na placu miejskim. Warszawa, ul. Prosta. Fot. P. Ratajkiewicz.....	123
Ryc.46. Wykorzystanie akcentowania świetlnego jako znacznik dojścia do rynku w jarocinie. ..	123

Ryc.47. Odmienne podejścia do oświetlenia przestrzeni ulicy mieszkaniowo-handlowej. Od góry, rive dle garda (it), olomunec (cz). Fot. P. Ratajkiewicz.	129
Ryc.48. Rozświetlenie niebosłonu jako skutek intensywnego oświetlenia stoków narciarskich. Białka tatrzańska. Fot. P. Ratajkiewicz.	132
Ryc.49. Intensywne rozświetlenie elewacji budynków mieszkalnych i usługowych powodujące powstawanie światła intruzyjnego przenikającego do wnętrz pomieszczeń. Aleja. Karola marcinkowskiego poznań fot. P. Ratajkiewicz.	134
Ryc.50. Na powyższej fotografii przedstawiono podstawowe kierunki oddziaływania światła istotne dla środowiskowej oceny wariantu oświetleniowego -rozświetlenie parterów zieleni okalające alejki parkowe. Park chrobrego, gliwice. Fot. P. Ratajkiewicz.	135
Ryc.51. Podstawowe parametry oceny środowiskowej wariantu oświetleniowego w ujęciu przestrzennym. Opracowanie własne.	136
Ryc.52. Wielopasowy układ komunikacyjny jako przykład przestrzeni o wysokim zapotrzebowaniu energetycznym na oświetlenie oraz dużym potencjale optymalizacji przez sterowanie adaptacyjne. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	139
Ryc.53. Relacja między kompozycją świetlną a kompozycją przestrzenną miejsca. Riva del garda (it). Fot. P. Ratajkiewicz.	148
Ryc.54. Estetyka przestrzeni po zmroku jako wynik relacji między światłem, architekturą, rytmem elewacji i atmosferą miejsca. Plac św. Marka, wenecja (it). Fot. P. Ratajkiewicz.	149
Ryc.55. Relacja między oświetleniem dekoracyjnym, aktywnością społeczną i atmosferą miejsca w centrum lokalnym. Oświetlenie wraz z aktywnymi parterami oraz intensywnym użytkowaniem przestrzeni, wzmacnia atmosferę miejsca i jego nocną atrakcyjność. San remo, (it). Ot. P. Ratajkiewicz.	150
Ryc.56. Zróżnicowana intensywność światła w strukturze miejskiej jako przykład konieczności równoważenia potrzeb funkcjonalnych, jakości przestrzeni oraz ograniczeń środowiskowych. Ulm, (de). Fot. P. Ratajkiewicz.	151
Ryc.57. Zakres przestrzenny badań terenowych oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych w analizowanych miastach. Opracowanie własne.	164
Ryc.58. Wykonywanie pomiarów: zdjęć porównawczych w dzień i w nocy oraz pomiarów luminancji za pomocą miernika matrycowego lmk. Fot. P. Ratajkiewicz.	170
Ryc.59. Przykładowe obraz luminancji analizowanej przestrzeni z zaznaczeniem badanych warstw. Opracowanie własne.	170
Ryc.60. Przykładowy zapis tej samej lokalizacji w ujęciu dziennym, nocnym i pomiarem luminancji. Na zdjęciu: ul. Ogrodowa w świnoujściu. Fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	172
Ryc.61. Przykładowy zapis tej samej lokalizacji w ujęciu dziennym, nocnym i pomiarem luminancji. Na zdjęciu: rynek jeżycki w poznaniu fot. P. Ratajkiewicz. Opracowanie własne.	173
Ryc.62. Rozkład sumarycznych wartości luminancji dla wybranych warstw przestrzeni publicznej objętych pomiarami terenowymi. Kolory oznaczają analizowane składowe przestrzeni: jezdnię – niebieski, chodnik – pomarańczowy, ścieżkę rowerową – szary, elewację 1 – żółty, elewację 2 – jasnoniebieski, elewację 3 – zielony, zieleń niską – granatowy oraz drzewa – brązowy. Opracowanie własne na podstawie pomiarów luminancji.	185
Ryc.63. Schemat warstw przestrzeni miejskiej wykorzystany w badaniu ankietowym do oceny oczekiwanej ilości światła na poszczególnych składowych wnętrza urbanistycznego. Opracowanie własne.	189
Ryc.64. Struktura respondentów według płci – pytanie q1. Opracowanie własne.	196
Ryc.65. Struktura respondentów według wieku – pytanie q2. Opracowanie własne.	197
Ryc.66. Struktura respondentów według poziomu wykształcenia – pytanie q3. Opracowanie własne.	197

Ryc.67. Struktura respondentów według miejsca zamieszkania – pytanie q4. Opracowanie własne.	198
Ryc.68. Częstotliwość przebywania respondentów w przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie q5. Opracowanie własne.	199
Ryc.69. Częstotliwość zwracania uwagi na architekturę i estetykę przestrzeni publicznych po zmroku – pytanie q6. Opracowanie własne.	199
Ryc.70. Deklarowane znaczenie oświetlenia dla odbioru przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie q7. Opracowanie własne.	200
Ryc.71. Ogólna ocena potrzeby oświetlania wybranych elementów przestrzeni publicznej po zmroku – pytanie q8. Opracowanie własne.	200
Ryc.72. Ogólne postawy respondentów wobec jakości oświetlenia przestrzeni publicznych po zmroku – pytanie q9. Opracowanie własne.	201
Ryc.73. Struktura ocen ilości światła dla wybranych przypadków reprezentujących różne relatywne warianty oświetlenia. Opracowanie własne.	207
Ryc.74. Wpływ miejsca zamieszkania i deklarowanej skłonności do korzystania z przestrzeni po zmroku na profil oczekiwań oświetleniowych. Opracowanie własne.	212
Ryc.75. Typologiczne profile oczekiwań wobec oświetlenia w siedmiu klasach przestrzeni. Opracowanie własne.	212
Ryc.76. Przejście od ocen użytkowników do kryteriów modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	227
Ryc.77. Model wspomagania decyzji projektowych dla kontekstowego kształtowania oświetlenia przestrzeni publicznych	259

12

Indeks Tabel

12 Indeks Tabel

Tabela 1. Zestawienie liczby publikacji indeksowanych w bazie scopus dla wybranych kombinacji słów kluczowych. Opracowanie własne.	24
Tabela 2. Zakres przedmiotu decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych. Opracowanie własne.	38
Tabela 3. Elementy wnętrza urbanistycznego. Opracowanie własne.	71
tabela 4. Proponowany zestaw klasyfikatorów kontekstu przestrzennego i przykładowe zakresy ich opisu. Opracowanie własne.	89
Tabela 5. Redukcyjne i właściwe ujęcie przedmiotu decyzji projektowej w oświetleniu przestrzeni publicznych. Źródło: opracowanie własne.	95
Tabela 6. Minimalny zakres opisu wariantu oświetleniowego w modelu decyzyjnym. Źródło: opracowanie własne.	96
Tabela 7. Warstwa architektoniczna jako składnik projektowania oświetlenia. Opracowanie własne.	99
Tabela 8. Implikacje warstwy architektonicznej dla deskryptorów modelu. Opracowanie własne.	99
Tabela 9. Implikacje kompozycji oświetleniowej dla deskryptorów modelu. Źródło. Opracowanie własne.	104
Tabela 10. Klasy oświetleniowe m – wymagania ilościowe dla ruchu zmotoryzowanego. Opracowanie własne na podstawie normy pn-en13201.	106
Tabela 11. Klasy oświetleniowe p – wymagania ilościowe dla przestrzeni pieszych i stref niskich prędkości. Opracowanie własne na podstawie normy pn-en13201.	106
Tabela 12. Klasy oświetleniowe c – wymagania ilościowe dla obszarów konfliktowych. Opracowanie własne na podstawie normy pn-en13201.	107
Tabela 13. Klasy sc – wymagania ilościowe dla półcyldrycznego natężenia oświetlenia. Opracowanie własne na podstawie normy pn-en13201.	107
Tabela 14. Klasy ev – wymagania ilościowe dla pionowego natężenia oświetlenia. Opracowanie własne na podstawie normy pn-en13201.	108
Tabela 15. Kluczowa braki w normie dotycząc płaszczyzn pionowych. Opracowanie własne. .	108
Tabela 16. Dwa porządki wymagań ilościowych w projektowaniu oświetlenia zewnętrznego. Opracowanie własne.	109
Tabela 17. Znaczenie norm i zaleceń ilościowych dla modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	110
Tabela 18. Infrastruktura oświetleniowa jako składnik formy przestrzeni i systemu technicznego. Opracowanie własne.	114
Tabela 19. Typowe warianty infrastruktury oświetleniowej a ich znaczenie projektowe. Opracowanie własne.	114
Tabela 20. Implikacje infrastruktury i technologii dla kryteriów i deskryptorów modelu. Opracowanie własne.	115
Tabela 21. Najważniejsze wspólne cechy analizowanych masterplanów oświetlenia. Opracowanie własne.	120
Tabela 22. Relacja między masterplanem a modelem decyzyjnym. Opracowanie własne.	120
Tabela 23. Hierarchia dokumentów odniesienia dla oceny oddziaływania środowiskowego światła w nocy źródło: opracowanie własne na podstawie cie 150:2017, en 12464-2:2024, en 12193:2018, lai 2012, nsvv 2020 i önorm o 1052:2022.	133
Tabela 24. Główne parametry oceny środowiskowej możliwe do wykorzystania w rankingu wariantów. Źródło: opracowanie własne.	136

Tabela 25. Podstawowe mierniki efektywności energetycznej w oświetleniu drogowym. Opracowanie własne.	140
Tabela 26. Implikacje efektywności energetycznej dla potencjalnych kryteriów i deskryptorów modelu mcda. Opracowanie własne.	141
Tabela 27. Porównanie narzędzi oceny kosztów, efektywności ekonomicznej i wyboru wariantów oświetlenia publicznego. Opracowanie własne.	146
Tabela 28. Charakter kryteriów decyzyjnych wynikających z rozdziałów 3-5. Opracowanie własne.	155
Tabela 29. Wymagania wobec metody oceny wariantów oświetleniowych. Opracowanie własne.	156
Tabela 30. Porównanie wybranych metod mcda pod kątem zastosowania w modelu oceny oświetlenia. Opracowanie własne.	157
Tabela 31. Uzasadnienie wyboru metody promethee ii. Opracowanie własne.	158
Tabela 32. Miejsce metody promethee ii w strukturze modelu. Opracowanie własne.	159
Tabela 33. Schemat opisu pojedynczego przypadku terenowego. Opracowanie własne.	174
Tabela 34. Złożoność materiału terenowego w układzie klasyfikacyjnym. Opracowanie własne.	175
Tabela 35. Tabela przekształceń dla poziomy klasy m i p o porównywalnych poziomach oświetlenia przy różnych jasnościach nawierzchni /wartościach q_0 . Opracowanie własne.	179
Tabela 36. Korelacja wartości współczynnika odbicia i wskaźnika q_0 dla głównych elementów wnętrza urbanistycznego. Opracowanie własne.	179
Tabela 37. Przykładowe autorskie znormalizowane przeliczenie luminancji na natężenie oświetlenia dla wybranych typów powierzchni. Opracowanie własne.	180
Tabela 38. Zmienność układów przestrzennych w obrębie najliczniejszych funkcji. Opracowanie własne.	182
Tabela 39. Aktualne ilości światła względem wymagań normowych dla warstw komunikacyjnych. Opracowanie własne.	183
Tabela 40. Statystyka luminancji i udział warstw w skumulowanej strukturze światła. Opracowanie własne.	185
Tabela 41. Zestawienie 21 analizowanych przypadków badawczych wykorzystanych w badaniu ankietowym, z podaniem typu przestrzeni, wariantu oświetlenia oraz poziomu odniesienia dla warstwy podstawowej. Opracowanie własne.	186
Tabela 42. Relacje luminancji warstw pionowych i krajobrazowych względem warstwy podstawowej w wybranych przypadkach badawczych. Opracowanie własne.	209
Tabela 43. Typologiczne profile oczekiwań wobec oświetlenia w siedmiu analizowanych klasach przestrzeni. Opracowanie własne.	211
Tabela 44. Najsilniejsze obserwacje liczbowe wynikające z analizy przekrojowej przypadków. Opracowanie własne.	213
Tabela 45. Zależność między wynikami badań empirycznych a założeniami autorskiego modelu oceny oświetlenia. Opracowanie własne.	216
Tabela 46. Logika syntezy badań własnych i formalizacji modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	219
Tabela 47. Kluczowe wnioski z badań własnych jako podstawa formalizacji modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	222
Tabela 48. Oczekiwania wobec oświetlenia wynikające z badań ankietowych i ich znaczenie dla modelu. Opracowanie własne.	226
Tabela 49. Trójetapowa procedura oceny wariantów oświetleniowych w autorskim modelu decyzyjnym. Opracowanie własne.	229
Tabela 50. Główne założenia autorskiego modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	231

Tabela 51. Macierz kontekstowa analizowanej przestrzeni. Opracowanie własne.	233
Tabela 52. Słownik kategorii opisowych stosowanych w klasyfikacji kontekstu przestrzennego. Opracowanie własne.	235
Tabela 53. Źródła i uzasadnienie wyprowadzenia kryteriów szczegółowych modelu decyzyjnego. Opracowanie własne.	238
Tabela 54. Kryteria szczegółowe oceny wariantów oświetleniowych. Opracowanie własne.	239
Tabela 55 deskryptory oceny kryterium c1 – bezpieczeństwo w modelu decyzyjnym. Opracowanie własne.	240
Tabela 56. Deskryptory oceny kryterium c2 – estetyka i wzornictwo infrastruktury oświetleniowej. Opracowanie własne.	240
Tabela 57. Deskryptory oceny kryterium c3 – jakość oświetlenia przestrzeni. Opracowanie własne.	241
Tabela 58. Deskryptory oceny kryterium c4 – spójność architektoniczna i intencjonalność koncepcji świetlnej. Opracowanie własne.	241
Tabela 59. Deskryptory oceny kryterium c5 – gospodarka zasobami i materiały systemu. Opracowanie własne.	242
Tabela 60. Deskryptory oceny kryterium c6 – oddziaływanie środowiskowe światła w nocy. Opracowanie własne.	242
Tabela 61. Deskryptory oceny kryterium c7 – trwałość i niezawodność. Opracowanie własne.	243
Tabela 62 deskryptory oceny kryterium c8 – zarządzalność systemu oświetlenia. Opracowanie własne.	243
Tabela 63. Deskryptory oceny kryterium c9 – efektywność energetyczna. Opracowanie własne.	244
Tabela 64 deskryptory oceny kryterium c10 – koszt instalacji. Opracowanie własne.	245
Tabela 65 deskryptory oceny kryterium c11 – koszt eksploatacji. Opracowanie własne.	246
Tabela 66. Struktura preferencji nadrzędnych w autorskim modelu wspomaganie decyzji. Opracowanie własne.	248
Tabela 67 przypisanie kryteriów szczegółowych c1-c11 do preferencji nadrzędnych p1-p5. Opracowanie własne.	248
Tabela 68. Wagi bazowe kryteriów w profilu eksperckim. Opracowanie własne.	249
Tabela 69. Macierz powiązań między cechami kontekstu przestrzennego a preferencjami nadrzędnymi p1-p5. Opracowanie własne.	250
Tabela 70. Założenia dotyczące funkcji preferencji i progów różnicowania ocen w procedurze promethee. Opracowanie własne.	257
Tabela 71. Procedura przejścia od klasyfikacji kontekstu przestrzennego do rekomendacji warianu oświetleniowego. Opracowanie własne.	260
Tabela 72. Składniki wyniku modelu i ich znaczenie dla rekomendacji wariantu oświetleniowego. Opracowanie własne.	262
Tabela 73. Zasady interpretacji wyniku promethee w ocenie wariantów oświetleniowych. Opracowanie własne.	263
Tabela 74. Struktura karty rekomendacji wariantu jako końcowego produktu procedury decyzyjnej. Opracowanie własne.	264
Tabela 75. Zakres weryfikacji aplikacyjnej modelu na rzeczywistych przypadkach projektowych. Opracowanie własne.	267
Tabela 76. Stabilność rekomendacji modelu w analizie czułości wag. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu mcda/promethee.	269
Tabela 77. Zakres zmian przepływu netto i margines przewagi wariantu rekomendowanego w analizie czułości wag. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu mcda/promethee.	270

Tabela 78. Wyniki testu scenariuszowego wpływu kryterium kosztowego. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu mcda/promethee.	272
Tabela 79. Kierunek wpływu kryteriów kosztowych na rekomendację modelu. Opracowanie własne na podstawie obliczeń modelu mcda/promethee	273

Załączniki

zawarto w Tomie 2 Rozprawy