

Dr hab. inż. Robert Cichowicz, prof. uczelni
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Politechnika Łódzka
Al. Politechniki 6
93-590 Łódź

Łódź, dn. 01.12.2025 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Czajora
pt. „Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych
w istniejącym systemie ciepłowniczym”

Wstęp

Podstawą przygotowania recenzji jest pismo z dnia 19.09.2025 r. (znak WISIE.63.58.2025) Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, w związku z powołaniem mnie przez Radę Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej (uchwała z dnia 16.09.2025 r.) na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Czajora pt. „Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w istniejącym systemie ciepłowniczym”.

Rozprawa doktorska powstała w ramach otrzymanego przez Doktoranta stypendium przyznanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu „Doktorat Wdrożeniowy” (nr umowy DWD/5/0017/2021).

Rozprawa doktorska została przygotowana pod opieką naukową Promotora dr hab. inż. Łukasza Amanowicza, prof. PP oraz Promotora pomocniczego dr inż. Karola Bandurskiego. Dysertacja przygotowana została w języku polskim i obejmuje 167 stron druku formatu A4, w ramach których znajdują się streszczenia (w języku polskim i angielskim), lista skrótów oraz 13 ponumerowanych rozdziałów podzielonych na podrozdziały.

Tezę rozprawy postawioną w rozdziale pierwszym podpunkt drugi było wykazanie że: „Istnieje możliwość wykorzystania sztucznych sieci neuronowych na cele prognozy: zapotrzebowania na ciepło, ceny energii elektrycznej oraz ceny paliwa gazowego, z akceptowalną dokładnością, dla istniejącego systemu ciepłowniczego zasilanego z kogeneracyjnej elektrociepłowni gazowej”.

Dla udowodnienia postawionej tezy rozprawy, Doktorant postawił następujące zadania badawcze:

- opracowanie koncepcji rejestracji danych pomiarowych niezbędnych do wytrenowania modeli predykcji opartych o uczenie maszynowe w postaci sztucznych sieci neuronowych;
- wygenerowanie różnych struktur (zwanych dalej również architekturą) sztucznej sieci neuronowej do rozwiązywania tego samego problemu na podstawie założonych zakresów jej konfiguracji;



- wykorzystanie zebranych danych pomiarowych na cele wytrenowania modelu predykcji;
- analiza dokładności modeli predykcyjnych.

W efekcie celem Doktoranta było poszukiwanie odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- czy sieci neuronowe można wykorzystać do uniwersalnego prognozowania parametrów funkcjonowania systemu ciepłowniczego?
- jak struktura sieci neuronowej wpłynie na dokładność prognozowania, a jednocześnie na czas wykonywania obliczeń?
- czy możliwe jest sterowanie źródłem ciepła w oparciu o prognozowane dane wygenerowane przez sztuczne sieci neuronowe?

Układ rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska ma wdrożeniowy charakter i strukturę klasyczną, składającą się z rozdziałów podzielonych na podrozdziały, które opisane są w sposób logiczny oraz poprawny.

W rozdziale pierwszym (na 8 stronach) przedstawiono wprowadzenie do tematyki pracy, podając podstawowe informacje dotyczące problematyki wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w istniejącym systemie ciepłowniczym, a także opisano tezę i cel pracy oraz zakres pracy.

W rozdziale drugim (na 24 stronach) wykonano przegląd stanu wiedzy uwzględniając zagadnienia związane z wykorzystaniem uczenia maszynowego w systemach ciepłownicznych i elektroenergetycznych (odniesiono się do 32 pozycji literaturowych), a także przeanalizowano znane „osiągnięcia programistyczne” w zakresie uczenia maszynowego i sztucznych sieci neuronowych (odniesiono się do 24 pozycji literaturowych) oraz odniesiono się do oryginalności podjętej tematyki w kontekście aktualnego stanu wiedzy (podsumowując, że „interesującym problemem badawczym jest przeanalizowanie architektur sztucznej sieci neuronowej i opracowanie metody ich oceny w analizowanym zastosowaniu związanym z funkcjonowaniem systemu ciepłowniczego”).

W rozdziale trzecim (na 8 stronach) przedstawiono opis wybranego systemu elektroenergetycznego i ciepłowniczego (składającego się z gazowej elektrociepłowni o łącznej mocy cieplnej prawie 15 MW_t oraz elektrycznej 3,6 MW_e oraz sieci ciepłowniczej o długości ponad 17 km wykonanej z rur preizolowanych), a także omówiono kontekst prawno-finansowy oraz w uproszczony sposób odniesiono się do sposobu zarządzania pracą układu kogeneracyjnego i perspektyw wycofania z eksploatacji źródeł wytwórczych opartych na węglu kamiennym i zastąpienie ich źródłami gazowymi oraz energią z wiatru i słońca.

W rozdziale czwartym (na 7 stronach) omówiono algorytmy do zbierania danych na potrzeby zbudowania modelu sztucznej sieci neuronowej, w tym opisano wykorzystywane narzędzia programistyczne, opis danych źródłowych, zakres danych z liczników ciepła, a także danych z elektrociepłowni oraz zakres i częstotliwość danych meteorologicznych pozyskanych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dotyczących prognoz pogody dla Białogardu oraz opisano zakres danych o funkcjonowaniu Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i

zakresy danych o cenach energii elektrycznej na Rynku Bilansującym i dane o cenach paliwa gazowego na Towarowej Giełdzie Energii.

W rozdziale piątym (na 22 stronach) odniesiono się do prognozowania zapotrzebowania na ciepło u odbiorcy końcowego, w tym przedstawiono opis mechanizmu pozyskiwania danych dla sztucznej sieci neuronowej wraz z zdefiniowaniem wszystkich obiektów przyłączonych do sieci (107 budynków), a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności generowanych modeli obliczeniowych (ze względu „na wdrożeniowy charakter pracy, który wymaga implementacji jej wyników w funkcjonującym przedsiębiorstwie, zdecydowano się nawiązać do przepisów prawnych regulujących rynek ciepłowniczy”) oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono wnioski i analizy wynikające z wykorzystania sieci neuronowych do prognozowania zapotrzebowania na ciepło na cele centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej, i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale szóstym (na 9 stronach) w analogiczny sposób jak wcześniej odniesiono się do prognozowania zapotrzebowania na ciepło, ale tym razem w źródle, w tym opisano mechanizm pozyskiwania danych, a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności generowanych dla dwóch warunków oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono wnioski i analizy wynikające z wykorzystania sieci neuronowych do prognozowania zapotrzebowania na ciepło w wybranej elektrociepłowni, w której źródłem ciepła były kotły gazowe oraz agregaty kogeneracyjne, i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale siódmym (na 10 stronach) w analogiczny sposób jak wcześniej odniesiono się do prognozowania zapotrzebowania na paliwo gazowe dla źródła, w tym opisano mechanizm pozyskiwania danych, a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności generowanych modeli obliczeniowych („związana z regulacjami prawnymi dotyczącymi nominacji dobowych realizowanych przez operatora dostarczającego paliwo gazowe”) oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono wnioski i analizy wynikające z wykorzystania sieci neuronowych do prognozowania zapotrzebowania na paliwo gazowe w wybranej elektrociepłowni, w której źródłem ciepła były kotły gazowe oraz agregaty kogeneracyjne, i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale ósmym (na 11 stronach) odniesiono się do przyjętej „rozszerzonej prognozy pogody”, w tym opisano mechanizm pozyskiwania danych, a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności (związanej z dokładnością danych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej) oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono wnioski i analizy wynikające z wykorzystania rekurencyjnych sieci neuronowych do prognozowania danych meteorologicznych na podstawie parametrów historycznych, i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale dziewiątym (na 12 stronach) odniesiono się do przyjętej prognozy cen energii elektrycznej na Rynku Bilansującym, w tym opisano mechanizm pozyskiwania danych, a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono

wnioski i analizy wynikające z wykorzystania odpowiedniej struktury rekurencyjnej sieci neuronowej (dysponując odpowiednią ilością danych do jej wytrenowania) do prognozowania cen energii elektrycznej na Rynku Bilansującym, i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale dziesiątym (na 15 stronach) w analogiczny sposób jak wcześniej odniesiono się do przyjętej prognozy cen paliwa gazowego, w tym opisano mechanizm pozyskiwania danych, a także uzasadniono przyjęcie danej granicy akceptowalności niedokładności oraz omówiono szczegóły związane z walidacją przyjętych modeli obliczeniowych, a następnie przedstawiono wnioski i analizy wynikające z wykorzystania rekurencyjnej sieci neuronowej do prognozowania cen paliwa gazowego (*„z akceptowalną dokładnością przy ograniczonym horyzoncie prognozy do kilku dni”*), i na koniec opisano zakres wdrożenia.

W rozdziale jedenastym (na 13 stronach) przedstawiono opis wdrożenia algorytmów uczenia maszynowego z wykorzystaniem sieci neuronowych w istniejącym systemie ciepłowniczym, w tym podano dane o aktualnym systemie informatycznym w przedsiębiorstwie oraz wymagania sprzętowe komputera wykorzystanego do obliczeń (podając jego parametry techniczne i moc obliczeniową), a także opisano moduły oprogramowania i moduły wykonawcze oraz wykonano uproszczoną analizę finansową dla wariantu „przed” i „po” wdrożeniu algorytmu (w efekcie zaobserwowano, że *„stosowanie algorytmu wpłynęło pozytywnie zarówno na kwestie finansowe działalności gospodarczej, jak i zwiększenie udziału ciepła z kogeneracji”*) i na koniec przedstawiono wizualizację prognozy parametrów.

W rozdziale dwunastym (na 10 stronach) dokonano podsumowania wraz z wnioskami i uwagami końcowymi, w tym zweryfikowano postawioną tezę, a także umieszczono dyskusję na temat wyników pracy oraz przedstawiono wnioski i propozycję dalszych prac.

W rozdziale trzynastym (na 10 stronach) zestawiono wykorzystane w dysertacji pozycje literaturowe. Autor powołuje się w pracy na 128 pozycji (w tym 2 jest współautorem), wśród których są pozycje książkowe, artykuły w polskich i zagranicznych czasopismach naukowych oraz akty prawne i strony internetowe.

Podsumowując strukturę i układ oraz zawartość pracy uznaję za prawidłową i dobrze dobraną oraz wykonaną. Praca spełnia kryteria opracowania naukowego o charakterze analitycznym i obliczeniowym, posiada aspekty poznawcze i wdrożeniowe.

Aktualność wyboru tematu i umiejscowienie tematyki badawczej

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dobrze wpisuje się w aktualne trendy badań w obszarze dyscypliny *„inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”*. Wybrany przez Doktoranta temat rozprawy doktorskiej jest istotny i aktualny. Wynika to między innymi z faktu, że zarówno Polska, jak i Unia Europejska dążą do osiągnięcia neutralności klimatycznej i aby byłoby to możliwe należy zwiększyć efektywność energetyczną procesów technologicznych wraz z podniesieniem udziału odnawialnych źródeł energii. W efekcie przekłada się to między innymi na nowe wymagania dla zarządców systemów ciepłowniczych w zakresie: *„większej elastyczności w produkcji ciepła, uwzględniającej chwilową dostępność energii odnawialnej na rynku, jak również uwarunkowaniami ekonomicznymi; odbiorem ciepła odpadowego z procesów technologicznych od przyłączonych klientów; budowaniem magazynów ciepła; kalkulacją taryf dla ciepła uwzględniającego różnorodność źródeł oraz*

większą dynamikę w zakresie zmienności czynników ekonomicznych w trakcie jej stosowania i rozszerzenia działalności ciepłowniczej o generację energii elektrycznej”, a to znów powoduje znaczący wzrost ilości danych cyfrowych rejestrowanych np. przez instalacje przemysłowe, systemy ciepłownicze i elektroenergetyczne, co daje większe możliwości w interpretacji i optymalizacji różnych zjawisk (przy czym istnieją różne metody komunikacji z czujnikami i regulatorami znajdującymi się zarówno w węzłach ciepłych, sieciach ciepłych, jak i w samych źródłach), w tym możliwe jest wykorzystanie tych informacji jako dane wsadowe w procesie uczenia maszynowego. I do tego celu opracowano algorytmy wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe oparte na zweryfikowanych modelach predykcji z określoną granicą akceptowalności (wygenerowane na bazie danych archiwalnych funkcjonowania systemu ciepłowniczego zasilanego z elektrociepłowni, gdzie źródłem energii są agregaty kogeneracyjne i kotły opalane gazem ziemnym).

Obecnie prowadzonych jest wiele badań nad wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych w celach rozwiązywania różnych problemów zbyt skomplikowanych dla np. dla „metod opartych na regresji liniowej”, „drzewach decyzyjnych”, czy też „metodach k-najbliższych sąsiadów” lub „k-średnich”, jednak tego rodzaju analizy przeważnie odnoszą się do kilku losowo zdefiniowanych parametrów sieci, a brakuje badań opisujących modele na szeroką skalę wraz z oceną dokładności oraz kryterium ich kwalifikacji do zastosowania w funkcjonującym systemie. Dlatego dużą wartość ma zaproponowana przez Doktoranta autorska metoda wyboru w zależności od rodzaju zastosowania, szczególnie że obecnie wdrażane zmiany formalno-prawne wymagają od systemów ciepłowniczych i elektroenergetycznych większej elastyczności w działaniu.

W rozprawie doktorskiej nie został jednoznacznie zdefiniowany „Cel pracy”, natomiast wynika on z zdefiniowanych przez Doktoranta zadań badawczych i odpowiedzi na zadane przez Doktoranta pytania badawcze. W efekcie tych informacji otrzymujemy „cele”, które są oryginalne, ponieważ dotyczą obszaru badawczego dotychczas niedostatecznie rozpoznanego w literaturze oraz ważnego ze względu na wdrożeniowy charakter rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, w rozprawie doktorskiej zostały przedstawione zagadnienia istotne zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i samego wdrożenia przemysłowego. A jest to szczególnie istotne, ponieważ tematyka ta odpowiada na aktualne potrzeby inżynierii środowiska i energetyki, wpisując się w globalne dążenie do prognozowania i redukcji zapotrzebowania na ciepło, energię elektryczną oraz paliwa gazowe. Natomiast wdrożeniowy charakter rozprawy doktorskiej powoduje, że rozwiązania te mogą zostać zaimplementowane w praktyce.

Ocena merytoryczna pracy

Zastosowane w rozprawie piśmiennictwo należy ocenić pozytywnie. Doktorant zastosował obszerny, aktualny i dobrze dobrany pod względem merytorycznym zestaw źródeł, co dowodzi dobrej orientacji w obszarze badań oraz świadomym i krytycznym podejściu do literatury przedmiotu. Dobór źródeł w znaczącej większości opiera się na najnowszych publikacjach z czasopism międzynarodowych, które odnoszą się do aktualnych wyników badań naukowych (przy czym autor mógłby zwrócić większą uwagę na tzw. „pozycje podstawowe”).

Zestaw metod badawczych został prawidłowo dobrany do specyfiki analizowanego problemu naukowego. Doktorant zastosował podejście wielokryterialne, obejmujące opracowanie algorytmów pozwalających na zgromadzenie odpowiednich danych źródłowych do wytrenowania sztucznej sieci neuronowej w celu prognozy: „godzinowego zapotrzebowania na moc cieplną na cele centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej dla każdego budynku przyłączonego do sieci ciepłej”; „dobowego zapotrzebowania na moc cieplną i paliwo gazowe dla źródła”; a także „parametrów meteorologicznych oraz ceny energii elektrycznej na Rynku Bilansującym w ujęciu godzinowym” i „ceny paliwa gazowego na Towarowej Giełdzie Energii z kilkudniowym horyzontem”. Dzięki temu możliwe były do wygenerowania modele o różnej architekturze sieci neuronowej, a każdy wygenerowany model w kolejnym etapie przechodził proces walidacyjny (polegający na ocenie dokładności predykcji w oparciu o opracowaną metodologię zawierającą tzw. „kryterium akceptowalności”). W pracy doktorskiej uwzględniono również opis układu ciepłowniczego oraz sposób implementacji wyników w funkcjonującym systemie informatycznym wybranego przedsiębiorstwa zajmującego się wytwarzaniem i przesyłaniem ciepła.

Omówienie wyników badań charakteryzuje się odpowiednim poziomem merytorycznym. Doktorant zaprezentował wyniki w sposób przejrzysty, systematyczny i zrozumiały. Zaprezentowane zostało podejście holistyczne, dzięki któremu opracowana została metoda umożliwiająca kompleksowe prognozowanie parametrów związanych z funkcjonowaniem systemu ciepłowniczego zasilanego z elektrociepłowni opartej o kotły wodne i agregatu kogeneracyjne opalane gazem ziemnym, w której wykorzystanie sieci neuronowych może być bardziej precyzyjne i uwzględniające więcej czynników zewnętrznych w porównaniu do tzw. „metody naiwnej”. Dodatkowo podjęto próbę wyznaczania ceny energii elektrycznej i paliwa gazowego na Rynku Bilansującym oraz na Towarowej Giełdzie Energii. Efektem końcowym było wdrożenie przez Doktoranta autorskiego systemu do wspomagania procesu decyzyjnego w zakresie pracy układu kogeneracyjnego i automatycznego raportowania parametrów eksploatacyjnych systemu. Dzięki czemu powstała aplikacja (napisana w języku Python) umożliwiająca generowanie prognoz dla istniejącego systemu ciepłowniczego, wykazała większy przychód z tytułu sprzedaży energii cieplnej i elektrycznej w porównaniu do rzeczywistości.

Podsumowując, należy stwierdzić, że dobór i wykorzystanie literatury zostały przeprowadzone w odpowiedni sposób, a zastosowane metody badawcze należy ocenić pozytywnie. Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego doboru narzędzi badawczych, od analizy literaturowej, po analizę algorytmów modeli sztucznej sieci neuronowej oraz mechanizmów prognozowania zapotrzebowania na ciepło u odbiorcy końcowego i w źródle, a także prognozowania zapotrzebowania na paliwo gazowe dla źródła, prognozy pogody, prognozy cen energii elektrycznej i cen paliwa gazowego, aż do wdrożenia algorytmów uczenia maszynowego z wykorzystaniem sieci neuronowych w istniejącym systemie ciepłowniczym. Całość została przeprowadzona w sposób poprawny i ze sobą spójny, co pozwoliło uzyskać wartościowe rezultaty, które znacząco uzupełniają analizę zapotrzebowania na ciepło dla 16 budynków na terenie kampusu Politechniki Warszawskiej przeprowadzoną przez pana Krzysztofa Wojdygę, a przywołana w recenzowanej pracy doktorskiej (pozycja [5] w spisie bibliografii w recenzowanej rozprawie doktorskiej). Recenzowana rozprawa jest logiczna i

przemyślana, a otrzymane wyniki mogą być wdrożone w praktyce inżynierskiej. Istotnych uwag i zastrzeżeń do przeprowadzonych badań nie mam.

Uwagi do pracy

Doktorant powinien bardziej podkreślać i wskazywać uniwersalność swojego wdrożenia, a także doprecyzować uzasadnienie przyjęcia swoich założeń przy trenowaniu sieci, szczególnie w zakresie parametrów wejściowych do struktury sieci neuronowej.

Dodatkowo należy zauważyć, że Doktorant we wszystkich podrozdziałach związanych z „wdrożeniem” podaje jako lokalizację wyników obliczeń przez algorytmy adres strony internetowej: <https://dawid.czajor.com.pl/phd>, który nie działa bez wskazania „Nazwy użytkownika” i „hasła”, natomiast informacje z pracy doktorskiej sugerują możliwość weryfikacji tych obliczeń. Dlatego Doktorant powinien wskazać zasady na jakich można to weryfikować.

Rozprawa doktorska została opracowana starannie, poprawnym językiem, bez widocznych i trudnych do zaakceptowania błędów stylistycznych oraz z nielicznymi niedociągnięciami edytorskimi.

Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Tak, rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie „inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”. Bibliografia składa się z 128 pozycji (w tym 2 gdzie jest współautorem) obejmujących zarówno prace doświadczalne, jak i teoretyczne. Na tej podstawie mogę stwierdzić, że Doktorant prezentuje w stopniu wystarczającym ogólną wiedzę teoretyczną.

Natomiast na podstawie sformułowanych przez Doktoranta: tezie pracy, zadań i pytań badawczych, wybranej metodyce badawczej, sformułowaniu zakresu badań, a także sposobie prezentowania wyników, umiejętność ich krytycznej oceny oraz interpretacji mogę stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia to kryterium.

Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a opisane mechanizmy wydają się kluczowe, szczególnie w odniesieniu do sterowania elektrociepłownią w obecnym porządku prawno-ekonomicznym. Przedstawione wyniki nie mają jedynie charakteru odtwórczego, czy też marginalnego, ponieważ rozszerzają aktualny stan wiedzy. Doktorant zidentyfikował i uzasadnił swoje wdrożenie.

Podsumowując, rozprawa doktorska stanowi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny „inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”, a przedstawione rezultaty można traktować jako wartościowe rozwiązanie problemu naukowego o znaczeniu aplikacyjnym (wdrożeniowym).



Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Czajora pt. „Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w istniejącym systemie ciepłowniczym” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.).

Przedstawione uwagi i sugestie nie wpływają zarówno na wartość merytoryczną rozprawy, jak i pozytywny odbiór całokształtu rozprawy doktorskiej.

Wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej o przyjęcie niniejszej dysertacji doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

