

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI**  
**INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI**



**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**mgr inż. Jacek Roman**

**UKŁADY ZGAZOWANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH  
W HYBRYDOWYCH INSTALACJACH ODNAWIALNYCH  
ŹRÓDEŁ ENERGII**

**Promotor:**

**dr hab. inż. Bartosz Ceran, prof. PP**

**Promotor pomocniczy:**

**dr inż. Robert Wróblewski**

Poznań, 2025



*Chciałbym bardzo podziękować Promotorom pracy: dr hab. inż. Bartoszowi Ceranowi, prof. PP i dr inż. Robertowi Wróblewskiemu za wprowadzenie do pracy na Politechnice. Jestem bardzo wdzięczny za współpracę przy badaniach i pisaniu pracy. W szczególności dziękuję za krytyczne uwagi i cierpliwość.*

*Chciałbym podziękować również moim bliskim za niezwykle wsparcie jakie przez całe życie otrzymałem od Was moi Rodzice i od Was Anno i Diano.*

*Pracę dedykuję Łajce.*





# SPIS TREŚCI

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| STRESZCZENIE.....                                                                    | 7  |
| ABSTRACT .....                                                                       | 9  |
| LISTA SKRÓTÓW I SYMBOLI.....                                                         | 10 |
| 1. Wstęp .....                                                                       | 14 |
| 1.1. Wprowadzenie .....                                                              | 14 |
| 1.2. Przegląd literatury.....                                                        | 16 |
| 1.2. Teza, cel i zakres pracy.....                                                   | 26 |
| 2. Hybrydowe instalacje OZE.....                                                     | 30 |
| 2.1. Sektor wytwarzania energii elektrycznej w Polsce.....                           | 30 |
| 2.2. Energetyka rozproszona.....                                                     | 32 |
| 2.3. Hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej i <i>cable pooling</i> ..... | 34 |
| 2.4. Uwarunkowania prawne .....                                                      | 35 |
| 3. Zgazowanie paliwa z odpadów .....                                                 | 41 |
| 3.1. Frakcja energetyczna odpadów komunalnych w Polsce.....                          | 41 |
| 3.2. Technologie odzysku energii z frakcji energetycznej odpadów .....               | 44 |
| 3.3. Proces zgazowania.....                                                          | 46 |
| 3.4. Wykorzystanie syngazu w silnikach tłokowych.....                                | 53 |
| 3.5. Odpady komunalne w procesie zgazowania .....                                    | 55 |
| 4. Metodologia analiz hybrydowych instalacji OZE .....                               | 61 |
| 4.1. Sekwencja działań w analizach hybrydowych instalacjach OZE .....                | 61 |
| 4.2. Struktura analizowanych hybrydowych instalacji OZE .....                        | 62 |
| 4.3. Studium przypadku .....                                                         | 67 |
| 4.4. Model instalacji zgazowarka odpadów – silnik gazowy – generator .....           | 71 |
| 4.5. Modele pozostałych źródeł i magazynu energii elektrycznej.....                  | 76 |
| 4.6. Metodologia wyznaczania wskaźników energetycznych .....                         | 77 |
| 4.7. Metodologia wyznaczania wskaźników ekonomicznych .....                          | 80 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 4.8. Metodologia wyznaczania wskaźników środowiskowych ..... | 84  |
| 4.9. Metodologia analiz wielokryterialnych .....             | 85  |
| 5. Wyniki analiz HIOZE A.....                                | 91  |
| 5.1. Spełnienie warunków ustawowych .....                    | 91  |
| 5.2. Wyniki analiz energetycznych .....                      | 99  |
| 5.3. Wyniki analiz ekonomicznych .....                       | 105 |
| 5.4. Wyniki analiz środowiskowych .....                      | 111 |
| 5.5. Wyniki analiz wielokryterialnych .....                  | 116 |
| 6. Wyniki analiz HIOZE B.....                                | 130 |
| 6.1. Spełnienie warunków ustawowych .....                    | 130 |
| 6.2. Wyniki analiz energetycznych .....                      | 135 |
| 6.3. Wyniki analiz ekonomicznych .....                       | 139 |
| 6.4. Wyniki analiz środowiskowych .....                      | 142 |
| 6.5. Wyniki analiz wielokryterialnych .....                  | 146 |
| 7. Dyskusja wyników .....                                    | 161 |
| 8. Wnioski.....                                              | 170 |
| Literatura .....                                             | 175 |
| Załącznik A1 .....                                           | 185 |

## STRESZCZENIE

W wyniku dekarbonizacji dochodzi do wzrostu udziału źródeł odnawialnych w sektorze wytwarzania energii elektrycznej. Źródła te charakteryzują się niestabilną pracą i niską wartością czasu wykorzystania mocy zainstalowanej. W efekcie konieczne staje się łączenie różnych źródeł w obrębie jednego przyłącza tak, aby zmaksymalizować wykorzystanie infrastruktury sieciowej, czyli *cable pooling*. Jednocześnie, w krajach rozwiniętych stale wzrasta ilość wytwarzanych odpadów komunalnych. Ze względu na to, że nie wszystkie z nich mogą zostać poddane procesom recyklingu lub ponownego użycia, w celu domknięcia systemu gospodarki odpadami, niezbędne jest wykorzystanie instalacji odzysku energii. W dysertacji zaproponowano hybrydową instalację odnawialnego źródła energii składającą się z elektrowni fotowoltaicznej, wiatrowej, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania wysokokalorycznych frakcji odpadów komunalnych zintegrowanej z silnikiem tłokowym napędzającym generator. Instalacja hybrydowa musi charakteryzować się właściwym poziomem czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej oraz wartości energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego poprzez magazyn. Praca rozpoczyna się od krótkiego wprowadzenia, po którym następuje szeroki przegląd literatury w zakresie badań dotyczących wykorzystania zgazowania biomasy lub odpadów w instalacjach hybrydowych. Przedstawione są również metody doboru parametrów oraz przegląd zastosowań analiz wielokryterialnych w instalacjach hybrydowych. Określone są teza i cel pracy, które korespondują z zauważoną luką badawczą. Dysertacja dzieli się na część teoretyczną oraz badawczo-symulacyjną. W pierwszej z nich przedstawiono strukturę systemu wytwarzania energii elektrycznej, scharakteryzowano hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej oraz przedstawiono prawne zasady funkcjonowania takich instalacji w Polsce. Opisano również technologię zgazowania frakcji energetycznych odpadów, scharakteryzowano odpady jako paliwo i opisano wykorzystanie syngazu w silnikach tłokowych. W części badawczej dokonana jest analiza dwóch instalacji: hybrydowej instalacji OZE wytwarzającej energię elektryczną na potrzeby systemu elektroenergetycznego oraz hybrydowej instalacji OZE zasilającej bezpośrednio odbiorcę przemysłowego i sprzedającą do systemu nadwyżki generowanej energii. Opisano kryteria decyzyjne w analizie wielokryterialnej: generację energii elektrycznej, energię ograniczaną ze względu na przekroczenie mocy przyłączeniowej, koszty inwestycyjne, różnicę między ceną sprzedaży energii i kosztem jej produkcji, jednostkowy wskaźnik emisji oraz różnicę między lokalną dostępnością odpadów i ich zużyciem w instalacji. Część badawcza obejmuje przedstawienie metodologii analiz w zakresie algorytmów pracy, struktury i modeli instalacji hybrydowych, wyznaczania wartości parametrów granicznych instalacji, oraz kryteriów decyzyjnych. Przedstawiona jest również metodologia analiz wielokryterialnych metodą TOPSIS. W dalszej części dokonana jest prezentacja wyników obliczeń oraz analiza wielokryterialna układów spełniających warunki graniczne. W wyniku przeprowadzenia analiz wielokryterialnych

przedstawiono oraz opisano rankingi preferencji we wszystkich uwzględnionych wariantach rozkładu wartości wag na poszczególne kryteria. Przeprowadzono dyskusję wyników w celu określenia wpływu wartości wag zdefiniowanych kryteriów na rankingi preferencji i oceny poszczególnych rozwiązań.

## ABSTRACT

Due to the process of decarbonization, the share of renewable energy sources in the electricity generation sector is constantly increasing. These sources are characterised by unstable operation and low capacity factor. Cable pooling (combining various sources within a single connection) becomes necessary to maximise the use of the grid infrastructure. Moreover, the amount of municipal waste is constantly increasing in all developed countries. Only part of the waste can be recycled or reused. Therefore, the use of waste-to-energy installations is essential to close the waste management system. The author proposes a hybrid renewable energy installation consisting of a photovoltaic and a wind turbine plants, a battery energy storage system, and a gasification of high-calorific fractions of municipal waste system integrated with a reciprocating engine generator. The hybrid installation must achieve an appropriate level of capacity factor and the share of electricity from the storage system. The dissertation begins with a brief introduction, followed by a comprehensive literature review of research on the use of biomass or waste gasification in hybrid installations. Parameter selection methods and an overview of multi-criteria analysis applications in hybrid installations are also presented. The research gap is identified, and the thesis and objective of the work are defined. The dissertation is divided into a theoretical section and a research section. In the first part, there is a presentation of the structure of the electricity generation system, characterisation of hybrid electricity generation systems, and the legal framework for the operation of such installations in Poland. Next, the technology of waste gasification is described. The use of syngas in reciprocating engines is characterised. In the research section, two types of hybrid installation are analysed: an installation generating electricity only for the power grid, and an installation supplying electricity directly to an industrial customer and selling surplus energy to the grid. The decision-making criteria are described: electricity generation, energy limited due to exceeding the connection capacity, investment costs, profit per unit of electricity, the emission factor, and the difference between waste availability and its consumption. The research section includes the methodology, including operation algorithms, structure and models of hybrid installations, and the installation's boundary parameters. The methodology for multi-criteria analysis using the TOPSIS method is also presented. In this section, the results of calculations and a multi-criteria analysis of hybrid installations are presented. Preference rankings for all considered variants of weight distribution for individual criteria are presented and described. The results are discussed to determine the impact of the defined criteria's weight.

## LISTA SKRÓTÓW I SYMBOLI

|                   |   |                                                                                                                                 |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BME               | – | Bateryjny magazyn energii                                                                                                       |
| $B_{OK}$          | – | Roczne zużycie odpadów                                                                                                          |
| $B_{OK}^{lok}$    | – | Roczna masa frakcji palnej odpadów dostępna lokalnie                                                                            |
| $B_{OK}^{\dot{}}$ | – | Strumień masy odpadów w okresie o                                                                                               |
| CAPEX             | – | Całkowite nakłady inwestycyjne                                                                                                  |
| $C_{ODB}$         | – | Cena zakupu energii elektrycznej przez przedsiębiorstwo                                                                         |
| C-rate            | – | Współczynnik szybkości ładowania i rozładowania                                                                                 |
| $C_{ref}^i$       | – | Cena referencyjna energii elektrycznej w i-tym źródle                                                                           |
| $C_{ust}$         | – | Cena ustawowa                                                                                                                   |
| D                 | – | Macierz decyzyjna                                                                                                               |
| $d_{ij}$          | – | Wartość parametrów w i-tej kolumnie i j-tym wierszu w macierzy decyzyjnej                                                       |
| $E_{BME}^r$       | – | Roczna energia elektryczna pochodząca z rozładowywania BME                                                                      |
| $E_{HIOZE}$       | – | Roczna generacja energii w instalacji hybrydowej                                                                                |
| $E_{fCO_2}$       | – | Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub>                                                                                                 |
| $E_{ICE}$         | – | Roczna generacja energii elektrycznej w agregacie silnikowym                                                                    |
| $E_i^{ref}$       | – | Referencyjny wolumen sprzedaży energii elektrycznej dla i-tego źródła                                                           |
| EK                | – | Grupa kryteriów ekonomicznych                                                                                                   |
| $E_{max}$         | – | Suma energii możliwej do przekazania do systemu elektroenergetycznego i odbiorcy                                                |
| $E_{nad}$         | – | Roczna nadwyżka generacji nad moc przyłączeniową i moc ładowania magazynu                                                       |
| EN/T              | – | Grupa kryteriów energetycznych lub technicznych                                                                                 |
| $E_{ODB}$         | – | Roczna wartość energii elektrycznej z HIOZE zasilająca odbiorcę przemysłowego                                                   |
| $E_{PV}$          | – | Roczna generacja energii w PV                                                                                                   |
| $e_{ref}^i$       | – | Referencyjna jednostkowa generacja energii elektrycznej dla i-tego źródła                                                       |
| $ERP_i$           | – | Cena referencyjna sprzedaży energii elektrycznej z i-tego źródła                                                                |
| $E_{SYS}$         | – | Energia elektryczna z HIOZE sprzedawana do systemu elektroenergetycznego                                                        |
| $E_{TW}$          | – | Roczna generacja energii w TW                                                                                                   |
| HIOZE             | – | Hybrydowa instalacja odnawialnego źródła energii                                                                                |
| HIOZE A           | – | HIOZE pracująca wg scenariusza A tzn. współpracująca z systemem elektroenergetycznym                                            |
| HIOZE B           | – | HIOZE pracująca wg scenariusza B tzn. zasilająca odbiorcę przemysłowego i sprzedająca nadwyżki do systemu elektroenergetycznego |
| ICE               | – | Agregat z silnikiem tłokowym                                                                                                    |
| IOG               | – | Instalacja oczyszczania gazu                                                                                                    |
| ITPO              | – | Instalacja termicznego przetwarzania odpadów                                                                                    |
| $K_{BME}$         | – | Pojemność znamionowa BME                                                                                                        |
| $k_{CO_2}$        | – | Koszt uprawnień do emisji CO <sub>2</sub>                                                                                       |

|                     |   |                                                                                                                              |
|---------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $K_{e\_BME}^t$      | – | Koszty eksploatacyjne BME w roku t                                                                                           |
| $K_{e\_ICE}^t$      | – | Koszty eksploatacyjne ICE w roku t                                                                                           |
| $K_{e\_IOG}^t$      | – | Koszty eksploatacyjne instalacji oczyszczania gazu w roku t                                                                  |
| $K_{e\_PV}^t$       | – | Koszty eksploatacyjne PV w roku t                                                                                            |
| $K_{e\_TW}^t$       | – | Koszty eksploatacyjne turbin wiatrowych w roku t                                                                             |
| $K_{e\_ZOK}^t$      | – | Koszty eksploatacyjne instalacji zgazowania w roku t                                                                         |
| $K_{in\_BME}^t$     | – | Koszty inwestycyjne BME w roku t                                                                                             |
| $K_{in\_ICE}^t$     | – | Koszty inwestycyjne ICE w roku t                                                                                             |
| $K_{in\_IOG}^t$     | – | Koszty inwestycyjne instalacji oczyszczania gazu w roku t                                                                    |
| $K_{in\_poz}^t$     | – | Pozostałe koszty inwestycyjne instalacji zgazowanie – silnik gazowy (w tym koszty pośrednie, budowy, projektu itp.) w roku t |
| $K_{in\_PV}^t$      | – | Koszty inwestycyjne PV w roku t                                                                                              |
| $K_{in\_TW}^t$      | – | Koszty inwestycyjne turbin wiatrowych w roku t                                                                               |
| $K_{in\_ZOK}^t$     | – | Koszty inwestycyjne instalacji zgazowania w roku t                                                                           |
| $K_{max}$           | – | Maksymalny dopuszczalny stan naładowania magazynu                                                                            |
| $K_{min}$           | – | Minimalny dopuszczalny stan naładowania magazynu                                                                             |
| $K_0$               | – | Wypełnienie magazynu na koniec okresu o                                                                                      |
| $k_{OK}$            | – | Koszt odpadów “na bramie”                                                                                                    |
| K1...K6             | – | Kryteria decyzyjne od 1 do 6                                                                                                 |
| LCOE                | – | Jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej                                                                           |
| $M_{CO2}$           | – | Roczna emisja CO <sub>2</sub>                                                                                                |
| NIS                 | – | Wariant antyidealny                                                                                                          |
| Obc.                | – | Obciążenie                                                                                                                   |
| $o_i^+$             | – | Odległość i-tego wariantu od PIS                                                                                             |
| $o_i^-$             | – | Odległość i-tego wariantu od NIS                                                                                             |
| OPEX                | – | Całkowite roczne koszty inwestycyjne                                                                                         |
| OZE                 | – | Odnawialne źródła energii                                                                                                    |
| $P_{BME}$           | – | Moc znamionowa baterijnego magazynu energii                                                                                  |
| $P_{BME}^{l,o}$     | – | Moc ładowania BME w okresie o                                                                                                |
| $P_{BME}^o$         | – | Moc magazynu w analizowanym okresie o                                                                                        |
| $P_{BME}^{r,o}$     | – | Moc rozładowania BME w okresie o                                                                                             |
| $P_{BME}^{r,o,SYS}$ | – | Moc z BME trafiająca do systemu elektroenergetycznego w okresie o                                                            |
| $P_{BME\_max}^o$    | – | Wartość bezwzględna maksymalnej mocy magazynu w danym okresie o                                                              |
| $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | – | Stosunek mocy baterijnego magazynu energii do mocy źródeł niesterowalnych                                                    |
| $P_{HIOZE}^o$       | – | Wartość generacji mocy elektrycznej w HIOZE w okresie o                                                                      |
| $P_{ICE}$           | – | Moc znamionowa generatora w agregacie silnikowym                                                                             |
| $P_{ICE}^{min}$     | – | Minimalne obciążenie silnika                                                                                                 |
| $P_{ICE}^o$         | – | Moc agregatu silnikowego w danym okresie o                                                                                   |

|                     |   |                                                                                                   |
|---------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | – | Stosunek mocy agregatu silnikowego do mocy źródeł niesterowalnych                                 |
| PIS                 | – | Wariant idealny                                                                                   |
| $P_{moż}^o$         | – | Suma mocy przyłączeniowej i poboru mocy odbiorcy w okresie o                                      |
| $P_{nom}^i$         | – | Moc znamionowa i-tego źródła                                                                      |
| $P_{ODB}$           | – | Maksymalny pobór mocy odbiorcy przemysłowego                                                      |
| $P_{ODB}^o$         | – | Moc dostarczana z HIOZE do odbiorcy w okresie o                                                   |
| $P_{nad}^o$         | – | Nadwyżka mocy OZE nad moc przyłączeniową i moc ładowania magazynu w okresie o                     |
| $P_{PRZYŁ}$         | – | Moc przyłączeniowa                                                                                |
| $P_{PV}^o$          | – | Moc źródeł PV w okresie o                                                                         |
| $P_{PV+TW}$         | – | Suma mocy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych                                                    |
| $P_{PV+TW}^o$       | – | Suma mocy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych w okresie o                                        |
| Pre-RDF             | – | Wyodrębnione wysokokaloryczne frakcje odpadów                                                     |
| PSE                 | – | Polskie Sieci Elektroenergetyczne                                                                 |
| $P_{SYS}^o$         | – | Moc dostarczana z HIOZE do systemu elektroenergetycznego w okresie o                              |
| $P_{TW}^o$          | – | Moc turbin wiatrowych w okresie o                                                                 |
| PV                  | – | Panele fotowoltaiczne                                                                             |
| $P_{ZAP}^o$         | – | Zapotrzebowanie odbiorcy przemysłowego w okresie o                                                |
| $Q_w$               | – | Wartość opałowa                                                                                   |
| $Q_{w,OK}^o$        | – | Wartość opałowa odpadów w okresie o                                                               |
| $Q_{w,s}^o$         | – | Wartość opałowa syngazu w okresie o                                                               |
| r                   | – | Stopa dyskonta                                                                                    |
| $St_{COH2O}$        | – | Stała reakcji konwersji tlenku węgla z parą wodną                                                 |
| $St_{zgaz}$         | – | Stopień zgazowania paliwa                                                                         |
| ŚR                  | – | Grupa kryteriów środowiskowych                                                                    |
| TOPSIS              | – | <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>                          |
| TW                  | – | Turbiny wiatrowe                                                                                  |
| T                   | – | Syntetyczny miernik oceny                                                                         |
| $T_{wyk}$           | – | Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej                                                           |
| UE                  | – | Unia Europejska                                                                                   |
| V                   | – | Znormalizowana ważona macierz decyzyjna                                                           |
| $v_{ij}$            | – | Wartość parametrów w i-tej kolumnie i j-tym wierszu w znormalizowanej ważonej macierzy decyzyjnej |
| $v_j^+$             | – | Najkorzystniejsza wartość j-tego kryterium                                                        |
| $v_j^-$             | – | Najmniej korzystna wartość j-tego kryterium                                                       |
| $\dot{V}_S^o$       | – | Strumień objętości syngazu w okresie t                                                            |
| W                   | – | Wektor wag                                                                                        |
| $w_j$               | – | Wartość wagi j-tego kryterium                                                                     |
| X                   | – | Wartość uzyskana w wyniku symulacji                                                               |
| $X_{pom}$           | – | Wartość literaturowa                                                                              |



|                     |   |                                                                                                                   |
|---------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Z$                 | – | Znormalizowana macierz decyzyjna                                                                                  |
| $z_{ij}$            | – | Wartość parametrów w i-tej kolumnie i j-tym wierszu w znormalizowanej macierzy decyzyjnej                         |
| $ZOK$               | – | Zgazowarka frakcji energetycznych odpadów komunalnych                                                             |
| $\Delta B$          | – | Różnica między frakcją palną odpadów dostępną lokalnie, a jej wykorzystaniem                                      |
| $\Delta C$          | – | Różnica między kosztami produkcji, a cenami sprzedaży energii elektrycznej                                        |
| $\Delta t$          | – | Czas trwania pojedynczego okresu                                                                                  |
| $\Delta Q/Q_{ch}$   | – | Straty ciepła odniesione do energii chemicznej paliwa                                                             |
| $\delta_{\bar{s}r}$ | – | Średni błąd względny                                                                                              |
| $\eta$              | – | Sprawność                                                                                                         |
| $\eta_{ICE}$        | – | Średnioroczna sprawność silnika gazowego                                                                          |
| $\eta_{ZOK}$        | – | Średnioroczna sprawność zgazowarki odpadów komunalnych                                                            |
| $\eta_{Z-S}$        | – | Średnioroczna sprawność układu zgazowarka-silnik gazowy                                                           |
| $\lambda$           | – | Współczynnik nadmiaru powietrza                                                                                   |
| $\sigma_{MAG}$      | – | Udział energii przekazanej poprzez BME w całkowitej wartości energii przesyłanej do systemu elektroenergetycznego |

# 1. Wstęp

## 1.1. Wprowadzenie

Motywacja rozprawy dzieli się na dwa kluczowe obszary. W ramach pierwszego z nich można wyróżnić obecny stan sektora wytwarzania energii elektrycznej oraz kierunki rozwoju elektroenergetyki. Drugim z obszarów jest konieczność zagospodarowania wysokokalorycznych frakcji odpadów komunalnych, których nie można poddać procesom recyklingu lub ponownego wykorzystania.

W ostatnich latach sektor wytwarzania energii elektrycznej poddany jest procesowi transformacji, która ma na celu jego dekarbonizację. W ramach rezygnacji ze źródeł zaliczanych do emisyjnych, wykorzystujących paliwa kopalne, odchodzi się od energetyki centralnej, bazującej na dużych blokach węglowych. Ich miejsce w systemie elektroenergetycznym zajmują źródła rozproszone, w znacznej mierze wykorzystujące odnawialne źródła energii (OZE), którymi w większości są źródła niesterowalne takie jak elektrownie wiatrowe lub fotowoltaiczne. Generacja w nich jest stochastycznie zmienna, a czas wykorzystania mocy znamionowej jest kilkakrotnie niższy niż elektrowni konwencjonalnych. Zmienność generacji ma negatywne przełożenie na pracę systemu elektroenergetycznego. Po pierwsze, sprawia problemy przy planowaniu pracy systemu, przez co bilansowanie generacji z konsumpcją energii elektrycznej oraz zapewnienie odpowiednich rezerw mocy są utrudnione. Po drugie, charakterystyka pracy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych powoduje, że moce przyłączeniowe w sieciach elektroenergetycznych są blokowane przez instalacje wykorzystujące je w 10-35%. Koniecznością stają się wielkie inwestycje w infrastrukturę sieciową oraz w instalacje magazynujące energię elektryczną. Widocznym kierunkiem zmian w podejściu do OZE w wielu krajach na świecie jest wzrost zainteresowania współdzieleniem przyłącza – czyli *cable pooling*'iem. Pomysł bazuje na podłączeniu kilku rodzajów źródeł energii elektrycznej do jednego przyłącza, zakładając przewymiarowanie całkowitej mocy zainstalowanej w stosunku do mocy przyłączeniowej. Takie rozwiązanie pozwala na zwiększenie wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej i poprawienie przewidywalności pracy z punktu widzenia operatora systemu elektroenergetycznego. Dodatkowo umożliwia większą generację energii elektrycznej bez konieczności rozbudowy infrastruktury sieci elektroenergetycznych. Z drugiej strony, w przypadku jednoczesnej generacji w różnych źródłach może dojść do przekroczenia mocy przyłączeniowej i w efekcie ograniczenia generacji. W Polsce, wprowadzono dodatkową możliwość wykorzystania współdzielenia

przyłącza – hybrydowe instalacje OZE (HIOZE). Układy takie muszą spełniać wymagania dotyczące czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej na poziomie 60% roku oraz muszą zawierać odpowiednio duży magazyn energii elektrycznej. Spełnienie powyższych wymagań uprawnia HIOZE do korzystania z preferencyjnych mechanizmów wsparcia na aukcjach OZE.

Wszystkie nowoczesne państwa zmagają się z problemem rosnącej ilości odpadów, których istotna część ma pochodzenie komunalne. Zawierają cały przekrój różnych frakcji, których zawartości w całym strumieniu są zmienne. W efekcie są jednymi z najtrudniejszych odpadów do zagospodarowania. Część z nich może zostać poddana ponownemu użyciu, inna część nadaje się do procesu recyklingu. W celu ograniczenia negatywnego oddziaływania składowania odpadów na środowisko, pozostałe frakcje powinny zostać poddane innym procesom odzysku – na przykład odzyskowi energii. Może się to odbywać metodami biologicznymi w postaci biogazowni – w przypadku niskokalorycznych odpadów biodegradowalnych – lub metodami termicznymi – w przypadku frakcji wysokokalorycznych. W celu ograniczenia niebezpieczeństwa niekontrolowanego spalania takich odpadów, wprowadzono zakazy składowania (w Polsce dotyczy on odpadów o cieple spalania powyżej 6 MJ/kg). Pomimo działania w Polsce kilku instalacji termicznego przetwarzania odpadów (ITPO) nadal znaczna część frakcji energetycznej odpadów (około 2 miliony ton rocznie [1]) nie jest zagospodarowana. Widoczne jest również, że tak jak w przypadku elektroenergetyki odchodzi się od dużych bloków węglowych, tak w przypadku ITPO istnieje trend budowy coraz mniejszych instalacji. Obecnie planowane do wybudowania instalacje charakteryzują się około 3-4 krotnie mniejszymi strumieniami utylizowanych odpadów, niż dotychczas działające ITPO. Mniejsza wydajność instalacji pasuje do kierunku rozwoju energetyki rozproszonej. Dodatkowo, poszukiwane są alternatywne technologie termicznego przetwarzania odpadów. Poza spopielaniem pojawiają się również instalacje pirolizy lub zgazowania. W tych procesach wytwarzany jest gaz palny możliwy do wykorzystania w źródłach charakteryzujących się elastyczną pracą, takich jak silniki lub turbiny gazowe.

W dysertacji zaproponowano syntezę łączącą oba powyższe zakresy. Dokonano analizy układu hybrydowego pracującego według zasad *cable pooling'u*, a dokładniej polskiej wersji tego pomysłu – tzn. hybrydowej instalacji OZE. Zaproponowany układ składa się z instalacji zgazowania frakcji energetycznych odpadów komunalnych, źródeł fotowoltaicznych, turbin wiatrowych oraz magazynu energii elektrycznej. Przeanalizowano

pracę tego układu jedynie jako hybrydowej instalacji OZE (scenariusz A – HIOZE A) oraz jako instalacji zasilającej bezpośrednio odbiorcę przemysłowego i sprzedającej nadwyżki energii zgodnie z zasadami HIOZE (scenariusz B – HIOZE B).

## 1.2. Przegląd literatury

Na podstawie przeglądu literatury autor stwierdza, że różni badacze proponują wykorzystanie zgazowania biomasy lub odpadów we współpracy z innymi źródłami w ramach hybrydowych systemów wytwarzania energii elektrycznej. Większość publikacji prezentuje wyniki modelowania.

Najczęściej analizowane są układy mające na celu elektryfikację obszarów oddalonych od systemów energetycznych [2] lub zasilenie odbiorców w krajach charakteryzujących się zawodną pracą systemu elektroenergetycznego [3]. Wynika to z dostępności paliwa oraz elastyczności pracy agregatu silnikowego, który może uzupełniać generację w źródłach niesterowalnych. W takich rozwiązaniach w zależności od dostępnych na miejscu źródeł energii mogą być wykorzystane zarówno panele fotowoltaiczne (PV), turbiny wiatrowe (TW) lub wodne, które współpracują z instalacją zgazowania [4]. Często badacze uwzględniają wykorzystanie lokalnie dostępnych paliw jako wsadu do zgazowarek. Proponowana jest biomasa w postaci np. słomy ryżowej [5] lub inne pozostałości po procesach przetwarzania biomasy [6], a także odpady komunalne [3]. W przypadku tego ostatniego paliwa, należy zaznaczyć, że często lokalnie produkowany strumień odpadów może nie wystarczyć do pokrycia zapotrzebowania danej społeczności. W pracy [7] zbadano układ służący do zasilenia wioski, natomiast odpady komunalne pochodziły z miasta, gdyż ich lokalny strumień był niewystarczający. Dzięki wykorzystaniu w hybrydowych systemach wytwórczych źródła sterowalnego – instalacji zgazowania z agregatem silnikowym – możliwe jest pokrycie zapotrzebowania odbiorcy *off-grid* w znacznym stopniu. W badaniu [8] dowiedziono, że układ składający się z paneli fotowoltaicznych, baterijnego magazynu energii oraz układu zgazowania biomasy, pokrywa 98% zapotrzebowania analizowanego odbiorcy i jednocześnie umożliwia stabilną generację energii elektrycznej. Układ zgazowarka – silnik oraz baterie jako stabilizatory generacji w OZE (turbiny wiatrowe i PV) wykorzystano również w pracy [9]. W tym badaniu analizowano pracę systemu hybrydowego zasilającego odbiorcę rolniczego niepodłączonego do systemu elektroenergetycznego. Jeszcze bardziej rozbudowany układ magazynowania energii elektrycznej zaproponowano w badaniu [10]. Poza źródłami niesterowalnymi, zgazowarką biomasy i bateryjnym magazynem energii, zastosowano

również silnik Diesla oraz magazyn wodorowy. Pomimo tak rozbudowanego układu, pokrycie 100% zapotrzebowania odbiorcy nie było możliwe (osiągnięto wartość 97%). W pracy [11] zamiast baterii przeanalizowano wykorzystanie magazynu syngazu do wyrównywania generacji w źródłach wiatrowych z zapotrzebowaniem. W układzie tym osiągnięto pokrycie zapotrzebowania przez układ hybrydowy na poziomie 90%. Podobnie, w jednej ze współautorskich prac autora dysertacji [12] zaproponowano układ hybrydowy, składający się ze zgazowania odpadów zintegrowany z turbiną gazową i magazynem syngazu oraz ze źródeł PV i wiatrowych. W tej pracy osiągnięto pokrycie zapotrzebowania odbiorcy w 80%. Wadą tego rozwiązania są duże rozmiary magazynu syngazu wynikające z małej gęstości tego paliwa.

Układy hybrydowe wykorzystujące zgazowanie biomasy lub odpadów są analizowane również do, przynajmniej częściowego, pokrycia zapotrzebowania w celu zmniejszenia poboru energii z systemu energoelektrycznego. Istotne są zarówno względy środowiskowe (ograniczone zużycia energii wytworzonej z paliw kopalnych) jak i ekonomiczne (niższy koszt produkcji energii w systemach hybrydowych niż cena kupna z systemu). Jednym z przykładów jest praca [13]. W tym artykule przedstawiono system całkowicie zasilany źródłami odnawialnymi. Składa się on z instalacji zgazowania odpadów organicznych zintegrowanej z ogniwami SOFC, źródeł fotowoltaicznych oraz wiatrowych. W symulacjach wykorzystano dane meteorologiczne oraz dotyczące zapotrzebowania na energię pochodzące z Amsterdamu. W efekcie szczyt generacji z biomasy przypadał na okres zimowy, kiedy zmniejszona była generacja w źródłach odnawialnych. W kolejnej pracy, zaproponowano układy hybrydowe służące do zasilenia części miasta Vancouver [14]. Układy składały się z baterii, instalacji zgazowania odpadów biomasowych z agregatem silnikowym, turbin wiatrowych i źródeł PV. W badaniu przeanalizowano układy o różnej wielkości. Niezależnie od skali, wyznaczone ceny energii elektrycznej były podobne. Ze względów środowiskowych oraz pod kątem zajmowanej powierzchni średnioskalowe układy są lepsze niż wielko- i małoskalowe. Esfilar i inni [15] przeanalizowali dwa systemy wykorzystujące zgazowanie odpadów do zasilenia kampusu Uniwersytetu Victorii. Pierwszym układem jest samodzielna instalacja zgazowania, a drugim jest układ hybrydowy składający się z instalacji zgazowania odpadów, innych źródeł odnawialnych oraz baterii. Poza zyskami finansowymi i korzyściami środowiskowymi, pozytywne aspekty pracy instalacji zgazowania odpadów wynikają z ograniczenia składowania na wysypiskach. W pracy [16] zaproponowano system

hybrydowy składający się z turbin wiatrowych, paneli fotowoltaicznych, baterii oraz instalacji zgazowania bioodpadów komunalnych. Celem pracy instalacji jest zasilanie osiedla podłączonego do sieci elektroenergetycznej. W artykule porównano parametry techniczne, koszty układu oraz stosunek profesjonalistów do proponowanej koncepcji w dwóch lokalizacjach (w Sofii w Bułgarii i w Gateshead w Wielkiej Brytanii). Uzyskane wyniki wskazują, że niezależnie od lokalizacji (i w efekcie od warunków meteorologicznych), instalacje charakteryzują się bardzo zbliżonymi kosztami. Przeszkody wskazywane przez ekspertów w badaniu również są podobne w obu krajach. Najczęstszymi są: wysokie koszty inwestycyjne oraz ograniczenia związane z biurokracją administracji w tych państwach. Analizę techniczno-ekonomiczno-środowiskową układu składającego się ze źródeł PV i wiatrowych, baterii oraz zintegrowanej z nimi instalacji zgazowania odpadów komunalnych dokonano w artykule [3]. W tej pracy celem układu hybrydowego jest zapewnienie stabilnego zasilania w dzielnicy miasta Abuja w Nigerii (gdzie zasilanie z systemu elektroenergetycznego jest niepewne). Takie rozwiązanie pozwala nie tylko zwiększyć pewność zasilania ale również obniżyć koszty w stosunku do zasilania z sieci lub z agregatów Diesla. Mniejsza jest również emisja CO<sub>2</sub>. W pracy [17] dokonano analizy układu hybrydowego składającego się ze zgazowarki biomasy z generatorem, źródeł fotowoltaicznych i magazynu baterijnego. Układ służy do zasilania budynku uczelni w Delhi. Ze względu na charakter budynku, zapotrzebowanie na energię w nocy jest znacznie mniejsze niż w dzień. Uzyskane wyniki wskazują, że źródła PV z magazynem mogą pokryć  $\frac{3}{4}$  zapotrzebowania na energię, a  $\frac{1}{4}$  będzie pokryta przez gazogenerator. Ze względu na położenie na południowej półkuli, najniższa generacja z PV i najwyższy udział biomasy występują od maja do sierpnia.

W kilku badaniach przeanalizowano pracę układów hybrydowych zarówno jako samodzielnych instalacji typu *off-grid* jak i działających we współpracy z systemem elektroenergetycznym. W artykule [18] przedstawiono pracę układu zgazowania odpadów komunalnych w trzech scenariuszach współpracy z siecią elektroenergetyczną. Są to: samodzielna praca instalacji zgazowania, instalacja zgazowania współpracująca z siecią oraz zasilanie odbiorcy jedynie z systemu elektroenergetycznego. Pod względem ekonomicznym i technicznym najmniej korzystna jest instalacja *off-grid*. Współpraca instalacji zgazowania z siecią była bardziej opłacalna niż zasilanie jedynie z systemu elektroenergetycznego. W pracy [19] zbadano układ hybrydowy wykorzystujący źródła PV, baterie, oraz instalację zgazowania odpadów z mikroturbiną gazową. Celem układu jest pokrycie zapotrzebowania

na energię elektryczną (oraz na ciepło we współpracy z kotłem). Przeanalizowano układy hybrydowe zarówno przy pracy *off-grid* jak i *on-grid*. Uwzględniono również wpływ *net-metering* 'u i oszczędności wynikających z braku zakupów energii. W artykule stwierdzono, że system *off-grid* nadaje się do elektryfikacji obszarów wiejskich. Jednakże, układ *on-grid* jest bardziej opłacalny pod względem finansowym w warunkach nie uwzględniających *net-metering* 'u.

Zarówno w układach hybrydowych pracujących *on-grid* jak i *off-grid* stabilne źródło energii elektrycznej (jakim jest zgazowarka biomasy/odpadów zintegrowana z agregatem), odpowiada za pokrycie większości zapotrzebowania odbiorcy. Źródła fotowoltaiczne i wiatrowe charakteryzują się niestabilną generacją i niską wartością czasu wykorzystania mocy zainstalowanej. W badaniu [20] gazogenerator odpowiada za 62% generacji energii elektrycznej. Podobne wartości uzyskano w badaniu [16]. Jedynie w badaniu Van Leeuwen i innych [13] udział ten wynosi 40%.

Podane dotychczas przykłady w większości są analizami tylko jednej konfiguracji układu, często założonej z góry. W innych badaniach, układy hybrydowe wykorzystujące zgazowanie biomasy lub odpadów komunalnych porównywane są z instalacjami hybrydowymi o innych konfiguracjach, wykorzystujących inne typy źródeł energii elektrycznej. Badania zgrupowano i przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przegląd badań literaturowych dotyczących wyboru technologii – część I

| Praca | Źródła składające się na system hybrydowy                                                                                                                                                 | Rezultat                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [21]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie</li> <li>• Zgazowanie biomasy z silnikiem</li> <li>• Silnik na olej napędowy</li> </ul> | Najkorzystniejszą konfiguracją są źródła wiatrowe uzupełnione o baterie i instalację zgazowania biomasy                                                                                                                                                   |
| [22]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panele PV</li> <li>• Zgazowanie biomasy z silnikiem</li> <li>• Mała elektrownia wodna</li> </ul>                                                 | Najtańsza cena energii jest w układzie będącym kombinacją wszystkich źródeł. Najdroższa energia jest w przypadku braku hydroelektrowni, gdyż instalacja zgazowania musi być znacznie przewymiarowana.                                                     |
| [23]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie</li> <li>• Zgazowanie biomasy z silnikiem</li> </ul>                                    | Spośród wszystkich konfiguracji najkorzystniejszą według autorów jest kombinacja wszystkich źródeł. Pozwala ona pokryć całe zapotrzebowanie na energię odbiorcy. Pod kątem ekonomicznym korzystniejsza jest instalacja nie zawierająca magazynów energii. |
| [24]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Zgazowanie biomasy z silnikiem</li> <li>• Baterie</li> <li>• Koło zamachowe</li> </ul>          | Układ <i>on-grid</i> wykorzystujący TW, PV, zgazowanie biomasy oraz baterie charakteryzuje się najniższymi kosztami energii, przy założeniu zapewnienia właściwego poziomu zasilania odbiorcy.                                                            |

Tabela 1. Przegląd badań literaturowych dotyczących wyboru technologii – część II

| Praca | Źródła składające się na system hybrydowy                                                                                                                                                                                                                        | Rezultat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [25]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zgazowarka biomasy z silnikiem</li> <li>• Biogazowania z silnikiem</li> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie</li> </ul>                                                                       | Wykorzystanie zgazowarki pozwala na osiągnięcie lepszych wartości wskaźników ekonomicznych niż wykorzystanie biogazowni. Dodatkowo pozwala na zredukowanie mocy źródeł wchodzących w skład systemu hybrydowego. Obie instalacje wykorzystujące biomasę umożliwiają redukcję kosztów wytwarzania energii elektrycznej.                                                                                                                                            |
| [26]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrociepłownia zintegrowana ze zgazowaniem biomasy</li> <li>• Magazyn syngazu</li> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie</li> </ul>                                                         | Wykorzystanie zgazowania biomasy poprawia opłacalność względem zasilania z systemu elektroenergetycznego oraz względem wykorzystania gazu ziemnego jako paliwa w elektrociepłowni. W badaniu wykorzystano metodę Monte Carlo do zamodelowania warunków pogodowych. Stwierdzono, że układy charakteryzujące się najlepszymi wskaźnikami ekonomicznymi mogą okazać się niewystarczające pod kątem zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej i ciepła. |
| [27]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zgazowarka biomasy z silnikiem</li> <li>• Instalacja pirolizy biomasy z silnikiem</li> <li>• Obieg parowy z biomasą jako paliwem</li> <li>• Panele PV</li> </ul>                                                        | Niezależnie od typu, instalacje przetwarzające biomasę mogą współdziałać ze źródłami PV i w efekcie poprawiają niezawodność. Układ wykorzystujący pirolizę biomasy charakteryzuje się najniższą ceną ale również najmniejszą generacją energii.                                                                                                                                                                                                                  |
| [28]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zgazowarka biomasy z silnikiem</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie sodowo-siarkowe</li> <li>• Baterie przepływowe żelazowe</li> <li>• Baterie litowo-niklowe</li> <li>• Koło zamachowe</li> <li>• Kocioł</li> </ul> | Układ wykorzystujący koło zamachowe i baterie sodowo-siarkowe do magazynowania energii elektrycznej produkowanej w silniku oraz panelach PV jest najkorzystniejszy pod względem produkcji energii elektrycznej. Układ ten wykorzystuje również kocioł do pokrycia zapotrzebowania na ciepło.                                                                                                                                                                     |
| [29]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiny wiatrowe</li> <li>• Panele PV</li> <li>• Baterie</li> <li>• Silnik Diesla z generatorem</li> <li>• Zgazowarka biomasy z silnikiem</li> </ul>                                                                    | Najniższym kosztem energii charakteryzuje się układ PV/zgazowarka/generatory Diesla/baterie. Pod kątem środowiskowym najkorzystniejsze są układy składające się ze źródeł niesterowalnych i magazynów. Natomiast, w takim przypadku znaczna część energii wyprodukowanej w instalacji hybrydowej jest tracona gdyż przekracza zapotrzebowanie.                                                                                                                   |
| [30]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panele PV</li> <li>• Zgazowarka powietrzna odpadów ze złożem stałym</li> <li>• Zgazowarka odpadów wykorzystująca zgazowanie parą przegrzaną</li> </ul>                                                                  | Najkorzystniejszym rozwiązaniem pod względami ekonomicznymi i środowiskowymi jest układ składający się z instalacji zgazowania odpadów parą przegrzaną i paneli PV. Wymaga jednakże odpowiedniej wysokości opłaty za utylizację odpadów i zużywa dodatkowe paliwo w celu przeprowadzenia procesu zgazowania.                                                                                                                                                     |

Podsumowując zestawienie z tabeli 1 należy stwierdzić, że wyniki większości analiz wskazują na pozytywny wpływ instalacji zgazowania na pracę systemu hybrydowego. W szczególności zmniejszane są koszty produkcji energii elektrycznej oraz zwiększa się



stopień pokrycia zapotrzebowania odbiorcy. Jednakże, widoczne jest, że instalacja zgazowania charakteryzuje się wysokimi kosztami inwestycyjnymi co w określonych przypadkach (jak przy konieczności przewymiarowania jej mocy w pracy [22]) negatywnie wpływa na cenę energii. Z drugiej strony, instalacja zgazowania charakteryzuje się wysoką wartością czasu wykorzystania mocy zainstalowanej, dzięki czemu negatywny wpływ na cenę energii jest mniejszy niż np. w przypadku magazynów energii elektrycznej [23]. Porównując instalacje zgazowania z innymi instalacjami wykorzystującymi biomasę lub odpady jako paliwo widać, że gazyfikacja jest jedną z najkorzystniejszych technologii wykorzystywaną do współpracy w ramach instalacji hybrydowej. W analizowanych pracach jest ona korzystniejsza niż biogazownia [25], kocioł z obiegiem parowym [27], pod pewnymi względami jest również korzystniejsza niż instalacja pirolizy [27]. Ze względów środowiskowych oraz ekonomicznych (cena zakupu paliwa) jest również bardziej preferowana niż agregaty silnikowe na olej napędowy.

Kolejną istotną część badań stanowią te, w których zaproponowano lub wykorzystano różne metodologie doboru parametrów źródeł w hybrydowych instalacjach wytwórczych. Prace badawcze z tego zakresu zgrupowano i przedstawiono w tabeli 2.

Widoczne jest, że w większości analiz wykorzystano kryteria ekonomiczne. W 14 z 23 publikacji są jedynymi kryteriami decyzyjnymi, co wynika zarówno z istotności tych parametrów jak i z wykorzystywanego oprogramowania (najpopularniejszym narzędziem w analizach systemów hybrydowych jest oprogramowanie HOMER). Z tego powodu, w pracach badawczych często nie analizowano wpływu innych kryteriów na wynikowe parametry instalacji hybrydowej. Nawet jeżeli brano pod uwagę dodatkowe wymagania, wykorzystywano je nie jako kryteria wyboru ale jako parametry graniczne instalacji. Oznacza to, że analizowano pod kątem ekonomicznym jedynie układy spełniające dane wymagania (dotyczące np. wymaganej generacji czy też niezawodności).

Tabela 2. Przegląd literatury w zakresie doboru parametrów instalacji w hybrydowych systemach wytwórczych.

| Praca | Kryteria analizy |    |    |           | Elementy instalacji hybrydowej |    |    |     |                                     | Tryb pracy          |
|-------|------------------|----|----|-----------|--------------------------------|----|----|-----|-------------------------------------|---------------------|
|       | EN/T             | EK | ŚR | Inne      | Paliwo                         | PV | WT | BME | Inne                                |                     |
| [7]   | -                | +  | -  | -         | Odpady                         | +  | -  | +   | Biogazownia                         | On-grid             |
| [13]  | +                | -  | -  | -         | Odpady                         | +  | +  | -   | -                                   | Off-grid            |
| [14]  | +                | -  | +  | -         | Odpady                         | +  | +  | +   | -                                   | On-grid             |
| [15]  | -                | +  | -  | -         | Odpady                         | +  | +  | +   | -                                   | On-grid             |
| [12]  | +                | +  | +  | -         | Odpady                         | +  | +  | -   | Magazyn syngazu                     | On-grid             |
| [31]  | +                | +  | +  | -         | Odpady                         | +  | +  | +   | -                                   | On-grid             |
| [8]   | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [21]  | +                | +  | +  | Społeczne | Biomasa                        | +  | +  | +   | Diesel                              | Off-grid            |
| [9]   | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [32]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [26]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | Magazyn syngazu                     | On-grid             |
| [33]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | Kocioł elektryczny, magazyn syngazu | On-grid             |
| [34]  | +                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [35]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | Hydroenergia                        | Off-grid            |
| [36]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | -   | Diesel                              | On-grid<br>off-grid |
| [37]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | -                                   | On-grid             |
| [38]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [29]  | +                | +  | +  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | Diesel                              | Off-grid            |
| [39]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [40]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | +  | +   | Diesel                              | Off-grid            |
| [41]  | -                | +  | -  | -         | Biomasa                        | +  | -  | +   | -                                   | Off-grid            |
| [42]  | +                | +  | +  | -         | Biomasa                        | -  | -  | -   | Magazyn syngazu, ORC                | On-grid             |
| [43]  | +                | +  | +  | Społeczne | Biomasa                        | +  | -  | +   | Diesel, Hydroenergia                | Off-grid            |

gdzie, + oznacza, że kryterium z danej grupy (lub dane źródło energii) było uwzględnione w analizie, - oznacza, że kryterium z danej grupy (lub dane źródło energii) nie było uwzględnione w analizie, EN/T – grupa kryteriów energetycznych lub technicznych, EK – grupa kryteriów ekonomicznych, ŚR – grupa kryteriów środowiskowych, BME – baterijny magazyn energii.

W większości przedstawionych w tabeli publikacji analizowane są układy pracujące w trybie *off-grid*. Zgazowanie biomasy lub odpadów często jest w tych artykułach proponowane jako odpowiedź na problemy z dostępem do energii elektrycznej w krajach rozwijających się. W kilku publikacjach [7,12,26,33,37,42] uwzględniono połączenie z systemem elektroenergetycznym jedynie w celu uzupełnienia energii pobieranej przez odbiorcę (w wypadku, gdy nie wystarcza energii z systemu hybrydowego). W kolejnych trzech artykułach założono sprzedaż nadwyżek energii z hybrydowego systemu wytwórczego do systemu elektroenergetycznego [14,15,36]. Jedynie w poprzedniej pracy [31] autora rozprawy przeanalizowano sprzedaż energii do systemu elektroenergetycznego

jako kluczowy element działania instalacji hybrydowej, który dodatkowo obwarowany był wymaganiami wynikającymi z przepisów polskiego prawa.

Dobór parametrów instalacji hybrydowych przeprowadzano różnorodnymi metodami. Wykorzystywane są zarówno metody bazujące na przedstawieniu scenariuszy i analizie wrażliwości wyników [12,26,31,33,39] jak i na rozbudowanych algorytmach optymalizujących. W wielu pracach [8,14,15,29,32,35,36,41] użyto oprogramowania HOMER, które wykorzystuje algorytm dostosowany do analizy hybrydowych instalacji. Poza nim wykorzystano następujące algorytmy optymalizacyjne: sztucznej kolonii pszczoł [7,36], mewy [9], szarego wilka [9,40], wieloryba [9], chwastów [34], roju cząstek [29,34,38,40], piramidy w Gizie [38], genetyczny [40], kukułki [40], *Discrete Harmony Search* [37], mrówkolwów [40]. Pomimo zastosowania różnych metod optymalizacyjnych, cel analiz jest taki sam – znalezienie układu charakteryzującego się najkorzystniejszą wartością określonego wskaźnika. Efektem osiąganym przez badaczy jest skrócenie czasu obliczeń w odniesieniu do innych algorytmów lub znalezienie daną metodą konfiguracji układu z korzystniejszą wartością określonego parametru.

Jedynie w czterech publikacjach [21,29,42,43] zastosowano metody wielokryterialne. W pozostałych przypadkach, jeżeli wykorzystywano więcej niż jedno kryterium, analizę i dobór parametrów układu przeprowadzano dla każdego z kryteriów osobno. Na podstawie wyników tych badań można stwierdzić, które rozwiązanie było najkorzystniejsze według pojedynczego kryterium, a następnie wyznaczyć optymalne rozwiązanie według kolejnego wskaźnika. Zasada ta jest obecna zarówno we wcześniejszych publikacjach autora rozprawy [12,31], jak i w innych wymienionych publikacjach [14,34]. Metody wielokryterialne pozwalają natomiast na połączoną analizę układów uwzględniającą pełen zakres kryteriów. Dodatkowo umożliwiają właściwe dobranie wartości wag tych kryteriów. Dzięki temu, dobór parametrów układu hybrydowego wynika z preferencji danego inwestora lub badacza. W trzech przypadkach metody wielokryterialne służyły do analizy układów *off-grid* [21,29,43]. W czwartym [42] analizowano trigeneracyjny układ w którym system elektroenergetyczny był wykorzystywany jedynie jako źródło dodatkowej energii. Nie analizowano w nim sprzedaży energii elektrycznej.

Metody wielokryterialne są częściej wykorzystywane przy analizie układów hybrydowych niezawierających instalacji zgazowania biomasy lub odpadów. Większość badań z tego zakresu jest wykonywana przez naukowców zagranicznych. Jednakże,

pojawiają się takie opracowania również w Polsce. W 2014 roku Ceran i Sroka [44] dokonali analizy współpracy hybrydowego systemu (składającego się ze źródeł wiatrowych, słonecznych oraz magazynu energii elektrolizer ogniwo-paliwowe) z systemem elektroenergetycznym. W tej pracy wykorzystano cztery kryteria: dwa energetyczne oraz po jednym z obszaru środowiskowego i ekonomicznego. Przebadano różne tryby pracy tego źródła: od pracy *off-grid*, przez pokrywanie większości zapotrzebowania, do pracy szczytowej. W pracy Żelaznej i innych [45] hybrydowy układ *on-grid* składający się z paneli PV i baterijnego magazynu energii (BME) porównano metodami wielokryterialnymi z układem pozbawionym magazynu oraz jedynie z zasilaniem odbiorcy jedynie z systemu elektroenergetycznego. W pracy tej wykorzystano kryteria ekonomiczne i środowiskowe wynikające z analizy cyklu życia, a także wskaźnik niezawodności badanych układów. System hybrydowy wykorzystujący poza bateriami i panelami PV również turbiny wiatrowe przebadano w pracy [46]. Wykorzystano w niej metodę *Analytic Hierarchy Process* mającą na celu znalezienie najkorzystniejszej struktury systemu hybrydowego. W pracy wykorzystano łącznie sześć kryteriów z trzech obszarów: ekonomicznego, technicznego i prawnego.

Szerszy zakres analiz obecny jest u badaczy zagranicznych. W pracy [47] zestawiono badania analizujące metodami wielokryterialnymi dobór źródeł i ich parametrów w hybrydowych systemach wytwórczych. Przywołano kilkadziesiąt badań układów hybrydowych, uwzględniających zasady zrównoważonego rozwoju. W artykule przedstawiono zakresy wskaźników wykorzystywanych jako kryteria w tych analizach. Zaproponowany jest podział wskaźników na: techniczne (wskaźniki niezawodności zasilania, wartość generacji przekraczającej możliwości odbioru), ekonomiczne (koszt energii elektrycznej, koszty roczne, koszty eksploatacyjne, okres zwrotu, wewnętrzna stopa zwrotu), środowiskowe (ślad węglowy, jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub>), społeczno-polityczne (wskaźnik rozwoju społecznego, tworzenie miejsc pracy) oraz wskaźniki określające ryzyko inwestycji. W artykule przeglądowym autorstwa Siksnelyte-Butkiene i innych [48] zebrano prace, w których wykorzystano metody wielokryterialne do analizy źródeł energii w instalacjach komunalnych. Omawiane artykuły zebrano w trzy kategorie. Jedną z nich jest ocena hybrydowych systemów wytwórczych. W ramach tej grupy analizy obejmowały zarówno źródła odnawialne (elektrownie wiatrowe, fotowoltaiczne, wodne, zasilane biomasą lub wodorem) i nieodnawialne (agregaty silnikowe zasilane benzyną, olejem napędowym lub gazem ziemnym). W ramach tych prac stosowano kryteria

ekonomiczne, społeczne, techniczne i środowiskowe. Poza wskaźnikami wymienionymi w kontekście pracy [47] przywołano takie, które odnoszą się do lokalnej dostępności surowców, gotowości technologicznej, akceptacji społecznej, całkowitej generacji energii, udziału OZE w generacji czy też kompatybilności z systemem elektroenergetycznym. W niektórych pracach badawczych, metodami wielokryterialnymi analizowane są hybrydowe systemy, których celem jest nie tylko generacja energii elektrycznej ale również: wodoru [49], energii w postaci ciepła [50] lub chłodu [51], czy zapewnienia właściwej wentylacji [51]. W takich analizach pojawiają się dodatkowe wskaźniki wykorzystywane jako kryteria decyzyjne. W zależności od przeznaczenia układu kryteriami mogą być: cena wodoru [49], koszt produkcji ciepła [50], koszt produkcji chłodu czy też zapewnienie komfortu cieplnego [51].

Widoczne jest to, że metody wielokryterialne są wykorzystywane przy analizie różnego typu instalacji hybrydowych. Jednakże brakuje wykorzystania tych metod przy analizie hybrydowych systemów wytwórczych zawierających instalacje zgazowania, co w szczególności dotyczy zgazowania odpadów. Metodologia analizy takich układów musi uwzględniać specyficzne wymagania dotyczące instalacji termicznego przetwarzania odpadów. Są nimi np. utylizacja odpowiedniej ilości odpadów, wynikającej z warunków lokalnych, czy też emisja CO<sub>2</sub> – parametr który nie jest obecny w analizach układów wykorzystujących jedynie turbiny wiatrowe i panele fotowoltaiczne. Dodatkowo, w literaturze, instalacje hybrydowe zazwyczaj analizowane są jedynie z punktu widzenia inwestora, którego jedynym celem jest zysk. W przypadku instalacji wykorzystujących zgazowanie odpadów komunalnych, inwestorem może być również jednostka komunalna, która poza maksymalizacją zysku może mieć na celu spełnienie potrzeb społecznych np. w zakresie zagospodarowania odpadów lub dekarbonizacji procesów wytwarzania energii elektrycznej. Kolejnym obszarem w którym brakuje zastosowania metod wielokryterialnych są układy pracujące w formule *cable pooling'u*, a w szczególności instalacje charakteryzujące się konkretnymi wymaganiami dotyczącymi czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, czy też udziału poszczególnych elementów układu w generacji. Zauważona luka badawcza wynika z faktu, że trend rozwoju takich form współpracy różnych źródeł energii jest stosunkowo nowy. Wynika z tego luka badawcza i brak dostępnych prac badawczych w tym zakresie. Oba powyższe pola wypełnia niniejsza dysertacja.

## 1.2. Teza, cel i zakres pracy

Instalacje hybrydowe służące do generowania energii elektrycznej można opisać równaniami bilansowymi. Ze względu na niestabilność warunków meteorologicznych, analiza instalacji hybrydowych musi uwzględniać zmienność pogody w czasie. Kluczowe zatem stają się rozkłady mocy w układzie w każdym analizowanym okresie. Ze względu na niestabilny charakter pracy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych, nie jest możliwe wykorzystanie w pełni mocy przyłączeniowej. W celu zwiększenia wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej HIOZE niezbędne są źródła sterowalne i magazyny energii. Jednocześnie, generacja w źródłach fotowoltaicznych i wiatrowych (nieemisyjnych) powinna mieć pierwszeństwo względem pozostałych instalacji. Konieczne jest zatem powiązanie mocy źródeł OZE oraz baterijnego magazynu energii i agregatu silnikowego w ramach analizy HIOZE. W pracy wykorzystano współczynniki, które są stosunkami:

- mocy agregatu silnikowego, zintegrowanego z instalacją zgazowania odpadów, do mocy niesterowalnych źródeł OZE – określanego przez współczynnik  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ ,
- mocy baterijnego magazynu energii, przy określonej wartości współczynnika szybkości ładowania i rozładowania *C-rate*, do mocy niesterowalnych źródeł OZE – określanego przez współczynnik  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

Właściwy dobór ich wartości jest kluczowym zagadnieniem, wpływającym zarówno na możliwość spełnienia wymagań dotyczących instalacji hybrydowych, jak i na wartości wskaźników energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych definiujących pracę systemu hybrydowego. Wykorzystanie współczynników pozwala również uogólnić wyniki, które mogą być zastosowane do instalacji o innych mocach ale przy analogicznych wartościach współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej przyjęto następującą tezę:

*Dobór wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  dla hybrydowej instalacji OZE składającej się z instalacji fotowoltaicznej, turbin wiatrowych, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów komunalnych, pracującej według założeń cable pooling'u, jest zadaniem, które można rozwiązywać za pomocą wielokryterialnych metod podejmowania decyzji z uwzględnieniem różnych kryteriów z grupy technicznych, ekonomicznych oraz środowiskowych.*

Sformułowano również cel badań:

*Celem pracy jest opracowanie modelu matematycznego pozwalającego na przeprowadzenie wielokryterialnej analizy porównawczej wariantów projektowych HIOZE i zbadanie wpływu wag zdefiniowanych kryteriów na aspekty techniczne, ekonomiczne oraz środowiskowe związane z jej eksploatacją.*

Jako miarę efektów energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych należy wskazać następujące wskaźniki:

- Energetyczne:
  - Czas wykorzystania mocy zainstalowanej,
  - Wartość ograniczonej produkcji energii elektrycznej ze źródeł niesterowalnych,
- Ekonomiczne:
  - Łączne nakłady inwestycyjne na budowę instalacji hybrydowej,
  - Różnicę między ceną sprzedaży, a kosztami wytwarzania energii elektrycznej,
- Środowiskowe:
  - Jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub>,
  - Różnicę między masą odpadów komunalnych dostępnych lokalnie, a ich zużyciem w instalacji hybrydowej.

Praca obejmuje swym zakresem analizę hybrydowych instalacji OZE składających się z instalacji fotowoltaicznej, turbin wiatrowych, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów komunalnych zintegrowanej z agregatem silnikowym. Praca podzielona jest na dwie części: teoretyczną oraz modelowo-symulacyjną. W pierwszej z nich:

- W rozdziale pierwszym przedstawiono przegląd literatury obejmujący dotychczasowe osiągnięcia naukowców w dziedzinie analizy hybrydowych systemów wytwórczych wykorzystujących instalacje zgazowania biomasy i odpadów. Przedstawiono również lukę badawczą, którą wypełnia ta dysertacja.
- W rozdziale drugim, przedstawiono obecny stan systemu elektroenergetycznego w Polsce, wraz z odniesieniami do innych systemów na świecie. Zaprezentowano trend przechodzenia od energetyki centralnej do

rozproszonej. Opisano również hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem instalacji pracujących w ramach *cable pooling'u*. Przedstawiono również akty prawne dotyczące tego typu instalacji w Polsce.

- W rozdziale trzecim opisano technologię zgazowania paliwa z odpadów. Scharakteryzowano paliwo, którym są frakcje energetyczne odpadów komunalnych. Przedstawiono technologie odzysku energii z odpadów, ze szczególnym uwzględnieniem technologii zgazowania. Przy opisie tej technologii zaprezentowano dotychczasową wiedzę techniczną z uwzględnieniem opisu instalacji działających komercyjnie. Przedstawiono pozytywne i negatywne aspekty takich instalacji. Opisano wykorzystanie produktu zgazowania – syngazu – w silnikach tłokowych.

W drugiej części opracowano modele matematyczne, przeprowadzono symulacje i dokonano analiz wielokryterialnych hybrydowych instalacji OZE. W tej części przeprowadzono analizę dwóch konfiguracji instalacji: hybrydowej instalacji OZE wytwarzającej energię elektryczną na potrzeby systemu elektroenergetycznego (scenariusz A) oraz hybrydowej instalacji OZE wytwarzającej energię elektryczną na potrzeby odbiorcy przemysłowego i sprzedającą do systemu jedynie nadwyżki generowanej energii (scenariusz B). Część badawcza pracy dzieli się na:

- Zaprezentowanie metodologii analiz w zakresie algorytmów pracy, modeli matematycznych instalacji hybrydowych, wyznaczania granicznych wartości parametrów  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ , oraz wskaźników energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych. Ponadto przedstawiona jest metodologia analiz wielokryterialnych. Rozdział uwzględnia specyficzne warunki pracy układów w scenariuszach A i B.
- Sprawdzenie zgodności pracy instalacji hybrydowych z treścią Ustawy o OZE i wybór rozwiązań (określonych przedziałów wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  dla różnych mocy OZE) spełniających kryteria graniczne. Przedstawienie wyników wskaźników energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych. Przeprowadzenie analiz wielokryterialnych oraz zaprezentowanie rankingów preferencji we wszystkich uwzględnionych wariantach rozkładu wag. Wyniki są przedstawione dla obu analizowanych konfiguracji układów (scenariusz A i scenariusz B).



- Dyskusję w zakresie porównania wyników w obu konfiguracjach (scenariusz A i scenariusz B) oraz w celu określenia wpływu wartości wag zdefiniowanych kryteriów na rankingi preferencji.

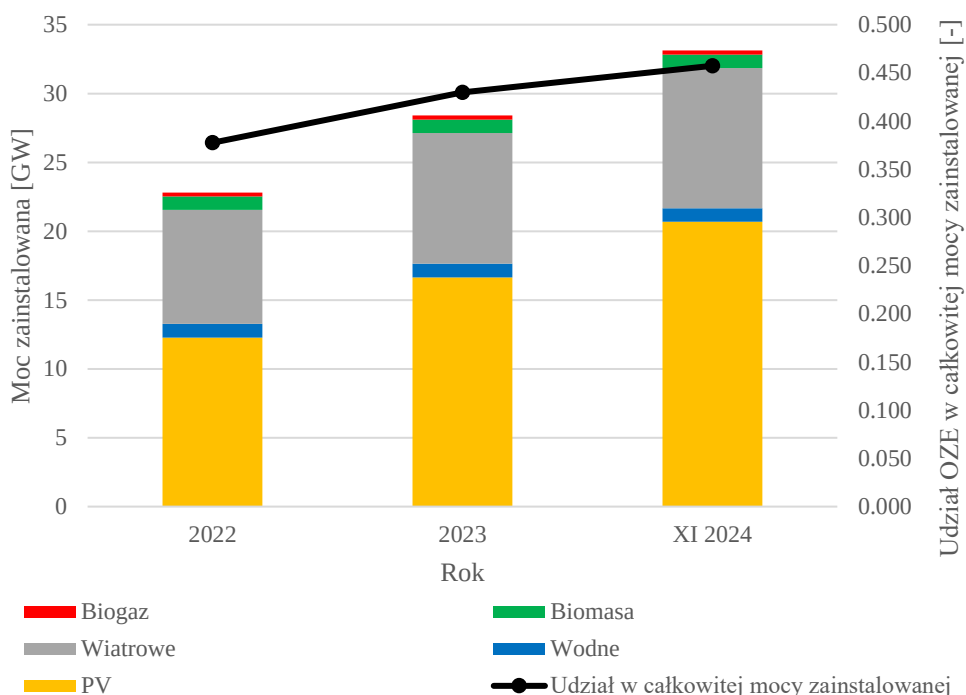
## 2. Hybrydowe instalacje OZE

### 2.1. Sektor wytwarzania energii elektrycznej w Polsce

Roczna wartość zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce wzrosła o 9 TWh między 2014 a 2023 rokiem. Prognozuje się, że trend będzie się utrzymywać w najbliższych latach. Przyczynia się do tego elektryfikacja wielu dziedzin życia (wzrost liczby pojazdów elektrycznych, wykorzystanie energii elektrycznej w procesach pozyskiwania wodoru, pompy ciepła lub kotły elektrodowe, centra danych) [52]. Zmienia się również rozkład zapotrzebowania na energię elektryczną w ciągu roku. Szczyty zapotrzebowania są obserwowane zimą. Jednakże, przez powszechne wykorzystanie klimatyzacji, co roku zmniejsza się różnica między zimą, a latem.

Jednocześnie, ze względu na konieczność dekarbonizacji energetyki, dochodzi do zmiany struktury źródeł wytwórczych w systemach elektroenergetycznych. W krajach rozwiniętych elektrownie konwencjonalne, wykorzystujące paliwa kopalne takie jak węgiel czy ropa, są zastępowane przez źródła o niższej emisyjności (odnawialne lub jądrowe). W Polsce, poza powodami klimatycznymi, podążaniem za światowymi trendami i polityką Unii Europejskiej (UE), transformacja jest przyspieszana przez względy geopolityczne. Szczególny wpływ ma objęcie sankcjami Rosji. Państwo to dostarczało znaczną część gazu wykorzystywanego w zarówno w Polsce (46,6% gazu ziemnego zużytego w Polsce w 2020 roku [53]) jak i w reszcie Europy (39,7% importu gazu ziemnego w 2021 [54]), a także część węgla (15% węgla zużywanego w Polsce w 2020 roku [53], ponad 40% importu do całej UE [54]). Rosja odpowiadała też za 25% importu ropy naftowej do Unii Europejskiej [54].

Skutkiem polityki dekarbonizacyjnej jest wzrost mocy zainstalowanej odnawialnych źródeł energii elektrycznej. W roku 2015 sumaryczna moc źródeł PV wynosiła zaledwie 100 MW, a elektrowni wiatrowych niewiele ponad 5 GW [52]. Tymczasem do roku 2023 moc zainstalowana w OZE wzrosła sumarycznie do 28,404 GW. Z tej liczby źródła PV odpowiadały za 16,654 GW, wiatrowe za 9,484 GW, biomasa za 0,989 GW, biogaz za 0,295 GW [55]. W listopadzie 2024 moc zainstalowana OZE wynosiła 33,194 GW. Poza niewielkim wzrostem mocy zainstalowanej w źródłach biogazowych, za cały wzrost odpowiadały farmy fotowoltaiczne (85% całego wzrostu) i wiatrowe (15% całkowitego wzrostu) [56]. Na rysunku 1 przedstawiono wzrost mocy zainstalowanej OZE w ostatnich latach.



Rys. 1. Wzrost mocy zainstalowanej OZE i udziału w całkowitej mocy zainstalowanej (opracowanie własne na podstawie [55,56]).

Udział OZE w całkowitej mocy zainstalowanej w polskim systemie elektroenergetycznym wzrósł z 37,8% w 2022 przez 43% w 2023 do 45,7% w 2024 roku. Jednakże, udział OZE w generacji energii elektrycznej był zdecydowanie mniejszy i wyniósł 21% w 2022 i 27,4% w 2023 roku. W tym ostatnim, pomimo prawie dwukrotnie wyższej mocy zainstalowanej w źródłach PV, to źródła wiatrowe odpowiadały za ponad dwukrotnie większą generację energii elektrycznej (24,176 TWh względem 11,107 TWh). Pozostałe, sterowalne źródła OZE odpowiadały za generację 10,518 TWh (przy 7,35 razy mniejszej mocy zainstalowanej od źródeł fotowoltaicznych) [55].

W najbliższych latach prognozowany jest dalszy wzrost udziału OZE w miksie energetycznym. Według danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE) [52] na koniec 2023 roku umowę o przyłączenie jednostek wytwórczych posiadały elektrownie o mocy ponad 20 GW z czego prawie 11,5 GW stanowią OZE (73% tej wartości stanowią morskie farmy wiatrowe). Ponadto umowy przyłączeniowe były zawarte z magazynami energii o łącznej mocy 1,9 GW. Warunki przyłączeniowe uzyskały natomiast: elektrownie jądrowe (3,7 GW), OZE (5,85 GW) oraz magazyny energii (9,79 GW). Uwzględniając przyłączenia do sieci dystrybucyjnej, planowane jest powstanie nowych źródeł: 7 GW lądowych farm wiatrowych, 25,9 GW farm PV, 8,5 MW morskich farm wiatrowych oraz 18,2 GW

magazynów energii. Sytuacja jednostek konwencjonalnych jest odmienna. Redukcja mocy tych źródeł szacowana jest na około 9-12 GW do 2031 roku. Efektem będzie zmniejszenie udziału źródeł sterowalnych w systemie wytwórczym, a także konieczność przewymiarowania systemu tak, aby zapewnić wystarczające rezerwy mocy. PSE przewiduje, że w 2031 roku może brakować mocy dyspozycyjnej na poziomie 6,4 GW, a w 2040 roku na poziomie 18 GW [52].

Istotny problem stanowi coraz częściej występująca sytuacja, w której system elektroenergetyczny nie jest w stanie przyjąć całkowitej generacji z OZE, co jest skutkiem skorelowania generacji ze źródeł PV w całym kraju. Często nakłada się na to również generacja w źródłach wiatrowych lub niskie zapotrzebowanie. Efektem tego są nierynkowe ograniczenia generowanej mocy w OZE. W 2024 łącznie ograniczono generację z OZE o 731,4 GWh oraz awaryjnie wyeksportowano kolejne 234,6 GWh. Niemal 2% potencjalnej generacji z OZE nie zostało wykorzystane w polskim systemie elektroenergetycznym [57]. Z drugiej strony, ze względu na warunki meteorologiczne, występują okresy niemal zerowej generacji zarówno w źródłach wiatrowych jak i PV. W listopadzie 2024 roku przez 10 dni udział niesterowalnych OZE w generacji energii spadł o ponad 20 punktów procentowych względem średniorocznej wartości udziału OZE. W Niemczech spadek ten wyniósł 28 punktów procentowych [58]. Efektem był wzrost generacji w elektrowniach konwencjonalnych.

## **2.2. Energetyka rozproszona**

W ostatnich latach widoczne jest stopniowe odchodzenie od scentralizowanego systemu wytwarzania energii elektrycznej na rzecz źródeł rozproszonych. Są to źródła o zdecydowanie mniejszych mocach (zazwyczaj przyjmuje się górną granicę mocy na poziomie 50-150 MW), przyłączone do sieci dystrybucyjnych lub bezpośrednio u odbiorcy i niepodlegające centralnemu dysponowaniu przez operatora systemu przesyłowego [59]. OZE odpowiadają za większość przyrostu liczby źródeł rozproszonych. W przypadku elektrowni fotowoltaicznych 90% mocy zainstalowanej w Polsce jest przyłączone do sieci średniego lub niskiego napięcia. W przypadku elektrowni wiatrowych ta wartość wynosi 36%. Znaczna część pozostałych 64% jest przyłączona do sieci dystrybucyjnych 110 kV [52]. Dodatkowymi czynnikami wspomagającymi rozwój energetyki rozproszonej są: liberalizacja rynku energii (opierająca się na demonopolizacji oraz zwiększeniu dostępu mniejszych podmiotów do rynku energii), dywersyfikacja źródeł zasilania (mająca na celu zwiększenie niezawodności zasilania) oraz ograniczenie strat energii podczas przesyłu [59].

W ramach generacji rozproszonej nie należy rozpatrywać jedynie źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych. Można do nich zaliczyć również niewielkie układy zasilane paliwami kopalnymi lub odnawialnymi. Często służą one nie tylko do generacji energii elektrycznej ale również pracują w kogeneracji (lub trigeneracji). Do zbioru technologii rozproszonych można zaliczyć także instalacje termicznego przetwarzania odpadów. W niektórych rejonach popularne są małe elektrownie wodne, wykorzystujące energię wody mniejszych rzek. Istotną rolę w generacji rozproszonej pełnią magazyny energii elektrycznej. Magazynowanie energii może zwiększyć opłacalność inwestycji oraz pozwolić na uniknięcie nierynkowego wyłączenia instalacji.

Niezależnie od źródła energii pierwotnej, rozproszone źródło energii elektrycznej musi spełniać szereg warunków technicznych umożliwiających współpracę z systemem elektroenergetycznym. Pierwszą kwestią jest współpraca z automatyką zabezpieczeniową tak, aby nie dopuścić do przekroczenia parametrów granicznych sieci elektroenergetycznych. Generowana energia elektryczna musi być odpowiedniej jakości, a jej wartość powinna być możliwa do przewidzenia. Generacja musi być stale monitorowana [59]. Pomimo spełnienia tych warunków, wpływ OZE na niezawodność systemu jest niejednoznaczny (w przeciwieństwie do jednostek konwencjonalnych). Co istotne, pomimo niezależności od Centralnej Dyspozycji Mocy (w zakresie planowania generacji), źródła rozproszone również podlegają decyzjom mającym na celu obronę systemu elektroenergetycznego np. nierynkowym ograniczeniom mocy.

Poważnym problemem rozwoju energetyki rozproszonej jest mała dostępność mocy przyłączeniowych w systemie elektroenergetycznym [60]. Raporty Urzędu Regulacji Energetyki wskazują na rosnącą co roku liczbę odmów przyłączeń nowych instalacji OZE. Pomiędzy 2020 a 2023 rokiem liczba odmów wzrosła z 1322 do 7448 (moc tych instalacji to odpowiednio 6,155 GW i 83,612 GW. Głównymi powodami są prognozowane przekroczenia parametrów sieci związane z zbyt dużą mocą źródeł. Ze względu na rozproszony charakter OZE, wytwórcy energii często chcą przyłączyć instalacje do sieci średniego napięcia w głębi systemu, z dala od połączenia z siecią wysokich i najwyższych napięć. Dodatkowo lokalizacje często są oddalone od ewentualnych podmiotów gotowych wykorzystać generowaną energię elektryczną [61]. Mała dostępność mocy przyłączeniowych jest obserwowana na całym świecie. Globalnie w 2023 ponad 3 TW projektowanych źródeł OZE nie mogło zostać przyłączone do systemu elektroenergetycznego [62].

Rozbudowa sieci elektroenergetycznych w celu umożliwienia przyłączenia instalacji rozproszonych jest drogim procesem. W Polsce koszty zwiększa również zmiana rozmieszczenia dużych źródeł energii z południa (w pobliżu kopalni oraz przemysłu) na północ (lokalizacja morskich farm wiatrowych oraz pierwszej elektrowni jądrowej). W efekcie, szacowany koszt rozbudowy infrastruktury sieci przesyłowej i dystrybucyjnej energii elektrycznej może wynosić do 2040 roku nawet 500 mld zł [63]. Na 66 mld zł szacowane są koszty rozbudowy sieci przesyłowych [52]. Wielokrotnie wyższe są koszty rozbudowy infrastruktury sieci dystrybucyjnych, co wynika to z faktu, że całkowita długość linii elektroenergetycznych w sieciach dystrybucyjnych jest 22 razy większa niż w liniach przesyłowych [55].

### **2.3. Hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej i *cable pooling***

Jednym ze sposobów na zwiększanie udziału generacji z OZE, przy jednoczesnym ograniczaniu negatywnego wpływu na możliwości przyłączeniowe, są hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej. Są one kombinacją różnych źródeł energii elektrycznej (wykorzystujących różne źródła energii pierwotnej), które współpracują przy wykorzystaniu zaawansowanych układów sterowania [59]. Bardzo często zawierają też magazyn energii. Dzięki temu, że źródła wiatrowe i słoneczne są częściowo komplementarne, możliwe jest zminimalizowanie wad oraz maksymalizacja zalet obu źródeł. W instalacjach hybrydowych wykorzystywane są również inne źródła odnawialne (wodne, biomasowe, biogazowe) i nieodnawialne. Często wykorzystywane są silniki tłokowe i turbiny lub mikroturbiny gazowe ze względu na ich elastyczność i zdolność do współpracy ze źródłami niesterowalnymi. Rozbudowa instalacji hybrydowych o źródła sterowalne ma niewątpliwe zalety: redukcję wymaganej pojemności magazynów energii czy możliwość pokrycia nawet 100% zapotrzebowania odbiorcy lub mocy przyłączeniowej [64].

Systemy hybrydowe charakteryzują się wieloma zaletami ale także kilkoma wadami. Dzięki wykorzystaniu zaawansowanych układów informatycznych i energoelektronicznych zmniejszają się koszty eksploatacyjne instalacji ale wzrasta skomplikowanie systemu nadzoru [65]. Zwiększa się dyspozycyjność źródła i generowana energia elektryczna ale instalacja wymaga przewymiarowania, co zwiększa koszty inwestycyjne [66]. Instalacje hybrydowe charakteryzują się skomplikowanymi procesami administracyjnymi związanymi z przyłączeniem do systemu elektroenergetycznego ale umożliwiają dostęp do określonych programów wsparcia. Zmniejszają też wpływ warunków atmosferycznych na generację i umożliwiają lokalne bilansowanie generacji i zapotrzebowania. Wymaga to jednak

właściwego zaprojektowania instalacji oraz doboru jej parametrów tak, aby wykorzystać zalety i zminimalizować wady.

W krajach rozwiniętych instalacje hybrydowe są stosowane w celu minimalizacji negatywnego wpływu OZE na system elektroenergetyczny lub zwiększenie udziału energii odnawialnej. Natomiast, w krajach rozwijających się takie rozwiązania są często stosowane do elektryfikacji obszarów oddalonych od istniejącego systemu elektroenergetycznego [2] lub do poprawy niezawodności zasilania w sieciach charakteryzujących się częstymi przerwami w dostarczaniu energii elektrycznej [3].

Jednym z rodzajów systemów hybrydowych są instalacje pracujące w ramach *cable pooling*'u, który polega na pracy w obrębie jednego przyłącza kilku jednostek wytwórczych różnych rodzajów, dzięki czemu osiągnięty jest wyższy czas wykorzystania mocy przyłączeniowej. W ramach *cable pooling*'u mogą współpracować instalacje należące do różnych podmiotów ale współdzielące przyłącze. Bez konieczności rozbudowy sieci można uzyskać więcej energii elektrycznej. W tym przypadku możliwa jest jednak sytuacja kiedy generacja przekroczy możliwości przyłączeniowe i będzie musiała być ograniczona [60]. Należy zaznaczyć, że *cable pooling* zmienia zasadę planowania generacji z OZE. Nie będzie obowiązywać zasada, że cała wygenerowana energia elektryczna musi trafić do systemu elektroenergetycznego. Część energii będzie musiała zostać ograniczona tak aby nie przekroczyć mocy przyłączeniowej [67]. Jednocześnie, dzięki systemom wsparcia takich instalacji (np. aukcje OZE) instalacje mogą być opłacalne i zmniejszać ryzyko nierynkowego ograniczenia generacji [68].

Oczywiście, *cable pooling* nie jest remedium na wszystkie problemy systemu elektroenergetycznego. Natomiast dzięki minimalizacji negatywnego wpływu źródeł OZE na pracę systemu elektroenergetycznego, potencjał rozwoju takich instalacji jest znaczący. Autorzy raportu [67] przewidują, że wprowadzenie właściwych regulacji prawnych może zwiększyć moc zainstalowaną OZE w Polsce nawet o 25 GW, oraz przynieść oszczędności wynikające z uwolnienia mocy przyłączeniowej wynoszące do 40 mld PLN. Inne raporty są ostrożniejsze, natomiast nadal przewidują dołączenie kilku GW mocy OZE do systemu i zwiększenie generacji energii elektrycznej z OZE o około 12 TWh [68].

## 2.4. Uwarunkowania prawne

*Cable pooling* jest systematycznie wprowadzany w wielu krajach UE np.: w Danii, Niemczech, Hiszpanii, Portugalii czy Irlandii. W tabeli 3 przedstawiono najważniejsze

regulacje dotyczące instalacji hybrydowych wykorzystujących *cable pooling* w przykładowych krajach UE.

Tabela 3. Regulacje dotyczące układów hybrydowych w wybranych krajach UE

| Kraj       | Regulacje                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Źródło |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Niderlandy | Jedna umowa o przyłączenie pomiędzy całym hybrydowym systemem, a operatorem;<br>Łączenie zarówno nowych jak i już istniejących instalacji;<br>Niezakontraktowana energia rozliczana ceną rynkową (ujemną lub dodatnią);<br>Za przekroczenie mocy przyłączeniowej naliczane są kary dynamiczne;<br>Minimalna moc przyłączeniowa układu to 2 MVA;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | [67]   |
| Portugalia | Rozbudowa istniejących źródeł zwolniona z obowiązku uzyskania prawa do mocy przyłączeniowej, z dodatkowych opłat lub usług związanych z nieodpłatnym przekazaniem części energii na potrzeby komunalne, oraz z analiz oddziaływania na środowisko (chyba że zwiększa się liczba turbin wiatrowych);<br>Pierwszeństwo wprowadzenia energii do sieci elektroenergetycznej;<br>Możliwość korzystania z systemu aukcji;<br>Całym przyłączem zarządza pierwotny właściciel;<br>Możliwe przewymiarowanie względem mocy przyłączeniowej (poza elektrowniami wodnymi o mocy >10 MVA);<br>Niezakontraktowana energia rozliczana ceną rynkową;<br>Operator systemu może zabronić przekraczania mocy zakontraktowanej;<br>Przy hybrydyzacji możliwe jest zwiększenie mocy przyłączeniowej o maksymalnie 20% - wymagane uczestnictwo w rynku technicznym;<br>Wymagana instalacja systemu zliczającego i kontrolującego nadwyżki generacji (odpowiada wytwórca energii). | [69]   |
| Irlandia   | Hybrydyzacja istniejących źródeł z uproszczoną i przyspieszoną procedurą administracyjną;<br>Budowa magazynów energii jako części układów z <i>cable pooling</i> 'iem faworyzowana względem magazynów będących osobnymi instalacjami (podlegają ścieżce ubiegania się o przyłączenie do sieci tak jak źródła nieodnawialne);<br>Układy hybrydowe nie muszą zawierać magazynów energii;<br>Planowane są dalsze uproszczenia hybrydyzacji źródeł bez konieczności zwiększania mocy przyłączeniowej;<br>Planowane jest umożliwienie zwiększania mocy przyłączeniowej przy hybrydyzacji;<br>W skład układów hybrydowych mogą wchodzić różne technologie, natomiast faworyzowane są te, które nie zawierają źródeł zasilanych paliwami kopalnymi.                                                                                                                                                                                                                | [70]   |
| Hiszpania  | Rozbudowa istniejących źródeł zwolniona z obowiązku uzyskania prawa do mocy przyłączeniowej, a opłata za zwiększenie mocy przyłączeniowej jest zredukowana o 50%;<br>Wzrost mocy nie może stanowić więcej niż 60% mocy zainstalowanej całej instalacji;<br>Niemożliwe zwiększenie mocy przyłączeniowej o więcej niż 5%;<br>Hybrydyzacja istniejącej instalacji przez inny podmiot jest możliwa jedynie po zawarciu umowy pomiędzy wytwórcami,<br>Nowe źródła hybrydowe muszą składać się z kilku technologii wytwarzania energii elektrycznej w tym co najmniej jednej odnawialnej lub będącej magazynem energii,<br>Instalacje wykorzystujące <i>cable pooling</i> mają pierwszeństwo w uzyskiwaniu dostępu do mocy przyłączeniowej,<br>Uproszczona ścieżka prawna jest możliwa jedynie do sumarycznej mocy 50 MW.                                                                                                                                         | [71]   |



Również w Polsce umożliwienie współdzielenia przyłącza było oczekiwane zarówno przez przedsiębiorstwa jak i decydentów [61,72]. Możliwość wykorzystania *cable pooling'u* zaimplementowano w ustawie o odnawialnych źródłach energii [73] oraz w Prawie Energetycznym [74]. Zgodnie z art. 7 ust 1f Prawa Energetycznego możliwe jest przyłączenie w obrębie jednego przyłącza dwóch lub więcej instalacji wytwórczych. Dzięki częściowej komplementarności OZE możliwe jest uzyskanie większej ilości energii niż w przypadku pojedynczego źródła. Możliwe jest dołączenie do istniejącego przyłącza kolejnej instalacji OZE (posiadanej przez tego samego lub innego właściciela), lub budowa równoległa kilku instalacji OZE o łącznej mocy przekraczającej moc przyłączeniową. Jednakże, współdzielenie ma pewne ograniczenia. W ust. 1g zawarto informacje o zakazie przekraczania mocy przyłączeniowej w przypadku wyższej generacji w źródłach, a w artykule 70a ustawy o OZE zastrzeżono, że jedynie jedna z przyłączonych instalacji może być objęta systemem wsparcia. Ponadto operatorzy systemów dystrybucyjnych mogą odmówić dołączenia dodatkowych instalacji do tego samego przyłącza nawet jeśli nie wiąże się to ze zwiększeniem mocy przyłączeniowej [73,75].

Dodatkową możliwością współpracy różnych źródeł w ramach jednego przyłącza jest rozwiązanie nazwane hybrydową instalacją odnawialnego źródła energii (HIOZE). Rozwiązanie opisano w ustawie o OZE [73]. W nowelizacji tej ustawy w 2023 roku zawarto, że HIOZE musi spełniać następujące warunki:

1. Może zawierać jedynie odnawialne źródła energii.
2. Żadne z urządzeń nie może mieć mocy zainstalowanej powyżej 80% całkowitej mocy zainstalowanej.
3. Instalacja musi zawierać magazyn energii elektrycznej, a udział energii przekazanej do systemu za pośrednictwem tego magazynu musi wynosić co najmniej 5% całkowitego wolumenu (wyłączając energię pobraną z systemu elektroenergetycznego).
4. Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej wynosi co najmniej 5256 h/rok.

Jednocześnie wprowadzony został nowy mechanizm wyznaczania, na aukcjach OZE, maksymalnej ceny energii elektrycznej produkowanej w HIOZE – wzór 1.

$$C_{max} = \frac{\sum_{i=1}^m ERP_i \cdot E_i^{ref} \cdot P_{nom}^i}{\sum_{i=1}^m E_i^{ref} \cdot P_t^{nom}} \quad (1)$$

Gdzie,  $ERP_i$  – cena referencyjna sprzedaży energii elektrycznej ze źródła  $i$  [PLN/MWh],  $E_i^{ref}$  – referencyjny wolumen sprzedaży energii elektrycznej dla  $i$ -tego źródła [MWh],  $P_{nom}^i$  – moc znamionowa  $i$ -tego źródła [MW].

Wartości cen i wolumenów referencyjnych określone są przez Urząd Regulacji Energetyki. W ten sposób możliwe jest uzyskanie wyższych przychodów za sprzedaż energii elektrycznej niż w przypadku sprzedaży z każdego źródła osobno.

Należy zwrócić uwagę, że ze względu na wymagany wysoki czas wykorzystania mocy przyłączeniowej, zastosowanie źródeł sterowalnych i niezależnych od pogody będzie korzystne [65]. W przeciwnym wypadku konieczne może okazać się znaczne przewymiarowanie mocy wytwórczej, co zwiększy prawdopodobieństwo redukcji generacji. Ustawa o OZE umożliwia stosowanie w HIOZE różnych typów źródeł sterowalnych i niezależnych od pogody. Są to: elektrownie i elektrociepłownie zasilane biogazem, elektrownie wodne, elektrownie i elektrociepłownie wykorzystujące biomasę lub biopłyny, czy też elektrownie geotermalne [73]. Co istotne, ze względu na tematykę dysertacji, lista instalacji, które mogą uczestniczyć w HIOZE obejmuje również instalacje termicznego przetwarzania odpadów. W art. 2 ust 14 ustawy o OZE instalację termicznego przetwarzania odpadów zdefiniowano jako *„instalację odnawialnego źródła energii będącą spalarnią odpadów lub współspalarnią odpadów w rozumieniu ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [...], w której część wytwarzanej energii elektrycznej i ciepła pochodzi z ulegającej biodegradacji części odpadów przemysłowych lub komunalnych, pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków [...], zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów”*. Wynika z tego, że, w rozumieniu ustawy, ITPO są instalacjami OZE nawet w przypadku, gdy jedynie część energii pochodzi z odpadów podlegających biodegradacji. Możliwe jest więc zastosowanie jako paliwa odpadów komunalnych lub frakcji energetycznych wydzielonych ze strumienia odpadów. Dodatkowo w artykule 77 ust. 3. ustawa o OZE ma zapis: *„Minister właściwy do spraw klimatu określi, w drodze rozporządzenia: [...] 3. referencyjny wolumen sprzedaży energii elektrycznej dla hybrydowych instalacji odnawialnego źródła energii złożonych z instalacji, o których mowa w ust. 5 pkt 1–22,”* gdzie w ustępie 5 znajdują się wyszczególnione między innymi *„12) w instalacji termicznego przekształcania odpadów lub dedykowanej instalacji spalania wielopaliwowego; 13) o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 50 MW,*

w instalacji termicznego przekształcania odpadów, w dedykowanej instalacji spalania biomasy lub układach hybrydowych, w wysokosprawnej kogeneracji; 14) o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 50 MW, w instalacji termicznego przekształcania odpadów, w dedykowanej instalacji spalania biomasy lub układach hybrydowych, w wysokosprawnej kogeneracji;”. Wynika z tego, że ITPO zarówno pracujące jak i nie pracujące w wysokosprawnej generacji mogą zostać wykorzystane w ramach HIOZE.

Efektem wprowadzonej ustawy są powstające pierwsze instalacje HIOZE oraz wykorzystujące *cable pooling*:

- Instalacja HIOZE:
  - „Gaj Oławski 5 AHE” o mocy zainstalowanej 20,8 MW (turbiny wiatrowe, panele PV i magazyn litowo-jonowy) i przyłączeniowej 11,08 MW [76],
- Pozostałe instalacje pracujące w formule współdzielenia przyłącza:
  - Rozbudowa farmy wiatrowej o mocy 100 MW o farmę PV o mocy 90 MW w Marszewie [68],
  - Rozbudowa farmy wiatrowej o mocy 6 MW o farmę PV o mocy 2 MW w Darżynie [77],
  - Rozbudowa farmy wiatrowej o mocy 78 MW o farmę PV o mocy 45 MW w Konarach [78].

Od umożliwienia budowy instalacji pracujących w formule *cable pooling*’u na jesień 2023 roku wybudowane zostało kilka instalacji. Należy się jednak spodziewać przyrostu liczby takich instalacji, szczególnie, że widoczne jest zainteresowanie takimi projektami [67,68]. Przeszkodami póki co są: utrudniony proces zatwierdzania przez właściwe jednostki (operatorów sieci dystrybucyjnych), niedostosowanie rozporządzeń wykonawczych, trudności z prognozowaniem pracy [68], czy brak gotowych rozwiązań na rynku.

Poza *cable pooling*’iem w 2023 roku w ustawie Prawo Energetyczne [74] wprowadzono pojęcie linii bezpośredniej. Jest to linia energetyczna bezpośrednio łącząca instalację wytwarzania energii elektrycznej z odbiorcą. Analogiczne rozwiązanie istnieje również w unijnych przepisach. Linia bezpośrednia może być korzystna dla dużych przedsiębiorstw, które w ten sposób mogą zabezpieczyć sobie długoterminowy kontrakt na tanią energię i zminimalizować opłaty za korzystanie z sieci przesyłowej i dystrybucyjnej [72,79]. Dodatkowo, jest kolejną odpowiedzią na problem braku dostępu nowych źródeł do sieci. Połączenie źródeł wytwórczych zarówno z przedsiębiorstwem jak i systemem

elektroenergetycznym umożliwia zwiększenie zysków dzięki sprzedaży energii (ale też zwiększenie kosztów inwestycji) [79]. Dotychczas powstały dwie takie linie w Polsce. Wymogiem zwiększenia liczby linii bezpośrednich może być modyfikacja przepisów prawa tak, aby zwolnić częściowo taką instalacją z opłat [79].

### **3. Zgazowanie paliwa z odpadów**

#### **3.1. Frakcja energetyczna odpadów komunalnych w Polsce**

Wzrastająca ilość wytwarzanych odpadów jest ogólnoswiatowym problemem. Wzrost ten jest skorelowany z poprawiającą się jakością życia. Im dostatniejsze jest społeczeństwo tym więcej odpadów ono wytwarza. W Polsce do roku 2020 wzrost gospodarczy był zdecydowanie szybszy niż wzrost produkcji odpadów [80]. Jednakże, już w roku 2020 (początek pandemii Covid-19) doszło do przyspieszenia przyrostu ilości wytwarzanych odpadów [81]. Szacuje się, że od tamtego czasu produkcja odpadów rośnie o około 0,5 miliona ton rocznie [1]. Istotną częścią całkowitego strumienia odpadów są te pochodzenia komunalnego. Stanowią one około 10% masy wszystkich odpadów. Ich skład jest bardzo zróżnicowany i niestabilny, co utrudnia zagospodarowanie [80]. W roku 2018 w Polsce wytworzono niemal 13 milionów ton [82], a w 2020 roku 14 milionów ton odpadów komunalnych [81]. Pomimo wzrostu poziomu recyklingu, nadal około 66,5% całkowitej produkcji stanowią odpady zmieszane (odpowiednio 8,5 oraz 9,2 milionów ton odpadów). Są one tą częścią strumienia odpadów komunalnych, która nie jest poddana selektywnej zbiórce.

Dobrą zmianą jest wzrost wykorzystania odpadów w sposób zrównoważony, jak najbardziej korzystny środowiskowo. Ustawa o odpadach z 2012 roku [83] wprowadziła hierarchię postępowania z odpadami. Ustawa szereguje sposoby zagospodarowania biorąc pod uwagę względy środowiskowe i gospodarcze. Najbardziej preferowaną formą jest zapobieganie powstaniu odpadów. Jeśli odpady już powstaną, najkorzystniej jest je ponownie użyć. W przypadku braku takiej możliwości należy poddać je procesowi recyklingu. Niestety nie wszystkie odpady się do tego nadają. W takiej sytuacji najbardziej pożądane jest poddanie ich innym procesom odzysku. Do tej kategorii zalicza się również odzysk energii. Dopiero jeśli odpady nie nadają się do żadnego z powyższych procesów – należy je utylizować bez odzysku. W Polsce, pomiędzy 2012 a 2018 rokiem, udział selektywnej zbiórki odpadów wzrósł z około 9% do niemal 30% [80]. Limit recyklingu (teoretycznie nawet ponad 60% odpadów komunalnych) nie został osiągnięty [81]. Niemniej, pozytywny trend jest zauważalny.

Metody odzysku energii z odpadów komunalnych dzielą się na: biologiczne (przy odzysku energii z odpadów organicznych) oraz termiczne (przy odzysku energii z pozostałych frakcji, szczególnie z wysokoenergetycznych). W Polsce obowiązuje zakaz

składowania odpadów wysokokalorycznych tj. o wartości ciepła spalania powyżej 6 MJ/kg. Frakcjami energetycznymi są: papier i tektura, tworzywa sztuczne, odpady drewniane, opakowania wielomateriałowe oraz tekstylia. Frakcje po wyodrębnieniu ze strumienia odpadów zmieszanych określane są jako pre-RDF. Wyodrębnia się je w instalacjach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Poza frakcjami energetycznymi instalacje separują również frakcje metali oraz frakcję organiczną (podsitową), która trafia do kompostowania lub fermentacji. Jedynie mineralna frakcja odpadów powinna trafiać na składowiska [80]. Pre-RDF może trafić bezpośrednio ITPO ale może też zostać skierowany do przedsiębiorstwa zajmującego się wytwarzaniem paliwa alternatywnego. W takiej instalacji dochodzi do suszenia i higienizacji odpadów, separacji poszczególnych frakcji, a następnie mieszania ich w odpowiednich proporcjach. Dzięki temu zwiększa się stabilność składu paliwa. Dodatkowo paliwa alternatywne można poddać procesom pelletowania, brykietowania lub innej formie granulowania [84]. Paliwa takie mają zdecydowanie niższą zawartość wilgoci, wyższą kaloryczność ale również wyższą zawartość substancji szkodliwych niż pre-RDF [80,84]. W polskich ITPO przekształcane jest wiele rodzajów paliwa, natomiast większość z nich stanowią 3 grupy: 20 03 07 czyli zmieszane odpady komunalne (63,66% wszystkich odpadów), 19 12 12 czyli pozostałość z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania – preRDF (35,37%) oraz 19 12 10, czyli paliwo alternatywne (0,89%) [85]. Wysokokaloryczne paliwo alternatywne często wykorzystywane jest również w cementowniach.

Poszczególne morfologiczne frakcje energetyczne odpadów scharakteryzowano w tabeli 4.

Pozostałe frakcje odpadów charakteryzują się wartością ciepła spalania mniejszą od 6 MJ/kg. Z tego względu nie ma zakazu ich składowania oraz nie nadają się do procesów termicznych [86]. Częściowo (frakcje organiczne np. odpady kuchenne) mogą być wykorzystane energetycznie poprzez fermentację.

*Tabela 4. Frakcje energetyczne odpadów komunalnych (opracowanie własne na podstawie [86,87])*

| Frakcja                     | Ciepło spalania [MJ/kg] | Charakterystyka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Papier i tektura            | 11-26                   | Wytwarzany z rozdrobnionych i zawieszonych w wodzie włókien z dodatkami. Karton i tektura są wyrobami papierniczymi o większej gramaturze (odpowiednio $>180 \text{ g/m}^2$ i $>250 \text{ g/m}^2$ ). Jako odpad zawiera wilgoć na poziomie kilkunastu procent. Związki mogące powodować dodatkowe zanieczyszczenia przy utylizacji wynikają ze stosowania: klejów, barwników, wypełniaczy.                                                                                                                                                                              |
| Opakowania wielomateriałowe | 13-20                   | Składają się z papieru, tworzyw sztucznych, folii aluminiowej. Pozytywnie wpływają na trwałość magazynowanych w nich substancji. W składzie zawierają nieco więcej węgla i wodoru niż papier (mniej niż tworzywa sztuczne). Zazwyczaj są mniej wilgotne od papieru. Wykorzystanie folii sprawia, że podczas spalania może dojść do utlenienia aluminium. Analogicznie do papieru zawierają kleje i barwniki.                                                                                                                                                             |
| Tworzywa sztuczne           | 22-46                   | Utworzone na bazie polimerów z dodatkami (stabilizatorami, barwnikami, zmiękczaczymi itp.). Charakteryzuje je mała gęstość, słabe przewodnictwo cieplne i elektryczne, duża rozszerzalność cieplna i niskie temperatury stosowania. Charakteryzują się najwyższym ze wszystkich frakcji ciepłem spalania. Zawierają bardzo dużo węgla i wodoru (skład polistyrenu czy PET zbliżony jest do składu ropy naftowej). Niektóre tworzywa (np. PCV) zawierają bardzo dużą zawartość chloru. Mogą sprawiać trudności przy termicznym przetwarzaniu ze względu na stapianie się. |
| Drewno                      | 11-20                   | W skład odpadów drewnianych wchodzi palety, skrzynki, meble i ich fragmenty, drewno pobudowlane, płyty stolarskie itp. Charakteryzują się wysoką zawartością węgla i tlenu. Mogą zawierać różne zanieczyszczenia wynikające z zastosowanych farb lub utrwalczy.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Tekstylia                   | 13-19                   | W ramach tej frakcji zawiera się szeroki zakres tkanin (bawełniane syntetyczne, wełniane, lniane itp.). Wynika z tego trudność określenia ich składu. Uśredniając można przyjąć, że zawierają stosunkowo dużo węgla ale też popiołu (w porównaniu do innych frakcji). W zależności od tworzywa będą charakteryzowały się różnym ciepłem spalania od około 15 MJ/kg dla lnu przez 17 MJ/kg dla bawełny do 31 MJ/kg dla poliestru.                                                                                                                                         |

Fracja wysokokaloryczna stanowi 34,5% strumienia odpadów zmieszanych [81]. Według wcześniej wspomnianych raportów odpowiada to 2,93-3,19 mln ton rocznie. Profesor Wielgosiński szacuje natomiast, że według stanu na 2024 rok tych odpadów jest około 4,5 miliona ton (3,4 miliona ton w 2021). Obecnie, 2,5 miliona ton odpadów jest zagospodarowane [1] różnymi metodami: instalacje termicznego przetwarzania odpadów, współspalanie w cementowniach, współspalanie w zakładach energetycznych. O ile ITPO pracują zależnie od dostępności odpadów, tak ilość odpadów utylizowana przez cementownie ściśle zależy od zapotrzebowania na ich produkty (przez co waha się rok do roku) [80]. W ITPO poza frakcją palną utylizowane jest również 0,7 miliona ton frakcji resztkowej. W efekcie nadal pozostaje około 2 miliony ton frakcji energetycznej do zagospodarowania. W tym celu powstają nowe instalacje. Obecnie budowane jest 7 instalacji o łącznej wydajności 0,7 miliona ton odpadów. Kolejne instalacje (łącznie około 0,8 miliona ton) otrzymały dofinansowanie [1] ale ich wybudowanie nie jest przesądzone (np. budowa instalacji zgazowania odpadów w Andrychowie została wstrzymana). Nadal istnieje zapotrzebowanie na tego typu instalacje. Dodatkowo widoczny jest trend polegający na odchodzeniu od dużych ITPO. O ile działające obecnie instalacje mają średnią wydajność wynoszącą około 156 tysięcy ton rocznie, a instalacje budowane około 100 tysięcy ton rocznie, tak ITPO, których budowa jest dopiero planowana charakteryzują się średnią wydajnością na poziomie około 47 tysięcy ton rocznie. Wynika z tego, że ITPO przechodzą od bycia wielkimi instalacjami zlokalizowanymi jedynie w metropoliach lub zbierającymi odpady z dużych obszarów na instalacje lokalne. Dzięki temu możliwa jest implementacja ich w systemy zarządzania odpadami również mniej zaludnionych obszarów.

### **3.2. Technologie odzysku energii z frakcji energetycznej odpadów**

Wśród technologii termicznego przetwarzania odpadów komunalnych można wyróżnić cztery kategorie. Są to: bezpośrednie spalanie (spopielanie), piroliza, zgazowanie i zgazowanie w plazmie. Najpowszechniej stosowanym rozwiązaniem na całym świecie jest spopielanie odpadów. Obecnie wszystkie działające i budowane ITPO w Polsce są instalacjami tego typu. W USA oraz w Azji (szczególnie w Japonii) wykorzystywane są również pozostałe typy instalacji. W tym podrozdziale opisano technologie spalania, pirolizy i zgazowania odpadów w plazmie. Technologia zgazowania odpadów, jako dotycząca tematu dysertacji, jest szeroko opisana w kolejnym podrozdziale.

Spopielanie odpadów najczęściej odbywa się przy wykorzystaniu technologii rusztowej. Nowszym rozwiązaniem są kotły fluidalne. Charakteryzują się one wyższą



sprawnością spalania ale również koniecznością wstępnego przygotowania paliwa przed dostarczeniem do kotła. Istnieją również kotły obrotowe i oscylacyjne ale ze względu na wysokie wymagania dotyczące kaloryczności paliwa mogą być z powodzeniem stosowane jedynie do utylizacji odpadów przemysłowych lub paliw alternatywnych [80]. Po spaleniu odpadów energia wykorzystywana jest do wytworzenia pary przegrzanej, a następnie generacji energii elektrycznej (i ciepła) w układzie parowym.

Piroliza jest procesem endoenergetycznym, w trakcie którego, pod wpływem dostarczanego ciepła, dochodzi do konwersji paliwa. Proces zachodzi w atmosferze beztlenowej (w rzeczywistych procesach – niemal beztlenowej). Produktami procesu są wyłącznie substancje uzyskane w efekcie termicznej destrukcji wsadu oraz reakcji pomiędzy produktami tego rozpadu [84]. Są to: gaz pirolityczny ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , metan i inne węglowodory, zanieczyszczenia), frakcja ciekła i karbonizat. Proces pirolizy umożliwia konwersję paliwa z wysoką sprawnością „zimną”, gdyż każdy z produktów może zostać dalej wykorzystany [84]. Należy jednak pamiętać, że proces wymaga dostarczenia energii z zewnątrz. Gaz pirolityczny można wykorzystać w silnikach lub w turbinach, karbonizat może być źródłem ciepła np. w kotłach, a frakcję ciekłą wykorzystuje się w przetwórstwie chemicznym. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że największą częścią produktów jest frakcja ciekła – niezależnie od temperatury procesu [80]. Dotychczas rzeczywiste zastosowania procesu pirolizy w instalacjach skali przemysłowej w większości zakończyły się porażkami. Wśród opracowanych w obrębie tego procesu technologii można wymienić: technologię Schwel-Brenn-Verfahren, PKA Verfahren, NOELL-Konversionsverfahren, EDDITH [80].

Proces zgazowania w plazmie jest póki co wykorzystywany w skali pilotażowej (w Anglii, Kanadzie, USA i Japonii) [80]. Plazma jest również wykorzystywana do oczyszczania spalin lub syngazu [88]. Wysoka temperatura powoduje rozpad zanieczyszczeń i pozwala uzyskać gaz o bardzo wysokiej czystości, dzięki czemu może on zostać poddany dalszym procesom przetwarzania (np. spalaniu w silniku). Przewidywane jest, że instalacje takie będą najbardziej korzystnymi pod względem emisyjności. Jednakże, wymagają one dużych nakładów inwestycyjnych, a ze względu na konieczność wytworzenia plazmy również dużej ilości energii. W efekcie bilans energetyczny takiej instalacji jest znacznie pogorszony.

Niezależnie od zastosowanej technologii ITPO muszą spełniać bardzo rygorystyczne standardy eksploatacyjne. Wynikają one zarówno z przepisów krajowych jak i unijnych oraz

z wytycznych BAT. Poniżej zamieszczono najważniejsze pod kątem energetycznym i eksploatacyjnym wymagania:

- Utrzymanie temperatury spalin przez 2 sekundy na poziomie co najmniej 1100°C lub 850°C (w zależności od tego czy zawartość związków chlorowcoorganicznych wynosi powyżej czy poniżej 1%),
- Całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach maksymalnie 3%,
- Całkowita zawartość części palnych w żużlach i popiołach maksymalnie 5%,
- Utrzymanie średniodobowych i 30-minutowych (w niektórych przypadkach niezbędny jest również monitoring ciągły) emisji zanieczyszczeń na właściwym dla danej substancji, bardzo niskim poziomie. Dotyczy to między innymi pyłów, węgla organicznego, HCl, HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn, dioksyn i furanów [80].

Z części tych obostrzeń mogą być zwolnione np. instalacje zgazowania lub pirolizy, które wykażą, że spalanie syngazu wytworzonego w tych procesach powoduje emisje zbliżone do emisji ze spalania gazu ziemnego [89].

### 3.3. Proces zgazowania

Zgazowanie jest procesem termochemicznym w którym dochodzi do konwersji paliw stałych do postaci gazowej. Proces zachodzi pod wpływem czynnika zgazowującego. Istotą procesu jest to, aby ilość tlenu była mniejsza niż stechiometrycznie niezbędna do spalania całkowitego i zupełnego. W efekcie nie jest możliwe całkowite utlenienie paliwa do postaci CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Powstały gaz zawiera, poza wcześniej wymienionymi substancjami, składniki palne (głównie: CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) oraz azot (w szczególności przy zgazowaniu powietrzem), a także zanieczyszczenia i smoły. Gaz jest niskokaloryczny – przy zgazowaniu biomasy jego wartość opałowa wynosi od 4 do 12 MJ/Nm<sup>3</sup> [90].

Podczas przebywania w reaktorze zgazowania, paliwo jest poddawane czterem procesom. Pierwszym z nich jest suszenie. Proces przebiega w najniższych temperaturach, pozwalających jednak na całkowite odparowanie wilgoci. W jego trakcie dochodzi do wydzielania się pary wodnej, która w kolejnych procesach bierze udział w formowaniu poszczególnych składników gazu (wodoru i metanu). Następnym procesem endotermicznym jest piroliza, która zachodzi w atmosferze beztlenowej przy temperaturach rzędu 200-600°C. W tej fazie powstają: koks, smoły, woda pogazowa oraz gaz składający się przede wszystkim z CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oraz CO<sub>2</sub> [90]. W trakcie stopniowego podnoszenia

temperatury wsadu, w zależności od składu paliwa, proces termicznego rozpadu poszczególnych substancji następuje w konkretnych przedziałach temperatury. W przypadku paliw składających się z wielu materiałów (np. paliwo z odpadów) piroliza może obejmować kilka etapów rozkładu następujących w różnych temperaturach [91]. Kolejnym procesem jest spalanie (utlenianie), które stanowi źródło ciepła dla procesów endotermicznych zachodzących we wszystkich fazach. W tym etapie doprowadzany jest utleniacz. Ze względu na brak wystarczającej ilości tlenu spalana jest tylko część węgla (w tym częściowo do postaci CO) i wodoru. Ostatnim etapem jest zgazowanie (redukcja) podczas którego, zachodzą zarówno procesy endotermiczne (np. reakcja Boudouarda czy reforming koksu) jak i egzotermiczne (np. metanizacja czy konwersja CO z parą wodną). Przy wyższej temperaturze redukcji więcej będzie reakcji endotermicznych, a przy niższej egzotermicznych [92]. Im niższa jest temperatura tym wolniej przebiegają reakcje a strefa redukcji będzie się rozszerzać [90]. Redukcja jest najdłuższym procesem i decyduje o szybkości generowania gazu. Reakcje pomiędzy gazem a koksem zachodzą zdecydowanie wolniej niż reakcje spalania lub pirolizy [94]. Wynika to z faktu, że zachodzą jedynie na powierzchni styku fazy gazowej i stałej. Większość reakcji zachodzących w procesie zgazowania jest odwracalna [84]. Rozkład smół następuje przede wszystkim w strefie spalania ale także, choć w mniejszym stopniu, w strefie zgazowania [93].

W trakcie całego procesu zachodzi szereg reakcji egzo- i endotermicznych. Chemiczny opis reakcji jest utrudniony (ze względu na złożoność procesu) [90], a w artykule [92] zasugerowano, że część reakcji nie jest do końca zrozumiana (w szczególności tworzenie i rozpad smół). W tabeli 5 zamieszczono główne reakcje zachodzące w reaktorze zgazowania z podziałem na strefy reakcji oraz reakcje egzo- i endotermiczne. Poza wymienionymi w tabeli, zachodzić będą również inne reakcje zależne od zawartości poszczególnych pierwiastków i związków chemicznych w paliwie. Na przykład siarka zawarta w paliwie może reagować z węglem i wodorem (przez co zmniejszać będzie kaloryczność oczyszczonego gazu), a tlenki siarki mogą reagować z wodorem lub metanem (utleniając je i zmniejszając sprawność procesu) [84].

Zgazowanie jest procesem wysokotemperaturowym (zazwyczaj odbywa się w przedziale temperatur 700-1200°C [94]). Najczęściej proces zachodzi przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego. Aby uniemożliwić ucieczkę tlenku węgla poza gazogenerator instalacja może pracować na podciśnieniu. Możliwe jest również wykorzystanie reaktorów ciśnieniowych (wewnątrz których przemiany zachodzą

w wysokim nadciśnieniu). Reaktory ciśnieniowe o takiej samej objętości jak atmosferyczne mogą osiągnąć większą moc i produkować gaz o wyższej wartości opałowej. Z drugiej strony, wyższe ciśnienie powoduje problemy z podawaniem paliwa, konieczność utrzymywania wyższych temperatur wewnątrz reaktora oraz zwiększa nakłady inwestycyjne [95]. Temperatura i ciśnienie wpływają na reakcje zachodzące w gazogeneratorze. Powodują, że reakcje mogą zachodzić również w przeciwną stronę do wskazanej w tabeli 5 [90]. Wzrost temperatury reakcji powoduje zwiększenie stężenia składników palnych, oraz zmniejsza zawartość dioksyn w gazie [90]. Dodatkowo wspomaga rozkładanie smół i konwersję paliwa [92]. Jednakże, w przypadku niektórych rodzajów biomasy (charakteryzujących się niską temperaturą topienia popiołu) stosowanie bardzo wysokich temperatur może prowadzić do stapiania się frakcji mineralnej [96]. Kaloryczność gazu rośnie wraz ze wzrostem temperatury procesu zgazowania do temperatury około 800°C. Powyżej tej wartości kaloryczność gazu przestaje rosnąć [84]. Wyższe ciśnienie zwiększa zawartość metanu i zmniejsza zawartość dwutlenku węgla w gazie ale równocześnie do zmniejszenia zawartości CO [90].

W zależności od konstrukcji reaktora zgazowanie może być albo autotermiczne albo alotermiczne. W przypadku procesu alotermicznego ciepło niezbędne do przeprowadzania reakcji endotermicznych pochodzi z zewnątrz. Może być dostarczane do reaktora np. w postaci gorącego piasku, wapienia lub innych nośników, a także może być przekazywane z zewnątrz przez przegrody. W efekcie, zwiększa się wartość opałowa gazu syntezowego [94]. Zgazowanie autotermiczne charakteryzuje się tym, że ciepło niezbędne do endotermicznych procesów suszenia, pirolizy i redukcji, uzyskuje się w wyniku częściowego spalania paliwa [92].

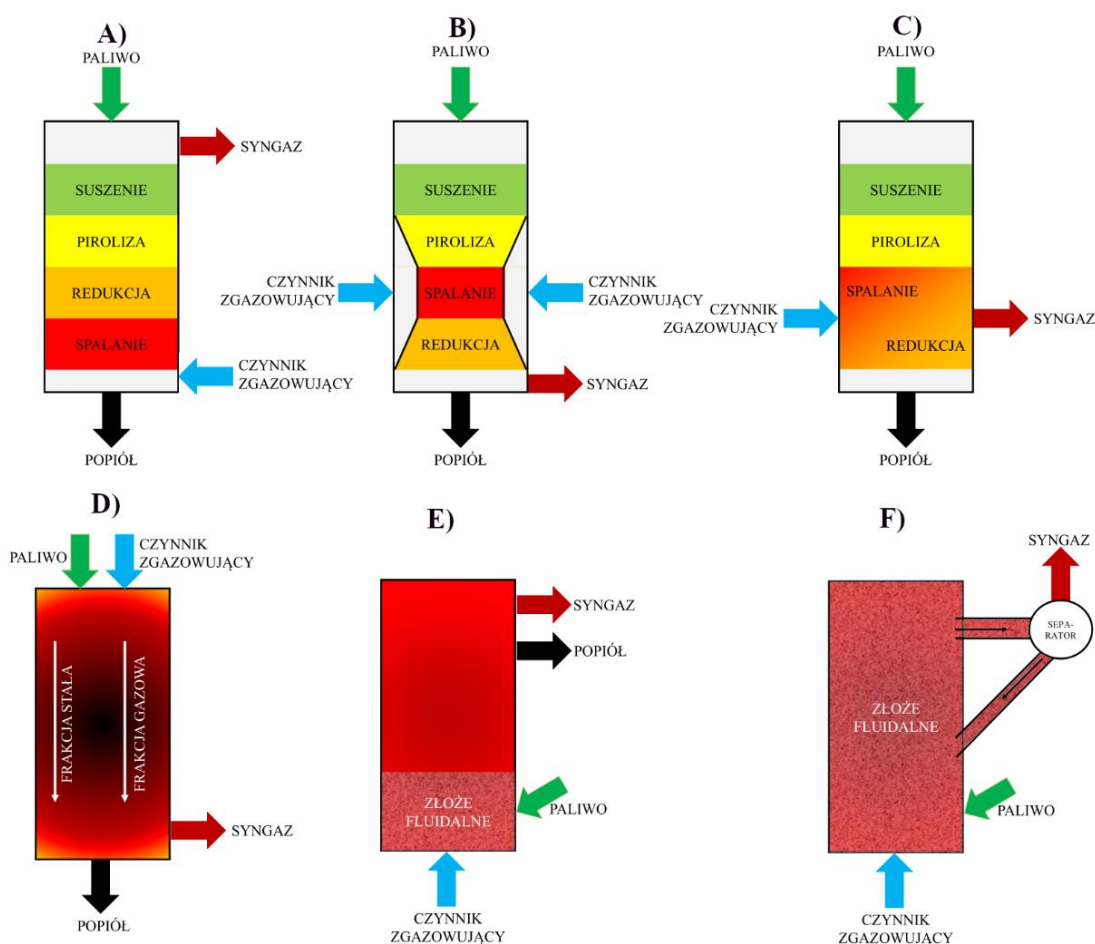
Czynnikami zgazowującymi mogą być: powietrze, para wodna, dwutlenek węgla oraz tlen lub wodór. W zależności od zastosowanego czynnika (lub czynników) różnić się będzie skład i kaloryczność syngazu. Zgazowanie przy pomocy powietrza jest stosowane najczęściej, gdyż charakteryzuje się najmniejszymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi, oraz jest najprostsze technologicznie. Zastosowanie powietrza powoduje jednak, że znaczną część finalnego gazu stanowi niepalny azot [95]. Wzbogacenie powietrza o tlen lub wykorzystanie czystego tlenu jako czynnika zgazowującego ogranicza zawartość azotu (a zwiększa udział składników palnych  $H_2$  i CO) przez co zwiększa znacznie kaloryczność gazu [96]. Charakteryzuje się jednak wyższymi kosztami eksploatacyjnymi. W przypadku wykorzystania pary wodnej wzrasta udział wodoru oraz metanu w gazie co

skutkuje zwiększeniem wartości opałowej [90] (mniejszym jednak niż w przypadku stosowania czystego tlenu [97]). Para jest również tańszym czynnikiem niż tlen. Z drugiej strony, reakcje związane ze zgazowaniem parą wodną są w większości endotermiczne. W efekcie reaktory takie wymagają dostarczania dodatkowej energii z zewnątrz [97].

Tabela 5. Reakcje zachodzące w reaktorze zgazowania [90,92,94,97].

| Strefa   | Reakcja                                                                                    | Bilans cieplny reakcji |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Pirolizy | $Paliwo \rightarrow H_2 + CO + CO_2 + CH_4 + H_2O + Smoły + Koks$                          | endotermiczna          |
|          | $\alpha C_n H_m \rightarrow \beta C_{n-x} H_{m-y} + \frac{\beta(y - \frac{m}{n}x)}{2} H_2$ | endotermiczna          |
|          | $C_n H_m \rightarrow nC + (\frac{m}{2}) H_2$                                               | endotermiczna          |
|          | $C_n H_m + nH_2O \rightarrow (n + \frac{m}{2}) H_2 + nCO$                                  | endotermiczna          |
|          | $C_n H_m + nCO_2 \rightarrow (\frac{m}{2}) H_2 + 2nCO$                                     | endotermiczna          |
| Spalania | $C + O_2 \rightarrow CO_2$                                                                 | egzotermiczna          |
|          | $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$                                                       | egzotermiczna          |
|          | $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$                                                   | egzotermiczna          |
| Redukcji | $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$                                                                | egzotermiczna          |
|          | $C + CO_2 \rightarrow 2CO$                                                                 | endotermiczna          |
|          | $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$                                                            | endotermiczna          |
|          | $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$                                                     | egzotermiczna          |
|          | $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$                                                        | egzotermiczna          |
|          | $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$                                                         | egzotermiczna          |
|          | $2CO + 2H_2 \rightarrow CO_2 + CH_4$                                                       | egzotermiczna          |

Obecnie wykorzystuje się kilka różnych typów reaktorów zgazowania. Podstawowymi typami są gazogeneratory: ze złożem stałym (współprądowe, przeciwprądowe i krzyżowe), ze złożem fluidalnym (ze złożem pęcherzykowym, ze złożem cyrkulującym, z podwójnym złożem), przepływowe (ze współosiowym przepływem w dół oraz z dozowaniem w przeciwprądzie) [98] oraz obrotowe [92]. Uprozczone schematy typowych reaktorów przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Uprozczone schematy reaktorów zgazowania ze złożem stałym: A) przeciwpłukowego, B) współpłukowego, C) krzyżowego; D) reaktora przepływowego; reaktorów fluidalnych: E) ze złożem stałym, F) ze złożem cyrkulującym (opracowanie własne na podstawie [92,93,95,98]).

Do zgazowania biomasy najczęściej wykorzystywane są reaktory ze złożem stałym lub ze złożem fluidalnym. W obszarze małej mocy dominują reaktory ze złożem stałym [94], ponieważ są najprostszymi konstrukcjami [92]. We wszystkich gazogeneratorach ze złożem stałym można wyróżnić osobne strefy reakcji. W przypadku reaktorów współpłukowych – biomasa jest kolejno suszona, poddawana pirolizie, a następnie trafia do strefy utleniania, gdzie jest częściowo spalana. Na skutek działania wysokiej temperatury w strefie spalania zachodzi rozkład smół powstałych w trakcie pirolizy. Ostatnią strefą gazogeneratora jest strefa redukcji, w której zachodzi zgazowanie pozostałości koksowej. Gaz opuszczający reaktor charakteryzuje się stosunkowo wysoką temperaturą, przez co sprawność (mierzona jako stosunek strumienia energii chemicznej gazu do strumienia energii chemicznej biomasy) jest mniejsza niż w przypadku reaktorów przeciwpłukowych. Ponadto, ze względu na to, że zarówno popiół jak i syngaz opuszczają reaktor na dole, gaz może być zanieczyszczony częściami stałymi. W reaktorach przeciwpłukowych gorący gaz uzyskany w strefie spalania przechodzi przez pozostałe strefy oddając energię wykorzystywaną

w procesach endotermicznych. W efekcie gaz opuszczający gazogenerator ma niższą temperaturę co przekłada się na wyższą wartość sprawności. Jednakże, przepływ gazu przez strefy pirolizy i suszenia do ujścia z reaktora (z pominięciem stref redukujących zawartość substancji smolistych) powoduje, że zawartość substancji smolistych w syngazie jest znacznie wyższa [94]. Reaktor krzyżowy charakteryzuje się zarówno niską sprawnością jak i dużym zanieczyszczeniem syngazu. Wymaga również wysokiej jakości paliwa [93]. Z tego względu jest rzadko wykorzystywany w rozwiązaniach służących do generacji energii elektrycznej lub/i ciepła z biomasy [95]. Porównując dwa pierwsze typy reaktorów ze złożem stałym należy zauważyć, że pomimo niższej sprawności, reaktory współprądowe są wykorzystywane częściej ze względu na szybszą odpowiedź na zmiany obciążenia [84], możliwość zastosowania w szerszym zakresie mocy, a także prostszą obsługę wynikającą z szybszego rozruchu czy mniejszej zawartości smół co redukuje problemy przy współpracy z silnikiem. Wymagają one natomiast stabilniejszego składu wsadu [93].

Reaktory fluidalne charakteryzują się stałą temperaturą w obrębie złoża. Z tego względu, cząstki substratów dłużej przebywają w obszarze wysokiej temperatury co wpływa na redukcję poziomu smół [98]. Ponadto przez wpływ złoża fluidalnego, reagenty lepiej się mieszają, reakcja jest szybka i poprawia się możliwość wymiany ciepła pomiędzy fazą stałą i gazową (w szczególności w przypadku złożów cyrkulacyjnych) [94]. Do złoża można dodawać katalizatory co redukuje ilość zanieczyszczeń. Ze względu na parametry reakcji, reaktory takie osiągają sprawność konwersji paliwa na poziomie 95% [93]. Reaktory fluidalne ze złożem stałym pozwalają na zastosowanie paliw o gorszej jakości niż w przypadku reaktorów współ- lub przeciwprądowych. W przypadku reaktorów ze złożem cyrkulacyjnym ta zaleta nie występuje, gdyż wysoka zawartość wody lub popiołu w paliwie powoduje trudności przy zawracaniu złoża [93]. Reaktory fluidalne wymagają większego rozdrobnienia paliwa niż reaktory ze złożem stałym [98]. Reaktory z podwójnym złożem składają się z dwóch reaktorów fluidalnych (zazwyczaj jednego ze złożem cyrkulacyjnym i jednego ze złożem pęcherzykowym) [97]. Takie rozwiązanie umożliwia wykorzystanie zalet obu reaktorów i minimalizację ich wad. Syngaz opuszczający taką zgazowarkę charakteryzuje się małym udziałem smół i wysoką zawartością wodoru ale sam proces wymaga dostarczania energii z zewnątrz [97]. Pomimo zalet, reaktory fluidalne dostarczają gaz o gorszej jakości – wyższym poziomie smół – niż reaktory współprądowe. Z tego powodu rzadziej są przeznaczone do konwersji biomasy w układach współpracujących z silnikami gazowymi [99].

W reaktorach przepływowych reakcja zachodzi w bardzo wysokiej temperaturze, a przepływ mieszaniny paliwa z utleniaczem jest burzliwy. Wyższa jest prędkość reakcji (zdecydowanie szybsza niż w innych rodzajach generatorów gazu) co skutkuje wysokim stopniem konwersji paliwa oraz rozkładem smół. Reaktory przepływowe charakteryzują się dużą odpornością na różnorodność wsadu ale układ dostarczania paliwa jest skomplikowany technologicznie. Ponadto wysokie temperatury skracają żywotność instalacji oraz powodują spiekanie się popiołu co komplikuje proces technologiczny [98]. Nie są często wykorzystywane przy konwersji biomasy lub odpadów ale odpowiadają za większość światowej produkcji syngazu z węgla [97]. Ostatnim typem są reaktory obrotowe. W tych reaktorach paliwo przebywa najdłużej (czas rzędu godzin). Opisywane gazogeneratory są delikatnie odchylone od poziomu, przez co obracająca się komora powoduje przesuwanie się paliwa. Reaktory obrotowe są stosunkowo proste, tanie i bardzo odporne na zmienny skład paliwa. Nie powodują też spiekania się popiołu. Charakteryzują się jednak trudnościami przy rozruchu i kontroli temperatury, niską sprawnością i małą elastycznością. Ponadto gaz syntezowy zawiera dużo zanieczyszczeń (zarówno smół jak i cząstek stałych) przez co nie nadaje się do współpracy z silnikami [92].

Niezależnie od typu zastosowanego reaktora oraz paliwa, produkowany gaz będzie posiadał liczne zanieczyszczenia. W tabeli 6 zamieszczono opis substancji zanieczyszczających syngaz.

*Tabela 6. Zanieczyszczenia w syngazie*

| Typ                     | Przykłady                                                                          | Negatywny wpływ                                                                           | Sposoby oczyszczenia                                                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cząstki stałe           | popiół, fragmenty koksiku, materiał złoża fluidalnego, metale ciężkie              | Erozja materiałów w wyniku uderzania tych cząstek [94], emisja ciężkich metali            | Absorpcja mokra, separacja odśrodkowa, filtry [89] [94]                                             |
| Smoły                   | Toluen, naftalen, fenol i benzen [94], etery, fenole, węglowodory aromatyczne [92] | Kondensacja na elementach urządzeń, zatykanie rur oraz niszczenie silników i turbin [100] | Katalizatory w reaktorze, filtry olejowe i ziarniste, węgiel aktywny, szokowe schłodzenie gazu [89] |
| Związki azotu           | Amonak, cyjanowodór [94]                                                           | Emisja NO <sub>x</sub>                                                                    | Redukcja SCR, selektywne utlenianie                                                                 |
| Związki siarki          | Kwas siarkowy, tlenki siarki [100]                                                 | Korozja, emisja szkodliwych substancji [100]                                              | Absorpcja zasadowa – mokra [89], płukanie [94], dodatki do złoża [100]                              |
| Związki chloru i fluoru | Chlorowodór, dioksyny, fluorowodór [89]                                            | Emisja toksycznych substancji, tworzenie żrących kwasów                                   | Absorpcja zasadowa, utrzymanie właściwych temperatur procesu [89]                                   |
| Pary rtęci              | Rtęć                                                                               | Emisja rtęci do środowiska                                                                | Adsorpcja np. na węglach aktywnych lub zeolitach [89]                                               |



Rozwiązania obejmujące wykorzystanie instalacji zgazowania biomasy do generacji energii elektrycznej oraz ciepła charakteryzują się wysoką dojrzałością technologii. W roku 2023 w samej Europie pracowało 141 instalacji zgazowania różnych rodzajów biomasy i odpadów. Kolejne 54 były w fazie budowy. Ponad 2/3 istniejących instalacji służy do generacji energii elektrycznej i ciepła [101]. Znaczną część tych instalacji stanowią zgazowarki współprądowe ze złożem stałym. Dostępne na rynku są zarówno rozwiązania o mocach elektrycznych rzędu dziesiątek czy setek kW [102–104] jak i instalacje o mocach rzędu MW takie jak: instalacja zgazowania drewna w Fürstenfeld w Austrii o mocy elektrycznej 2 MW [101], instalacja Muensterland Energy Gmbh w Niemczech o mocy elektrycznej równej 6 MW czy włoska instalacja Duchi Fratelli Societa Agricola/Agroenergia o mocy elektrycznej 1 MW [105]. W przypadku większych mocy rzędów dziesiątek MW wykorzystywane są gazogeneratory fluidalne [105] lub przepływowe [101]. W rozwiązaniach nastawionych na generację jedynie ciepła (w przypadku spalania gazu w kotłach) często stosowane są reaktory przeciwprądowe (w samej Finlandii działają 4 takie instalacje o łącznej mocy ponad 30 MW) [105].

### **3.4. Wykorzystanie syngazu w silnikach tłokowych**

Jedną z największych zalet procesu zgazowania paliw stałych (w tym odpadów) jest możliwość wykorzystania produktu (syngazu) w silnikach gazowych. Charakteryzują się one wysoką sprawnością i elastycznością w szerokim zakresie pracy, łatwą regulacją i krótkim czasem rozruchu [106]. Ponadto są urządzeniami kompaktowymi i pozwalają na wykorzystanie różnych paliw [107]. Jednakże, zasilanie silników syngazem wiąże się z wieloma trudnościami, ponieważ silniki wymagają określonych właściwości paliwa. W przypadku instalacji zgazowania spełnienie ich jest utrudnione ale nie niemożliwe. Potencjalnymi trudnościami przy eksploatacji silnika gazowego są w szczególności: problemy z zapłonem mieszanki, spalanie stukowe, zawartość związków skracających czas życia silnika, powstawanie osadów w części przepływowej [90], zmiany składu i strumienia syngazu [95].

Syngaz może być wykorzystany zarówno w silnikach z zapłonem iskrowym jak i w silnikach wysokoprężnych. W przypadku silników z zapłonem samoczynnym, ze względu na wysoką temperaturę samozapłonu syngazu, wykorzystuje się jedynie mieszaniny syngazu z innymi paliwami (np. z olejem napędowym) [108]. Syngaz jest możliwy natomiast do zastosowania jako jedyne paliwo w silnikach z zapłonem iskrowym. W przypadku tych silników istotnymi parametrami charakteryzującymi przydatność

syngazu do wykorzystania są w szczególności: liczba Wobbego, wartość opałowa, zawartość zanieczyszczeń, odporność na spalanie stukowe oraz prędkość zapłonu mieszanki [95].

Ze względu na znacznie niższą, porównując z gazem ziemnym, wartość liczby Wobbego w przypadku syngazu ( $4,28-20,86 \text{ MJ/Nm}^3$  względem  $32,5-37,5 \text{ MJ/Nm}^3$ ), silniki muszą zostać poddane odpowiedniemu przystosowaniu przed rozpoczęciem eksploatacji [95]. Zmienia się stosunek strumienia powietrza do strumienia paliwa. W przypadku dostarczenia mniejszej ilości energii chemicznej w paliwie proporcjonalnie zmniejszać się będzie także osiągalna moc układu [108]. W przypadku wykorzystania mieszanki *lean-burn* spadek mocy może być znacząco ograniczony [109,110].

Wykorzystując syngaz w silnikach z zapłonem iskrowym można zwiększyć spręż, ze względu na ograniczone niebezpieczeństwo spalania stukowego [110]. Liczba metanowa spada wraz ze wzrostem zawartości wodoru (oraz węglowodorów innych niż metan, co jednak przy gazie oczyszczonym nie ma aż tak dużego znaczenia). Rośnie natomiast przy wzroście zawartości niepalnych  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2$ . Większa zawartość CO również oddala niebezpieczeństwo spalania stukowego ze względu na liczbę metanową tego związku równą 73. Im mniejsza jest finalna wartość liczby metanowej tym mniejszy może być stopień sprężenia w silnikach zasilanych syngazem [95]. Poza składem paliwa na możliwość wystąpienia spalania stukowego ma wpływ temperatura. Jest ona dodatnio skorelowana (im wyższa temperatura tym wyższe prawdopodobieństwo wystąpienia spalania stukowego). Z tego powodu w większości układów energetycznych syngaz jest schładzany, a następnie oczyszczany z kondensujących w niższych temperaturach smół [111].

W przypadku zasilania syngazem pojawia się niebezpieczeństwo braku zapłonu lub zapłonu w nieodpowiednim czasie [109]. Prędkość spalania jest parametrem zależnym zarówno od składu paliwa jak i od współczynnika nadmiaru powietrza. Prędkość spalania syngazu uzyskanego ze zgazowania powietrznego biomasy może być zbliżona do prędkości spalania gazu ziemnego. Istotnym parametrem jest tu zawartość wodoru. W przypadku zgazowania, po którym zawartość wodoru w gazie będzie niewielka, prędkość spalania może być ponad dwukrotnie mniejsza niż w przypadku gazu ziemnego [89]. Dodatkowo, niska prędkość spalania metanu i tlenku węgla w porównaniu do wodoru może spowodować, że część mieszanki będzie płonąć jeszcze podczas wyrzutu spalin [110]. W takim przypadku niebezpieczne mogą być również spaliny z silnika, gdyż mogą zawierać nie do końca spalone CO [110]. Dlatego wskazane jest przyspieszenie czasu zapłonu względem układu

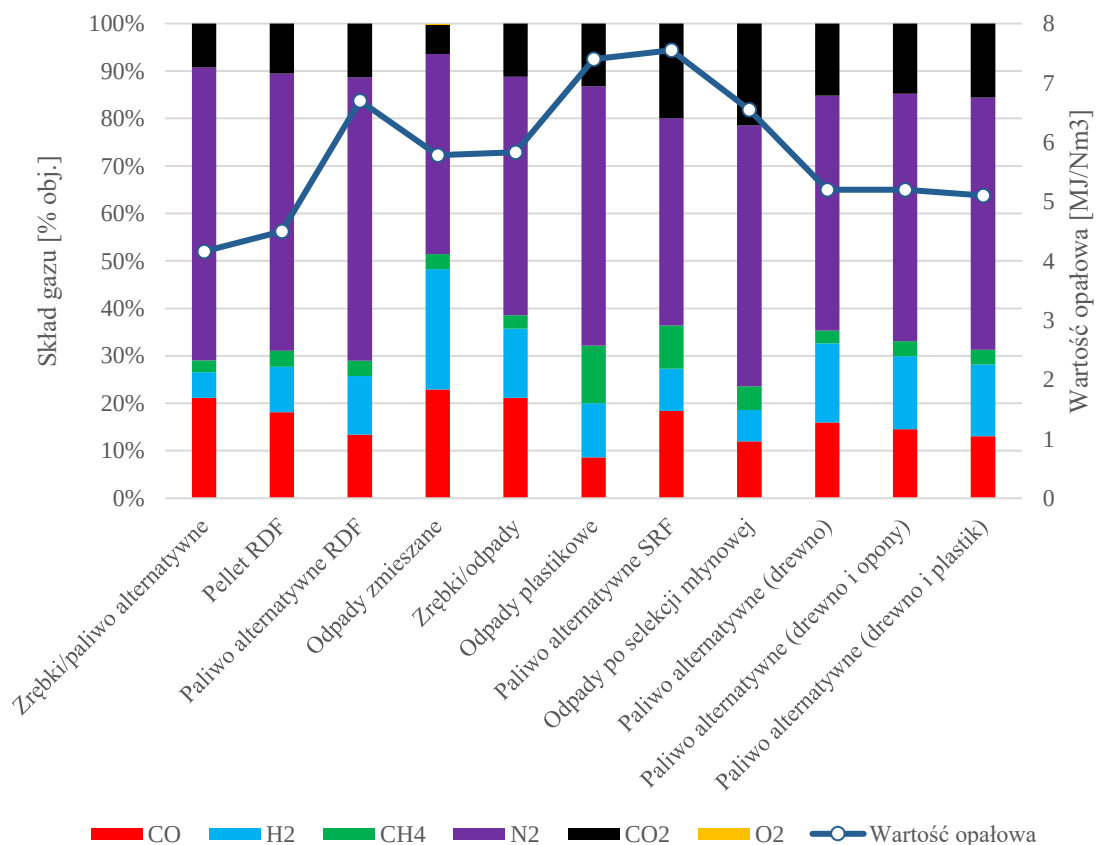
zasilanego gazem ziemnym (w szczególności dla mieszanin *lean-burn* lub syngazu o małej zawartości wodoru względem tlenku węgla) [109]. Może to zarówno poprawić sprawność (dzięki wykorzystaniu całości paliwa) jak i ją obniżyć (ze względu na przesunięcie punktu najwyższego ciśnienia bardzo blisko górnego martwego położenia tłoka) [110]. Zmiana kąta wyprzedzenia zapłonu możliwa jest do granicy spalania stukowego i często podejmowane są starania aby jak najbliżej tej granicy się znaleźć (ze względu na wzrost mocy i sprawności silnika). Jednakże, zwiększa się niebezpieczeństwo spalania stukowego w przypadku zmiany składu gazu [95] – co w przypadku syngazu powstałego ze zgazowania biomasy nie jest rzadkie. Dodatkowo niebezpieczeństwo zwiększa się przy zgazowaniu heterogenicznych paliw jakimi są odpady komunalne. Często stosowanym rozwiązaniem jest czujnik spalania stukowego, który dostosowuje wartość kąta wyprzedzenia zapłonu, aby zapobiec temu zjawisku przy utrzymaniu jak najwyższej sprawności. Ze względu na zanieczyszczenia syngazu związkami siarki, azotu czy chloru mogą pojawić się kolejne trudności eksploatacyjne. Często zmniejsza się czas pomiędzy kolejnymi wymianami oleju ze względu na jego zakwaszenie [95]. W przypadku nieoczyszczania syngazu ze smół, występuje ich kondensacja na elementach silnika co prowadzi do uszkodzeń [111].

Analiza istniejących zgazowarek dokonana przez Fiore i innych [110] wskazuje, że zgazowarka współprądowa może produkować syngaz o akceptowalnej wartości opałowej oraz na tyle niewielkiej zawartości smół, że nie wpływają negatywnie na pracę silnika [110]. Typowa sprawność silników zasilanych takim syngazem wynosi do 36% [95], ale może osiągnąć nawet 39% [111]. Ze względu na inercję zgazowarek, przy pokrywaniu przez silnik zmiennego obciążenia idealnym rozwiązaniem może być dodatkowy magazyn syngazu. Natomiast ze względu na niską gęstość tego paliwa, konieczne są bardzo duże rozmiary takiego zbiornika, co zmniejsza opłacalność całej inwestycji. Z tego względu brak jest obecnie instalacji wykorzystujących magazyny syngazu [110,112]. Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie magazynu energii elektrycznej, co może pomóc w przypadku nagłej zmiany obciążenia, gdy częściowo będzie ona pokrywana przez masy wirujące układu silnik-generator, a częściowo przez akumulatory [113]. W takiej konfiguracji zgazowarka będzie miała czas na dostosowanie produkcji gazu do zapotrzebowania silnika.

### **3.5. Odpady komunalne w procesie zgazowania**

Odpady komunalne mogą zostać poddane procesowi zgazowania, ponieważ zawierają atomy węgla i wodoru. Ich skład jest jednak heterogeniczny co wpływa na proces termicznego przetwarzania. Zgazowanie odpadów zmieszanych jest bardzo trudne

i rzadko spotykane. Lepszym technologicznie rozwiązaniem jest wykorzystanie wyselekcjonowanych frakcji odpadów lub paliw alternatywnych wytworzonych z tych frakcji [84]. Na rysunku 3 przedstawiono eksperymentalnie uzyskane wyniki dotyczące składu i kaloryczności syngazu przy zgazowaniu różnego typu odpadów w reaktorach ze złożem stałym.



Rys. 3. Skład i kaloryczność syngazu uzyskanego w wyniku zgazowania odpadów (opracowanie własne na podstawie danych literaturowych – od lewej kolumny wykresu [114], [115], [116], [117], [118], [119], [119], [119], [120], [120], [120])

Na wykresie przedstawiono skład syngazu powstały w wyniku zgazowania różnych rodzajów paliw z odpadów. Były to zarówno odpady zmieszane [117] jak i odpady na różnych etapach selekcji i formowania paliwa: odpady po selekcji młynowej [119], odpady plastikowe [119], drewniane [120], paliwa RDF [116] i SRF [119] uzyskane w wyniku zmieszania frakcji energetycznych odpadów, a także paliwo uformowane w postaci pelletu [115]. Dodatkowo w kilku pracach przeanalizowano mieszaninę drewna z odpadami [115, 118, 120]. W każdym z przytoczonych przykładów większość gazu stanowią substancje niepalne (N<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>). Zawartość CO wynosi od 8,63% do 21,5%, zawartość wodoru 5,41-23,8%, a CH<sub>4</sub> 2,5-12,11%. Wartość opałowa wynosi od około 4 do ponad 7,5 MJ/Nm<sup>3</sup>.

W tabeli 7 zamieszczone zostały przykłady instalacji zgazowania odpadów. Co istotne w tabeli zamieszczono jedynie instalacje, których przeznaczeniem jest produkcja energii elektrycznej oraz skojarzona generacja energii elektrycznej i ciepła. Poza nimi, instalacje zgazowania odpadów służą np. jako źródło ciepła w cementowniach lub papierniach [121]. O ile w Europie część projektów dotyczących instalacji zgazowania odpadów kończyła się porażkami, tak w Japonii od wielu lat działają instalacje zgazowania odpadów. Na przestrzeni lat stanowiły one nawet 50% wszystkich instalacji termicznego przetwarzania odpadów w tym kraju. Obecnie stanowią około 1/3.

*Tabela 7. Przykłady instalacji generujących energię elektryczną wykorzystujących technologię zgazowania odpadów*

| Technologia                                                      | Zgazowanie                                          | Generacja energii elektrycznej   | Moc [MWe] | Źródło    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|
| Instalacje zamknięte i wycofane technologie                      |                                                     |                                  |           |           |
| SVZ Schwarze Pumpe                                               | Hybryda zgazowania ze złożem stałym i przepływowego | Turbina gazowa i układ parowy    | 75        | [121]     |
| Energos                                                          | Zgazowanie na ruszcie                               | Układ parowy                     | 2,3       | [121]     |
| Plasco                                                           | Zgazowanie ze złożem stałym                         | Silnik gazowy                    | 4         | [121]     |
| Scanarc                                                          | Współprądowa                                        | Silnik gazowy                    | 0,45      | [88]      |
| Thermoselect/JFE                                                 | Zgazowanie tlenem                                   | Turbina parowa                   | 10        | [121]     |
| RWE Essent                                                       | Zgazowanie fluidalne                                | Układ parowy                     | 34        | [105]     |
| Działające instalacje komercyjne                                 |                                                     |                                  |           |           |
| Nippon Steel                                                     | Przeciwprądowa                                      | Układ parowy                     | 23,5      | [121,122] |
| Mitsui                                                           | Obrotowa                                            | Układ parowy                     |           | [121,122] |
| CHO POWER                                                        | Przeciwprądowa z oczyszczaniem plazmowym            | Silniki gazowe oraz układ parowy | 12        | [121]     |
| Concord Blue                                                     | Zgazowanie parą wodną                               | Silnik gazowy                    | 0,25-15   | [121]     |
| Lahti Energy Oy                                                  | Fluidalna,                                          | Układ parowy                     | 50        | [121]     |
| HoSt                                                             | Fluidalna,                                          | Silnik gazowy / układ parowy     | 1         | [88]      |
| Synnov Déchets                                                   | Fluidalna                                           | Silnik gazowy i układ parowy     | 7         | [121]     |
| Syntech Bioenergy                                                | Fluidalna                                           | Silnik gazowy                    | 3,3       | [121]     |
| MHI                                                              | Fluidalna                                           | Układ parowy                     | 4,6       | [123]     |
| Technologie pilotażowe, demonstracyjne oraz instalacje rozwijane |                                                     |                                  |           |           |
| IMP PAN                                                          | Współprądowa                                        | -                                |           | [91]      |
| Investeko                                                        | Współprądowa                                        | Silnik gazowy                    | 0,3       | [124]     |
| GEMCO ENERGY                                                     | Przeciwprądowa                                      | Silnik Stirlinga                 | 0,045/0,1 | [125]     |
| SYNOVA                                                           | Fluidalna                                           | Turbina gazowa                   | 1,5/8     | [88]      |
| Taylor Biomass Energy                                            | Fluidalna                                           | Turbina gazowa, układ parowy     | 20        | [121]     |
| Re <sup>2</sup>                                                  | Współprądowa                                        | Silnik gazowy                    | do 0,65   | [104]     |

Do produkcji energii elektrycznej wykorzystywane są zarówno turbiny parowe jak i gazowe oraz silniki gazowe. Spalanie gazu w kotłach, a następnie wykorzystanie ciepła na turbinie parowej pozwala na bezproblemowe wykorzystanie syngazu (w szczególności jeśli syngaz będzie wcześniej oczyszczony ze związków mogących powodować korozję powierzchni wymiany ciepła). Dodatkowo pozwala na współpracę np. z reaktorami przeciwprądowymi, które charakteryzują się wysoką zawartością smół w gazie. Z drugiej strony takie rozwiązania są obciążone niską sprawnością elektryczną i znaczną inercją. W przypadku silników i turbin gazowych musi zostać zachowana wyższa jakość syngazu [90] ale pozwalają one na poprawę elastyczności instalacji, a także osiągają wyższą sprawność. Ciekawym rozwiązaniem jest propozycja GEMCO Energy dotycząca wykorzystania silnika Stirlinga. Dzięki spalaniu zewnętrznemu możliwa jest współpraca z reaktorem przeciwprądowym.

Większość układów, w których wykorzystywany jest reaktor współprądowy z silnikiem gazowym, stanowią instalacje prototypowe lub demonstracyjne. W Szwecji instalacja Scanarc działała przez kilka lat i pozwoliła zebrać doświadczenie ale nie została szerzej wprowadzona na rynek. Takie rozwiązania są testowane również w Polsce. Instalacja INVESTEKO jest pilotażową instalacją całego procesu technologicznego obejmującego zgazowanie odpadów komunalnych i stałych osadów ściekowych oraz instalację oczyszczania gazu i silnik gazowy. W przypadku instalacji wykonanej przez Instytut Maszyn Przepływowych mamy do czynienia z kontenerową instalacją małej mocy służącą do zgazowania odpadów. Zaprojektowany również został odpowiedni kocioł służący spalaniu syngazu. Dodatkowo, naukowcy z Politechniki Częstochowskiej opracowali instalację służącą do oczyszczania gazu powstałego na skutek zgazowania osadów ściekowych [100]. Dużym rezerwuarem doświadczeń technologicznych są również Niemcy. Doświadczenia są zarówno negatywne (SVZ Schwarze Pumpe, Thermoselect) jak i wskazujące perspektywy na przyszłość. Firma Re2 deklaruje możliwość zastosowania swoich małych układów skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła zintegrowanych ze zgazówką do współzgazowania odpadów plastikowych (do 50% wsadu) oraz drewna. Podobnie jak w przypadku instalacji INVESTEKO wykorzystywany jest silnik gazowy. Technologie opisane w tabeli wykorzystują w znacznej części reaktory fluidalne, co wynika z faktu, że charakteryzują się one dość dużą tolerancją na zmienny skład odpadów. Dodatkowo, w przypadku instalacji w Lahti, odpady komunalne są mieszane z drzewnymi co dodatkowo stabilizuje skład [121]. Komercyjne instalacje z reaktorami

fluidalnymi są stosunkowo dużej mocy elektrycznej od kilku do nawet 75 MW. W przypadku mniejszych instalacji częściej wykorzystywane są reaktory ze złożem stałym.

W tabeli 8 zebrano i przedstawiono podsumowanie dotychczasowych doświadczeń w formie analizy SWOT przy założeniu, że mocne i słabe strony dotyczą znanych zalet oraz wad instalacji, natomiast szanse i zagrożenia opisują potencjalne wady lub zalety, które mogą wystąpić przy odpowiednich okolicznościach – w większości zewnętrznych.

*Tabela 8. Analiza SWOT zgazowania odpadów*

|                  | Cecha                                                                                                                                                         |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mocne strony (S) | Mniejsza zawartość smół ciężkich niż przy zgazowaniu drewna [115]                                                                                             |
|                  | Redukcja ilości popiołu oraz zwiększenie jego użyteczności komercyjnej [121,123,126]                                                                          |
|                  | Prędkość spalania syngazu podobna do prędkości spalania gazu ziemnego [89]                                                                                    |
|                  | Poprawa bilansu ekonomicznego instalacji – „opłaty na bramie” [89]                                                                                            |
|                  | Szerokie zastosowanie gazu do celów produkcji energii elektrycznej w: turbinach gazowych, silnikach, układach parowych; oraz w procesach chemicznych [99,127] |
|                  | Małe zgazowarki współprądowe charakteryzują się krótkim czasem rozruchu rzędu 10-20 minut [102,128], a przy niektórych rodzajach wsadu do 50 minut [129]      |
|                  | Szeroki zakres obciążenia [95,130]                                                                                                                            |
| Słabe strony (W) | Większa zawartość smół lekkich niż przy zgazowaniu drewna (duża ilość polimerów) [115]                                                                        |
|                  | Trudność przy usuwaniu smół [94]                                                                                                                              |
|                  | Zawartość zanieczyszczeń o charakterze kwaśnym w syngazie [89]                                                                                                |
|                  | Zawartość chloru i rtęci w odpadach komunalnych (tylko część z nich jest wiązana w popiele) [89]                                                              |
|                  | Negatywne aspekty niskiej kaloryczności gazu przy spalaniu w silnikach                                                                                        |
|                  | Inercja gazogeneratora                                                                                                                                        |
|                  | Wymagania dotyczące paliwa [80,106]                                                                                                                           |
| Szanse (O)       | Wysokie koszty inwestycyjne [101]                                                                                                                             |
|                  | Potencjalne zwolnienie z rygorystycznych przepisów dotyczących monitorowania spalin [89,124]                                                                  |
|                  | Możliwość spełnienia wymagania dotyczącego temperatury spalin w ITPO [131]                                                                                    |
|                  | Możliwa większa akceptacja społeczna niż w przypadku instalacji spopielania [126]                                                                             |
|                  | Mniejsza instalacja oczyszczania syngazu niż spalin [127] ale bardziej skomplikowana [89]                                                                     |
|                  | Ograniczenie produkcji dioksyn i furanów [89] [127]                                                                                                           |
|                  | Instalacje lokalne, o mniejszym strumieniu utylizowanych odpadów [89]                                                                                         |
|                  | Możliwość wykorzystania zgazowarek drewna przy zgazowaniu odpadów [115,132]                                                                                   |
|                  | W niektórych technologiach zgazowania wysokie zawilgocenie paliwa jest zaletą ze względu na większą produkcję wodoru [84]                                     |
|                  | Potencjalna możliwość wychwytu CO <sub>2</sub> z syngazu – ograniczenie emisji [98]                                                                           |
|                  | Dzięki wyższej elastyczności niż w przypadku spalania możliwa współpraca ze źródłami OZE                                                                      |
|                  | Możliwa konstrukcja mobilnych układów [125]                                                                                                                   |
| Zagrożenia (T)   | Możliwość wykorzystania wysokosprawnych technologii [89,124]                                                                                                  |
|                  | Negatywne doświadczenia dotyczące dużych instalacji komercyjnych w Europie [80,121]                                                                           |
|                  | Zmienny skład paliwa może powodować wahania parametrów generowanego syngazu [131]                                                                             |
|                  | Wysokie wymagania dotyczące czystości gazu w silnikach [89]                                                                                                   |
|                  | Powstające przez dużą zawartość polimerów spieki przyklejające się do ścianek reaktora [91]                                                                   |
|                  | Powstawanie amoniaku podczas procesu zgazowania [100]                                                                                                         |
|                  | Duże ryzyko inwestycyjne [94]                                                                                                                                 |
|                  | Trudności z utrzymaniem dyspozycyjności instalacji [94] oraz zakładanej generacji [121]                                                                       |
|                  | Niewiele komercyjnych instalacji                                                                                                                              |
|                  | W wielu krajach instalacje zgazowania nie są odpowiednio umocowane prawnie [101]                                                                              |

Podsumowując informacje zamieszczone w tabeli 8 należy zwrócić uwagę na bardzo zbliżoną ilość mocnych i słabych stron oraz na to, że są one w mniejszości względem szans i zagrożeń co wynika z faktu, że technologie zgazowania odpadów są stosunkowo nowe. W przyszłości wraz ze zwiększającą się liczbą działających instalacji część zagrożeń prawdopodobnie zostanie ograniczona (np. kwestie prawne lub inwestycyjne), a przez rozwój technologii część szans może zostać wykorzystana.

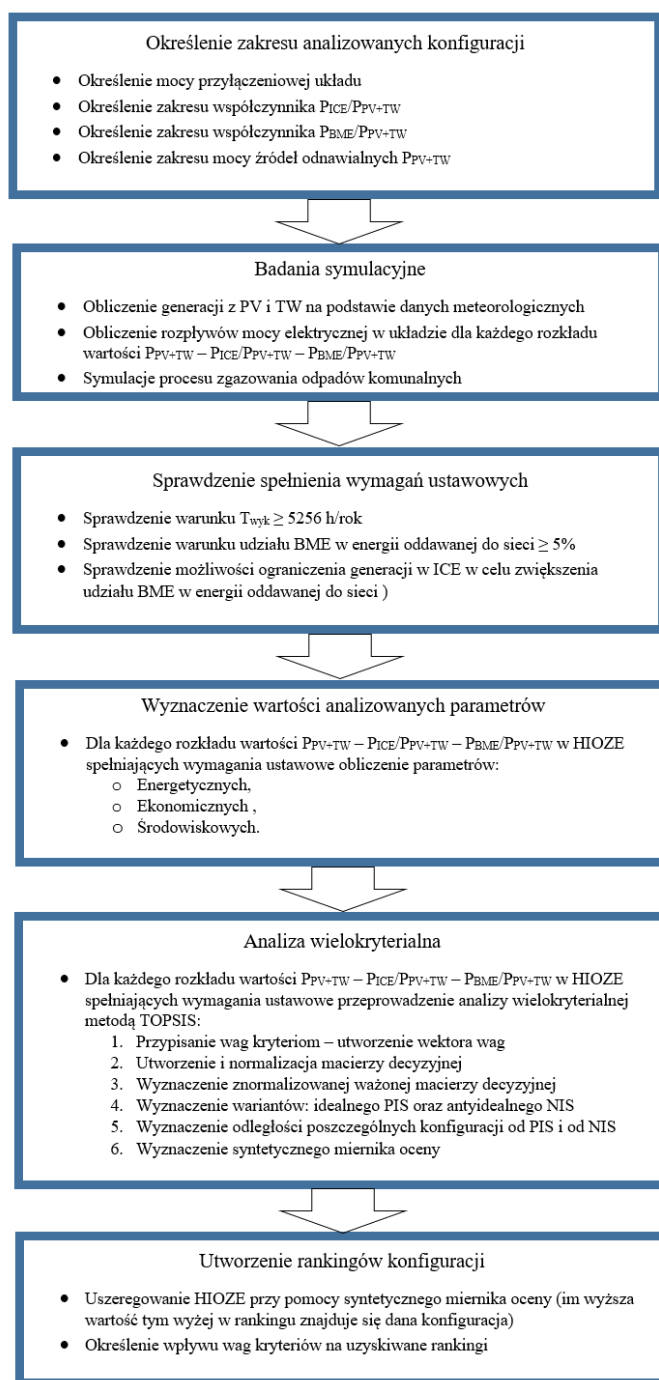
Zakres niniejszej pracy obejmuje analizę współpracy instalacji termicznego przetwarzania odpadów ze źródłami OZE. Ze względu na wyższą elastyczność i mniejszą inercję niż w układach opartych o turbiny parowe, technologia zgazowania odpadów i wykorzystania gazu w silnikach gazowych wydaje się być najbardziej perspektywiczną technologią w tym rozwiązaniu. Dodatkowo w przypadku zgazowarek ze złożem stałym, ich przeznaczenie do pracy w układach małej mocy, idealnie współdziała z ideą generacji rozproszonej.



## 4. Metodologia analiz hybrydowych instalacji OZE

### 4.1. Sekwencja działań w analizach hybrydowych instalacjach OZE

Celem badań jest dobór parametrów hybrydowej instalacji OZE składającej się z paneli fotowoltaicznych, turbin wiatrowych, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów z agregatem silnikowym (ICE). Zaproponowana metoda oparta jest na analizie wielokryterialnej. Analizę podzielono na sześć etapów. Na rysunku 4 przedstawiono bazowy schemat kolejnych kroków analizy.



Rys. 4. Wykres sekwencji działań

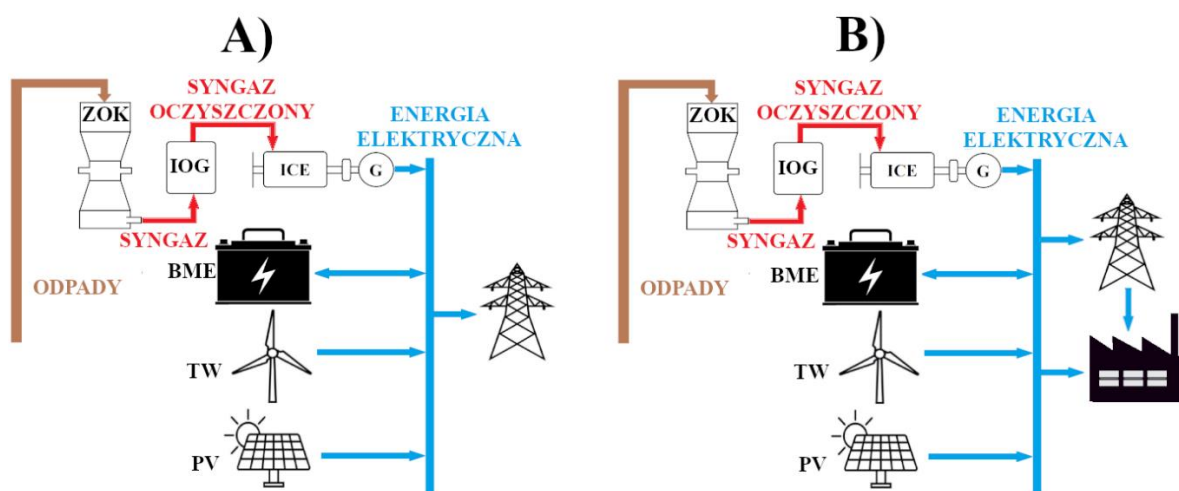
Pierwszym etapem jest określenie zakresu analiz. W ramach tego kroku określana jest moc przyłączeniowa układu, oraz zakresy mocy źródeł i magazynów (zakładana jest również wartość współczynnika C-rate) energii elektrycznej. Kolejnym etapem jest dokonanie badań symulacyjnych każdego rozkładu parametrów HIOZE w zakresie analiz. Parametrami układu są moc źródeł niesterowalnych  $P_{PV+TW}$  oraz wynikające z niej wskaźniki określające stosunek mocy ICE oraz BME do mocy źródeł PV i turbin wiatrowych ( $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ ). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzane jest czy układy spełniają wymagania ustawowe (kryteria graniczne – niespełnienie któregośkolwiek powoduje wyłączenie danego rozwiązania dalszych rozważań). Dla wszystkich układów spełniających wyżej wymienione wymagania obliczane są wartości wskaźników energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych. Wykorzystując te wartości, przeprowadzana jest analiza wielokryterialna. Jej efektem jest wyznaczenie wartości syntetycznego miernika oceny. Na tej podstawie szeregowane są rozwiązania i tworzony jest ranking preferencji pozwalający na wybór najkorzystniejszego z nich. Poszczególne etapy analizy opisano szerzej w kolejnych rozdziałach.

#### **4.2. Struktura analizowanych hybrydowych instalacji OZE**

W pracy zaproponowano układy hybrydowe składające się ze źródeł fotowoltaicznych, turbin wiatrowych, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów komunalnych zintegrowanej z agregatem silnikowym. Analizie poddano dwie konfiguracje układu:

- Scenariusz A: hybrydowa instalacja OZE sprzedająca energię do systemu elektroenergetycznego – w dalszej części pracy oznaczana jako HIOZE A,
- Scenariusz B: hybrydowa instalacja OZE pracująca w celu pokrycia zapotrzebowania odbiorcy przemysłowego w ramach linii bezpośredniej oraz sprzedaży nadwyżek do systemu elektroenergetycznego - w dalszej części pracy oznaczana jako HIOZE B.

Schematy koncepcyjne obu układów przedstawiono rysunku 5.



Rys. 5. Schematy koncepcyjne układów: A) HIOZE A, B) HIOZE B

gdzie, ZOK – zgazowarka frakcji energetycznych odpadów komunalnych, IOG – instalacja oczyszczania gazu, ICE – agregat silnikowy z generatorem (G), BME – baterijny magazyn energii, TW – turbiny wiatrowe i PV – źródła fotowoltaiczne.

W przypadku HIOZE A jedynym odbiorcą energii elektrycznej wyprodukowanej w instalacji hybrydowej jest system elektroenergetyczny. Produkcja energii elektrycznej musi charakteryzować się parametrami wynikającymi z definicji hybrydowej instalacji OZE zawartej w ustawie o OZE:

- Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej równy co najmniej 60% roku czyli 5256 h/rok,
- Udział energii przekazanej do systemu elektroenergetycznego poprzez magazyn energii elektrycznej równy co najmniej 5% rocznej generacji.

Ponadto:

- Maksymalna moc elektryczna przekazywana do systemu jest równa mocy przyłączeniowej. W wypadku przekroczenia tej wartości, generacja jest ograniczana,
- Transfer energii elektrycznej może być skierowany jedynie od hybrydowej instalacji do systemu elektroenergetycznego. Magazynowana jest jedynie energia pochodząca z instalacji hybrydowej. Nie jest możliwe magazynowanie energii z systemu elektroenergetycznego,
- Priorytet mają źródła nieemisyjne – PV i turbiny wiatrowe. Układ zgazowania wykorzystywany jest w celu maksymalizacji generacji energii elektrycznej.

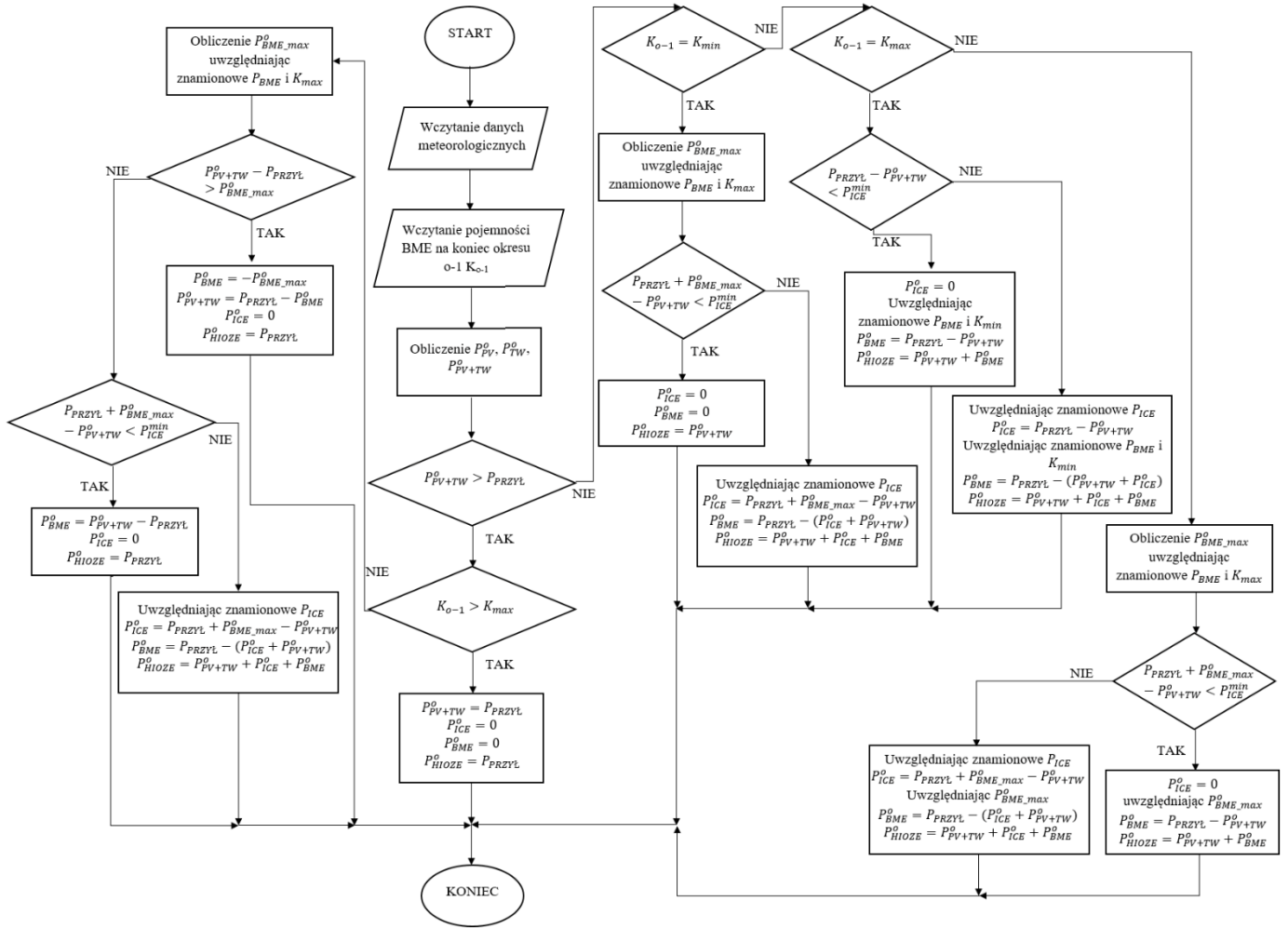
Rozdział obciążeń pomiędzy źródła w każdym analizowanym okresie realizowany jest według algorytmu zaprezentowanego na rysunku 6.

W pierwszej kolejności do systemu elektroenergetycznego wprowadzana jest energia elektryczna pochodząca ze źródeł fotowoltaicznych i turbin wiatrowych. W przypadku przekroczenia mocy przyłączeniowej, nadwyżka kierowana jest do magazynu energii elektrycznej (jeśli pozwalają parametry magazynu). Gdy stan naładowania baterii oraz różnica pomiędzy generacją, a mocą przyłączeniową na to pozwalają, energia wytworzona w silniku gazowym może być wykorzystana do ładowania BME.

W przypadku, gdy suma mocy źródeł niesterowalnych jest mniejsza niż moc przyłączeniowa, w zależności od sytuacji:

- magazyn jest ładowany – gdy uruchomiony jest agregat silnikowy i suma mocy przekracza moc przyłączeniową,
- magazyn jest rozładowywany – gdy silnik nie pracuje lub suma generacji ze źródeł fotowoltaicznych, turbin wiatrowych i ICE jest mniejsza niż moc przyłączeniowa,
- magazyn nie jest obciążony – w innych przypadkach.

Silnik jest uruchamiany po wystąpieniu różnicy między mocą źródeł niesterowalnych, a zadeklarowaną mocą przyłączeniową (oraz mocą ładowania baterii). Różnica musi być wyższa niż minimalna moc z jaką pracować może silnik. Bateriajny magazyn energii oraz agregat silnikowy nie mogą przekroczyć swojej mocy znamionowej. W przypadku magazynu dodatkowymi ograniczeniami są: maksymalny i minimalny stopień naładowania.



Rys.6. Schemat blokowy pracy HIOZE A

gdzie,  $o$  – aktualny okres,  $o-1$  – poprzedni okres,  $P_{PV}^o$  – moc źródeł PV w okresie  $o$ ,  $P_{TW}^o$  – moc turbin wiatrowych w okresie  $o$ ,  $P_{PV+TW}^o$  – suma mocy paneli PV i turbin wiatrowych w okresie  $o$ ,  $K_o$  – wypełnienie magazynu na koniec okresu  $o$ ,  $P_{PRZYŁ}$  – moc przyłączeniowa,  $K_{max}$  – maksymalny dopuszczalny stan naładowania magazynu,  $P_{BME,max}^o$  – wartość bezwzględna maksymalnej mocy magazynu w danym okresie,  $P_{BME}$  – moc znamionowa magazynu,  $P_{ICE}^{min}$  – minimalne obciążenie silnika,  $P_{ICE}^o$  – moc agregatu silnikowego danym okresie  $o$ ,  $P_{ICE}$  – moc znamionowa agregatu silnikowego,  $K_{min}$  – minimalny dopuszczalny stan naładowania magazynu,  $P_{BME}^o$  – moc magazynu w analizowanym okresie  $o$  (wartość dodatnia – rozładowanie, ujemna – ładowanie),  $P_{HIOZE}^o$  – wartość generacji mocy elektrycznej w HIOZE w okresie  $o$ .

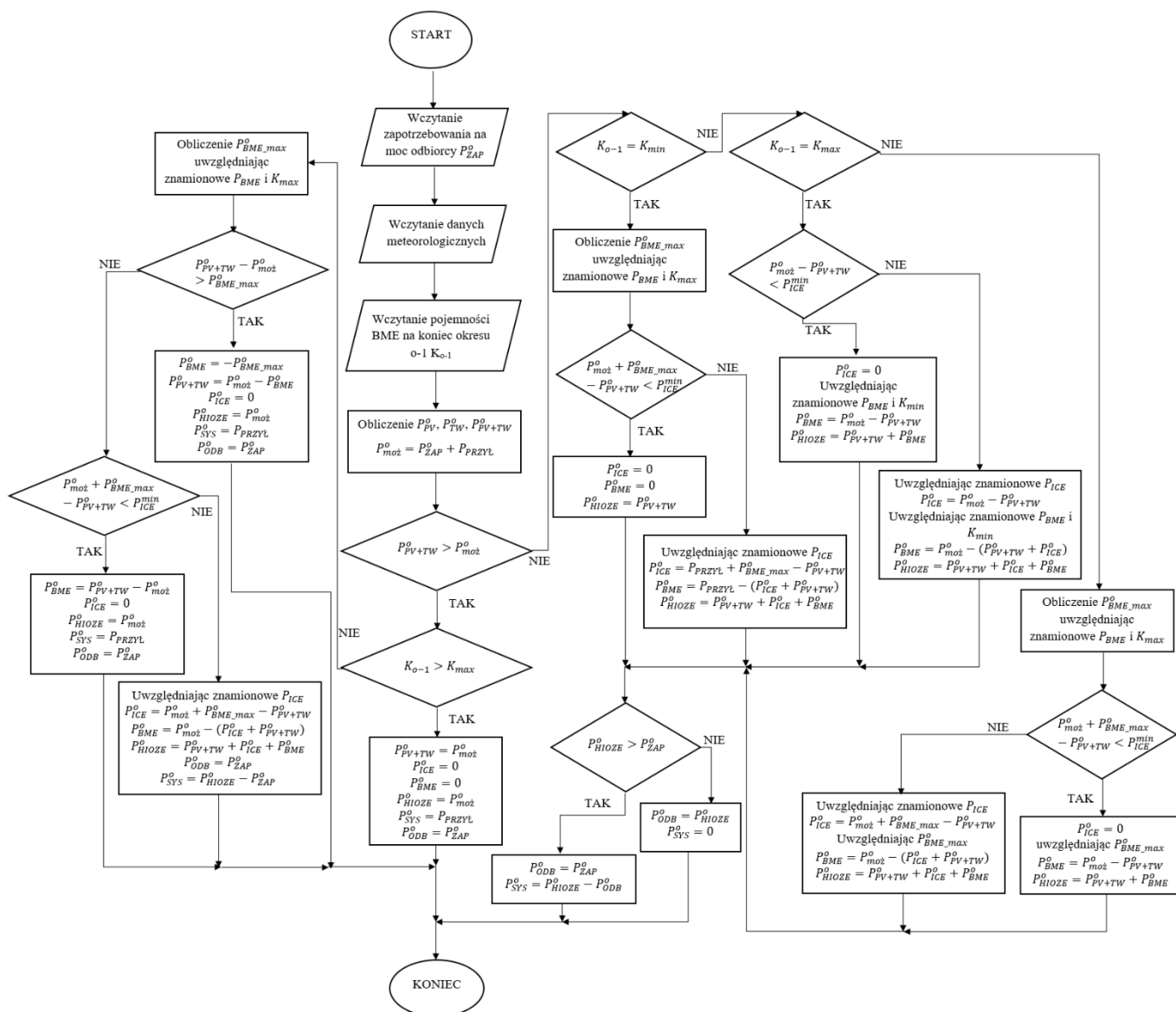
W przypadku HIOZE B priorytetem jest zasilenie odbiorcy przemysłowego w ramach linii bezpośredniej. Nadwyżki energii elektrycznej sprzedawane są do systemu elektroenergetycznego w ramach HIOZE. Z tego względu, w kontekście sprzedaży energii do systemu elektroenergetycznego, muszą być spełnione takie same wymagania jak w HIOZE A, to znaczy:

- Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej równy co najmniej 60% roku czyli 5256 h/rok,
- Udział energii przekazanej do systemu elektroenergetycznego poprzez magazyn energii elektrycznej równy co najmniej 5% rocznej generacji.

Dodatkowo, nadal obowiązują takie same wytyczne dotyczące maksymalnej mocy przesyłanej do systemu elektroenergetycznego, priorytetu OZE nad zgazowaniem jak w HIOZE A. Różnicą jest wymiana energii z siecią elektroenergetyczną. O ile nadal nie jest możliwy transfer energii z systemu elektroenergetycznego do BME, tak odbiorca może być zasilany również z sieci elektroenergetycznej.

Rozdzielanie obciążeń pomiędzy źródła, oraz odbiory w każdym analizowanym okresie realizowane jest według algorytmu zaprezentowanego na rysunku 7.

Algorytmy przedstawione na rysunkach 6 i 7 są do siebie bardzo zbliżone. Główną różnicą jest to, że w przypadku HIOZE B, zmienna jest wartość maksymalnej mocy, która może zostać odebrana z instalacji hybrydowej. Zależy ona zarówno od zadeklarowanej mocy przyłączeniowej ( $P_{PRZYŁ}$ ) jak i zapotrzebowania odbiorcy przemysłowego ( $P_{ZAP}^o$ ), którego wartość jest zmienna w czasie. W każdym okresie obliczana jest suma ich wartości ( $P_{moż}^o$ ). Następnie, rozdział obciążeń pomiędzy części składowe HIOZE następuje według algorytmu przedstawionego na rysunku 6. Na koniec generacja w HIOZE jest rozdzielana pomiędzy odbiorcę przemysłowego ( $P_{ODB}^o$ ) oraz system elektroenergetyczny ( $P_{SYS}^o$ ). Widoczne jest, że pokrywanie zapotrzebowania odbiorcy ma priorytet względem sprzedaży energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego. Sprzedaż następuje jedynie w wypadku wystąpienia nadwyżek generacji.



Rys.7. Schemat blokowy pracy HIOZE B

### 4.3. Studium przypadku

Analizie poddano układy w których:

- HIOZE A
  1. Określono moc przyłączeniową  $P_{PRZYL}$  (oraz maksymalny wolumen generowanej energii elektrycznej).
  2. Moc zainstalowana OZE wynosi 100-300% mocy przyłączeniowej z krokiem odpowiadającym 50%  $P_{PRZYL}$ .
  3. Znamionowa moc elektryczna układu zgazowarka-silnik gazowy wynosi 5-100% mocy przyłączeniowej z krokiem co 5%.

4. Znamionowa moc elektryczna magazynu wynosi 5-100% mocy przyłączeniowej z krokiem co 5% . Założono, że wszystkie BME charakteryzują się wskaźnikiem C-rate na poziomie 0,5 (pojemność magazynu liczona w MWh jest dwukrotnością mocy liczonej w MW).
- HIOZE B
    1. Określono maksymalne zapotrzebowanie na moc odbiorcy przemysłowego oraz roczny przebieg zapotrzebowania. Na tej podstawie obliczono  $P_{PRZYŁ}$  tak, aby maksymalny wolumen generowanej energii elektrycznej był równy otrzymanemu w HIOZE A.
    2. Moc zainstalowana OZE jest analizowana w takim samym przedziale jak w HIOZE A.
    3. Znamionowa moc elektryczna układu zgazowarka-silnik gazowy jest analizowana w takim samym przedziale jak w HIOZE A.
    4. Znamionowa moc elektryczna i pojemność magazynu gazowy jest analizowana w takim samym przedziale jak w HIOZE A.

Krok zmiany sumy mocy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych jest zdecydowanie wyższy niż zmiany mocy ICE lub BME. Wynika to z faktu, że źródła niesterowalne charakteryzują się zdecydowanie mniejszą wartością czasu wykorzystania mocy zainstalowanej. Zatem, aby osiągnąć podobny wzrost wartości generowanej energii jak w przy zwiększeniu mocy ICE, moc źródeł PV lub turbin wiatrowych musi zwiększyć się o kilkukrotnie większą wartość. Dodatkowo, ze względu na niestabilny charakter pracy OZE, ich przewymiarowanie wpływa na zwiększenie generacji energii elektrycznej w systemie (nawet mimo konieczności czasowego ograniczania produkcji). W przypadku agregatu silnikowego taka zależność nie zachodzi. Ostatnim z powodów jest chęć zbadania szerszego zakresu wartości wskaźników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Większy krok zmiany wartości  $P_{PV+TW}$  pozwala na zwiększenie badanego zakresu rozwiązań przy jednoczesnym ograniczeniu liczby powtórzeń.

Parametry układów dla których przeprowadzono analizę zaprezentowano w tabeli 9.

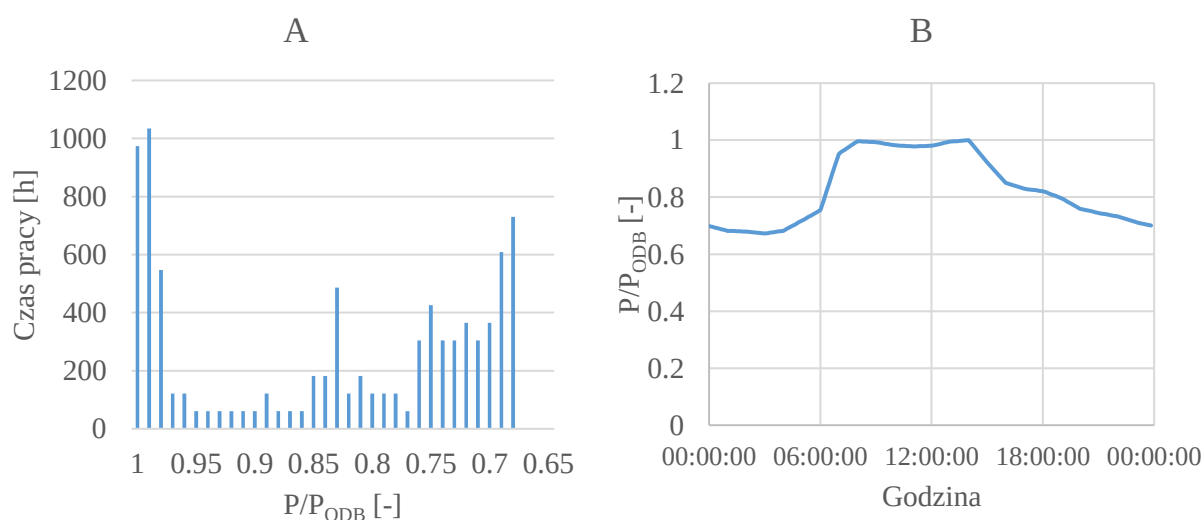


Tabela 9. Szczegółowe parametry analizowanych układów

| HIOZE | $P_{PRZYŁ}$ | $P_{ODB}$ | $E_{max}$ | $P_{PV+TW}$ |     | $P_{ICE}$ |     | $P_{BME}$ |     | $K_{BME}$ |     |
|-------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|       | MW          | MW        | MWh       | Max         | Min | Max       | Min | Max       | Min | Max       | Min |
|       |             |           |           | MW          | MW  | MW        | MW  | MW        | MW  | MWh       | MWh |
| A     | 2           | -         | 17520     | 6           | 2   | 2         | 0,1 | 2         | 0,1 | 4         | 0,2 |
| B     | 0,754       | 1,5       | 17520     | 6           | 2   | 2         | 0,1 | 2         | 0,1 | 4         | 0,2 |

gdzie,  $P_{ODB}$  – maksymalny pobór mocy odbiorcy przemysłowego,  $E_{max}$  – suma energii możliwej do przekazania do systemu elektroenergetycznego i odbiorcy,  $K_{BME}$  – znamionowa pojemność BME.

W celu poprawnego oddania charakteru odbiorcy przemysłowego, w badaniach wykorzystano jako wzór standardowe profile zużycia energii na 2021 rok dla grupy odbiorców B pochodzące od operatora sieci dystrybucyjnej Enea Operator [133]. Na rysunku 8, przedstawiono roczny rozkład zapotrzebowania.



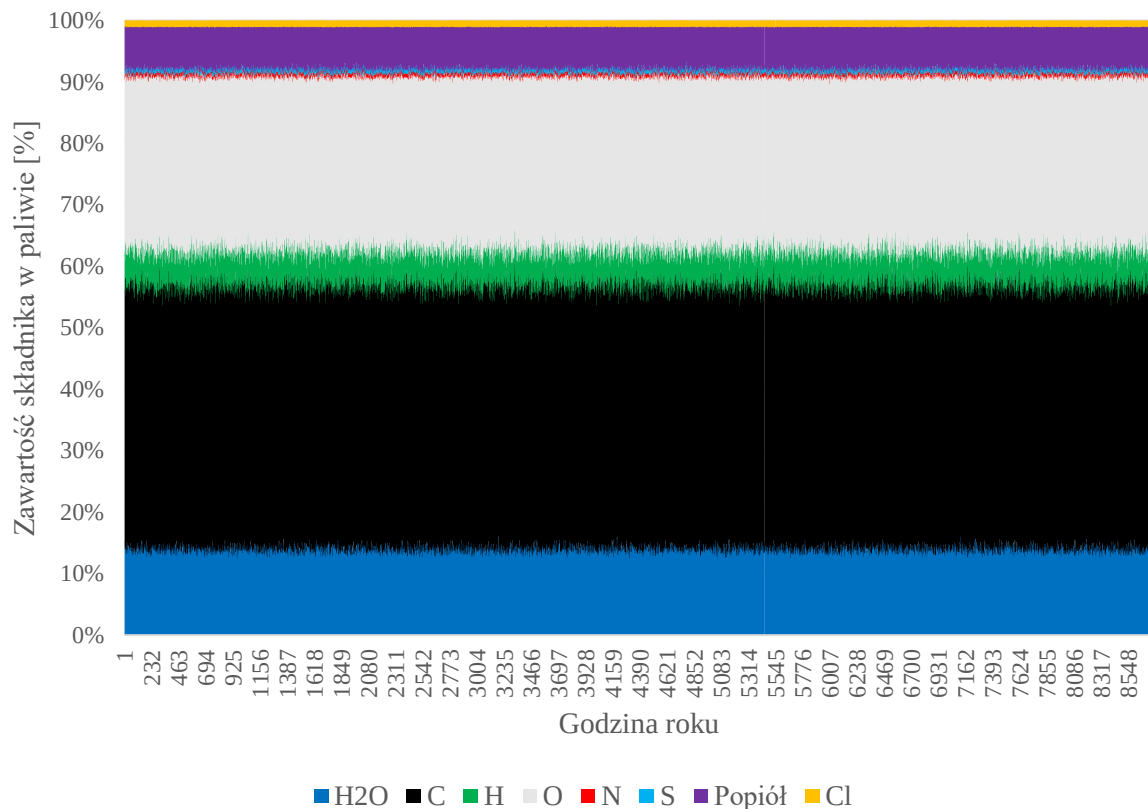
Rys. 8. Zapotrzebowanie odbiorcy przemysłowego: A) histogram roczny, B) średnioroczny przebieg dobowy.

Wsadem do układu zgazowania są odseparowane frakcje energetyczne zmieszanych odpadów komunalnych czyli pre-RDF. Skład morfologiczny tych frakcji określono na podstawie raportu Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego [81]. Następnie, wykorzystując dane zawarte w publikacji autorstwa Janusza i Andrzeja Wandraszów [87] oszacowano średni skład pierwiastkowy paliwa z odpadów. Wyniki zamieszczono w tabeli 10.

Tabela 10. Średni skład frakcji energetycznej zmieszanych odpadów komunalnych

| Składnik                    | Udział frakcji | Skład pierwiastkowy |       |      |       |      |      |        |      |
|-----------------------------|----------------|---------------------|-------|------|-------|------|------|--------|------|
|                             |                | H <sub>2</sub> O    | C     | H    | O     | N    | S    | Popiół | Cl   |
|                             | %              | %                   | %     | %    | %     | %    | %    | %      | %    |
| Papier i tektura            | 37,10          | 25,00               | 30,25 | 3,99 | 31,00 | 0,13 | 0,13 | 9,50   | 0,00 |
| Tworzywa sztuczne           | 46,67          | 8,00                | 54,45 | 7,30 | 21,74 | 0,97 | 1,07 | 4,29   | 2,18 |
| Drewno                      | 1,74           | 20,00               | 38,24 | 5,20 | 35,46 | 0,40 | 0,04 | 0,64   | 0,01 |
| Opakowania wielomateriałowe | 4,93           | 4,71                | 43,17 | 5,88 | 43,36 | 0,17 | 0,08 | 2,64   | 0,00 |
| Tekstylia                   | 9,57           | 10,00               | 39,54 | 3,91 | 34,97 | 0,79 | 0,82 | 9,96   | 0,02 |
| Średni skład pierwiastkowy  |                | 14,55               | 43,21 | 5,64 | 27,74 | 0,59 | 0,63 | 6,62   | 1,02 |

Odpady charakteryzują się dużą zmiennością składu (nawet te, które poddano procesowi selekcji jak w przypadku pre-RDF). W celu uwzględnienia w analizie zmienności składu paliwa, w programie Scilab, zaimplementowano generator liczb pseudolosowych. W każdej godzinie analizowanego roku skład odpadów różni się od siebie. Założono, że zawartość każdego z pierwiastków zmienia się o maksymalnie  $\pm 10\%$  od wartości średniej przedstawionej w tabeli 10. W efekcie otrzymano roczny profil zmienności składu pre-RDF przedstawiony na rysunku 9.

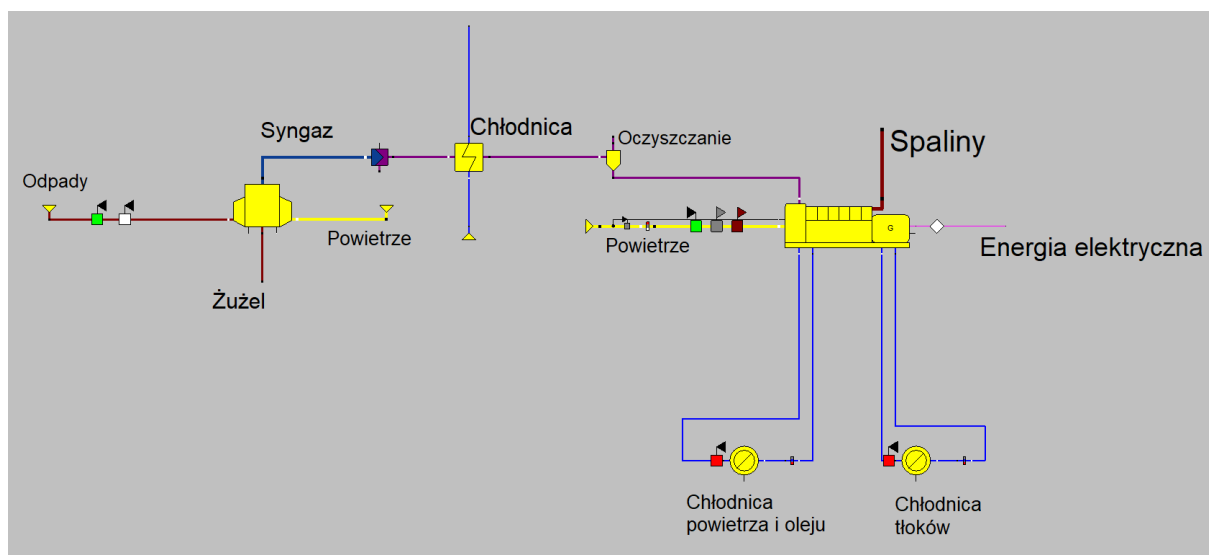


Rys. 9. Zmienny skład pre-RDF.

W przypadku wykorzystania energetycznego odpadów istotną kwestią jest ich dostępność na danym obszarze. Sprowadzanie ich z dalszych rejonów nie jest zasadne, gdyż wymaga ponoszenia dużych kosztów (głównie środowiskowych oraz ekonomicznych) przy transporcie paliwa o stosunkowo małej gęstości i kaloryczności. Z tego względu w badaniu przyjęto konkretną wartość odpadów dostępnych na obszarze bliskim HIOZE. Wartość tą określono na podstawie danych pochodzących z Głównego Urzędu Statystycznego [134]. Odpowiada ona medianie frakcji energetycznych zmieszanych odpadów komunalnych pochodzących z pojedynczego powiatu w województwie wielkopolskim. Na podstawie analizy z lat 2010-2023 wyznaczono wartość wynoszącą 15305,71 ton odpadów zmieszanych zebranych w ciągu roku. Z tej wartości, zakładając jak w poprzednim rozdziale 34,5% przypadające na frakcję energetyczną, otrzymano wartość 5280,47 ton frakcji palnych odpadów komunalnych. Przyjęto, że najkorzystniejsze jest wykorzystanie dokładnie takiej ilości odpadów ze względu na pozbycie się całej problematycznej frakcji oraz brak konieczności dostarczania odpadów z dalszych obszarów.

#### 4.4. Model instalacji zgazowarka odpadów – silnik gazowy – generator

Modele wszystkich elementów składowych wykonano w programie Epsilon®Proffesional. Na rysunku 10 zamieszczono schemat modelu zgazowarka – silnik tłokowy – generator.



Rys. 10. Model zgazowarki z agregatem silnikowym.

Zgazowarkę zamodelowano przy pomocy pojedynczego komponentu *Biomass gasifier*. Komponent wykorzystuje równania konwersji tlenku węgla z parą wodną oraz kod *Chemical Equilibrium with Applications* opracowany przez NASA [135]. W wyniku

obliczeń wyznaczane są: temperatura reakcji, temperatura wyjściowa syngazu oraz skład syngazu (a w efekcie i sprawność całego procesu). Na etapie budowy modelu należy podać następujące parametry:

- Stosunek metanu w syngazie do węgla atomowego w paliwie,
- Stosunek  $H_2S$  w syngazie do siarki w paliwie,
- Stosunek amoniaku w syngazie do azotu w paliwie,
- Stosunki poszczególnych smół w syngazie do węgla atomowego w paliwie,
- Stopień zgazowania węgla atomowego,
- Stałą konwersji tlenku węgla z parą wodną,
- Straty ciepła,
- Stosunek całkowitego tlenu (w paliwie i utleniaczu) do węgla w paliwie.

W celu dobrania odpowiednich wartości powyższych parametrów, wykorzystano genetyczny algorytm optymalizacyjny zaimplementowany w oprogramowaniu. Jako docelowe parametry pracy zgazowarki przyjęto wartości literaturowe, pozyskane z pracy [130]. W pracy tej, na podstawie badań eksperymentalnych wyznaczono m. in. sprawność zgazowania, wartość opałową gazu, współczynnik nadmiaru powietrza, temperaturę w poszczególnych strefach reakcji. Parametry są przedstawione w szerokim zakresie obciążenia. Dodatkowo dostępny jest skład gazu przy obciążeniu znamionowym. Wszystkie dane literaturowe przedstawiono tabeli 11.

*Tabela 11. Dane literaturowe*

| Obciążenie | Sprawność | Wartość opałowa syngazu | Współczynnik nadmiaru powietrza | Temperatura syngazu | Skład syngazu przy obciążeniu maksymalnym |                |                     |
|------------|-----------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------|
| %          | -         | kJ/Nm <sup>3</sup>      | -                               | °C                  | Składnik                                  | Gaz surowy [%] | Gaz oczyszczony [%] |
| 100        | 0,6940    | 5675                    | 0,2600                          | 550                 | N <sub>2</sub>                            | 39,36          | 40,97               |
| 90         | 0,7125    | 5750                    | 0,2506                          | 537                 | CO <sub>2</sub>                           | 11,10          | 11,56               |
| 80         | 0,7163    | 5800                    | 0,2488                          | 526                 | CO                                        | 24,78          | 25,80               |
| 70         | 0,7125    | 5800                    | 0,2513                          | 516                 | H <sub>2</sub>                            | 18,72          | 19,49               |
| 60         | 0,7025    | 5775                    | 0,2619                          | 505                 | CH <sub>4</sub>                           | 2,10           | 2,19                |
| 50         | 0,6875    | 5750                    | 0,2775                          | 497                 | O <sub>2</sub>                            | 0,14           | 0,00                |
| 40         | 0,6650    | 5675                    | 0,2988                          | 489                 | Smole                                     | 3,80           | 0,00                |
| 30         | 0,6363    | 5550                    | 0,3250                          | 480                 |                                           |                |                     |
| 20         | 0,6000    | 5375                    | 0,3575                          | 473                 |                                           |                |                     |

W pierwszym kroku, dokonano walidacji modelu w stanie ustalonym. W tej części wzięto pod uwagę: sprawność, wartość opałową, współczynnik nadmiaru powietrza, temperaturę syngazu oraz 5 składników gazu oczyszczonego. W drugiej części, przy doborze parametrów do pracy przy obciążeniu różnym od znamionowego, wykorzystano jedynie:

sprawność, temperaturę syngazu, wartość opałową oraz współczynnik nadmiaru powietrza. Brak jest dostępnych danych doświadczalnych dotyczących składu gazu przy obciążeniu innym od znamionowego. Jednakże, dzięki dopasowaniu składu syngazu przy obciążeniu znamionowym i wykorzystaniu opracowanego w ten sposób modelu w dalszych symulacjach, uzyskiwane są wiarygodne wyniki.

Dobór parametrów w modelu polegał na minimalizacji (wykorzystując algorytm genetyczny) średniego błędu względnego między danymi literaturowymi oraz wynikami symulacji. Wartość błędu obliczano według wzoru 2.

$$\delta_{sr} = \frac{\sum_1^n \frac{|X - X_{pom}|}{X_{pom}}}{n} \quad (2)$$

Gdzie,  $\delta_{sr}$  – średni błąd względny [-],  $X$  – wartość uzyskana w wyniku symulacji,  $X_{pom}$  – wartość literaturowa [130].

W pracy [130] dokonano eksperymentalnego zgazowania ścinek sosnowych. Z tego powodu, aby jak najlepiej dobrać parametry modelu, wykorzystano skład pierwiastkowy drewna sosnowego pochodzący z pracy [136]. W tabeli 12 przedstawiono dobrane parametry razem z średnim błędem pośrednim.

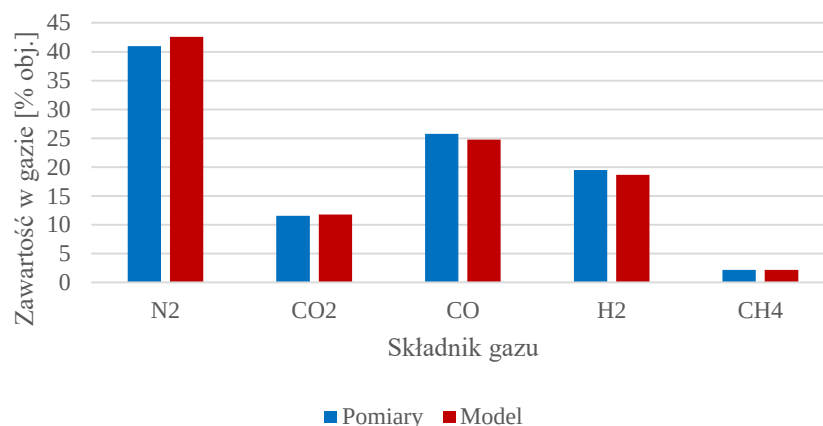
*Tabela 12. Parametry dobrane w modelu*

| Obc.       | CH <sub>4</sub> /C | H <sub>2</sub> S/S | NH <sub>3</sub> /N | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> /C | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> /C | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> /C | St <sub>zgaz</sub> | St <sub>COH<sub>2</sub>O</sub> | ΔQ/Q <sub>ch</sub> | O/C          | δ <sub>sr</sub> |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|-----------------|
| %          | -                  | -                  | -                  | -                                | -                                | -                                 | -                  | -                              | -                  | -            | -               |
| <b>100</b> | <b>0,05</b>        | <b>1</b>           | <b>0,034</b>       | <b>0,018</b>                     | <b>0,037</b>                     | <b>0,012</b>                      | <b>0,965</b>       | <b>0,658</b>                   | <b>0</b>           | <b>1,379</b> | <b>0,018</b>    |
| 90         | 0,072              | 0,573              | 0,041              | 0,019                            | 0,02                             | 0,003                             | 0,950              | 0,658                          | 0                  | 1,364        | 0,000           |
| 80         | 0,066              | 0,152              | 0,022              | 0,045                            | 0,012                            | 0,003                             | 0,949              | 0,658                          | 0                  | 1,361        | 0,002           |
| 70         | 0,062              | 0                  | 0,033              | 0,05                             | 0,004                            | 0,003                             | 0,959              | 0,658                          | 0                  | 1,366        | 0,001           |
| 60         | 0,029              | 0,282              | 0,032              | 0,07                             | 0                                | 0,001                             | 0,967              | 0,658                          | 0                  | 1,186        | 0,004           |
| 50         | 0,004              | 0,796              | 0,054              | 0,07                             | 0                                | 0,006                             | 1                  | 0,658                          | 0                  | 1,413        | 0,005           |
| 40         | 0                  | 0,885              | 0,093              | 0,027                            | 0,001                            | 0,02                              | 1                  | 0,658                          | 0,003              | 1,419        | 0,026           |
| 30         | 0                  | 0,975              | 0,087              | 0,001                            | 0,012                            | 0,051                             | 1                  | 0,658                          | 0,016              | 1,432        | 0,043           |
| 20         | 0                  | 0,985              | 0,067              | 0,001                            | 0,021                            | 0,074                             | 1                  | 0,658                          | 0,032              | 1,444        | 0,067           |

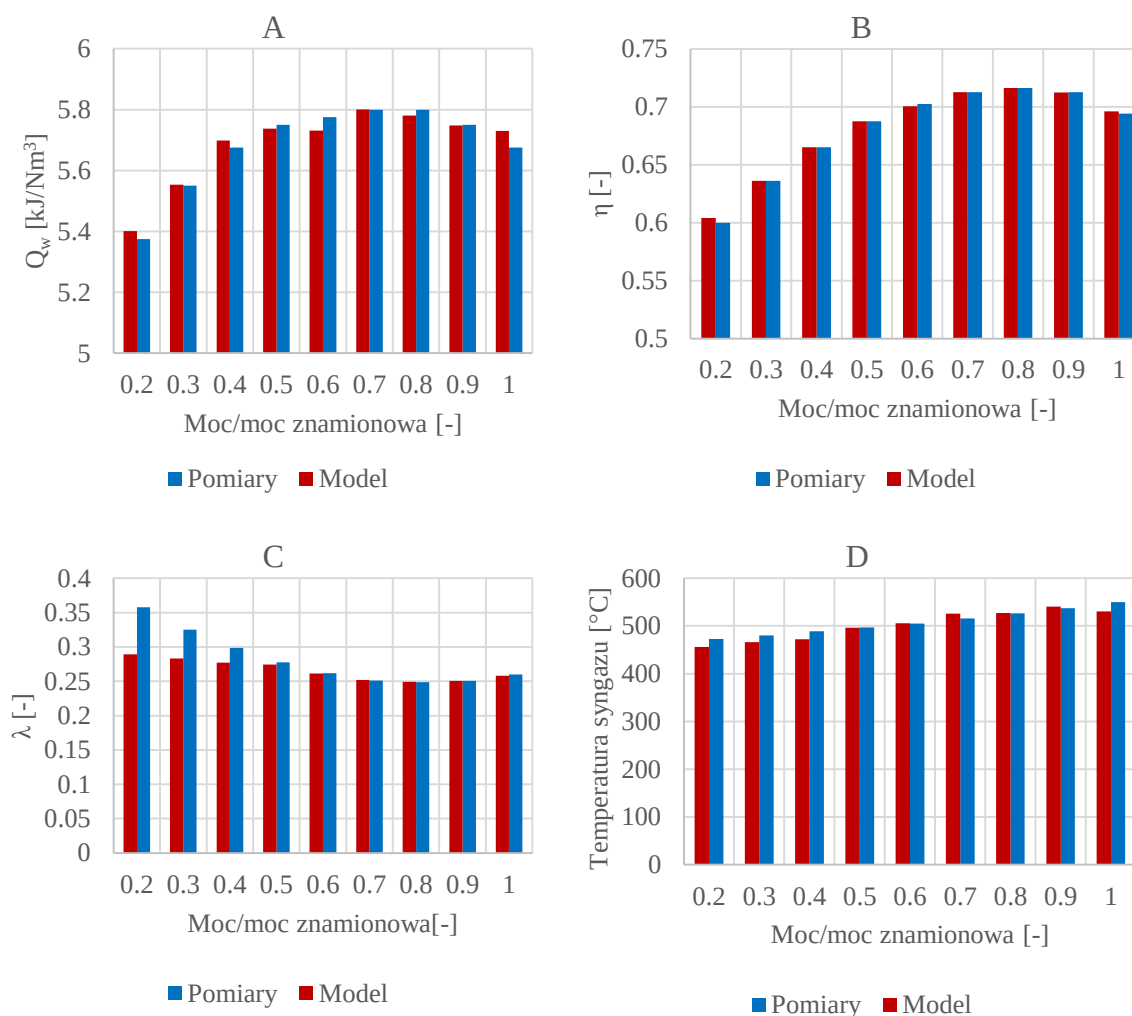
gdzie, Obc. – obciążenie, St<sub>zgaz</sub> – stopień zgazowania paliwa, St<sub>COH<sub>2</sub>O</sub> – stała reakcji konwersji tlenku węgla z parą wodną, ΔQ/Q<sub>ch</sub> – straty ciepła odniesione do energii chemicznej paliwa.

Wyniki wskazują na bardzo małe różnice między wartościami literaturowymi, a uzyskanymi w wyniku symulacji. W przypadku mocy znamionowej większy błąd wynika z uwzględnienia w równaniu błędu dodatkowo składu gazu. Przy obciążeniu 20-40% widać rosnący błąd co wynika z rozbieżności w wartościach współczynnika

nadmiaru powietrza. Uzyskane wyniki porównano z danymi literaturowymi i przedstawiono na rysunkach 11 i 12.

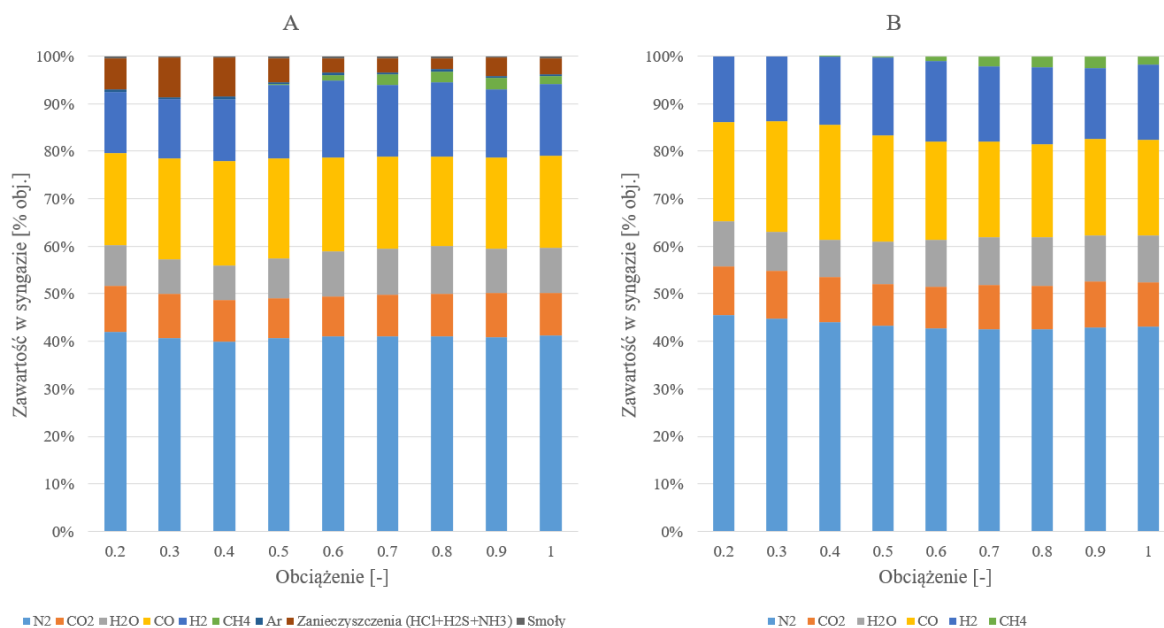


Rys. 11. Porównanie składu gazu oczyszczonego uzyskanego w modelu i wartości literaturowych dla obciążenia znamionowego

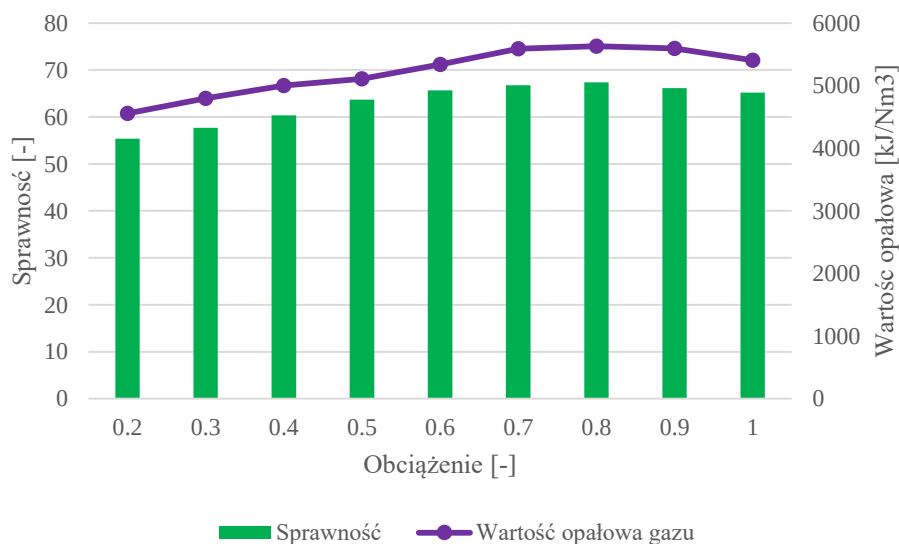


Rys. 12. Porównanie wartości uzyskanych w modelu i wartości literaturowych: A) wartości opalowej syngazu, B) sprawności procesu zgazowania, C) współczynnika nadmiaru powietrza, D) temperatury syngazu na wyjściu ze zgazowarki.

Następnie dokonano symulacji w celu wyznaczenia składu i kaloryczności syngazu oraz sprawności zgazowania pre-RDF. W tym celu jako paliwo wykorzystano odpady o składzie przedstawionym w tabeli 3. Wyniki przedstawiono na wykresach 13 i 14.



Rys. 13. Skład syngazu przy zmiennym obciążeniu i zgazowaniu odpadów: A) syngaz surowy, B) syngaz oczyszczony.



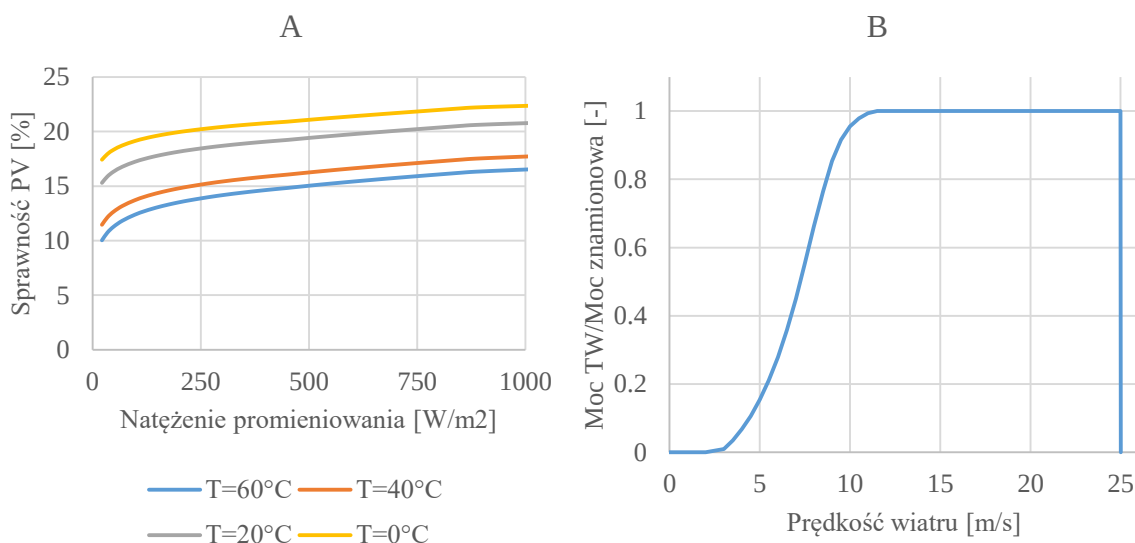
Rys. 14. Sprawność zgazowania i wartość opałowa syngazu przy zmiennym obciążeniu i zgazowaniu odpadów.

Zgazowanie pre-RDF przebiega przy sprawności od około 55% do 68%. Najwyższa wartość osiągana jest przy obciążeniu wynoszącym 70-80% obciążenia znamionowego. Najmniej sprawne jest przekształcanie odpadów przy obciążeniu równym 20% mocy

znamionowej. Analogicznie wygląda charakterystyka wartości opałowej syngazu. Przy 20% mocy znamionowej kaloryczność gazu wynosi około  $4,5 \text{ MJ/Nm}^3$ . Przy 80% mocy znamionowej wynosi już  $5,5 \text{ MJ/Nm}^3$ . Jest to związane ze zmianą składu gazu. Ze względu na rosnący współczynnik nadmiaru powietrza, w obszarze mniejszych mocy widoczna jest zwiększona zawartość niepalnego azotu. Dodatkowo maleje zawartość metanu i wodoru w syngazie oczyszczonym. W przypadku pracy przy małym obciążeniu wzrasta również zawartość zanieczyszczeń takich jak amoniak, chlorowodór czy siarkowodór.

#### 4.5. Modele pozostałych źródeł i magazynu energii elektrycznej

Modele źródeł energii elektrycznej oparto na charakterystykach rzeczywistych urządzeń. Agregat gazowy zamodelowany został na bazie charakterystyk eksploatacyjnych silnika CG 132B-12. Ze względu na wykorzystanie niskokalorycznego gazu, sprawność znamionowa wynosi 35%. W przypadku paneli PV wykorzystano model JAM66S30-500/MR, a w przypadku turbiny wiatrowej GE 2.5–120. Charakterystyki pracy urządzeń przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Charakterystyki: A) paneli PV, B) turbin wiatrowych.

Różnica między poszczególnymi przebiegami charakterystyk sprawności paneli PV przedstawionymi na rysunku 15A wynikają z wpływu temperatury panelu na jego pracę. Na podstawie kart katalogowych przyjęto współczynnik zmiany napięcia względem temperatury wynoszący  $-0,275 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$  i współczynnik zmiany natężenia względem temperatury panelu równy  $0,045 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ . Efektem tego jest ujemny temperaturowy współczynnik mocy.

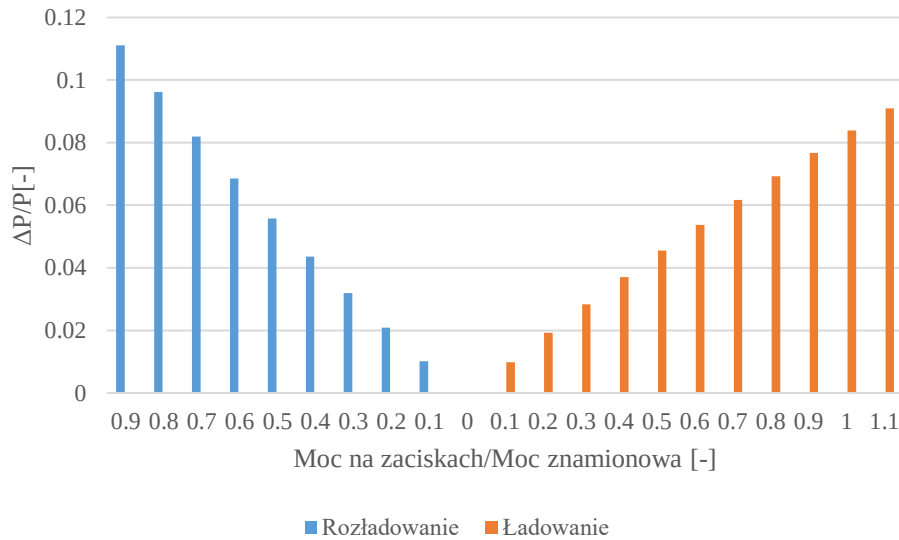


Rysunek 15B przedstawia charakterystykę stosunku mocy do mocy maksymalnej. Niezależnie od przyjętej wartości mocy znamionowej turbin wiatrowych, charakterystyki stosunku mocy w funkcji prędkości wiatru do mocy znamionowej pozostają takie same.

Zamodelowany magazyn charakteryzuje się następującymi parametrami:

- Wartość  $C\text{-rate}$  równa 0,5 A/Ah,
- Napięcie pojedynczej baterii równe 10 V,
- Pojemność pojedynczej baterii równa 100 Ah,
- Rezystancja wewnętrzna baterii równa 0,02  $\Omega$ ,
- Zakres pracy magazynu 10%-100% pojemności.

Na tej podstawie utworzono charakterystykę strat na ładowaniu i rozładowaniu magazynu w zależności od mocy na zaciskach BME. Zaprezentowano ją na rysunku 16.



Rys. 16. Charakterystyka strat przy ładowaniu i rozładowywaniu magazynu energii.

#### 4.6. Metodologia wyznaczania wskaźników energetycznych

Na podstawie wyników symulacji wyznaczono wskaźniki energetyczne. W ramach tego etapu obliczono wartość generowanej energii elektrycznej, czas wykorzystania mocy przyłączeniowej, zużycie odpadów, sprawności oraz nadwyżkę generacji w OZE nad moc przyłączeniową. Jako pierwsze, obliczane są roczne generacje energii elektrycznej w poszczególnych źródłach według wzorów 3-6 oraz całkowitą generacją według wzoru 7.

$$E_{PV} = \sum_{o=1}^{52560} (P_{PV}^o - P_{nad}^o \frac{P_{PV}^o}{P_{PV}^o + P_{TW}^o}) \Delta t \quad (3)$$

$$E_{TW} = \sum_{o=1}^{52560} (P_{TW}^o - P_{nad}^o \frac{P_{WT}^o}{P_{PV}^o + P_{TW}^o}) \Delta t \quad (4)$$

$$E_{BME}^r = \sum_{o=1}^{52560} P_{BME}^{r,o} \Delta t \quad (5)$$

$$E_{ICE} = \sum_{o=1}^{52560} P_{ICE}^o \cdot \Delta t \quad (6)$$

$$E_{HIOZE} = E_{PV} + E_{WT} + E_{BME}^r + E_{ICE} \quad (7)$$

Gdzie,  $E_{PV}$  – roczna generacja energii w PV [MWh],  $o$  – analizowany okres, 52560 – liczba 10-minutowych okresów w ciągu roku,  $P_{PV}^o$  – moc PV w okresie  $o$  [MW],  $P_{nad}^o$  – nadwyżka mocy OZE nad moc przyłączeniową i moc ładowania magazynu w okresie  $o$  [MW],  $P_{TW}^o$  – moc turbin wiatrowych w okresie  $o$  [MW],  $E_{TW}$  – roczna generacja energii w turbinach wiatrowych [MWh],  $E_{BME}^r$  – roczna energia elektryczna pochodząca z rozładowywania BME [MWh],  $P_{BME}^{r,o}$  – moc rozładowania BME w okresie  $o$  [MW];  $E_{ICE}$  – roczna generacja energii elektrycznej w agregacie silnikowym [MW],  $P_{ICE}^o$  – moc silnika gazowego w okresie  $t$  [MW],  $E_{HIOZE}$  – roczna generacja energii w instalacji hybrydowej [MWh]  $\Delta t$  – długość pojedynczego okresu [h].

Następnie wyznaczono czas wykorzystania mocy przyłączeniowej (wzór 8), udział energii przekazanej poprzez magazyn w całkowitej wartości energii przesyłanej do systemu elektroenergetycznego (wzór 9) oraz wartość ograniczanej generacji energii elektrycznej (wzór 10) wynikającą z przekroczenia mocy przyłączeniowej w poszczególnych okresach (wzór 11).

$$T_{wyk} = \frac{E_{HIOZE}}{P_{PRZYŁ}} \quad (8)$$

$$\sigma_{MAG} = \frac{E_{BME}^r}{E_{HIOZE}} 100\% \quad (9)$$

$$E_{nad} = \sum_{o=1}^{52560} P_{nad}^o \cdot \Delta t \quad (10)$$

$$P_{nad}^o = \begin{cases} 0 & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o) \leq P_{PRZYŁ} + P_{BME}^{l,o} \\ P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o - P_{PRZYŁ} - P_{BME}^{l,o} & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o) > P_{PRZYŁ} + P_{BME}^{l,o} \end{cases} \quad (11)$$

Gdzie,  $T_{wyk}$  – czas wykorzystania mocy przyłączeniowej [h],  $P_{PRZYŁ}$  – moc przyłączeniowa [MW],  $E_{nad}$  – roczna wartość ograniczanej generacji energii elektrycznej [MWh],  $P_{BME}^{l,o}$  – moc ładowania BME w okresie  $o$  [MW],  $\sigma_{MAG}$  – udział energii przekazanej

poprzez BME w całkowitej wartości energii przesyłanej do systemu elektroenergetycznego [%].

W kolejnym kroku wyznaczono zużycie paliwa (wzór 12) oraz średnioroczne wartości sprawności: zgazowarki (wzór 13), silnika gazowego (wzór 14) oraz całego układu zgazowarka – silnik gazowy (wzór 15).

$$B_{OK} = \sum_{o=1}^{52560} B_{OK}^o \Delta t \quad (12)$$

$$\eta_{ZOK} = \frac{\sum_{o=1}^{52560} \dot{V}_S^o \cdot Q_{w,s}^o}{\sum_{o=1}^{52560} B_{OK}^o \cdot Q_{w,OK}^o} \quad (13)$$

$$\eta_{ICE} = \frac{\sum_{o=1}^{52560} P_{ICE}^o}{\sum_{o=1}^{52560} \dot{V}_S^o \cdot Q_{w,s}^o} \quad (14)$$

$$\eta_{Z-S} = \frac{\sum_{o=1}^{52560} P_{ICE}^o}{\sum_{o=1}^{52560} B_{OK}^o \cdot Q_{w,OK}^o} \quad (15)$$

Gdzie,  $B_{OK}$  – roczne zużycie odpadów [kg],  $B_{OK}^o$  – strumień masy odpadów w okresie o [kg/h],  $\eta_{ZOK}$  – średnioroczna sprawność zgazowarki odpadów komunalnych [-],  $\dot{V}_S^o$  – strumień objętości syngazu w okresie o [Nm<sup>3</sup>/s],  $Q_{w,s}^o$  – wartość opałowa syngazu w okresie o [MJ/Nm<sup>3</sup>],  $Q_{w,OK}^o$  – wartość opałowa odpadów w okresie o [MJ/kg],  $\eta_{ICE}$  – średnioroczna sprawność silnika gazowego [-],  $\eta_{Z-S}$  – średnioroczna sprawność układu zgazowarka-silnik gazowy [-].

Wszystkie powyższe równania dotyczą analizy HIOZE A. Ze względu na obecność dodatkowego odbiorcy energii, w układzie HIOZE B, konieczna jest modyfikacja części równań. Energia wygenerowana w źródłach fotowoltaicznych obliczana jest według wzoru 3, w źródłach wiatrowych według wzoru 4, oddana z BME według wzoru 5, a wygenerowana w agregacie silnikowym według wzoru 6. Całkowita generacja w HIOZE B obliczana jest według wzoru 7. Wartość ograniczanej generacji energii elektrycznej wynikającą z przekroczenia mocy przyłączeniowej w poszczególnych okresach (wzór 17) wyznaczana jest na podstawie wzoru 10. Zużycie paliwa oraz średnioroczne sprawności: zgazowarki odpadów komunalnych, agregatu silnikowego i układu zgazowarka-silnik wyznaczane są przy wykorzystaniu wzorów kolejno: 12, 13, 14 i 15.

Pozostałe wartości wyznaczane są według poniższych wzorów. Czas wykorzystania przyłączeniowej obliczany jest według wzoru 16. Moc i energia elektryczna sprzedawana bezpośrednio do systemu elektroenergetycznego wyznaczane są przy pomocy wzorów 18

oraz 19, a energia elektryczna zasilająca odbiorcę według wzoru 20. Udział energii elektrycznej przekazywanej przez magazyn w energii transferowanej z HIOZE do systemu elektroenergetycznego obliczany jest według wzoru 21, a równanie 22 służy do wyznaczenia mocy rozładowania magazynu w celu sprzedaży do systemu elektroenergetycznego.

$$T_{wyk} = \frac{E_{SYS}}{P_{PRZYŁ}} \quad (16)$$

$$P_{nad}^o = \begin{cases} 0 & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o) > P_{PRZYŁ} + P_{ODB}^o + P_{BME}^{l,o} \\ P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o - P_{PRZYŁ} - P_{BME}^{l,o} & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o) > P_{PRZYŁ} + P_{ODB}^o + P_{BME}^{l,o} \end{cases} \quad (17)$$

$$P_{SYS}^o = \begin{cases} 0 & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o + P_{BME}^{r,o}) \leq P_{ODB}^o \\ P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o + P_{BME}^{r,o} - P_{BME}^{l,o} - P_{ODB}^o - P_{nad}^o & \text{dla } (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o + P_{BME}^{r,o}) > P_{ODB}^o \end{cases} \quad (18)$$

$$E_{SYS} = \sum_{o=1}^{52560} P_{SYS}^o \Delta t \quad (19)$$

$$E_{ODB} = \sum_{o=1}^{52560} (P_{PV}^o + P_{WT}^o + P_{ICE}^o + P_{BME}^{r,o} - P_{BME}^{l,o} - P_{SYS}^o - P_{nad}^o) \Delta t \quad (20)$$

$$\sigma_{MAG} = \frac{\sum_{o=1}^{52560} P_{BME}^{r,o,SYS} \Delta t}{E_{SYS}} 100\% \quad (21)$$

$$P_{BME}^{r,o,SYS} = \begin{cases} 0 & \text{dla } P_{BME}^{r,o} = 0 \vee P_{SYS}^o = 0 \\ P_{SYS}^o & \text{dla } P_{BME}^{r,o} > 0 \wedge P_{SYS}^o < P_{BME}^{r,o} \\ P_{BME}^{r,o} & \text{dla } P_{BME}^{r,o} > 0 \wedge P_{SYS}^o \geq P_{BME}^{r,o} \end{cases} \quad (22)$$

Gdzie,  $E_{SYS}$  – energia elektryczna z HIOZE sprzedawana do systemu elektroenergetycznego [MWh],  $P_{ODB}^o$  – zapotrzebowanie odbiorcy na moc w okresie o [MW],  $P_{SYS}^o$  – moc HIOZE na przyłączy do systemu elektroenergetycznego w okresie o [MW],  $E_{ODB}$  – energia elektryczna z HIOZE zasilająca odbiorcę przemysłowego [MWh],  $P_{BME}^{r,o,SYS}$  – moc z BME trafiająca do systemu elektroenergetycznego [MW].

#### 4.7. Metodologia wyznaczania wskaźników ekonomicznych

W kolejnym etapie wyznaczono wartości wskaźników ekonomicznych instalacji. W tym celu obliczono całkowite nakłady inwestycyjne (CAPEX) według wzoru 23 oraz roczne koszty eksploatacyjne (OPEX) według wzoru 24. Na podstawie tych parametrów oraz generacji energii w HIOZE wyznaczano jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej (LCOE) według wzoru 25.

$$CAPEX = \sum_{t=0}^N (K_{in\_PV}^t + K_{in\_TW}^t + K_{in\_BME}^t + K_{in\_ZOK}^t + K_{in\_ICE}^t + K_{in\_IOG}^t + K_{in\_poz}^t)(1+r)^{-t} \quad (23)$$

$$OPEX_t = (K_{e\_PV}^t + K_{e\_TW}^t + K_{e\_BME}^t + K_{e\_ZOK}^t + K_{e\_ICE}^t + K_{e\_IOG}^t + k_{CO2}M_{CO2} - k_{OK}B_{OK})(1+r)^{-t} \quad (24)$$

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^N OPEX_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^N E_{HIOZE}(1+r)^{-t}} \quad (25)$$

gdzie,  $CAPEX$  – całkowite koszty inwestycyjne [PLN],  $K_{in\_PV}^t$  – koszty inwestycyjne instalacji PV w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_TW}^t$  – koszty inwestycyjne turbin wiatrowych w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_BME}^t$  – koszty inwestycyjne BME w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_ZOK}^t$  – koszty inwestycyjne instalacji zgazowania w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_ICE}^t$  – koszty inwestycyjne silnika w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_IOG}^t$  – koszty inwestycyjne instalacji oczyszczania gazu w roku  $t$  [PLN],  $K_{in\_poz}^t$  – pozostałe koszty inwestycyjne instalacji zgazowanie – silnik gazowy (w tym koszty pośrednie, budowy, projektu itp.) [PLN],  $OPEX_t$  – całkowite koszty eksploatacyjne w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_PV}^t$  – koszty eksploatacyjne instalacji PV w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_WT}^t$  – koszty eksploatacyjne turbin wiatrowych w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_BME}^t$  – koszty eksploatacyjne BME w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_ZOK}^t$  – koszty eksploatacyjne instalacji zgazowania w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_ICE}^t$  – koszty eksploatacyjne silnika w roku  $t$  [PLN],  $K_{e\_IOG}^t$  – koszty eksploatacyjne instalacji oczyszczania gazu w roku  $t$  [PLN],  $r$  – stopa dyskonta [-],  $t$  – analizowany rok,  $LCOE$  – jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej [PLN/MWh],  $k_{CO2}$  – koszt uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> [PLN/t],  $M_{CO2}$  – roczna emisja CO<sub>2</sub> [t],  $k_{OK}$  – koszt odpadów „na bramie” [PLN/t].

Koszty poszczególnych elementów układu przyjęto na bazie badań literaturowych. Równania kosztów przedstawiono w tabeli 13.

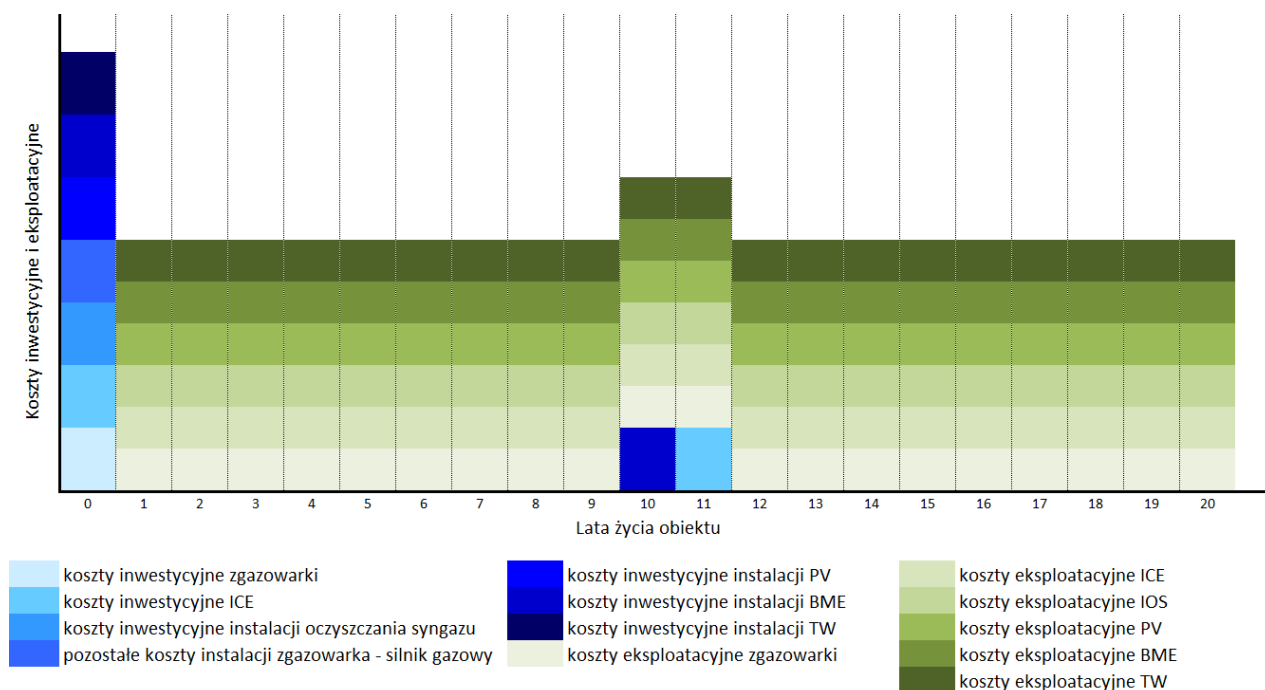
W każdym z rozwiązań przyjęto, że proces inwestycji trwa 1 rok, a eksploatacja 20 lat. Dodatkowo, ze względu na fakt, że zarówno silnik jak i BME mają krótszy czas życia niż 20 lat, założono, że w okresie eksploatacji dojdzie do wymiany tych elementów. W efekcie przykładowy rozkład kosztów w ciągu roku będzie analogiczny do przedstawionego na rysunku 17.

Tabela 13. Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne pojedynczych elementów układu

| Element układu                                              | Koszty inwestycyjne                                                          | Koszty eksploatacyjne                                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                             | Równania                                                                     | Równania                                                 |
| Zgazowarka* [137]                                           | $K_{in\_zgaz}^t = 4750 \cdot P_{nom}$                                        | $K_{e\_zgaz}^t = 5\% K_{in\_zgaz}^t$                     |
| Instalacja oczyszczania syngazu [138]                       | $K_{in\_ios}^t = 92 \cdot \frac{B_{OK}}{1000} \cdot kurs$                    | $K_{e\_ios}^t = 13 \cdot \frac{B_{OK}}{1000} \cdot kurs$ |
| ICE [90]                                                    | $K_{in\_ICE}^t = 2595 \cdot P_{nom\_ICE}^{-0.2857} \cdot P_{ICE} \cdot kurs$ | $K_{e\_ICE}^t = 0.011 \cdot E_{ICE} \cdot kurs$          |
| Pozostałe koszty instalacji zgazowania – silnik gazowy [90] | $K_{in\_poz}^t = \frac{60.49}{24.9} K_{in\_zgaz}^t$                          | -                                                        |
| PV [139]                                                    | $K_{in\_PV}^t = 700 \cdot P_{PV} \cdot kurs$                                 | $K_{e\_PV}^t = 7,9 \cdot P_{PV} \cdot kurs$              |
| TW [139]                                                    | $K_{in\_TW}^t = 1583 \cdot P_{TW} \cdot kurs$                                | $K_{e\_TW}^t = 37,6 \cdot P_{TW} \cdot kurs$             |
| BME [140]                                                   | $K_{in\_BME}^t = 1735.031 \cdot P_{BME} \cdot kurs$                          | $K_{e\_BME}^t = 41.809 \cdot P_{BME} \cdot kurs$         |

\* Koszty inwestycyjne zgazowarki przyjęto na poziomie 4,750 PLN/kW na podstawie artykułów [141–144] (w których koszt zgazowarki jest w zakresie 4,350 – 4,933 PLN/kW).

Gdzie,  $P_{ICE}$  – moc znamionowa ICE [kW],  $kurs$  – kurs przeliczeniowy walut [EUR/PLN],  $P_{PV}$  - moc znamionowa PV [kW],  $P_{TW}$  - moc znamionowa turbin wiatrowych [kW],  $P_{BME}$  - moc znamionowa BME [kW].



Rys. 17. Przykładowy rozkład kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na przestrzeni lat życia obiektu (wielkość kolorowych obszarów nie odzwierciedla skali rzeczywistych kosztów).

Wartości pozostałych parametrów niezbędnych w analizie ekonomicznej przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Wejściowe parametry ekonomiczne

| Parametr                                                                | Wartość | Jednostka |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|
| Stopa dyskonta                                                          | 4,35    | %         |
| Cena zakupu energii elektrycznej przez przedsiębiorstwo $C_{ODB}$ [145] | 502,20  | PLN/MWh   |
| Koszt uprawnień do emisji CO <sub>2</sub> [146]                         | 277.21  | PLN/t     |
| Część odpadów uznawana za odnawialną                                    | 42      | %         |
| Czas inwestycji                                                         | 1       | Rok       |
| Czas eksploatacji                                                       | 20      | Lat       |
| Czas życia BME                                                          | 10      | Lat       |
| Czas życia ICE                                                          | 60000   | h         |
| Koszt odpadów “na bramie”                                               | 350     | PLN/t     |
| Kurs euro                                                               | 4.25    | PLN/EUR   |
| Kurs dolara                                                             | 3.75    | PLN/USD   |

W analizie założono, że układ będzie włączony w system EU ETS, a zatem ponosi dodatkowe koszty emisji CO<sub>2</sub>. O ile dotychczas instalacje przetwarzające odpady zwolnione są z tego obciążenia, tak wewnątrz Unii Europejskiej trwają prace nad włączeniem ITPO w EU ETS [147]. Ze względu na fakt, że część pre-RDF podlega biodegradacji (i w efekcie uznawana jest za odnawialną), objęta opłatami będzie emisja jedynie z pozostałych frakcji.

Maksymalna cena energii elektrycznej sprzedawanej do systemu w ramach HIOZE jest określana przez przepisy prawne (wzór 26) [73]. Przyjęto, że cena maksymalna będzie uwzględniana jako cena sprzedaży energii elektrycznej w dalszych analizach. W celu zobrazowania opłacalności instalacji, wyznaczono zysk lub stratę na pojedynczej jednostce energii. Obliczoną je jako różnicę między:

- ceną ustawową a LCOE – HIOZE A (wzór 27),
- średnią ważoną ceny ustawowej oraz ceny zakupu przez przedsiębiorstwo a LCOE – HIOZE B (wzór 28).

Cenę energii kupowaną przez przedsiębiorstwo oszacowano na podstawie wartości kontraktu terminowego zawieranego na Towarowej Giełdzie Energii. Wartość BASE\_Y\_26 – czyli ceny rocznego kontraktu na energię elektryczną wynosiła od 397 PLN/MWh do 675 PLN/MWh ze średnią 502,20 PLN/MWh [145].

$$C_{ust} = \frac{\sum_{i=1}^m C_{ref}^i \cdot e_{ref}^i \cdot P_{nom}^i}{\sum_{i=1}^m e_{ref}^i \cdot P_{nom}^i} \quad (26)$$

$$\Delta C = C_{ust} - LCOE \quad (27)$$

$$\Delta C = \frac{C_{ust}E_{SYS} + C_{ODB}E_{ODB}}{E_{SYS} + E_{ODB}} - LCOE \quad (28)$$

Gdzie,  $C_{ust}$  – cena ustawowa [PLN/MWh],  $C_{ref}^i$  – cena referencyjna energii elektrycznej w i-tym źródle [PLN/MWh],  $e_{ref}^i$  – referencyjna jednostkowa generacja energii elektrycznej dla i-tego źródła [MWh/MW],  $P_{nom}^i$  – moc znamionowa i-tego źródła [MW],  $\Delta C$  – różnica między kosztami produkcji, a cenami sprzedaży energii elektrycznej [PLN/MWh].

Dzięki takiemu podejściu, wyznaczana jest maksymalna wartość zysku (dodatnia wartość  $\Delta C$ ) na każdej wygenerowanej jednostce energii elektrycznej.

#### 4.8. Metodologia wyznaczania wskaźników środowiskowych

Opracowany model służy również do wyznaczenia wskaźników środowiskowych. Oddziaływanie instalacji na środowisko odbywa się przez emisję CO<sub>2</sub> oraz przez utylizację frakcji energetycznych odpadów komunalnych. Przy ocenianiu wpływu na środowisko wyznaczono trzy parametry. Pierwszym jest jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> liczony według wzoru 29, a drugim roczna masa utylizowanych frakcji energetycznych odpadów (wzór 12). Na podstawie tego drugiego parametru obliczono również różnicę między odpadami dostępnymi lokalnie, a ich wykorzystaniem (wzór 30).

$$Ef_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^{52560} 600 \cdot M_{CO_2}^i}{E_{HIOZE}} \quad (29)$$

$$\Delta B = \left| B_{OK}^{lok} - \frac{B_{OK}}{1000} \right| \quad (30)$$

Gdzie,  $Ef_{CO_2}$  – wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> [kg/MWh],  $M_{CO_2}^i$  – strumień masy CO<sub>2</sub> w okresie i [kg/s],  $\Delta B$  – różnica między masą frakcji palnej odpadów dostępną lokalnie, a jej wykorzystaniem [t],  $B_{OK}^{lok}$  – roczna masa frakcji palnej odpadów dostępna lokalnie [t].

Jak opisano w podrozdziale 5.3. dostępna lokalnie (w ramach jednego powiatu) roczna masa pre-RDF wynosi 5280,47 ton. Zarówno przekroczenie tej wartości (skutkujące koniecznością dostarczenia odpadów z zewnątrz) jak i mniejsze zużycie nie jest korzystne (skutkiem jest niecałkowite zamknięcie systemu gospodarki odpadami). Z tego powodu, różnica przedstawiona równaniem 30 jest wartością bezwzględną, gdzie najkorzystniejszą wartością jest 0 t.



#### 4.9. Metodologia analiz wielokryterialnych

W pracy wykorzystano metodę TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Bazuje ona na kryterium syntetycznym wyznaczanym przez agregację wartości kryteriów poszczególnych wariantów decyzyjnych. Pozwala na stworzenie rankingu preferencji analizowanych wariantów [148]. Wyznaczane są warianty: idealny (PIS – Positive Ideal Solution) oraz antyidealny (NIS – Negative Ideal Solution). Następnie obliczane są odległości analizowanych scenariuszy od obu skrajnych wariantów. Na tej podstawie wyznacza się wartość syntetycznego wskaźnika oceny (jak najmniejsza odległość od PIS i jak największa od NIS [149]), który umożliwia stworzenia rankingu porównawczego wszystkich scenariuszy i wybór najkorzystniejszego.

Metoda TOPSIS jest jedną z najpopularniejszych metod analizy wielokryterialnej. Jest stosowana w różnych gałęziach przemysłu takich jak: logistyka, projektowanie, produkcja, zarządzanie zasobami ludzkimi, ochrona zdrowia, przemysł chemiczny oraz, co istotne w kontekście pracy, w energetyce [150]. W zakresie energetyki dotychczas wykorzystywano metodę między innymi do:

- Doboru technologii elektrowni [150] w tym konwencjonalnych, odnawialnych czy hybrydowych [151],
- Zarządzania mocą bierną oraz wyboru technologii jej kompensacji [150],
- Oceny firm z sektora węglowego [150],
- Analiz ekonomiczno-środowiskowych [150],
- Planowaniu dekarbonizacji energetyki [152],
- Oceny polityki energetycznej [151],
- Wybór odpowiednich lokalizacji źródeł wytwórczych [153].

TOPSIS ma wiele zalet. Cechy, które zadecydowały o zastosowaniu tej metody w analizie to:

- Metoda jest bardzo znana, ze względu na fakt, że jest w użyciu od 1981 roku [148]. W efekcie, zaproponowana metodologia może być stosunkowo prosto przeniesiona do rozwiązań przemysłowych,
- Łatwość w wykorzystaniu wskaźników liczbowych [152],
- Możliwość uwzględnienia w analizie kryteriów współzależnych [152],
- Prostota obliczeń i wynikająca z niej szybkość działania, co jest istotne przy analizie wielu rozwiązań [153],

- Możliwość jednoczesnego wykorzystania kryteriów typu zysk (stymulanty) – im większa wartość tym jest korzystniejsza, oraz typu strata (destymulanty) – im mniejsza wartość tym jest korzystniejsza [148,154],
- Dowolność liczby kryteriów.

Tak jak wszystkie pozostałe metody analizy wielokryterialnej, TOPSIS posiada również wady. Jednakże, ze względu na czas od powstania metody, była ona wielokrotnie modyfikowana w celu minimalizacji wpływu wad na wyniki. Wśród najpopularniejszych modyfikacji są zmiany metod normalizacji wyników oraz wyznaczania odległości od wariantów PIS i NIS.

Zastosowaną w pracy metodę można podzielić na kilka etapów [148,154]:

1. Wybór parametrów decyzyjnych.
2. Wyznaczenie wartości parametrów według wzorów opisanych w poprzednich podrozdziałach i stworzenie macierzy decyzyjnej  $D=[d_{ij}]$ .
3. Wyznaczenie wektora wag  $W = [w_1, \dots, w_n]$ ,
4. Standaryzacja macierzy decyzyjnej  $Z = [z_{ij}]$  według wzoru 31 (wykorzystując średnią  $\bar{d}$  oraz odchylenie standardowe  $\sigma$ ).

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{d_{ij} - \bar{d}}{\sigma} \text{ dla kryteriów typu zysk} \\ \frac{\bar{d} - d_{ij}}{\sigma} \text{ dla kryteriów typu strata} \end{cases} \quad (31)$$

5. Wyznaczenie znormalizowanej ważonej macierzy decyzyjnej  $V=[v_{ij}]_{mn}$  na podstawie macierzy  $z_{ij}$  oraz wektora  $W$  (wzór 32)

$$v_{ij} = w_j z_{ij} \quad (32)$$

6. Na podstawie macierzy  $V$  wyznaczenie wariantu idealnego  $PIS=[v_1^+, \dots, v_n^+]$  (wzór 33) oraz antyidealnego  $NIS=[v_1^-, \dots, v_n^-]$  (wzór 34)

$$v_j^+ = \begin{cases} \max v_{ij} \text{ dla kryteriów typu zysk} \\ \min v_{ij} \text{ dla kryteriów typu strata} \end{cases} \quad (33)$$

$$v_j^- = \begin{cases} \min v_{ij} \text{ dla kryteriów typu zysk} \\ \max v_{ij} \text{ dla kryteriów typu strata} \end{cases} \quad (34)$$

7. Obliczenie odległości  $i$ -tego wariantu od PIS (wzór 35) oraz NIS (wzór 36).

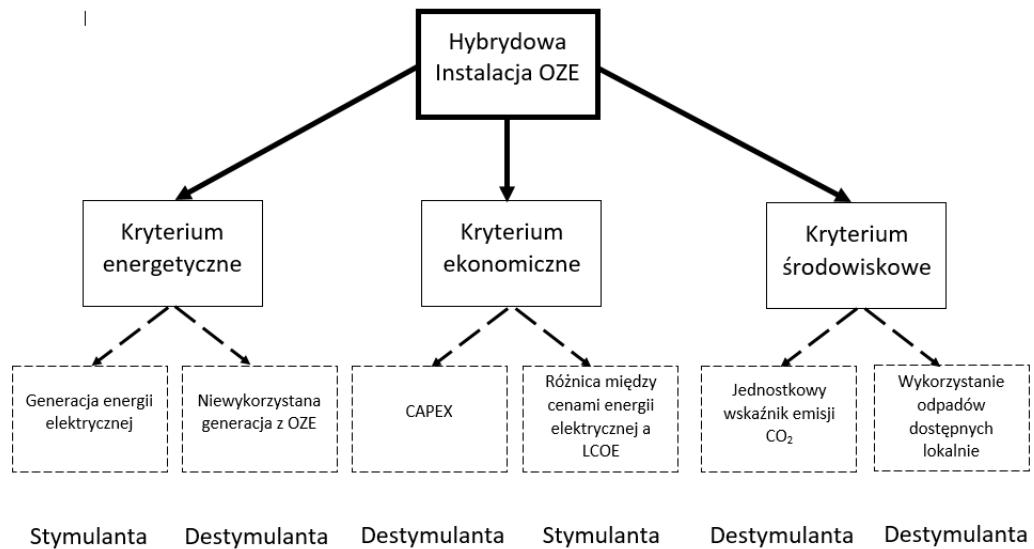
$$o_i^+ = \sum_{j=1}^n \sqrt{(v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (35)$$

$$o_i^- = \sum_{j=1}^n \sqrt{(v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (36)$$

#### 8. Wyznaczenie miernika syntetycznego

$$T = \frac{o_i^-}{o_i^+ + o_i^-} \quad (37)$$

Do przeprowadzenia analizy wielokryterialnej HIOZE postanowiono wykorzystać trzy kategorie kryteriów decyzyjnych: energetyczne, ekonomiczne i środowiskowe. Dzięki temu możliwe jest holistyczna analiza takiej instalacji z punktu widzenia inwestora. Wewnątrz tych kategorii zdecydowano się przyjąć po dwa wskaźniki. Schemat przedstawiono na rysunku 18.



Rysunek 18. Schemat analizy wielokryterialnej

Wykorzystane w analizie wskaźniki można podzielić na stymulanty – im wyższa wartość tym jest korzystniejsza, oraz destymulanty – im niższa wartość tym jest korzystniejsza.

W tabeli 15 scharakteryzowano krótko wybrane wskaźniki.

Tabela 15. Charakterystyka wskaźników

| Numer wskaźnika | Wskaźnik                                                                  | Kategoria    | Znaczenie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K1              | Generacja energii elektrycznej                                            | Stymulanta   | Im większa sprzedaż energii do systemu oraz (w HIOZE B) większe pokrycie zapotrzebowania odbiorcy przemysłowego tym korzystniejszy jest badany układ.                                                                                                                                                                                                            |
| K2              | Niewykorzystana generacja z OZE                                           | Destymulanta | Wskaźnik określa generację z niesterowalnych OZE, która musi zostać ograniczona ze względu na przekroczenie mocy przyłączeniowej. Im wyższa wartość tym więcej wyprodukowanej energii jest ograniczane, a w efekcie mniej opłacalne jest grupowanie źródeł w ramach HIOZE.                                                                                       |
| K3              | CAPEX                                                                     | Destymulanta | Im niższa wartość nakładów inwestycyjnych tym lepiej. Wyższe nakłady powodują ograniczenie możliwości inwestycyjnych jedynie do podmiotów dysponujących odpowiednimi środkami lub posiadającymi możliwość do zaciągnięcia odpowiednio wysokich kredytów.                                                                                                         |
| K4              | Różnica między cenami energii elektrycznej a LCOE                         | Stymulanta   | Wartości dodatnie wskaźnika obrazują, że układ przynosi zyski. Im wyższa wartość tym wyższy zysk na każdej wyprodukowanej w HIOZE jednostce energii elektrycznej.                                                                                                                                                                                                |
| K5              | Jednostkowy wskaźnik emisji CO <sub>2</sub>                               | Destymulanta | W dobie dekarbonizacji, redukcja emisji CO <sub>2</sub> jest kluczowa. Wskaźnik obrazuje średnią masę CO <sub>2</sub> wyemitowaną z przetwarzania pre-RDF w odniesieniu do każdej wyprodukowanej w HIOZE jednostki energii elektrycznej.                                                                                                                         |
| K6              | Wartość bezwzględna różnicy między lokalnym pre-RDF a jego wykorzystaniem | Destymulanta | Parametr określa stopień wykorzystania dostępnej lokalnie frakcji energetycznej odpadów komunalnych. Najkorzystniejsze jest całkowite wykorzystanie – a w efekcie domknięcie systemu gospodarki odpadami. Wykorzystanie większej ilości odpadów niż dostępna lokalnie również nie jest korzystne ze względu na konieczność dostarczenia ich z dalszych obszarów. |

Celem analiz jest zarówno wybór najkorzystniejszych rozwiązań w świetle danych kryteriów jak i zbadanie wpływu wag poszczególnych kryteriów na wyniki. W efekcie, zarówno w HIOZE A jak i HIOZE B, przeprowadzono analizy dla 42 wariantów rozkładu wag na poszczególne kryteria. Przedstawiono je w tabeli 16.

W pierwszym wariantcie wszystkie wagi mają równą wartość. Następnie, w wariantach 2-7 po kolei wyłączano z analizy poszczególne kryteria poprzez przypisanie im wagi równej 0. Celem tego jest sprawdzenie wpływu braku uwzględnienia w analizie poszczególnych kryteriów. Kolejnym etapem jest przewymiarowanie (dwu-, trzy-, cztero- i pięciokrotne) pojedynczego kryterium względem pozostałych. W wariantach 8-11 przewymiarowano w ten sposób wagę kryterium K<sub>1</sub>, w wariantach 12-15 K<sub>2</sub>, w wariantach 16-19 K<sub>3</sub>, w wariantach 20-23 K<sub>4</sub>, w wariantach 24-27 K<sub>5</sub>, a w wariantach 28-31 K<sub>6</sub>. Dziewięć kolejnych wariantów rozkładu wag opiera się na przewymiarowaniu całych grup

kryteriów energetycznych (warianty 32-34), ekonomicznych (warianty 35-37) i środowiskowych (warianty 38-40).

*Tabela 16. Warianty rozkładu wag na poszczególne kryteria.*

| Wariant analizy | Stosunek wag kryteriów |                |                |                |                |                |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 | K <sub>1</sub>         | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | K <sub>4</sub> | K <sub>5</sub> | K <sub>6</sub> |
| 1               | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 2               | 0                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 3               | 1                      | 0              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 4               | 1                      | 1              | 0              | 1              | 1              | 1              |
| 5               | 1                      | 1              | 1              | 0              | 1              | 1              |
| 6               | 1                      | 1              | 1              | 1              | 0              | 1              |
| 7               | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 8               | 2                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 9               | 3                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 10              | 4                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 11              | 5                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 12              | 1                      | 2              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 13              | 1                      | 3              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 14              | 1                      | 4              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 15              | 1                      | 5              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 16              | 1                      | 1              | 2              | 1              | 1              | 1              |
| 17              | 1                      | 1              | 3              | 1              | 1              | 1              |
| 18              | 1                      | 1              | 4              | 1              | 1              | 1              |
| 19              | 1                      | 1              | 5              | 1              | 1              | 1              |
| 20              | 1                      | 1              | 1              | 2              | 1              | 1              |
| 21              | 1                      | 1              | 1              | 3              | 1              | 1              |
| 22              | 1                      | 1              | 1              | 4              | 1              | 1              |
| 23              | 1                      | 1              | 1              | 5              | 1              | 1              |
| 24              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 2              | 1              |
| 25              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 3              | 1              |
| 26              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 4              | 1              |
| 27              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 5              | 1              |
| 28              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 2              |
| 29              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 3              |
| 30              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 4              |
| 31              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 1              | 5              |
| 32              | 2                      | 2              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 33              | 3                      | 3              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 34              | 4                      | 4              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 35              | 1                      | 1              | 2              | 2              | 1              | 1              |
| 36              | 1                      | 1              | 3              | 3              | 1              | 1              |
| 37              | 1                      | 1              | 4              | 4              | 1              | 1              |
| 38              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 2              | 2              |
| 39              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 3              | 3              |
| 40              | 1                      | 1              | 1              | 1              | 4              | 4              |
| 41              | 3                      | 1              | 2              | 3              | 2              | 1              |
| 42              | 2                      | 1              | 3              | 1              | 2              | 3              |

Dwa ostatnie warianty stosunków wag zostały określone dla dwóch grup inwestorów, którzy mogą być zainteresowani wykorzystaniem opisywanej HIOZE. Przy doborze wag w wariantcie 41 kierowano się zakładanymi preferencjami komercyjnego

inwestora. Najistotniejszymi parametrami w tym wariancie są generacja energii elektrycznej oraz zysk na pojedynczej jednostce energii. Efektem jest znalezienie układów najkorzystniejszych ekonomicznie oraz (w przypadku HIOZE B) umożliwiających ograniczenie poboru energii z systemu elektroenergetycznego. Nieco mniej istotne są tu: CAPEX oraz wskaźnik emisji. Wysokie koszty inwestycyjne zwiększają ryzyko związane z inwestycją, a ze względu na ścisłą zależność kosztów uprawnień do emisji od decyzji politycznych – niski wskaźnik emisji zwiększa stabilność finansową. Najmniej istotne są tu: ograniczana generacja oraz wykorzystanie lokalne odpadów.

W wariancie 42 kierowano się zakładanymi preferencjami inwestora komunalnego. Najistotniejszymi aspektami są: domknięcie systemu gospodarki odpadami (kryterium 6) oraz, ze względu na charakter inwestycji samorządowych, niskie nakłady inwestycyjne (kryterium 3). Nieco mniej istotne są kryteria dotyczące generacji energii elektrycznej oraz wskaźnik emisji CO<sub>2</sub>. Najmniej ważnymi parametrami są: ograniczana generacja oraz zyski sprzedaży energii.

Nie wyczerpuje to możliwych do analizy wariantów rozkładu wag, natomiast ze względu na objętość pracy zdecydowano się ograniczyć ich liczbę do przedstawionej w tabeli 16.

## 5. Wyniki analiz HIOZE A

### 5.1. Spełnienie warunków ustawowych

W celu sprawdzenia czy przy danym zestawie wartości parametrów HIOZE ( $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ ,  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ ) możliwe jest spełnienie wymagań ustawowych wyznaczono czas wykorzystania mocy przyłączeniowej oraz udział energii przekazanej poprzez magazyn w całkowitej energii elektrycznej przekazanej do systemu elektroenergetycznego. Następnie, po nałożeniu na siebie obu wynikowych matryc, jako spełniające wymagania (i w efekcie jedyne rozpatrywane dalej) uznawano te które spełniają oba warunki zgodnie z zapisem:  $(T_{wyk} \geq 5256) \wedge (\sigma_{MAG} \geq 5\%)$ . Szczegółowo rozpisano wyniki dla wariantu z mocą  $P_{PV+TW} = 2$  MW, a w pozostałych wariantach przedstawiono jedynie podsumowanie (szczegółowe wyniki zamieszczono w załączniku). W tabeli 17 zamieszczono wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w wyżej wymienionym wariantcie.

W HIOZE, w którym  $P_{PV+TW}$  wynosi 2 MW, warunek czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej wynoszącego co najmniej 5256 h/rok jest spełniony jedynie przy mocy silnika równej co najmniej 0,8 MW. Im wyższa jest moc znamionowa układu zgazowarka-silnik gazowy tym wyższy jest czas wykorzystania mocy przyłączeniowej. Przy mocy agregatu silnikowego równej 1,9 lub 2 MW okresy w których nie jest generowana maksymalna moc są nieliczne, co skutkuje wykorzystywaniem mocy przyłączeniowej przez 97-100% roku. Większa moc i pojemność magazynu również nieznacznie zwiększa czas wykorzystania mocy przyłączeniowej. Jednakże, ze względu na fakt, że moc  $P_{PV+TW}$  jest równa mocy przyłączeniowej, okresy w których generacja jest wyższa od możliwości przyłączeniowych są nieliczne.

Następnie przeanalizowano udział energii przekazanej poprzez magazyn w całkowitej generacji na rzecz systemu elektroenergetycznego. Wyniki przedstawiono w tabeli 18.

Tab. 17. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w wariancie z mocą  $P_{PV+TW} = 2 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 2254             | 2691 | 3127 | 3562 | 3994 | 4421 | 4845 | 5263 | 5672 | 6068 | 6442 | 6792 | 7121 | 7427 | 7709 | 7967 | 8190 | 8373 | 8501 | 8527 |
|                      | 0,2 | 2254             | 2691 | 3128 | 3564 | 3997 | 4427 | 4852 | 5274 | 5688 | 6090 | 6469 | 6826 | 7161 | 7471 | 7758 | 8020 | 8249 | 8438 | 8572 | 8591 |
|                      | 0,3 | 2254             | 2691 | 3129 | 3565 | 3999 | 4430 | 4857 | 5281 | 5697 | 6103 | 6486 | 6850 | 7191 | 7507 | 7800 | 8065 | 8297 | 8487 | 8619 | 8632 |
|                      | 0,4 | 2254             | 2692 | 3129 | 3566 | 4001 | 4432 | 4861 | 5286 | 5705 | 6113 | 6501 | 6867 | 7212 | 7533 | 7830 | 8101 | 8339 | 8528 | 8656 | 8659 |
|                      | 0,5 | 2254             | 2692 | 3129 | 3566 | 4002 | 4434 | 4864 | 5290 | 5710 | 6122 | 6513 | 6882 | 7231 | 7557 | 7856 | 8131 | 8369 | 8560 | 8683 | 8681 |
|                      | 0,6 | 2254             | 2692 | 3129 | 3566 | 4002 | 4436 | 4866 | 5293 | 5715 | 6128 | 6523 | 6896 | 7249 | 7578 | 7883 | 8159 | 8400 | 8590 | 8704 | 8699 |
|                      | 0,7 | 2254             | 2692 | 3130 | 3567 | 4003 | 4438 | 4869 | 5297 | 5720 | 6134 | 6531 | 6907 | 7264 | 7598 | 7906 | 8186 | 8428 | 8618 | 8723 | 8716 |
|                      | 0,8 | 2254             | 2692 | 3130 | 3567 | 4003 | 4439 | 4871 | 5299 | 5724 | 6139 | 6539 | 6918 | 7277 | 7614 | 7926 | 8210 | 8413 | 8518 | 8737 | 8732 |
|                      | 0,9 | 2254             | 2692 | 3130 | 3567 | 4004 | 4440 | 4873 | 5302 | 5727 | 6144 | 6546 | 6928 | 7290 | 7629 | 7944 | 8243 | 8543 | 8767 | 8817 | 8748 |
|                      | 1,0 | 2254             | 2692 | 3130 | 3567 | 4004 | 4440 | 4874 | 5304 | 5730 | 6149 | 6553 | 6938 | 7302 | 7643 | 7960 | 8258 | 8582 | 8901 | 9071 | 8755 |
|                      | 1,1 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4005 | 4441 | 4875 | 5306 | 5733 | 6153 | 6559 | 6947 | 7313 | 7656 | 7948 | 8201 | 8494 | 8721 | 8757 | 8760 |
|                      | 1,2 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4005 | 4441 | 4876 | 5308 | 5736 | 6157 | 6564 | 6955 | 7323 | 7669 | 7940 | 8183 | 8462 | 8734 | 8757 | 8760 |
|                      | 1,3 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4005 | 4442 | 4877 | 5310 | 5738 | 6161 | 6569 | 6962 | 7333 | 7681 | 7985 | 8257 | 8550 | 8825 | 8758 | 8760 |
|                      | 1,4 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4005 | 4442 | 4878 | 5311 | 5740 | 6164 | 6574 | 6969 | 7342 | 7699 | 8020 | 8292 | 8569 | 8843 | 8759 | 8760 |
|                      | 1,5 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4005 | 4442 | 4878 | 5313 | 5743 | 6167 | 6579 | 6975 | 7351 | 7697 | 8014 | 8286 | 8554 | 8827 | 8759 | 8760 |
|                      | 1,6 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4006 | 4443 | 4879 | 5314 | 5744 | 6170 | 6583 | 6981 | 7359 | 7692 | 8009 | 8281 | 8556 | 8829 | 8759 | 8760 |
|                      | 1,7 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4006 | 4443 | 4879 | 5315 | 5746 | 6172 | 6587 | 6986 | 7367 | 7695 | 8012 | 8284 | 8556 | 8829 | 8759 | 8760 |
|                      | 1,8 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4006 | 4443 | 4880 | 5315 | 5747 | 6174 | 6590 | 6991 | 7374 | 7702 | 8019 | 8291 | 8563 | 8836 | 8760 | 8760 |
|                      | 1,9 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4006 | 4443 | 4880 | 5316 | 5749 | 6177 | 6594 | 6996 | 7380 | 7707 | 8024 | 8296 | 8568 | 8841 | 8760 | 8760 |
|                      | 2,0 | 2254             | 2692 | 3130 | 3568 | 4006 | 4443 | 4880 | 5316 | 5750 | 6178 | 6597 | 7001 | 7349 | 7675 | 7997 | 8269 | 8541 | 8814 | 8760 | 8760 |



Tabela 18. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego.

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
|                      | 0,2 | 0                | 0   | 0   | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
|                      | 0,3 | 0,1              | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
|                      | 0,4 | 0,1              | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
|                      | 0,5 | 0,1              | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
|                      | 0,6 | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
|                      | 0,7 | 0,2              | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
|                      | 0,8 | 0,2              | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
|                      | 0,9 | 0,3              | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1   | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
|                      | 1,0 | 0,3              | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
|                      | 1,1 | 0,4              | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
|                      | 1,2 | 0,4              | 0,8 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2   | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3   | 3   |
|                      | 1,3 | 0,5              | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2   | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 3   | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 5   |
|                      | 1,4 | 0,5              | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2   | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | 3   | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
|                      | 1,5 | 0,5              | 1   | 1,4 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 3,1 | 3,3 | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
|                      | 1,6 | 0,6              | 1   | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
|                      | 1,7 | 0,6              | 1   | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 3   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
|                      | 1,8 | 0,6              | 1   | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
|                      | 1,9 | 0,5              | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2   | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
|                      | 2,0 | 0,2              | 0,5 | 0,7 | 1   | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2   | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 |

Im wyższe są moc i pojemność magazynu energii tym wyższy jest udział energii przekazanej poprzez magazyn w całkowitej energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego. Jednakże, jak wspomniano wcześniej, nieliczne są okresy w których generacja w panelach fotowoltaicznych i turbinach wiatrowych jest wyższa od możliwości przyłączeniowych. Magazynowana jest energia tylko w czasie, gdy PV i turbiny wiatrowe generują energię elektryczną jednocześnie z silnikiem gazowym. W efekcie dopiero przy mocy zainstalowanej układu zgazowarka-silnik-generator wynoszącej 1,3 MW możliwe jest osiągnięcie wymaganej wartości udziału energii przekazywanej przez magazyn. Natomiast przy mocy silnika wynoszącej 1,9 MW lub więcej generacja jest na tyle wysoka, że nie ma możliwości spełnienia opisywanego warunku ustawowego.

Po nałożeniu na siebie matryc uzyskano zakres możliwych rozwiązań który przedstawiono w tabeli 19.

Tabela 19. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,6 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,7 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 0,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 1,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 1,1 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 1,2 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 1,3 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   |
|                   | 1,4 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

Przy wartości mocy  $P_{PV+TW}$  równej mocy przyłączeniowej spełnienie wymagań systemowych jest ograniczane głównie przez udział energii przekazywanej poprzez BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego. Warunek dotyczący czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej jest spełniony w szerszym zakresie zarówno mocy silnika jak i mocy BME.

W tabeli 20 zamieszczono podsumowanie spełnienia warunków ustawowych przez HIOZE z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 3 MW.

Tab. 20. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,6 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | M   | M   | M   | M   |
|                   | 0,7 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 0,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |
|                   | 0,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,1 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,2 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,3 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,4 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

Również w tym przypadku warunek dotyczący czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej jest spełniony w szerszym zakresie, niż warunek dotyczący udziału magazynu. Jednakże, widoczne jest, że więcej HIOZE spełnia oba warunki. Już przy mocy silnika równej 0,6 MW (0,2 MW mniej niż przy mocy źródeł niesterowalnych równej 2 MW) niektóre instalacje spełniają warunek czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej. Natomiast w przypadku BME, moc 0,5 MW jest wystarczająca do spełnienia obu warunków. Możliwe jest to jedynie przy wysokich mocach ICE (1,5-1,9 MW). Większa liczba instalacji spełniających warunek udziału energii przekazywanej poprzez BME, wynika z przewymiarowania źródeł niesterowalnych względem mocy przyłączeniowej. Wzrasta wartość możliwej do zmagazynowania i późniejszego wykorzystania energii elektrycznej. Trend jest dalej widoczny przy większym przewymiarowaniu mocy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych względem mocy przyłączeniowej.

W tabeli 21 przedstawiono podsumowanie spełnienia warunków ustawowych przez HIOZE z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW.

Tabela 21. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | TM  | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 0,6 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 0,7 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 0,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 0,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,1 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,2 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,3 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,4 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

W przypadku HIOZE z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW, czas wykorzystania mocy przyłączeniowej wynoszący co najmniej 5256 h jest osiągnięty przez HIOZE w której moc agregatu silnikowego wynosi 0,5 MW (przy mocy BME wyższej od 0,3 MW) i więcej (niezależnie od mocy BME). Spełnienie warunku dotyczącego udziału energii elektrycznej z BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego jest możliwe od mocy BME równej 0,5 MW (przy mocy ICE 1,6-1,8 MW). Przy większych mocach BME, zakres mocy ICE umożliwiającej spełnienie obu warunków się zwiększa. Pojawiają się układy (z mocą BME w zakresie 1,7-2 MW) w których magazyn charakteryzuje się co najmniej 5% udziałem w generacji ale czas wykorzystania mocy przyłączeniowej jest mniejszy niż 5256 h.

W tabeli 22 przedstawiono podsumowanie spełnienia warunków ustawowych przez HIOZE z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 5 MW.

Tabela 22. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW

| Spełnienie<br>ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 0,4 | TM               | TM  | TM  | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,5 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,6 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,7 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,1 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,2 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,3 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,4 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,5 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,6 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,7 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,8 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,9 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

W HIOZE przedstawionych w tabeli 22 widoczne jest dalsze zwiększanie zakresu możliwych rozwiązań. Spełnienie warunku dotyczącego czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej jest możliwe od mocy znamionowej układu zgazowarka-silnik wynoszącej 0,4 MW (moc BME wyższa od 0,3 MW). Przy wyższych mocach ICE warunek ten jest spełniony niezależnie od mocy BME. Natomiast spełnienie warunku dotyczącego udziału energii przekazywanej z baterii w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego jest możliwe od mocy BME równej 0,6 MW (moc ICE w zakresie 1,5-1,8 MW). Wraz ze wzrostem mocy i pojemności BME rośnie zakres rozwiązań spełniających ten warunek. W przypadku HIOZE, gdzie moc BME wynosi co najmniej 1,2 MW, a moc ICE mniej niż 0,4 MW, brak spełnienia warunków ustawowych wynika ze zbyt niskiej wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej.

W tabeli 23 przedstawiono podsumowanie spełnienia warunków ustawowych przez HIOZE z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 6 MW.

Tabela 23. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW

| Spełnienie<br>ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   |
|                      | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,4 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,5 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,6 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,7 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,8 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 0,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,1 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,2 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,3 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,4 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,5 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,6 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,7 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,8 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,9 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   | M   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

Gdy wartość  $P_{PV+TW}$  jest równa 6 MW zmniejsza się minimalna wartość znamionowej mocy agregatu silnikowego przy której możliwe jest spełnienie wymagań ustawowych. W tym przypadku, przekroczenie czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej wynoszącego 5256 h jest możliwe przy mocy ICE równej 0,2 MW (i mocy BME równej 2 MW), 0,3 MW (i mocy BME w zakresie 0,5-2 MW) i wyższej (moc BME w pełnym zakresie). W przypadku drugiego warunku zmniejsza się liczba możliwych rozwiązań z mocą BME równą 0,6 MW. Ponadto, nie jest możliwe spełnienie 5% udziału BME przy mocy ICE równej 2 MW. Wynika to ze zbyt wysokiej generacji, która nie umożliwia odpowiednio dużej ilości energii elektrycznej która może być zmagazynowana i następnie przesłana do systemu. Magazyn jest naładowany zbyt często co uniemożliwia magazynowanie większej wartości energii elektrycznej.

W tabeli 24 zebrano wyniki dotyczące spełnienia wymagań ustawowych w analizowanych wariantach.

Tabela 24. Podsumowanie doboru parametrów ICE i BME pod kątem spełnienia warunków ustawowych.

| P <sub>PV+TW</sub> | P <sub>PRZYŁ</sub> | Wartości minimalne                   |                                      | Wartości maksymalne                  |                                      | Liczba rozwiązań spełniających wymagania |
|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
|                    |                    | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> |                                          |
| MW                 | MW                 | -                                    | -                                    | -                                    | -                                    | -                                        |
| 2                  | 2                  | 0,650                                | 0,400                                | 0,900                                | 1,000                                | 56                                       |
| 3                  | 2                  | 0,300                                | 0,167                                | 0,667                                | 0,667                                | 162                                      |
| 4                  | 2                  | 0,125                                | 0,125                                | 0,500                                | 0,500                                | 202                                      |
| 5                  | 2                  | 0,080                                | 0,120                                | 0,400                                | 0,400                                | 213                                      |
| 6                  | 2                  | 0,033                                | 0,100                                | 0,317                                | 0,333                                | 219                                      |

W dalszej części, analizowane są jedynie HIOZE, które spełniają kryteria ustawowe. Na podstawie wyników zawartych w powyższej tabeli można stwierdzić, że ich liczba rośnie logarytmicznie tzn. wzrost liczby rozwiązań spełniających warunki graniczne jest większy przy zmianach w obszarze niewielkich wartości P<sub>PV+TW</sub> i zmniejsza się przy wyższych wartościach. Jednakże, tendencja rosnąca jest zachowana.

## 5.2. Wyniki analiz energetycznych

W kolejnym kroku wyznaczono wartości wskaźników technicznych układów spełniających wymagania ustawowe. W tabeli 25 przedstawiono wyniki czasu wykorzystania mocy zainstalowanej.

Tab. 25. Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej HIOZE – część I

| T <sub>wyk</sub><br>[h] |                           | P <sub>BME</sub> [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         |                           | 0,5                   | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW]   | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                         | 1,3                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 5349 |
|                         | 1,4                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      | 5399 | 5587 | 5762 | 5935 | 6092 | 6242 | 6375 |
|                         | 1,5                       |                       |      |      |      |      |      | 5478 | 5740 | 5985 | 6202 | 6414 | 6612 | 6796 | 6974 | 7137 | 7297 |
|                         | 1,6                       |                       |      |      |      | 5443 | 5782 | 6091 | 6383 | 6657 | 6920 | 7154 | 7373 | 7561 | 7748 | 7917 | 8086 |
|                         | 1,7                       |                       |      |      | 5413 | 5767 | 6091 | 6394 | 6672 | 6950 | 7198 | 7423 | 7627 | 7800 | 7946 | 8076 | 8182 |
|                         | 1,8                       |                       |      |      | 5518 | 5817 | 6071 | 6281 | 6434 | 6569 | 6679 | 6762 | 6825 | 6874 | 6926 | 6966 | 7009 |
|                         | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                         | 0,9                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 5347 | 5528 | 5703 | 5874 | 6033 |
|                         | 1,0                       |                       |      |      |      |      |      |      |      | 5401 | 5626 | 5855 | 6075 | 6290 | 6499 | 6698 | 6803 |
|                         | 1,1                       |                       |      |      |      | 5280 | 5581 | 5870 | 6152 | 6432 | 6679 | 6919 | 7098 | 7111 | 7123 | 7135 | 7147 |
|                         | 1,2                       |                       |      |      | 5571 | 5915 | 6243 | 6558 | 6864 | 7157 | 7390 | 7405 | 7420 | 7435 | 7448 | 7462 | 7474 |
|                         | 1,3                       |                       | 5367 | 5807 | 6194 | 6554 | 6915 | 7272 | 7600 | 7676 | 7693 | 7711 | 7727 | 7743 | 7758 | 7773 | 7787 |
|                         | 1,4                       |                       | 5882 | 6398 | 6804 | 7179 | 7543 | 7883 | 7935 | 7955 | 7974 | 7992 | 8010 | 8026 | 8042 | 8058 | 8073 |
|                         | 1,5                       | 5582                  | 6378 | 6959 | 7401 | 7769 | 8114 | 8169 | 8188 | 8207 | 8225 | 8242 | 8260 | 8276 | 8292 | 8308 | 8323 |
|                         | 1,6                       | 5882                  | 6747 | 7424 | 7900 | 8286 | 8374 | 8393 | 8411 | 8428 | 8445 | 8462 | 8478 | 8493 | 8507 | 8520 | 8532 |
|                         | 1,7                       | 6070                  | 6958 | 7672 | 8199 | 8547 | 8565 | 8581 | 8597 | 8611 | 8624 | 8635 | 8646 | 8655 | 8663 | 8670 | 8676 |
|                         | 1,8                       | 6115                  | 7032 | 7752 | 8274 | 8607 | 8705 | 8714 | 8721 | 8727 | 8731 | 8735 | 8737 | 8739 | 8741 | 8742 | 8743 |
|                         | 1,9                       | 5720                  | 6525 | 7122 | 7550 | 7792 | 7871 | 7903 | 7923 | 7937 | 7945 | 7954 | 7970 | 7975 | 7975 | 7980 | 7986 |
|                         | 2,0                       |                       |      | 5862 | 6334 | 6653 | 6793 | 6840 | 6864 | 6872 | 6882 | 6894 | 6899 | 6905 | 6908 | 6912 | 6914 |

Tab. 25. Czas wykorzystania mocy przyłączeniowej HIOZE – część II

| T <sub>wyk</sub><br>[h]   | P <sub>BME</sub> [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 0,5                   | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0,5                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 5258 | 5440 | 5452 | 5463 | 5474 | 5484 |
| 0,6                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      | 5516 | 5777 | 5794 | 5806 | 5819 | 5831 | 5843 |
| 0,7                       |                       |      |      |      |      |      |      | 5394 | 5695 | 5991 | 6122 | 6137 | 6151 | 6164 | 6177 | 6190 |
| 0,8                       |                       |      |      |      |      |      | 5467 | 5798 | 6125 | 6435 | 6452 | 6467 | 6483 | 6498 | 6512 | 6526 |
| 0,9                       |                       |      |      |      |      | 5476 | 5830 | 6183 | 6531 | 6751 | 6768 | 6785 | 6802 | 6818 | 6833 | 6849 |
| 1,0                       |                       |      |      |      | 5422 | 5806 | 6191 | 6583 | 6954 | 7055 | 7074 | 7092 | 7110 | 7127 | 7144 | 7160 |
| 1,1                       |                       |      |      | 5404 | 5811 | 6205 | 6603 | 6998 | 7324 | 7345 | 7366 | 7385 | 7405 | 7423 | 7441 | 7458 |
| 1,2                       |                       |      | 5334 | 5760 | 6175 | 6591 | 7000 | 7392 | 7600 | 7620 | 7641 | 7661 | 7680 | 7700 | 7718 | 7736 |
| 1,3                       |                       |      | 5714 | 6142 | 6563 | 6979 | 7380 | 7779 | 7858 | 7878 | 7898 | 7917 | 7936 | 7954 | 7972 | 7990 |
| 1,4                       |                       | 5536 | 6058 | 6504 | 6922 | 7324 | 7709 | 8074 | 8094 | 8114 | 8133 | 8152 | 8170 | 8188 | 8205 | 8222 |
| 1,5                       |                       | 5809 | 6395 | 6850 | 7244 | 7628 | 8002 | 8288 | 8307 | 8326 | 8344 | 8361 | 8379 | 8396 | 8412 | 8428 |
| 1,6                       | 5303                  | 6025 | 6646 | 7083 | 7468 | 7810 | 8142 | 8466 | 8494 | 8510 | 8527 | 8542 | 8556 | 8570 | 8582 | 8594 |
| 1,7                       | 5442                  | 6183 | 6832 | 7298 | 7635 | 7922 | 8187 | 8441 | 8644 | 8656 | 8667 | 8676 | 8684 | 8691 | 8698 | 8703 |
| 1,8                       | 5479                  | 6194 | 6847 | 7277 | 7562 | 7765 | 7915 | 8026 | 8132 | 8201 | 8258 | 8296 | 8325 | 8350 | 8377 | 8398 |
| 1,9                       |                       | 5682 | 6201 | 6579 | 6762 | 6851 | 6877 | 6894 | 6911 | 6918 | 6929 | 6936 | 6935 | 6937 | 6941 | 6941 |
| 2,0                       |                       |      |      | 5495 | 5758 | 5880 | 5920 | 5937 | 5948 | 5961 | 5966 | 5978 | 5987 | 5990 | 5993 | 5996 |
| P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0,4                       |                       |      |      |      |      |      |      | 5438 | 5456 | 5472 | 5489 | 5505 | 5521 | 5536 | 5551 | 5566 |
| 0,5                       |                       |      |      |      |      |      |      | 5355 | 5722 | 5778 | 5795 | 5813 | 5830 | 5847 | 5863 | 5879 |
| 0,6                       |                       |      |      |      |      |      |      | 5579 | 5962 | 6090 | 6108 | 6127 | 6145 | 6162 | 6180 | 6197 |
| 0,7                       |                       |      |      |      |      | 5357 | 5760 | 6162 | 6392 | 6412 | 6431 | 6451 | 6470 | 6488 | 6506 | 6524 |
| 0,8                       |                       |      |      |      |      | 5580 | 5992 | 6405 | 6684 | 6705 | 6726 | 6746 | 6767 | 6786 | 6806 | 6824 |
| 0,9                       |                       |      |      |      | 5395 | 5832 | 6259 | 6683 | 6967 | 6988 | 7009 | 7031 | 7051 | 7072 | 7092 | 7113 |
| 1,0                       |                       |      |      |      | 5627 | 6068 | 6509 | 6957 | 7240 | 7262 | 7283 | 7304 | 7325 | 7345 | 7365 | 7385 |
| 1,1                       |                       |      |      | 5427 | 5875 | 6320 | 6768 | 7210 | 7499 | 7521 | 7543 | 7564 | 7585 | 7605 | 7625 | 7644 |
| 1,2                       |                       |      |      | 5654 | 6117 | 6562 | 7005 | 7436 | 7744 | 7765 | 7786 | 7807 | 7827 | 7846 | 7866 | 7885 |
| 1,3                       |                       |      | 5429 | 5888 | 6342 | 6790 | 7225 | 7643 | 7971 | 7992 | 8012 | 8032 | 8052 | 8071 | 8090 | 8108 |
| 1,4                       |                       |      | 5701 | 6161 | 6588 | 7016 | 7425 | 7819 | 8181 | 8200 | 8220 | 8238 | 8257 | 8275 | 8293 | 8310 |
| 1,5                       |                       | 5387 | 5940 | 6407 | 6793 | 7180 | 7553 | 7916 | 8262 | 8387 | 8405 | 8423 | 8440 | 8456 | 8472 | 8487 |
| 1,6                       |                       | 5554 | 6119 | 6576 | 6943 | 7296 | 7628 | 7947 | 8257 | 8543 | 8565 | 8579 | 8592 | 8605 | 8617 | 8627 |
| 1,7                       |                       | 5679 | 6256 | 6706 | 7059 | 7342 | 7595 | 7825 | 8035 | 8233 | 8402 | 8556 | 8702 | 8709 | 8715 | 8720 |
| 1,8                       |                       | 5642 | 6189 | 6597 | 6876 | 7061 | 7196 | 7301 | 7383 | 7448 | 7501 | 7532 | 7549 | 7570 | 7587 | 7599 |
| 1,9                       |                       |      | 5577 | 5887 | 6073 | 6156 | 6184 | 6197 | 6201 | 6213 | 6218 | 6222 | 6229 | 6231 | 6237 | 6239 |
| 2,0                       |                       |      |      |      |      |      | 5288 | 5302 | 5314 | 5324 | 5329 | 5332 | 5339 | 5347 | 5353 | 5358 |
| P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0,2                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 5258 |
| 0,3                       |                       |      |      |      |      |      |      | 5405 | 5426 | 5446 | 5465 | 5484 | 5502 | 5520 | 5538 | 5556 |
| 0,4                       |                       |      |      |      |      |      | 5291 | 5706 | 5727 | 5747 | 5767 | 5787 | 5807 | 5826 | 5846 | 5865 |
| 0,5                       |                       |      |      |      |      |      | 5412 | 5841 | 6020 | 6041 | 6061 | 6082 | 6103 | 6124 | 6144 | 6164 |
| 0,6                       |                       |      |      |      |      |      | 5554 | 5994 | 6307 | 6328 | 6349 | 6371 | 6392 | 6413 | 6434 | 6455 |
| 0,7                       |                       |      |      |      | 5258 | 5716 | 6169 | 6586 | 6608 | 6629 | 6651 | 6673 | 6694 | 6716 | 6737 | 6758 |
| 0,8                       |                       |      |      |      | 5435 | 5894 | 6345 | 6797 | 6878 | 6900 | 6923 | 6945 | 6967 | 6988 | 7009 | 7030 |
| 0,9                       |                       |      |      |      | 5602 | 6060 | 6519 | 6975 | 7138 | 7160 | 7183 | 7205 | 7227 | 7249 | 7270 | 7291 |
| 1,0                       |                       |      |      | 5300 | 5772 | 6236 | 6697 | 7159 | 7386 | 7409 | 7431 | 7453 | 7475 | 7496 | 7517 | 7537 |
| 1,1                       |                       |      |      | 5447 | 5923 | 6391 | 6854 | 7304 | 7622 | 7644 | 7666 | 7688 | 7709 | 7730 | 7750 | 7770 |
| 1,2                       |                       |      |      | 5620 | 6095 | 6562 | 7019 | 7462 | 7844 | 7865 | 7887 | 7907 | 7928 | 7948 | 7968 | 7987 |
| 1,3                       |                       |      | 5351 | 5819 | 6279 | 6727 | 7151 | 7580 | 7995 | 8072 | 8092 | 8112 | 8132 | 8151 | 8169 | 8188 |
| 1,4                       |                       |      | 5547 | 6006 | 6428 | 6848 | 7242 | 7630 | 8012 | 8260 | 8278 | 8297 | 8316 | 8334 | 8352 | 8369 |
| 1,5                       |                       |      | 5746 | 6193 | 6588 | 6969 | 7334 | 7692 | 8035 | 8384 | 8448 | 8465 | 8481 | 8497 | 8512 | 8526 |
| 1,6                       |                       | 5325 | 5870 | 6325 | 6694 | 7034 | 7353 | 7670 | 7964 | 8244 | 8504 | 8605 | 8618 | 8629 | 8640 | 8650 |
| 1,7                       |                       | 5430 | 5973 | 6413 | 6753 | 7030 | 7267 | 7482 | 7684 | 7870 | 8029 | 8185 | 8322 | 8439 | 8537 | 8622 |
| 1,8                       |                       | 5367 | 5871 | 6258 | 6527 | 6702 | 6829 | 6933 | 7004 | 7057 | 7100 | 7131 | 7147 | 7159 | 7170 | 7175 |
| 1,9                       |                       |      |      | 5526 | 5710 | 5783 | 5806 | 5814 | 5821 | 5825 | 5829 | 5832 | 5836 | 5842 | 5847 | 5847 |

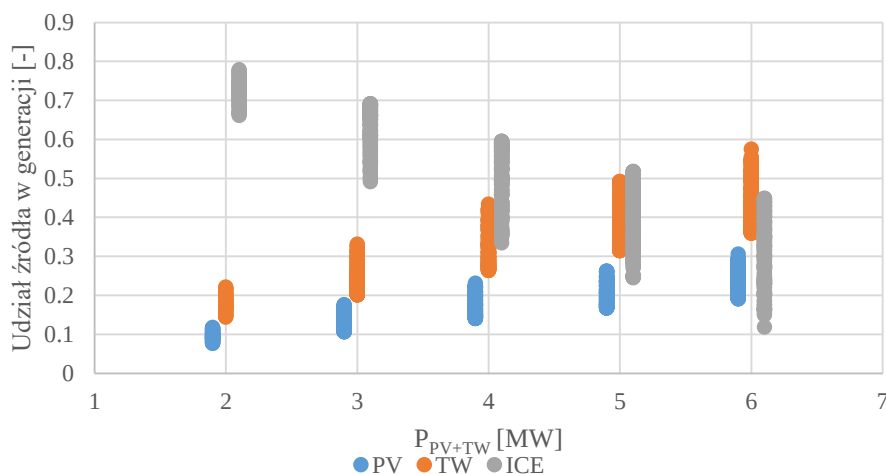


W każdym z wariantów mocy  $P_{PV+TW}$ , najwyższymi wartościami  $T_{wyk}$  charakteryzują się HIOZE w których moc BME jest jak najwyższa, a moc ICE jest oddalona zarówno od wartości minimalnych jak i maksymalnych. Wynika to z faktu, że przy mniejszych mocach agregatu silnikowego, nie ma możliwości całkowitego pokrycia mocy przyłączeniowej przez źródła niesterowalne i ICE. Z tego względu dochodzi do rzadszego ładowania magazynu i w efekcie również mniejszego udziału magazynu w generacji. Przy bardzo wysokich mocach ICE, generacja w nich musi być dodatkowo ograniczana, aby możliwe było wprowadzenie do systemu wystarczającej wartości energii elektrycznej z BME. Ponadto, w tych wariantach wyższe jest minimum techniczne silnika, przez co rzadziej dochodzi do jego załączenia.

W przypadku większych mocy i pojemności BME, dla tych samych parametrów pozostałych źródeł w HIOZE, większa wartość energii elektrycznej jest magazynowana, a następnie wykorzystywana gdy zmniejsza się generacja w źródłach niesterowalnych. Z tego powodu widoczna jest stała tendencja rosnącej wartości  $T_{wyk}$ , wraz ze wzrostem mocy BME.

Co ciekawe, najwięcej (32) rozwiązań z wartością  $T_{wyk}$  będącą w najwyższym decylnu jest przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW. Przy 4 MW jest to 20 rozwiązań, przy 5 MW – 17, a przy 6 MW 15. W przypadku gdy moc źródeł niesterowalnych wynosi 2 MW, żadna HIOZE nie charakteryzuje się aż tak wysoką wartością  $T_{wyk}$ .

Pomimo faktu, że czas wykorzystania mocy zainstalowanej jest zbliżony między HIOZE z różnymi mocami źródeł niesterowalnych, to różnią się znacznie udziały poszczególnych źródeł w całkowitej generacji. Przedziały tych wartości przedstawiono na rysunku 18.

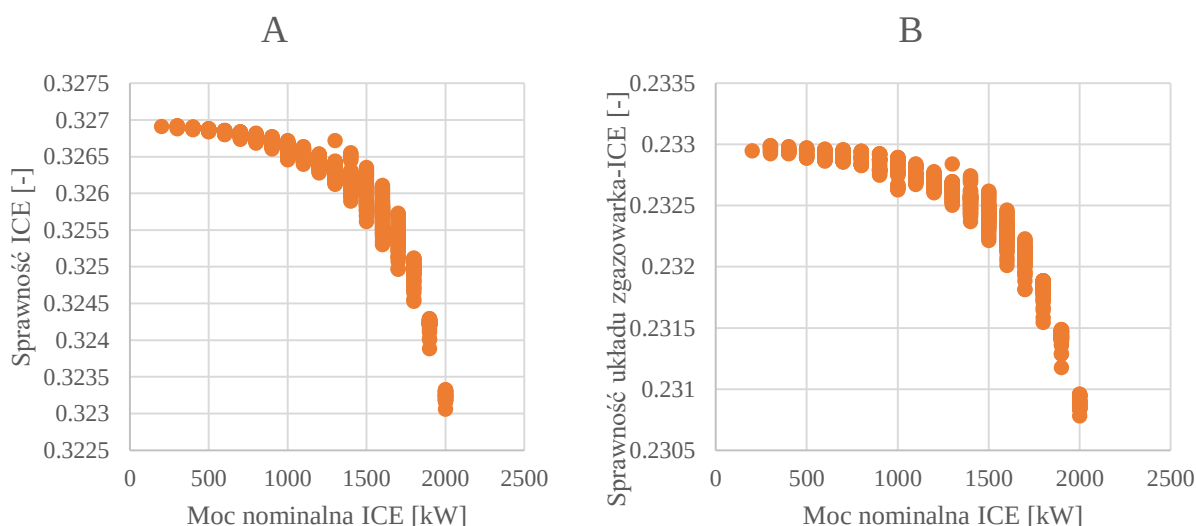


Rys 18. Udział poszczególnych źródeł w całkowitej generacji.

W zależności od wartości współczynników  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW, udział w całkowitej generacji źródeł PV wynosi 7,7-11,8%, wiatrowych 14,4-22,1%, a ICE 66,1-77,9%. Po zwiększeniu mocy źródeł niesterowalnych do:

- 3 MW udziały wynoszą odpowiednio 12-17,7%, 22,6-33,2% i 49,2-65,3%,
- 4 MW udziały wynoszą odpowiednio 17,1-23,1%, 32-43,4% i 33,5-50,9%,
- 5 MW udziały wynoszą odpowiednio 20,9-26,2%, 39,2-49,2% i 24,5-39,8%,
- 6 MW udziały wynoszą odpowiednio 24,2-30,6%, 45,4-57,5% i 11,9-30,4%.

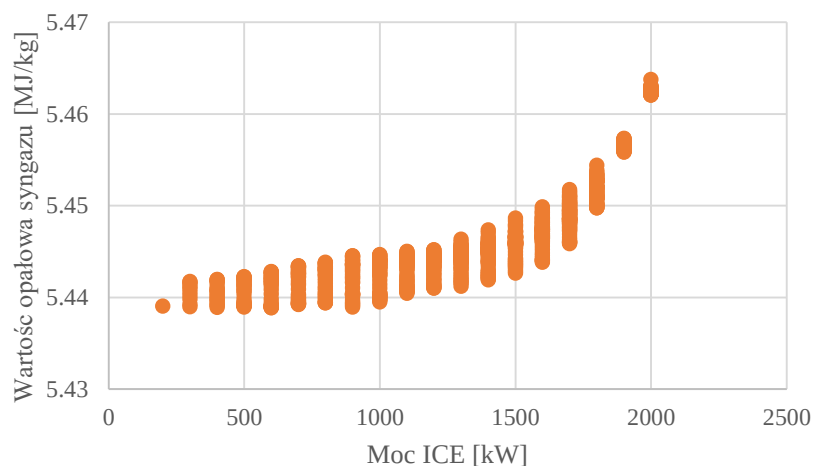
W zależności od mocy znamionowej układu zgazowarka-silnik gazowy różnią się średnioroczne parametry jego pracy. Na rysunku 19 przedstawiono średnioroczne wartości sprawności silnika oraz całkowitej sprawności przetwarzania paliwa z odpadów na energię elektryczną w zależności od znamionowej mocy elektrycznej układu.



Rys. 19. Średniorocznych wartości sprawności: A) silnika gazowego, B) układu zgazowarka-silnik w funkcji mocy znamionowej tego układu.

Widoczne jest, że w przypadku niewielkich mocy agregatu silnikowego, obie analizowane sprawności są zbliżone do znamionowych. Wzrost mocy nominalnej ICE jest związany ze spadkiem wartości sprawności. Jednostki o mniejszych mocach znamionowych częściej pracują w obszarze zbliżonym do obciążenia nominalnego, co charakteryzuje się większą wartością sprawności i przekłada się na wartość średnioroczną. W przypadku większych mocy znamionowych, częstsza jest praca z częściowym obciążeniem (i w efekcie niższą wartością sprawności). W tym przypadku pogarszają się

wartości średnioroczne co przekłada się na większe jednostkowe zużycie paliwa oraz wyższą wartość jednostkowej emisji. Poza sprawnością, w zależności od mocy nominalnej układu zgazowarka-silnik gazowy, zmienia się średnioroczna wartość opałowa syngazu, co przedstawiono na rysunku 20.



Rys 20. Zmiana średniorocznej wartości opałowej syngazu.

W przeciwieństwie do sprawności, na powyższym wykresie można zauważyć, że im wyższa jest wartość mocy znamionowej ICE tym wyższa jest średnioroczna wartość opałowa syngazu. Wynika to z charakterystyki zamodelowanej zgazowarki, w której maksymalna wartość opałowa jest osiągana przy obciążeniu około 80%. Ze względu na częstszą pracę z niepełnym obciążeniem, przy większych mocach znamionowych, częstsza jest praca zgazowarki w obszarze charakteryzującym się wyższą wartością opałową syngazu.

Poza czasem wykorzystania mocy przyłączeniowej, drugim z kryteriów energetycznych w analizie jest wolumen ograniczonej generacji ze źródeł niesterowalnych. Wartości tego parametru w poszczególnych wariantach przedstawiono w tabeli 26.

Im wyższa jest moc  $P_{PV+WT}$  tym więcej energii elektrycznej musi zostać ograniczone ze względu na przekraczanie mocy przyłączeniowej. Wzrost jest wykładniczy. Przy mocy źródeł niesterowalnych równej 2 MW, przekraczanie mocy przyłączeniowej niemal nie występuje. Przy mocy równej 3 MW, w zależności od konfiguracji, niewykorzystana energia z OZE zawiera się w przedziale 60-96 MWh rocznie. Przy mocy sumarycznej mocy paneli PV i turbin wiatrowych równej 4 MW zakres wzrasta do 284-492 MWh, przy mocy 5 MW ograniczenie generacji zawiera się w przedziale 914-1338 MWh, a przy mocy 6 MW wynosi do 2455 MWh – co odpowiada pracy HIOZE z mocą przyłączeniową przez 1227,5 godziny.

*Tabela 26. Wolumen ograniczonej energii elektrycznej z HIOZE – część I*

| E <sub>nad</sub><br>[MWh] |                           | P <sub>BME</sub> [MW]     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           |                           | 0,5                       | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW]     |                           | P <sub>pv+wt</sub> = 2 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 1,3                       |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,2  |
|                           | 1,4                       |                           |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  |
|                           | 1,5                       |                           |      |      |      |      |      | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
|                           | 1,6                       |                           |      |      |      | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
|                           | 1,7                       |                           |      |      | 0,1  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
|                           | 1,8                       |                           |      |      | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
|                           | P <sub>pv+wt</sub> = 3 MW |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 0,9                       |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 69,7 | 67,4 | 64,9 | 62,2 | 60,4 |
|                           | 1,0                       |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 74,5 | 72,4 | 70,4 | 67,9 | 66,2 |
|                           | 1,1                       |                           |      |      |      | 89,6 | 88,9 | 87,6 | 86,8 | 85,7 | 83,7 | 81,6 | 79,6 | 77,3 | 75   | 73,3 | 71,2 |
|                           | 1,2                       |                           |      |      | 91,1 | 91,3 | 91   | 90,1 | 89,3 | 87,6 | 86,6 | 84,5 | 83,2 | 81,7 | 79,3 | 78   | 76,3 |
|                           | 1,3                       |                           | 93,3 | 93   | 93,2 | 92,7 | 93,3 | 92,3 | 91,3 | 90,5 | 89,6 | 87,6 | 86,4 | 85   | 83,1 | 82,1 | 80,7 |
|                           | 1,4                       |                           | 93,2 | 93,6 | 93,8 | 93,7 | 93,8 | 93,4 | 93,2 | 92   | 90,9 | 90,4 | 88,9 | 87,9 | 86,9 | 85,5 | 84,6 |
|                           | 1,5                       | 91,6                      | 93,7 | 94,6 | 94,2 | 94,9 | 94,7 | 95   | 94,1 | 94,2 | 93,5 | 92,1 | 92   | 90,6 | 89,9 | 89,3 | 88,9 |
|                           | 1,6                       | 89,7                      | 93,5 | 94,4 | 95,1 | 94,7 | 94,7 | 94,3 | 94,8 | 94,2 | 94,2 | 94   | 93,3 | 92,9 | 92,6 | 91,8 | 91,8 |
|                           | 1,7                       | 89                        | 93,4 | 94,4 | 94,9 | 95,5 | 95,1 | 95,1 | 95,3 | 95,1 | 95,1 | 94,6 | 94,6 | 94,5 | 94   | 94,6 | 94   |
|                           | 1,8                       | 87,3                      | 92,7 | 94,4 | 94,9 | 95,6 | 95,5 | 96,2 | 95,6 | 95,1 | 95,4 | 95,3 | 95,5 | 95,4 | 95,7 | 95,5 | 95,7 |
|                           | 1,9                       | 85,2                      | 90,8 | 93,4 | 95,3 | 96   | 95,9 | 96   | 96,1 | 96   | 95,9 | 95,9 | 95,8 | 95,7 | 95,7 | 95,5 | 95,6 |
|                           | 2,0                       |                           |      | 93,1 | 95,7 | 95,6 | 95,5 | 95,7 | 95,5 | 95,4 | 95,4 | 95,2 | 95,3 | 95,2 | 95,2 | 95,3 | 95,3 |
| P <sub>pv+wt</sub> = 4 MW |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0,5                       |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 336  | 325  | 314  | 303  | 294  | 284  |
| 0,6                       |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      | 368  | 358  | 348  | 339  | 328  | 318  | 309  |      |
| 0,7                       |                           |                           |      |      |      |      |      | 401  | 393  | 386  | 378  | 370  | 360  | 351  | 342  | 333  |      |
| 0,8                       |                           |                           |      |      |      |      | 426  | 418  | 411  | 405  | 397  | 390  | 381  | 373  | 365  | 356  |      |
| 0,9                       |                           |                           |      |      |      | 445  | 440  | 433  | 427  | 421  | 413  | 407  | 399  | 392  | 384  | 376  |      |
| 1,0                       |                           |                           |      |      | 458  | 455  | 451  | 446  | 440  | 435  | 429  | 423  | 415  | 408  | 401  | 395  |      |
| 1,1                       |                           |                           |      | 467  | 465  | 461  | 458  | 455  | 450  | 446  | 441  | 435  | 430  | 425  | 417  | 410  |      |
| 1,2                       |                           |                           | 473  | 473  | 472  | 470  | 468  | 464  | 461  | 457  | 453  | 448  | 443  | 438  | 432  | 427  |      |
| 1,3                       |                           |                           | 478  | 477  | 476  | 475  | 474  | 471  | 469  | 465  | 463  | 459  | 454  | 451  | 445  | 441  |      |
| 1,4                       |                           | 482                       | 482  | 481  | 481  | 479  | 478  | 477  | 474  | 473  | 470  | 467  | 465  | 461  | 458  | 455  |      |
| 1,5                       |                           | 483                       | 484  | 483  | 484  | 483  | 482  | 481  | 480  | 479  | 476  | 475  | 473  | 470  | 469  | 464  |      |
| 1,6                       | 476                       | 484                       | 486  | 487  | 487  | 487  | 486  | 4    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Tabela 26. Wolumen ograniczonej energii elektrycznej z HIOZE – część II

| P <sub>ICE</sub> [MW] | E <sub>nad</sub><br>[MWh] | P <sub>BME</sub> [MW]     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       |                           | 0,5                       | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       |                           | 0,2                       |     |     |     |     |     |     | 2067 | 2037 | 2008 | 1979 | 1950 | 1922 | 1894 | 1867 | 1840 |
|                       |                           | 0,3                       |     |     |     |     |     |     | 2140 | 2114 | 2088 | 2060 | 2035 | 2007 | 1982 | 1955 | 1929 |
|                       |                           | 0,4                       |     |     |     |     |     |     | 2178 | 2156 | 2133 | 2108 | 2085 | 2060 | 2035 | 2011 | 1986 |
|                       |                           | 0,5                       |     |     |     |     |     |     | 2215 | 2195 | 2175 | 2152 | 2131 | 2108 | 2085 | 2061 | 2039 |
|                       |                           | 0,6                       |     |     |     |     |     |     | 2266 | 2248 | 2231 | 2213 | 2193 | 2173 | 2154 | 2132 | 2111 |
|                       |                           | 0,7                       |     |     |     |     |     |     | 2294 | 2279 | 2264 | 2250 | 2232 | 2214 | 2195 | 2176 | 2156 |
|                       |                           | 0,8                       |     |     |     |     |     |     | 2320 | 2308 | 2295 | 2282 | 2268 | 2252 | 2235 | 2219 | 2200 |
|                       |                           | 0,9                       |     |     |     |     |     |     | 2354 | 2345 | 2336 | 2326 | 2314 | 2300 | 2287 | 2274 | 2259 |
|                       |                           | 1,0                       |     |     |     |     |     |     | 2373 | 2365 | 2358 | 2349 | 2340 | 2329 | 2317 | 2306 | 2293 |
|                       |                           | 1,1                       |     |     |     |     |     |     | 2386 | 2380 | 2375 | 2369 | 2362 | 2354 | 2345 | 2334 | 2324 |
|                       |                           | 1,2                       |     |     |     |     |     |     | 2402 | 2399 | 2397 | 2393 | 2389 | 2384 | 2377 | 2370 | 2363 |
|                       |                           | 1,3                       |     |     |     |     |     |     | 2413 | 2412 | 2410 | 2408 | 2405 | 2402 | 2396 | 2391 | 2386 |
|                       |                           | 1,4                       |     |     |     |     |     |     | 2426 | 2424 | 2424 | 2423 | 2421 | 2419 | 2416 | 2412 | 2407 |
|                       |                           | 1,5                       |     |     |     |     |     |     | 2435 | 2437 | 2436 | 2437 | 2436 | 2435 | 2433 | 2432 | 2429 |
|                       |                           | 1,6                       |     |     |     |     |     |     | 2437 | 2444 | 2447 | 2447 | 2447 | 2446 | 2445 | 2444 | 2443 |
|                       |                           | 1,7                       |     |     |     |     |     |     | 2439 | 2444 | 2452 | 2452 | 2452 | 2453 | 2453 | 2453 | 2453 |
|                       |                           | 1,8                       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       |                           | 1,9                       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Wraz ze wzrostem mocy i pojemności magazynu energii elektrycznej rosną możliwości zmagazynowania i późniejszego wykorzystania nadmiarowej energii elektrycznej. W efekcie, zmniejsza się część energii generowanej w źródłach niesterowalnych, która nie może zostać efektywnie wykorzystana i musi zostać ograniczona.

Za większość generacji, która przekracza moc przyłączeniową odpowiadają turbiny wiatrowe. Co ciekawe, im wyższe są moce zainstalowane źródeł fotowoltaicznych i turbin wiatrowych tym za większą część niewykorzystanej generacji odpowiadają źródła wiatrowe. Wartości wynoszą odpowiednio:

- 52,1-52,7% całej niewykorzystanej generacji dla P<sub>PV+TW</sub>=3 MW,
- 54,9-55,9% całej niewykorzystanej generacji dla P<sub>PV+TW</sub>=4 MW,
- 60,5-64,1% całej niewykorzystanej generacji dla P<sub>PV+TW</sub>=5 MW,
- 61,8-65,8% całej niewykorzystanej generacji dla P<sub>PV+TW</sub>=6 MW.

### 5.3. Wyniki analiz ekonomicznych

Analizy ekonomiczne rozpoczęto od obliczenia całkowitych kosztów inwestycyjnych. Uzyskane wyniki zaprezentowano w tabeli 27.

Tabela 27. CAPEX – część I

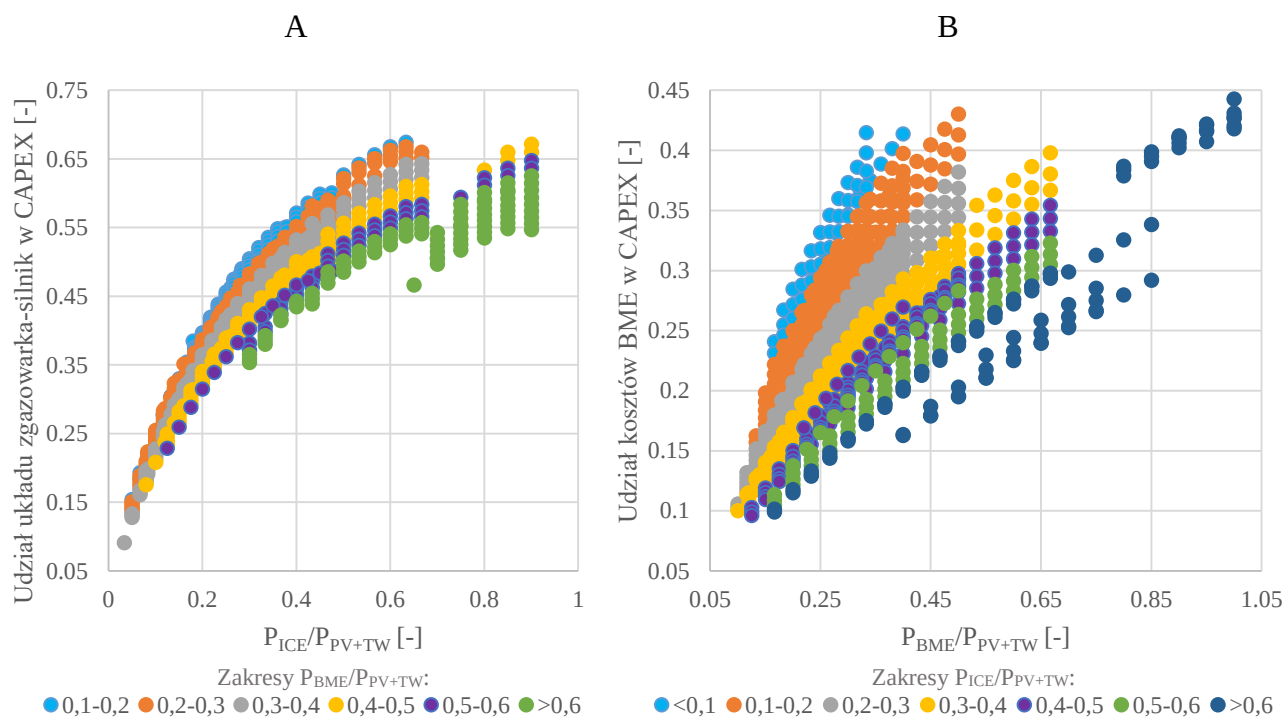
| CAPEX<br>[mln<br>PLN] |                           | P <sub>BME</sub> [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                       |                           | 0,5                   | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW] | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                       | 1,3                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 56,4 |
|                       | 1,4                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 59,8 |
|                       | 1,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 62,4 |
|                       | 1,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 64,8 |
|                       | 1,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66,7 |
|                       | 1,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66,5 |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                       | 0,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 54,2 |
|                       | 1,0                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 56,7 |
|                       | 1,1                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 58,8 |
|                       | 1,2                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 60,8 |
|                       | 1,3                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 62,8 |
|                       | 1,4                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 64,8 |
|                       | 1,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66,8 |
|                       | 1,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 68,8 |
|                       | 1,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 70,7 |
|                       | 1,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 72,4 |
|                       | 1,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 72,6 |
|                       | 2                         |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 73,4 |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                       | 0,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 50,1 |
|                       | 0,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52,2 |
|                       | 0,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 54,3 |
|                       | 0,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 56,4 |
|                       | 0,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 58,5 |
|                       | 1,0                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 60,6 |
|                       | 1,1                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 62,6 |
|                       | 1,2                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 64,7 |
|                       | 1,3                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66,7 |
|                       | 1,4                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 68,6 |
|                       | 1,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 70,5 |
|                       | 1,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 72,5 |
|                       | 1,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 73,4 |
|                       | 1,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 74,9 |
|                       | 1,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 75,4 |
|                       | 2                         |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 76,2 |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|                       | 0,4                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52,1 |
|                       | 0,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 54,2 |
|                       | 0,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 56,4 |
|                       | 0,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 58,5 |
|                       | 0,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 60,6 |
|                       | 0,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 62,6 |
|                       | 1,0                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 64,6 |
|                       | 1,1                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66,6 |
|                       | 1,2                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 68,6 |
|                       | 1,3                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 70,6 |
|                       | 1,4                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 72,6 |
|                       | 1,5                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 73,6 |
|                       | 1,6                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 75,5 |
|                       | 1,7                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 77,3 |
|                       | 1,8                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 78,8 |
|                       | 1,9                       |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 79,2 |
|                       | 2                         |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 79,9 |

Tabela 27. CAPEX – część II

| CAPEX [mln PLN]       |                           | P <sub>BME</sub> [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       |                           | 0,5                   | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW] | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0,2                       |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 52   |
|                       | 0,3                       |                       |      |      |      |      |      | 44,4 | 45,5 | 46,5 | 47,7 | 48,7 | 49,8 | 50,9 | 52   | 53,1 | 54,2 |
|                       | 0,4                       |                       |      |      |      |      | 44,8 | 46,5 | 47,6 | 48,7 | 49,8 | 50,9 | 51,9 | 53,1 | 54,1 | 55,2 | 56,3 |
|                       | 0,5                       |                       |      |      |      |      | 46,7 | 48,1 | 49,7 | 50,8 | 51,9 | 53   | 54   | 55,1 | 56,2 | 57,3 | 58,4 |
|                       | 0,6                       |                       |      |      |      |      | 48,6 | 50   | 51,8 | 52,9 | 54   | 55,1 | 56,1 | 57,2 | 58,3 | 59,4 | 60,5 |
|                       | 0,7                       |                       |      |      |      | 49   | 50,5 | 52   | 53,9 | 55   | 56   | 57,1 | 58,2 | 59,3 | 60,4 | 61,5 | 62,6 |
|                       | 0,8                       |                       |      |      |      | 50,9 | 52,4 | 53,9 | 55,3 | 57   | 58,1 | 59,2 | 60,3 | 61,4 | 62,4 | 63,5 | 64,6 |
|                       | 0,9                       |                       |      |      |      | 52,8 | 54,3 | 55,8 | 57,2 | 59,1 | 60,1 | 61,2 | 62,3 | 63,4 | 64,5 | 65,6 | 66,7 |
|                       | 1,0                       |                       |      |      | 53,1 | 54,7 | 56,2 | 57,7 | 59,2 | 60,4 | 61,5 | 63,3 | 64,3 | 65,4 | 66,5 | 67,6 | 68,7 |
|                       | 1,1                       |                       |      |      | 55   | 56,6 | 58,1 | 59,6 | 61   | 62,4 | 63,5 | 64,5 | 65,6 | 66,7 | 67,8 | 69,6 | 70,7 |
|                       | 1,2                       |                       |      |      | 56,9 | 58,5 | 60   | 61,5 | 62,9 | 64,3 | 65,4 | 66,5 | 67,6 | 68,7 | 69,8 | 70,8 | 71,9 |
|                       | 1,3                       |                       |      | 57,2 | 58,8 | 60,4 | 61,9 | 63,3 | 64,8 | 66,2 | 67,3 | 68,4 | 69,5 | 70,6 | 71,7 | 72,8 | 73,9 |
|                       | 1,4                       |                       |      | 59,2 | 60,7 | 62,2 | 63,7 | 65,1 | 66,6 | 68   | 69,2 | 70,3 | 71,4 | 72,5 | 73,6 | 74,7 | 75,8 |
|                       | 1,5                       |                       |      | 61,1 | 62,6 | 64,1 | 65,6 | 67   | 68,3 | 69,7 | 71,1 | 72,2 | 73,3 | 74,4 | 75,4 | 76,6 | 77,7 |
|                       | 1,6                       |                       | 61,2 | 62,9 | 64,5 | 65,9 | 67,3 | 68,7 | 70   | 71,4 | 72,7 | 74   | 75,1 | 76,2 | 77,3 | 78,4 | 79,5 |
|                       | 1,7                       |                       | 63   | 64,8 | 66,3 | 67,7 | 69   | 70,3 | 71,6 | 72,8 | 74,1 | 75,3 | 76,5 | 77,7 | 78,9 | 80   | 81,2 |
|                       | 1,8                       |                       | 64,6 | 66,3 | 67,8 | 69,2 | 70,4 | 71,7 | 72,8 | 74   | 75,1 | 76,2 | 77,3 | 78,4 | 79,5 | 80,6 | 81,7 |
|                       | 1,9                       |                       |      |      | 68,7 | 70   | 71,1 | 72,2 | 73,3 | 74,4 | 75,5 | 76,6 | 77,6 | 78,7 | 79,8 | 80,9 | 82   |

Im wyższe są moce zainstalowanych urządzeń tym wyższe są koszty inwestycyjne. Najniższe uzyskane wartości wynoszą 43-44 mln PLN. Uzyskano je w HIOZE charakteryzujących się wartością  $P_{PV+TW}$  większą od 2 MW. Wynika to z faktu, że źródła fotowoltaiczne i wiatrowe są tańsze (niż ICE lub BME) jednostkowo, przez co zwiększenie ich kosztów (nawet o 1 lub 2 MW) może być skompensowane z nadwyżką przez zmniejszenie kosztów BME lub układu zgazowania. Najwyższe wartości kosztów inwestycyjnych uzyskano dla HIOZE w której sumaryczna moc zainstalowana wszystkich urządzeń wynosi około 10 MW. W stosunku do wartości minimalnych, CAPEX wzrasta o około 91% do wartości 82 mln PLN. Wpływ mocy znamionowej poszczególnych urządzeń na całkowite koszty inwestycyjne przedstawiono na rysunku 21. Pokazano na nim jak zmienia się udział kosztów BME i układu zgazowarka-silnik gazowy w zależności od wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .



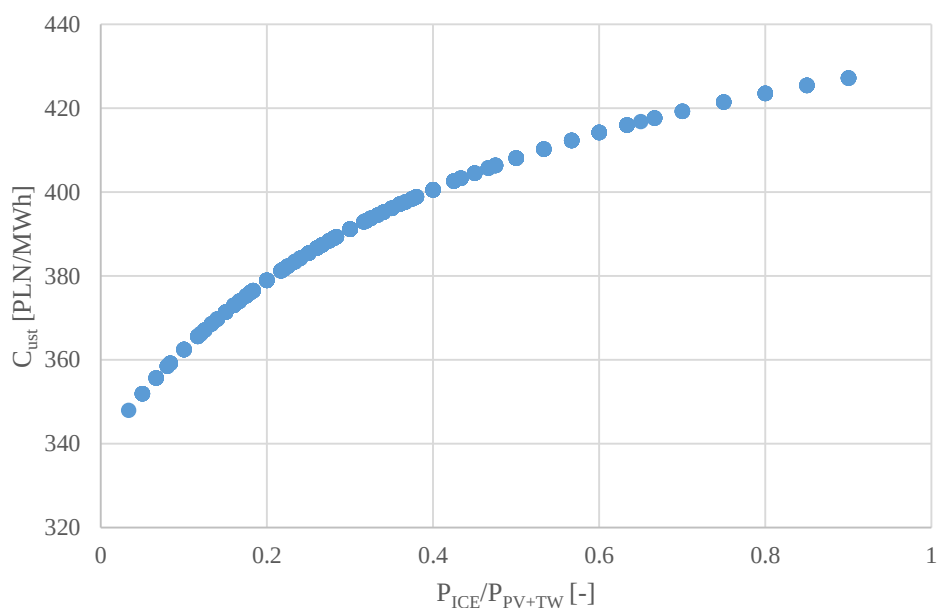


Rys. 21. Udział kosztów: A) BME, B) układu zgazowarka-silnik gazowy w całkowitej wartości CAPEX.

Im wyższe są wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  tym wyższe są również udziały tych źródeł w całkowitych kosztach inwestycyjnych HIOZE. Udział BME w CAPEX wynosi od niespełna 10%, przy niewielkich wartościach  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ , do około 45% gdy moce  $P_{BME}$  i  $P_{PV+TW}$  są sobie równe. Drugi i trzeci kwartył wyników zawiera się między 19,5%, a 29,6%. Koszty układu odzysku energii z odpadów stanowią natomiast od około 9% do ponad 67% wartości CAPEX. Im wyższa jest wartość współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  tym wyższy jest udział w kosztach. Wyjątek stanowią tu jedynie konfiguracje w których zarówno wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  jak i wartość  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  są bardzo wysokie, tzn. wynoszą powyżej 0,6. Drugi i trzeci kwartył wartości udziału układu zgazowarka-silnik w kosztach inwestycyjnych zawiera się w przedziale 36,4%-52,4%.

Wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  mają również wpływ na wartość ceny energii elektrycznej definiowanej przez ustawę. Na rysunku 22 przedstawiono zmiany wartości tej ceny.





Rys 22. Ustawowe ceny energii

Instalacje termicznego przetwarzania odpadów charakteryzują się wyższym referencyjnym czasem wykorzystania mocy oraz wyższymi cenami referencyjnymi, niż źródła PV i turbiny wiatrowe. W efekcie, wzrost wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  jest korzystny, gdyż zwiększa wartości ustawowych cen energii.

W następnym kroku wyznaczono różnicę między wartościami cen energii i wartościami LCOE. W efekcie uzyskano wyniki (w tabeli 28) wskazujące możliwy zysk (lub stratę) na każdej wyprodukowanej i sprzedanej jednostce energii elektrycznej.

Tab. 28. Zyski na sprzedaży jednostki energii w HIOZE – część I.

| $\Delta C$<br>[PLN /<br>MWh] |                            | $P_{BME}$ [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|----------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                              |                            | 0,5            | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| $P_{ICE}$ [MW]               | $P_{PV+WT} = 2 \text{ MW}$ |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                              | 1,3                        |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -47 |
|                              | 1,4                        |                |     |     |     |     |     |     |     |     | -1  | 4   | 8   | 11  | 13  | 10  | 10  |
|                              | 1,5                        |                |     |     |     |     |     | 20  | 29  | 36  | 41  | 46  | 44  | 47  | 49  | 50  | 51  |
|                              | 1,6                        |                |     |     |     | 23  | 37  | 48  | 56  | 64  | 65  | 69  | 73  | 74  | 76  | 77  | 78  |
|                              | 1,7                        |                |     |     | 17  | 33  | 45  | 54  | 62  | 69  | 69  | 73  | 75  | 76  | 76  | 75  | 74  |
|                              | 1,8                        |                |     |     | 13  | 24  | 33  | 38  | 39  | 39  | 38  | 35  | 32  | 27  | 23  | 18  | 14  |
|                              | $P_{PV+WT} = 3 \text{ MW}$ |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                              | 0,9                        |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -13 | -14 | -10 | -8  | -5  |
|                              | 1,0                        |                |     |     |     |     |     |     |     | 6   | 12  | 14  | 20  | 24  | 28  | 30  | 29  |
|                              | 1,1                        |                |     |     |     | 23  | 33  | 42  | 46  | 53  | 57  | 62  | 62  | 56  | 50  | 44  | 37  |
|                              | 1,2                        |                |     |     | 39  | 51  | 61  | 64  | 72  | 77  | 81  | 75  | 69  | 63  | 57  | 50  | 45  |
|                              | 1,3                        |                | 32  | 51  | 64  | 74  | 79  | 87  | 94  | 90  | 85  | 79  | 74  | 68  | 62  | 57  | 51  |
|                              | 1,4                        |                | 53  | 72  | 84  | 89  | 97  | 103 | 99  | 93  | 88  | 83  | 77  | 72  | 66  | 61  | 56  |
|                              | 1,5                        | 32             | 69  | 88  | 96  | 104 | 109 | 105 | 100 | 95  | 90  | 84  | 79  | 74  | 69  | 64  | 58  |
|                              | 1,6                        | 39             | 77  | 99  | 107 | 114 | 111 | 106 | 101 | 95  | 90  | 85  | 80  | 75  | 70  | 65  | 59  |
|                              | 1,7                        | 39             | 78  | 101 | 109 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95  | 90  | 85  | 79  | 74  | 68  | 63  | 58  |
|                              | 1,8                        | 31             | 72  | 96  | 109 | 110 | 108 | 102 | 97  | 92  | 86  | 81  | 76  | 70  | 65  | 59  | 54  |
|                              | 1,9                        | -5             | 37  | 60  | 73  | 77  | 74  | 69  | 64  | 58  | 52  | 47  | 41  | 36  | 30  | 24  | 18  |
|                              | 2,0                        |                |     | -24 | 0   | 12  | 13  | 8   | 3   | -4  | -10 | -17 | -23 | -30 | -37 | -44 | -50 |

Tab. 28. Zyski na sprzedaży jednostki energii w HIOZE – część II.

| $\Delta C$<br>[PLN /<br>MWh] | $P_{BME}$ [MW]     |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | 0,5                | 0,6                | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |      |
| $P_{ICE}$ [MW]               | $P_{PV+WT} = 4$ MW |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              | 0,5                |                    |      |      |      |      |      |      |      |      | -14  | -11  | -19  | -27  | -35  | -43  |      |
|                              | 0,6                |                    |      |      |      |      |      |      |      | 1    | 9    | 1    | -6   | -14  | -21  | -29  |      |
|                              | 0,7                |                    |      |      |      |      |      | 4    | 11   | 19   | 19   | 12   | 5    | -2   | -9   | -16  |      |
|                              | 0,8                |                    |      |      |      |      | 7    | 18   | 25   | 34   | 27   | 21   | 14   | 7    | 1    | -6   |      |
|                              | 0,9                |                    |      |      |      | 5    | 19   | 31   | 38   | 41   | 34   | 28   | 22   | 15   | 9    | 3    |      |
|                              | 1,0                |                    |      |      | -4   | 13   | 28   | 41   | 49   | 57   | 51   | 45   | 40   | 34   | 28   | 23   | 17   |
|                              | 1,1                |                    |      | -12  | 8    | 25   | 39   | 52   | 59   | 60   | 55   | 49   | 44   | 38   | 33   | 28   | 22   |
|                              | 1,2                |                    |      | 2    | 21   | 36   | 49   | 60   | 67   | 64   | 58   | 53   | 48   | 42   | 37   | 31   | 26   |
|                              | 1,3                |                    | -12  | 13   | 31   | 45   | 56   | 66   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   | 45   | 39   | 34   | 29   |
|                              | 1,4                |                    | -5   | 23   | 39   | 51   | 61   | 70   | 71   | 66   | 61   | 56   | 51   | 46   | 41   | 35   | 30   |
|                              | 1,5                |                    | -2   | 27   | 42   | 53   | 61   | 68   | 70   | 66   | 61   | 56   | 51   | 45   | 40   | 35   | 30   |
|                              | 1,6                | -44                | -2   | 27   | 43   | 52   | 58   | 62   | 66   | 68   | 63   | 58   | 53   | 48   | 42   | 37   | 32   |
|                              | 1,7                | -45                | -2   | 27   | 43   | 52   | 58   | 62   | 66   | 68   | 63   | 58   | 53   | 48   | 42   | 37   | 32   |
|                              | 1,8                | -54                | -12  | 18   | 34   | 40   | 43   | 44   | 42   | 41   | 38   | 34   | 30   | 26   | 21   | 16   | 11   |
|                              | 1,9                |                    | -59  | -30  | -13  | -10  | -12  | -17  | -23  | -29  | -36  | -42  | -49  | -56  | -63  | -69  | -76  |
|                              | 2,0                |                    |      |      | -104 | -90  | -88  | -93  | -100 | -107 | -114 | -122 | -129 | -136 | -144 | -152 | -160 |
|                              | $P_{ICE}$ [MW]     | $P_{PV+WT} = 5$ MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              |                    | 0,4                |      |      |      |      |      |      | -5   | -12  | -20  | -28  | -36  | -43  | -51  | -59  | -66  |
|                              |                    | 0,5                |      |      |      |      |      | -14  | 2    | -3   | -10  | -17  | -25  | -32  | -39  | -46  | -53  |
| 0,6                          |                    |                    |      |      |      |      | -11  | 5    | 5    | -1   | -9   | -15  | -22  | -29  | -36  | -42  |      |
| 0,7                          |                    |                    |      |      |      | -29  | -10  | 12   | 16   | 6    | -1   | -7   | -14  | -20  | -27  | -33  |      |
| 0,8                          |                    |                    |      |      |      | -26  | 0    | 15   | 22   | 12   | 6    | 0    | -6   | -12  | -19  | -25  |      |
| 0,9                          |                    |                    |      |      | -43  | -12  | 5    | 21   | 24   | 18   | 12   | 6    | 0    | -6   | -11  | -17  |      |
| 1,0                          |                    |                    |      |      | -28  | -8   | 10   | 25   | 28   | 22   | 17   | 11   | 6    | 0    | -6   | -11  |      |
| 1,1                          |                    |                    |      | -46  | -23  | -3   | 14   | 29   | 32   | 26   | 21   | 15   | 10   | 4    | -1   | -6   |      |
| 1,2                          |                    |                    |      | -41  | -18  | 0    | 17   | 31   | 34   | 29   | 24   | 18   | 13   | 8    | 3    | -3   |      |
| 1,3                          |                    |                    |      | -61  | -36  | -15  | 3    | 19   | 32   | 36   | 31   | 26   | 21   | 16   | 10   | 5    | 0    |
| 1,4                          |                    |                    |      | -52  | -29  | -10  | 6    | 20   | 31   | 41   | 36   | 31   | 26   | 21   | 16   | 7    | 2    |
| 1,5                          |                    |                    | -80  | -46  | -23  | -8   | 6    | 17   | 28   | 37   | 36   | 31   | 26   | 21   | 16   | 11   | 6    |
| 1,6                          |                    |                    | -78  | -45  | -23  | -9   | 3    | 13   | 21   | 29   | 36   | 31   | 26   | 21   | 16   | 10   | 5    |
| 1,7                          |                    |                    | -80  | -46  | -25  | -12  | -4   | 3    | 7    | 11   | 15   | 16   | 18   | 18   | 13   | 8    | 2    |
| 1,8                          |                    |                    | -94  | -61  | -42  | -32  | -28  | -27  | -28  | -30  | -33  | -37  | -41  | -47  | -52  | -57  | -63  |
| 1,9                          |                    |                    |      | -121 | -103 | -97  | -98  | -104 | -110 | -118 | -125 | -132 | -140 | -147 | -154 | -162 | -169 |
| 2,0                          |                    |                    |      |      |      |      | -197 | -204 | -212 | -220 | -229 | -238 | -246 | -254 | -262 | -271 |      |
| $P_{ICE}$ [MW]               |                    | $P_{PV+WT} = 6$ MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              |                    | 0,2                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              | 0,3                |                    |      |      |      |      | -25  | -33  | -40  | -48  | -56  | -63  | -71  | -78  | -85  | -93  |      |
|                              | 0,4                |                    |      |      |      | -33  | -17  | -24  | -31  | -39  | -46  | -53  | -60  | -67  | -74  | -81  |      |
|                              | 0,5                |                    |      |      |      | -36  | -17  | -17  | -24  | -30  | -37  | -44  | -50  | -57  | -63  | -70  |      |
|                              | 0,6                |                    |      |      |      | -38  | -18  | -10  | -17  | -23  | -29  | -36  | -42  | -48  | -54  | -61  |      |
|                              | 0,7                |                    |      |      | -61  | -37  | -17  | -4   | -11  | -17  | -23  | -29  | -35  | -41  | -47  | -53  |      |
|                              | 0,8                |                    |      |      | -60  | -36  | -17  | 1    | -5   | -11  | -17  | -23  | -28  | -34  | -40  | -46  |      |
|                              | 0,9                |                    |      |      | -59  | -36  | -16  | 1    | -1   | -6   | -12  | -18  | -23  | -29  | -34  | -40  |      |
|                              | 1,0                |                    |      | -84  | -58  | -35  | -15  | 2    | 6    | 1    | -8   | -13  | -19  | -24  | -30  | -35  |      |
|                              | 1,1                |                    |      | -84  | -58  | -35  | -16  | 1    | 9    | 4    | -1   | -7   | -12  | -17  | -26  | -31  |      |
|                              | 1,2                |                    |      | -82  | -56  | -34  | -16  | 0    | 12   | 6    | 1    | -4   | -9   | -14  | -19  | -24  |      |
|                              | 1,3                |                    |      | -107 | -78  | -54  | -34  | -17  | -2   | 11   | 8    | 3    | -2   | -7   | -12  | -17  | -22  |
|                              | 1,4                |                    |      | -102 | -75  | -54  | -36  | -21  | -8   | 4    | 9    | 4    | -1   | -6   | -11  | -16  | -21  |
|                              | 1,5                |                    |      | -98  | -72  | -54  | -38  | -25  | -13  | -3   | 7    | 4    | -1   | -6   | -11  | -16  | -21  |
|                              | 1,6                |                    | -137 | -99  | -74  | -57  | -43  | -32  | -22  | -14  | -6   | -1   | -2   | -7   | -12  | -17  | -22  |
|                              | 1,7                |                    | -139 | -102 | -78  | -62  | -52  | -45  | -40  | -36  | -32  | -30  | -29  | -28  | -28  | -29  | -31  |
|                              | 1,8                |                    | -157 | -121 | -99  | -87  | -83  | -81  | -81  | -84  | -87  | -91  | -96  | -102 | -108 | -114 | -120 |
|                              | 1,9                |                    |      |      | -172 | -163 | -165 | -171 | -179 | -186 | -194 | -202 | -210 | -218 | -226 | -233 | -242 |

Najwyższe uzyskane wartości różnicy między cenami sprzedaży energii elektrycznej, a kosztami jej produkcji wynoszą do 115 PLN/MWh. Jest to możliwe w przypadku HIOZE o wartościach  $P_{PV+TW} - P_{ICE}/P_{PV+TW} - P_{BME}/P_{PV+TW}$  wynoszących odpowiednio 3 MW – 0,567 – 0,3. W HIOZE w których  $P_{PV+TW} = 2$  MW maksymalna wartość zysku na jednej jednostce energii elektrycznej wynosiła 78 PLN, a przy  $P_{PV+TW} = 4$  MW wynosiła 71 PLN. Przy większych mocach źródeł niesterowalnych możliwe do uzyskania zyski spadały ze względu na rosnące przewymiarowanie źródeł i zwiększające się w efekcie koszty źródeł. Przy układach w których suma mocy zainstalowanej paneli PV i turbin wiatrowych wynosiła 5 lub 6 MW częstsze są wartości ujemne świadczące o stratach. Widoczne jest jednak, że w świetle przyjętych założeń znaczna część analizowanych konfiguracji będzie opłacalna ekonomicznie, ze względu na możliwość sprzedaży energii po cenach wyższych od kosztów produkcji. Należy również zaznaczyć, że w analizie założono uczestnictwo HIOZE w systemie EU ETS, co nie jest obecnie przesądzone. W przypadku utrzymania zwolnienia z opłat za emisje, znacząco wzrosłaby opłacalność instalacji.

#### 5.4. Wyniki analiz środowiskowych

W następnym etapie wyznaczono środowiskowe wskaźniki pracy instalacji tzn. jednostkowy wskaźnik emisji oraz roczne zużycie odpadów na cele produkcji energii elektrycznej. W tabeli 29 przedstawiono wartości jednostkowego wskaźnika emisji dla każdej z analizowanych konfiguracji HOZE.

Tab. 29. Jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> – część I

| E <sub>ICO2</sub><br>[kg /<br>MWh] |                           | P <sub>BME</sub> [MW]     |     |     |     |     |     |     |                        |     |     |     |     |      |      |      |      |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                    |                           | 0,5                       | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | P <sub>2</sub> 1,2 1,3 |     | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
|                                    |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |     |     |     |     |     |     |                        |     |     |     |     |      |      |      |      |
| P <sub>ICE</sub> [MW]              | 1,3                       |                           |     |     |     |     |     |     |                        |     |     |     |     |      |      |      | 860  |
|                                    | 1,4                       |                           |     |     |     |     |     |     |                        |     | 866 | 881 | 893 | 905  | 915  | 924  | 932  |
|                                    | 1,5                       |                           |     |     |     |     |     | 875 | 894                    | 910 | 923 | 936 | 946 | 956  | 964  | 972  | 979  |
|                                    | 1,6                       |                           |     |     |     | 874 | 898 | 919 | 936                    | 951 | 964 | 975 | 984 | 992  | 999  | 1005 | 1011 |
|                                    | 1,7                       |                           |     |     | 873 | 899 | 920 | 938 | 953                    | 967 | 978 | 988 | 996 | 1002 | 1008 | 1012 | 1016 |
|                                    | 1,8                       |                           |     |     | 883 | 905 | 921 | 933 | 941                    | 949 | 954 | 958 | 961 | 963  | 966  | 968  | 969  |
|                                    | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |                           |     |     |     |     |     |     |                        |     |     |     |     |      |      |      |      |
|                                    | 0,9                       |                           |     |     |     |     |     |     |                        |     |     |     | 651 | 672  | 691  | 708  | 723  |
|                                    | 1,0                       |                           |     |     |     |     |     |     |                        | 661 | 686 | 709 | 730 | 749  | 767  | 782  | 790  |
|                                    | 1,1                       |                           |     |     |     | 648 | 683 | 713 | 740                    | 764 | 783 | 801 | 813 | 813  | 814  | 815  | 815  |
|                                    | 1,2                       |                           |     |     | 684 | 719 | 749 | 776 | 799                    | 819 | 834 | 834 | 835 | 836  | 836  | 837  | 837  |
|                                    | 1,3                       |                           | 663 | 710 | 747 | 777 | 804 | 828 | 848                    | 852 | 853 | 854 | 854 | 855  | 855  | 856  | 857  |
|                                    | 1,4                       |                           | 720 | 766 | 797 | 823 | 846 | 865 | 868                    | 868 | 869 | 870 | 871 | 871  | 872  | 873  | 873  |
|                                    | 1,5                       | 689                       | 766 | 810 | 839 | 860 | 879 | 881 | 882                    | 883 | 883 | 884 | 884 | 885  | 886  | 886  | 887  |
|                                    | 1,6                       | 721                       | 796 | 842 | 870 | 889 | 893 | 893 | 894                    | 894 | 895 | 895 | 896 | 896  | 897  | 897  | 898  |
|                                    | 1,7                       | 740                       | 813 | 858 | 887 | 903 | 903 | 903 | 904                    | 904 | 904 | 904 | 904 | 905  | 905  | 905  | 905  |
|                                    | 1,8                       | 745                       | 819 | 864 | 892 | 907 | 911 | 911 | 911                    | 910 | 910 | 910 | 910 | 910  | 909  | 909  | 909  |
|                                    | 1,9                       | 707                       | 782 | 827 | 854 | 868 | 871 | 872 | 873                    | 873 | 873 | 873 | 874 | 874  | 873  | 873  | 873  |
|                                    | 2,0                       |                           |     | 725 | 769 | 795 | 805 | 808 | 808                    | 808 | 808 | 808 | 809 | 809  | 809  | 809  | 809  |

Tab. 29. Jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> – część II

| P <sub>ICE</sub> [MW]     | E <sub>fCO2</sub><br>[kg /<br>MWh] | P <sub>BME</sub> [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                                    | 0,5                   | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,5                       |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     |     | 451 | 477 | 478 | 478 | 479 | 479 |     |
| 0,6                       |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     | 494 | 530 | 531 | 531 | 532 | 532 | 532 |     |
| 0,7                       |                                    |                       |     |     |     |     |     | 481 | 523 | 561 | 576 | 576 | 577 | 577 | 578 | 578 |     |
| 0,8                       |                                    |                       |     |     |     |     | 495 | 540 | 580 | 614 | 615 | 616 | 616 | 617 | 618 | 618 |     |
| 0,9                       |                                    |                       |     |     |     | 499 | 547 | 589 | 627 | 648 | 649 | 650 | 650 | 651 | 652 | 653 |     |
| 1,0                       |                                    |                       |     |     | 493 | 546 | 592 | 634 | 669 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 |     |
| 1,1                       |                                    |                       |     | 492 | 548 | 595 | 637 | 674 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 |     |
| 1,2                       |                                    |                       | 482 | 543 | 593 | 638 | 676 | 709 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 |     |
| 1,3                       |                                    |                       | 538 | 591 | 636 | 675 | 709 | 739 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 |     |
| 1,4                       |                                    | 515                   | 582 | 631 | 671 | 705 | 735 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 767 |     |
| 1,5                       |                                    | 552                   | 621 | 666 | 700 | 730 | 756 | 775 | 776 | 777 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 781 |     |
| 1,6                       | 480                                | 580                   | 648 | 688 | 719 | 744 | 767 | 787 | 788 | 789 | 790 | 790 | 791 | 791 | 792 | 792 |     |
| 1,7                       | 501                                | 599                   | 667 | 707 | 733 | 753 | 771 | 786 | 798 | 798 | 799 | 799 | 799 | 799 | 800 | 800 |     |
| 1,8                       | 507                                | 601                   | 669 | 707 | 729 | 743 | 753 | 760 | 767 | 771 | 775 | 777 | 778 | 780 | 781 | 782 |     |
| 1,9                       |                                    | 538                   | 604 | 644 | 662 | 669 | 671 | 672 | 673 | 673 | 674 | 674 | 674 | 674 | 674 | 674 |     |
| 2,0                       |                                    |                       |     | 515 | 551 | 566 | 570 | 572 | 572 | 573 | 573 | 574 | 575 | 575 | 575 | 575 |     |
| P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,4                       |                                    |                       |     |     |     |     |     | 352 | 353 | 353 | 354 | 354 | 355 | 355 | 356 | 356 |     |
| 0,5                       |                                    |                       |     |     |     |     |     | 437 | 412 | 410 | 411 | 374 | 412 | 413 | 413 | 414 |     |
| 0,6                       |                                    |                       |     |     |     |     |     | 496 | 467 | 460 | 407 | 461 | 462 | 463 | 463 | 464 |     |
| 0,7                       |                                    |                       |     |     |     |     | 589 | 551 | 375 | 422 | 480 | 505 | 506 | 506 | 507 | 508 |     |
| 0,8                       |                                    |                       |     |     |     |     | 636 | 397 | 438 | 483 | 542 | 543 | 544 | 544 | 545 | 546 |     |
| 0,9                       |                                    |                       |     |     |     | 723 | 406 | 452 | 492 | 536 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 |     |
| 1,0                       |                                    |                       |     |     |     | 405 | 458 | 503 | 544 | 588 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 |     |
| 1,1                       |                                    |                       |     | 411 | 470 | 517 | 559 | 596 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 |     |
| 1,2                       |                                    |                       |     | 471 | 524 | 570 | 610 | 643 | 651 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 658 |     |
| 1,3                       |                                    |                       | 474 | 532 | 580 | 621 | 656 | 687 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 |     |
| 1,4                       |                                    |                       | 526 | 581 | 625 | 661 | 692 | 717 | 689 | 690 | 691 | 692 | 692 | 693 | 694 | 695 |     |
| 1,5                       |                                    | 493                   | 575 | 625 | 665 | 698 | 727 | 741 | 712 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 709 |     |
| 1,6                       |                                    | 525                   | 609 | 653 | 690 | 717 | 742 | 765 | 740 | 718 | 718 | 719 | 719 | 720 | 720 | 721 |     |
| 1,7                       |                                    | 547                   | 632 | 680 | 707 | 731 | 751 | 771 | 783 | 766 | 751 | 739 | 727 | 728 | 728 | 728 |     |
| 1,8                       |                                    | 550                   | 639 | 685 | 710 | 728 | 741 | 750 | 760 | 765 | 769 | 772 | 775 | 777 | 779 | 781 |     |
| 1,9                       |                                    |                       | 557 | 611 | 631 | 641 | 643 | 644 | 647 | 647 | 648 | 649 | 648 | 648 | 647 | 647 |     |
| 2,0                       |                                    |                       |     |     |     |     | 517 | 519 | 520 | 521 | 522 | 524 | 525 | 524 | 524 | 524 |     |
| P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,2                       |                                    |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 182 |
| 0,3                       |                                    |                       |     |     |     |     |     | 249 | 250 | 251 | 251 | 252 | 252 | 253 | 253 | 253 | 253 |
| 0,4                       |                                    |                       |     |     |     |     | 235 | 310 | 311 | 312 | 313 | 313 | 314 | 315 | 315 | 315 | 316 |
| 0,5                       |                                    |                       |     |     |     |     | 264 | 338 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 368 | 369 | 369 | 370 |
| 0,6                       |                                    |                       |     |     |     |     | 295 | 366 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 415 | 416 | 416 | 417 |
| 0,7                       |                                    |                       |     |     |     | 244 | 327 | 397 | 452 | 454 | 455 | 456 | 456 | 457 | 458 | 458 | 459 |
| 0,8                       |                                    |                       |     |     |     | 282 | 360 | 425 | 482 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 495 | 496 |
| 0,9                       |                                    |                       |     |     |     | 315 | 389 | 452 | 506 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 528 | 529 |
| 1,0                       |                                    |                       |     |     |     | 263 | 347 | 417 | 477 | 529 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 |
| 1,1                       |                                    |                       |     |     |     | 293 | 373 | 441 | 498 | 547 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 |
| 1,2                       |                                    |                       |     |     |     | 326 | 401 | 465 | 519 | 564 | 599 | 601 | 602 | 603 | 604 | 604 | 606 |
| 1,3                       |                                    |                       | 279 | 361 | 429 | 487 | 535 | 578 | 615 | 621 | 622 | 623 | 623 | 623 | 624 | 625 | 626 |
| 1,4                       |                                    |                       | 316 | 391 | 451 | 503 | 546 | 584 | 617 | 638 | 639 | 640 | 640 | 641 | 642 | 643 | 643 |
| 1,5                       |                                    |                       | 352 | 420 | 473 | 518 | 557 | 591 | 621 | 649 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 657 | 657 |
| 1,6                       |                                    | 278                   | 374 | 440 | 488 | 526 | 560 | 590 | 616 | 639 | 659 | 667 | 667 | 668 | 668 | 669 | 669 |
| 1,7                       |                                    | 298                   | 391 | 454 | 496 | 527 | 552 | 574 | 592 | 609 | 622 | 635 | 646 | 655 | 662 | 668 | 668 |
| 1,8                       |                                    | 287                   | 376 | 433 | 469 | 490 | 505 | 517 | 524 | 530 | 534 | 537 | 539 | 540 | 541 | 541 | 541 |
| 1,9                       |                                    |                       |     | 319 | 350 | 362 | 365 | 365 | 366 | 366 | 366 | 366 | 367 | 368 | 368 | 368 | 368 |

Widoczne jest, że im wyższa jest wartość P<sub>PV+TW</sub> tym mniejszy jest jednostkowy wskaźnik emisji, co wynika z faktu, że więcej energii elektrycznej generują źródła

nieemisyjne, a mniej jest wytwarzane z odpadów. W efekcie najkorzystniejsze wartości wskaźnika (poniżej 300 kg/MWh, a w jednym przypadku nawet 182 kg/MWh) występują przy największej z analizowanych mocy źródeł niesterowalnych. Najwyższe wartości wskaźnika (najmniej korzystne) są rzędu 900-1000 kg/MWh i występują głównie w konfiguracjach z mocą OZE równą 2 MW oraz pojedyncze przy mocy OZE równej 3 MW. Należy wyraźnie zaznaczyć, że przedstawione tu wartości są wartościami obejmującymi całkowitą emisję CO<sub>2</sub>. Ze względu na charakter paliwa – pre-RDF – 42% tej wartości uznawane jest za emisję ze źródła odnawialnego. Oznacza to, że emisja CO<sub>2</sub> ze źródeł nieodnawialnych zawierała się w zakresie 106-589 kg/MWh. Oznacza to, że nawet w najmniej korzystnej konfiguracji, wskaźnik jest niższy niż średnioroczny dla energetyki w Polsce.

Należy również zwrócić uwagę na rosnącą wartość wskaźnika emisji przy zwiększaniu mocy i pojemności magazynu, co jest skutkiem algorytmu pracy układu. Większy magazyn oznacza możliwość zmagazynowania większej ilości energii, a w efekcie wyższy czas wykorzystania mocy przyłączeniowej. Jednakże, oznacza również dłuższą pracę ICE – czyli źródła obciążonego emisją CO<sub>2</sub>.

W tabeli 30 przedstawiono roczne wartości masy wykorzystanych odpadów komunalnych.

Tabela 30. Roczne zużycie odpadów komunalnych – część I

| BOK<br>[tys, t]       | P <sub>BME</sub> [MW]     |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|---------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0,5                       | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2,0   |
| P <sub>ICE</sub> [MW] | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 1,3                       |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 6,32  |
|                       | 1,4                       |      |      |      |       |       |       |       |       | 6,42  | 6,76  | 7,07  | 7,37  | 7,65  | 7,92  | 8,16  |
|                       | 1,5                       |      |      |      |       |       | 6,58  | 7,04  | 7,48  | 7,86  | 8,24  | 8,59  | 8,92  | 9,24  | 9,52  | 9,81  |
|                       | 1,6                       |      |      |      | 6,53  | 7,13  | 7,68  | 8,2   | 8,69  | 9,15  | 9,57  | 9,96  | 10,29 | 10,63 | 10,93 | 11,23 |
|                       | 1,7                       |      |      | 6,49 | 7,12  | 7,69  | 8,23  | 8,73  | 9,22  | 9,66  | 10,06 | 10,42 | 10,73 | 10,99 | 11,22 | 11,41 |
|                       | 1,8                       |      |      | 6,69 | 7,22  | 7,67  | 8,04  | 8,31  | 8,55  | 8,75  | 8,89  | 9     | 9,09  | 9,18  | 9,25  | 9,32  |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 0,9                       |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       | 4,78  | 5,1   | 5,41  | 5,71  | 5,99  |
|                       | 1,0                       |      |      |      |       |       |       |       | 4,9   | 5,3   | 5,7   | 6,09  | 6,47  | 6,84  | 7,19  | 7,38  |
|                       | 1,1                       |      |      |      | 4,7   | 5,23  | 5,75  | 6,25  | 6,74  | 7,18  | 7,61  | 7,92  | 7,94  | 7,96  | 7,98  | 8     |
|                       | 1,2                       |      |      | 5,23 | 5,84  | 6,42  | 6,98  | 7,53  | 8,04  | 8,46  | 8,48  | 8,51  | 8,53  | 8,55  | 8,57  | 8,59  |
|                       | 1,3                       | 4,88 | 5,66 | 6,35 | 6,99  | 7,63  | 8,27  | 8,85  | 8,98  | 9,01  | 9,04  | 9,06  | 9,09  | 9,11  | 9,14  | 9,16  |
|                       | 1,4                       | 5,81 | 6,73 | 7,45 | 8,11  | 8,76  | 9,36  | 9,45  | 9,49  | 9,52  | 9,55  | 9,57  | 9,6   | 9,63  | 9,65  | 9,68  |
|                       | 1,5                       | 5,28 | 6,71 | 7,74 | 8,53  | 9,18  | 9,79  | 9,88  | 9,91  | 9,94  | 9,97  | 10    | 10,03 | 10,06 | 10,08 | 10,13 |
|                       | 1,6                       | 5,82 | 7,38 | 8,58 | 9,43  | 10,11 | 10,26 | 10,29 | 10,32 | 10,35 | 10,37 | 10,4  | 10,43 | 10,45 | 10,47 | 10,51 |
|                       | 1,7                       | 6,17 | 7,76 | 9,04 | 9,98  | 10,59 | 10,62 | 10,64 | 10,66 | 10,68 | 10,7  | 10,72 | 10,74 | 10,75 | 10,76 | 10,78 |
|                       | 1,8                       | 6,25 | 7,9  | 9,2  | 10,13 | 10,72 | 10,89 | 10,89 | 10,9  | 10,9  | 10,91 | 10,91 | 10,91 | 10,91 | 10,91 | 10,91 |
|                       | 1,9                       | 5,55 | 7    | 8,08 | 8,85  | 9,28  | 9,41  | 9,46  | 9,49  | 9,51  | 9,52  | 9,53  | 9,55  | 9,56  | 9,56  | 9,57  |
|                       | 2,0                       |      | 5,83 | 6,69 | 7,26  | 7,5   | 7,58  | 7,61  | 7,62  | 7,63  | 7,65  | 7,65  | 7,66  | 7,67  | 7,67  | 7,67  |

Tabela 30. Roczne zużycie odpadów komunalnych – część II

| BOK<br>[tys. t]       | P <sub>BME</sub> [MW]     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 0.5                       | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  | 1.1  | 1.2  | 1.3  | 1.4  | 1.5  | 1.6  | 1.7  | 1.8  | 1.9  | 2.0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW] | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0.5                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3.25 | 3.57 | 3.58 | 3.59 | 3.6  | 3.61 |
|                       | 0.6                       |      |      |      |      |      |      |      |      | 3.74 | 4.2  | 4.22 | 4.24 | 4.25 | 4.26 | 4.27 |
|                       | 0.7                       |      |      |      |      |      |      | 3.56 | 4.09 | 4.61 | 4.84 | 4.86 | 4.87 | 4.89 | 4.9  | 4.92 |
|                       | 0.8                       |      |      |      |      |      | 3.72 | 4.3  | 4.88 | 5.43 | 5.45 | 5.47 | 5.49 | 5.5  | 5.52 | 5.54 |
|                       | 0.9                       |      |      |      |      | 3.75 | 4.38 | 5    | 5.62 | 6    | 6.03 | 6.05 | 6.07 | 6.1  | 6.12 | 6.14 |
|                       | 1.0                       |      |      |      | 3.67 | 4.35 | 5.04 | 5.73 | 6.39 | 6.56 | 6.59 | 6.62 | 6.64 | 6.66 | 6.69 | 6.71 |
|                       | 1.1                       |      |      | 3.65 | 4.37 | 5.07 | 5.78 | 6.48 | 7.06 | 7.09 | 7.12 | 7.15 | 7.18 | 7.21 | 7.23 | 7.26 |
|                       | 1.2                       |      | 3.53 | 4.29 | 5.03 | 5.77 | 6.5  | 7.19 | 7.56 | 7.59 | 7.63 | 7.66 | 7.69 | 7.72 | 7.74 | 7.77 |
|                       | 1.3                       |      | 4.22 | 4.98 | 5.73 | 6.47 | 7.19 | 7.89 | 8.03 | 8.06 | 8.09 | 8.12 | 8.15 | 8.18 | 8.21 | 8.24 |
|                       | 1.4                       | 3.91 | 4.84 | 5.64 | 6.38 | 7.09 | 7.78 | 8.43 | 8.46 | 8.49 | 8.52 | 8.55 | 8.58 | 8.61 | 8.64 | 8.66 |
|                       | 1.5                       | 4.41 | 5.45 | 6.26 | 6.96 | 7.64 | 8.31 | 8.82 | 8.85 | 8.88 | 8.91 | 8.94 | 8.96 | 8.99 | 9.02 | 9.04 |
|                       | 1.6                       | 3.49 | 4.8  | 5.91 | 6.69 | 7.37 | 7.98 | 8.57 | 9.14 | 9.19 | 9.22 | 9.24 | 9.27 | 9.29 | 9.31 | 9.35 |
|                       | 1.7                       | 3.74 | 5.08 | 6.25 | 7.08 | 7.68 | 8.19 | 8.66 | 9.11 | 9.47 | 9.49 | 9.5  | 9.52 | 9.53 | 9.54 | 9.55 |
|                       | 1.8                       | 3.81 | 5.11 | 6.29 | 7.06 | 7.56 | 7.92 | 8.18 | 8.38 | 8.56 | 8.68 | 8.78 | 8.84 | 8.89 | 8.93 | 9.02 |
|                       | 1.9                       |      | 4.19 | 5.14 | 5.82 | 6.14 | 6.29 | 6.33 | 6.36 | 6.38 | 6.39 | 6.41 | 6.42 | 6.41 | 6.42 | 6.42 |
|                       | 2.0                       |      |      | 3.88 | 4.35 | 4.57 | 4.63 | 4.66 | 4.67 | 4.69 | 4.69 | 4.71 | 4.72 | 4.73 | 4.73 | 4.73 |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0.4                       |      |      |      |      |      |      | 2.63 | 2.64 | 2.66 | 2.67 | 2.68 | 2.69 | 2.7  | 2.71 | 2.72 |
|                       | 0.5                       |      |      |      |      |      | 3.22 | 3.24 | 3.25 | 3.27 | 2.98 | 3.3  | 3.31 | 3.33 | 3.34 | 3.35 |
|                       | 0.6                       |      |      |      |      |      | 3.8  | 3.82 | 3.84 | 3.42 | 3.88 | 3.9  | 3.92 | 3.93 | 3.95 | 3.96 |
|                       | 0.7                       |      |      |      |      | 4.33 | 4.36 | 3.17 | 3.71 | 4.23 | 4.46 | 4.48 | 4.5  | 4.52 | 4.54 | 4.55 |
|                       | 0.8                       |      |      |      |      | 4.87 | 3.27 | 3.86 | 4.44 | 4.99 | 5.01 | 5.04 | 5.06 | 5.08 | 5.1  | 5.12 |
|                       | 0.9                       |      |      |      | 5.36 | 3.25 | 3.88 | 4.51 | 5.13 | 5.52 | 5.54 | 5.57 | 5.6  | 5.62 | 5.64 | 5.67 |
|                       | 1.0                       |      |      |      | 3.13 | 3.81 | 4.5  | 5.19 | 5.85 | 6.03 | 6.06 | 6.08 | 6.11 | 6.13 | 6.16 | 6.18 |
|                       | 1.1                       |      |      | 3.06 | 3.79 | 4.49 | 5.2  | 5.9  | 6.48 | 6.51 | 6.54 | 6.57 | 6.6  | 6.62 | 6.65 | 6.67 |
|                       | 1.2                       |      |      | 3.66 | 4.4  | 5.14 | 5.86 | 6.56 | 6.93 | 6.96 | 6.99 | 7.02 | 7.05 | 7.08 | 7.1  | 7.13 |
|                       | 1.3                       |      | 3.54 | 4.3  | 5.05 | 5.79 | 6.5  | 7.21 | 7.35 | 7.38 | 7.41 | 7.44 | 7.47 | 7.5  | 7.52 | 7.55 |
|                       | 1.4                       |      | 4.12 | 4.91 | 5.65 | 6.37 | 7.06 | 7.7  | 7.74 | 7.77 | 7.8  | 7.82 | 7.85 | 7.88 | 7.9  | 7.93 |
|                       | 1.5                       | 3.64 | 4.69 | 5.5  | 6.2  | 6.88 | 7.54 | 8.05 | 8.08 | 8.11 | 8.14 | 8.17 | 8.19 | 8.22 | 8.24 | 8.26 |
|                       | 1.6                       | 4    | 5.11 | 5.89 | 6.58 | 7.18 | 7.77 | 8.35 | 8.39 | 8.42 | 8.44 | 8.46 | 8.48 | 8.5  | 8.52 | 8.53 |
|                       | 1.7                       | 4.26 | 5.43 | 6.26 | 6.86 | 7.36 | 7.83 | 8.28 | 8.64 | 8.65 | 8.67 | 8.68 | 8.69 | 8.7  | 8.71 | 8.71 |
|                       | 1.8                       | 4.26 | 5.43 | 6.2  | 6.7  | 7.06 | 7.32 | 7.51 | 7.7  | 7.82 | 7.92 | 7.98 | 8.03 | 8.07 | 8.11 | 8.15 |
|                       | 1.9                       |      | 4.26 | 4.94 | 5.26 | 5.41 | 5.46 | 5.48 | 5.51 | 5.52 | 5.53 | 5.54 | 5.54 | 5.54 | 5.54 | 5.54 |
|                       | 2.0                       |      |      |      |      |      | 3.75 | 3.78 | 3.79 | 3.81 | 3.81 | 3.83 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.86 |
|                       | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0.2                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.31 |
|                       | 0.3                       |      |      |      |      |      | 1.85 | 1.86 | 1.88 | 1.89 | 1.9  | 1.91 | 1.92 | 1.92 | 1.93 | 1.94 |
|                       | 0.4                       |      |      |      |      | 1.71 | 2.43 | 2.45 | 2.46 | 2.48 | 2.49 | 2.5  | 2.52 | 2.53 | 2.54 | 2.55 |
|                       | 0.5                       |      |      |      |      | 1.96 | 2.71 | 3.01 | 3.03 | 3.05 | 3.06 | 3.08 | 3.1  | 3.11 | 3.13 | 3.14 |
|                       | 0.6                       |      |      |      |      | 2.25 | 3.02 | 3.56 | 3.58 | 3.6  | 3.62 | 3.64 | 3.66 | 3.67 | 3.69 | 3.71 |
|                       | 0.7                       |      |      |      | 1.76 | 2.57 | 3.36 | 4.09 | 4.12 | 4.14 | 4.16 | 4.18 | 4.2  | 4.22 | 4.24 | 4.26 |
|                       | 0.8                       |      |      |      | 2.1  | 2.91 | 3.71 | 4.5  | 4.63 | 4.66 | 4.68 | 4.71 | 4.73 | 4.75 | 4.77 | 4.79 |
|                       | 0.9                       |      |      |      | 2.42 | 3.23 | 4.04 | 4.85 | 5.13 | 5.15 | 5.18 | 5.2  | 5.23 | 5.25 | 5.27 | 5.29 |
|                       | 1.0                       |      |      | 1.91 | 2.75 | 3.57 | 4.39 | 5.2  | 5.6  | 5.63 | 5.65 | 5.68 | 5.71 | 5.73 | 5.75 | 5.77 |
|                       | 1.1                       |      |      | 2.19 | 3.04 | 3.87 | 4.69 | 5.48 | 6.04 | 6.07 | 6.1  | 6.13 | 6.15 | 6.18 | 6.2  | 6.23 |
|                       | 1.2                       |      |      | 2.51 | 3.36 | 4.19 | 5    | 5.78 | 6.46 | 6.49 | 6.52 | 6.54 | 6.57 | 6.6  | 6.62 | 6.65 |
|                       | 1.3                       |      | 2.05 | 2.88 | 3.7  | 4.5  | 5.25 | 6.01 | 6.75 | 6.88 | 6.91 | 6.94 | 6.96 | 6.99 | 7.01 | 7.04 |
|                       | 1.4                       |      | 2.41 | 3.23 | 3.98 | 4.73 | 5.43 | 6.12 | 6.79 | 7.23 | 7.26 | 7.29 | 7.31 | 7.34 | 7.36 | 7.38 |
|                       | 1.5                       |      | 2.78 | 3.57 | 4.28 | 4.95 | 5.6  | 6.24 | 6.85 | 7.47 | 7.58 | 7.6  | 7.63 | 7.65 | 7.67 | 7.69 |
|                       | 1.6                       | 2.03 | 3.01 | 3.82 | 4.48 | 5.08 | 5.65 | 6.22 | 6.74 | 7.24 | 7.7  | 7.88 | 7.89 | 7.91 | 7.93 | 7.94 |
|                       | 1.7                       | 2.22 | 3.2  | 3.99 | 4.6  | 5.09 | 5.51 | 5.89 | 6.25 | 6.58 | 6.86 | 7.14 | 7.38 | 7.59 | 7.76 | 7.91 |
|                       | 1.8                       | 2.11 | 3.03 | 3.72 | 4.2  | 4.51 | 4.73 | 4.92 | 5.04 | 5.13 | 5.21 | 5.26 | 5.28 | 5.3  | 5.32 | 5.33 |
|                       | 1.9                       |      |      | 2.42 | 2.75 | 2.87 | 2.9  | 2.92 | 2.92 | 2.93 | 2.93 | 2.93 | 2.94 | 2.95 | 2.95 | 2.95 |

Wartości zużycia odpadów i jednostkowej emisji są ze sobą powiązane. Różnicą jest to, że wskaźnik emisji odnoszony jest do całkowitej produkcji energii w HIOZE. Pomimo tego, w powyższej tabeli, widoczne są analogiczne trendy jak w przypadku wskaźnika

emisji, czyli najmniejszymi wartościami charakteryzują się konfiguracje z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 6 MW, a największymi układy z mocą równą 2 i 3 MW. Co ciekawe, widoczne jest więcej wyników z najwyższego przedziału przy mocy równej 3 MW w porównaniu do jednostkowego wskaźnika emisji. Pomimo większego zużycia odpadów (widocznego w tabeli 30), rośnie również czas wykorzystania mocy przyłączeniowej, co przekłada się na niższy wskaźnik emisji (widoczny w tabeli 29). W analizie założono, że lokalna dostępność odpadów wynosi 5280,47 t/rok. Konfiguracje o zbliżonej do tej wartości konsumpcji występują w układach ze wszystkimi wartościami mocy PV+TW poza 2 MW. W tych rozwiązaniach konsumpcja w każdej konfiguracji znacznie przekracza ich dostępność.

W tabeli 31 przedstawiono zebranie najkorzystniejszych HIOZE według każdego z 6 analizowanych kryteriów.

*Tabela 31. Rozwiązania z najkorzystniejszymi wartościami poszczególnych parametrów.*

| Kryterium   | $P_{PV+TW}$ | $P_{ICE}$ | $P_{BME}$ | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ |
|-------------|-------------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
|             | MW          | MW        | MW        | -                   | -                   |
| $T_{wyk}$   | 3           | 1,8       | 2,0       | 0,600               | 0,667               |
| $E_{nad}$   | 2           | 1,7       | 0,8       | 0,850               | 0,400               |
| CAPEX       | 5           | 0,4       | 1,2       | 0,080               | 0,240               |
| $\Delta C$  | 3           | 1,7       | 0,9       | 0,567               | 0,300               |
| $E_{fCO_2}$ | 6           | 0,2       | 2,0       | 0,033               | 0,333               |
| $\Delta B$  | 3           | 1,5       | 0,5       | 0,500               | 0,167               |

Widoczne jest, że wykorzystując pojedyncze kryteria otrzymane wyniki wskazują różne układy. Żadna konfiguracja wartości  $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ ,  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  nie powtarza się w tabeli 31. W efekcie biorąc pod uwagę dobór rozwiązania na podstawie pojedynczego kryterium otrzymane wyniki mogłyby być zwodnicze. Na przykład kierując się jak najwyższą wartością  $T_{wyk}$ , wybrany układ charakteryzowałby się ceną możliwymi zyskami o 61 PLN/MWh mniejszymi niż w przypadku konfiguracji dobranej pod zyski. Kierując się najkorzystniejszym wskaźnikiem emisji – otrzymany układ charakteryzowałby się bardzo małym zużyciem odpadów (brakiem zamknięcia lokalnego systemu gospodarki odpadami) oraz bardzo wysoką nadmiarową generacją z OZE rzędu 1,7 GWh rocznie. Dodatkowo koszty inwestycyjne byłyby większe o 8,6 mln PLN niż w przypadku układu dobranego pod najmniejszą wartość CAPEX (a zyski spadłyby o 221 PLN/MWh). Podsumowując, wykorzystanie metod wielokryterialnych jest niezbędnym etapem projektowania takiej instalacji.

## 5.5. Wyniki analiz wielokryterialnych

Wyniki analiz wielokryterialnych przedstawiono w tym podrozdziale przy pomocy tabel prezentujących 10 najkorzystniejszych HIOZE, w świetle przyjętych kryteriów i ich wag. W celu zaprezentowania działania opracowanego algorytmu oraz przeanalizowania wpływu wag kryteriów na wyniki, w każdej z tabel zaprezentowano ranking dla wariantu zrównoważonych wag oraz rankingi przy zmienianych wartościach wag poszczególnych kryteriów. W pierwszej kolejności (w tabeli 32) zaprezentowano wyniki związane z przypisywaniem pojedynczym kryteriom wagi równej 0.

Tabela 32. Wylączenie z analiz pojedynczego kryterium.

| Stosunek wag | Parametr                             | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                                      | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                                    | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 0:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,400              | 0,367 | 0,433 | 0,433 | 0,367 | 0,500 | 0,467 | 0,400 | 0,225 | 0,200 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,267              | 0,333 | 0,200 | 0,233 | 0,300 | 0,167 | 0,200 | 0,300 | 0,300 | 0,325 |
|              | T                                    | 0,803              | 0,797 | 0,796 | 0,789 | 0,789 | 0,787 | 0,78  | 0,779 | 0,779 | 0,776 |
| 1:0:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 5                  | 5     | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     | 5     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,180              | 0,200 | 0,160 | 0,200 | 0,180 | 0,225 | 0,225 | 0,250 | 0,200 | 0,140 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,260              | 0,240 | 0,260 | 0,350 | 0,240 | 0,300 | 0,325 | 0,275 | 0,375 | 0,260 |
|              | T                                    | 0,712              | 0,712 | 0,704 | 0,702 | 0,7   | 0,697 | 0,696 | 0,693 | 0,692 | 0,691 |
| 1:1:0:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,200              | 0,225 | 0,200 | 0,180 | 0,275 | 0,200 | 0,250 | 0,225 | 0,200 | 0,300 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,350              | 0,325 | 0,375 | 0,26  | 0,275 | 0,240 | 0,300 | 0,350 | 0,400 | 0,250 |
|              | T                                    | 0,692              | 0,688 | 0,687 | 0,686 | 0,685 | 0,685 | 0,685 | 0,683 | 0,683 | 0,682 |
| 1:1:1:0:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,200              | 0,225 | 0,200 | 0,200 | 0,175 | 0,250 | 0,175 | 0,225 | 0,175 | 0,200 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,350              | 0,30  | 0,375 | 0,325 | 0,375 | 0,275 | 0,350 | 0,325 | 0,400 | 0,400 |
|              | T                                    | 0,694              | 0,689 | 0,688 | 0,687 | 0,687 | 0,685 | 0,683 | 0,683 | 0,682 | 0,682 |
| 1:1:1:1:0:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,433              | 0,433 | 0,400 | 0,400 | 0,467 | 0,467 | 0,433 | 0,400 | 0,467 | 0,367 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,233              | 0,267 | 0,300 | 0,267 | 0,200 | 0,233 | 0,300 | 0,333 | 0,267 | 0,333 |
|              | T                                    | 0,781              | 0,778 | 0,778 | 0,777 | 0,777 | 0,777 | 0,774 | 0,773 | 0,773 | 0,771 |
| 1:1:1:1:1:0  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,533              | 0,567 | 0,500 | 0,533 | 0,567 | 0,567 | 0,533 | 0,467 | 0,500 | 0,500 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,300              | 0,300 | 0,333 | 0,333 | 0,333 | 0,267 | 0,267 | 0,367 | 0,367 | 0,300 |
|              | T                                    | 0,716              | 0,715 | 0,712 | 0,711 | 0,706 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,705 | 0,705 |

Przy równych wagach wszystkich kryteriów najkorzystniejszym rozwiązaniem jest układ z mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW oraz współczynnikami P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub> i P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub> równymi odpowiednio 0,2 i 0,35. Wśród 10 najkorzystniejszych rozwiązań jest 7 z mocą źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych równą 4 MW i 3 o mocy równej 3 MW. We wszystkich układach z P<sub>PV+TW</sub> równą 4 MW wartość P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub> jest mniejsza niż wartość P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub>. W przypadku układów z mocą P<sub>PV+TW</sub> równą 3 MW występuje



odwrotna zależność. Przy wyższej mocy OZE więcej energii może być zmagazynowane co poprawia wartości wskaźników przy wyższych wartościach mocy i pojemności magazynu.

Przypisanie pojedynczym kryteriom wartości 0 ma na celu wyłączenie ich z analizy. Nie biorąc pod uwagę kryterium 1 – generacji energii elektrycznej – najkorzystniejszym rozwiązaniem jest HIOZE z mocą źródeł niesterowalnych równą 3 MW, i współczynnikami  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równymi odpowiednio 0,4 i 0,267. Najkorzystniejsze rozwiązanie o mocy PV+TW równej 4 MW znajduje się na 9 miejscu. Wszystkie wyżej sklasyfikowane układy charakteryzują się wartością tej mocy wynoszącą 3 MW. Wśród kryteriów energetycznych pozostaje jedynie wolumen ograniczonej energii z OZE, który rośnie wraz ze zwiększającą się mocą źródeł. W porównaniu do wariantu równych wag zwiększają się wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , natomiast w większości przypadków maleją wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

Po wyłączeniu z analizy kryterium drugiego, wśród najkorzystniejszych rozwiązań dominują te z mocą OZE równą 4 (7 konfiguracji) i 5 MW (3 konfiguracje). Trzy najwyżej sklasyfikowane rozwiązania charakteryzują się mocą OZE równą 5 MW. Wynika to z faktu, że rosnąca wartość niewykorzystanej generacji z OZE nie jest brana pod uwagę. W efekcie mniejsze są wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  (0,14-0,25 co odpowiada mocy 0,7-1,0 MW). Jednocześnie, stosunkowo wysokie są wartości współczynników  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ , których wartości wynoszą 0,24-0,375 (co odpowiada mocom 1,1-1,5 MW). Wysoka moc wynika z faktu, że w tych rozwiązaniach OZE produkują więcej energii elektrycznej, która częściej przekracza możliwości przyłączeniowej i może być zmagazynowana. Skutkiem jest ograniczana wartość emisji, co poprawia zarówno wskaźniki środowiskowe jak i ekonomiczne. Wszystkie HIOZE spośród 10 najlepszych charakteryzują się wyższą mocą baterii niż agregatu silnikowego.

W przypadku wykluczenia z analizy kryterium trzeciego, wszystkie rozwiązania spośród 10 najkorzystniejszych charakteryzują się mocą źródeł niesterowalnych równą 4 i 5 MW. Na pierwszym miejscu w rankingu znajduje się HIOZE z mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW, wykorzystujący BME o mocy 1,4 MW i agregat silnikowy o mocy 0,8 MW. W 8 z 10 konfiguracji moc BME jest wyższa niż moc ICE. Zmniejsza się emisja, a ze względu na brak bezpośredniego wzięcia pod uwagę wyższych jednostkowych kosztów inwestycyjnych baterii, nie ma to negatywnego wpływu w analizie wielokryterialnej.

W przypadku wykluczenia z analizy kryterium czwartego, wszystkie rozwiązania (spośród 10 najkorzystniejszych) charakteryzują się  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW. Nie zmienia się rozwiązanie znajdujące się na pierwszym miejscu. Wszystkie 10 najwyżej sklasyfikowanych HIOZE charakteryzuje się wartością  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  mniejszą od wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Jest to spowodowane faktem, że w tym wariantcie LCOE nie jest brane pod uwagę (układ zgazowania paliwa alternatywnego charakteryzuje się niższymi jednostkowymi kosztami produkcji energii niż OZE z magazynem).

W przypadku wyłączenia kryteriów z grupy środowiskowej, wszystkie najkorzystniejsze konfiguracje charakteryzują się mocą OZE równą 3 MW. Znacznie wyższe, niż w poprzednich wariantach wag, są wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Są one w każdej uwzględnionej w rankingu HIOZE wyższe od wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . W przypadku braku uwzględniania w analizie kryterium piątego – jednostkowego wskaźnika emisji – wynika to, z braku destymulacji w postaci dużej emisji. Natomiast w przypadku wyłączenia z analizy kryterium szóstego, brak jest negatywnego wpływu większego od dostępności lokalnej zużycia odpadów. W obu wariantach rozkładu wag większą rolę odgrywają czynniki ekonomiczne i energetyczne, których wartości są korzystne przy wysokich mocach silnika i stosunkowo małych mocach OZE i BME.

W następnym kroku zbadano przewymiarowanie wartości wag pojedynczego kryterium względem wag pozostałych kryteriów. Rozpoczęto od zwiększania wartości wagi kryterium pierwszego. Wyniki zamieszczono w tabeli 33.

Tab. 33. Przewymiarowanie wagi kryterium 1 – generacji energii elektrycznej

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 2:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,250 | 0,225 | 0,275 | 0,180 | 0,275 | 0,250 | 0,300 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,325 | 0,325 | 0,350 | 0,325 | 0,260 | 0,275 | 0,300 | 0,275 | 0,375 |
|              | T                   | 0,672              | 0,67  | 0,668 | 0,668 | 0,666 | 0,666 | 0,666 | 0,665 | 0,665 | 0,665 |
| 3:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,567              | 0,533 | 0,567 | 0,533 | 0,600 | 0,600 | 0,375 | 0,400 | 0,567 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,300 | 0,333 | 0,333 | 0,300 | 0,333 | 0,300 | 0,300 | 0,367 | 0,333 |
|              | T                   | 0,688              | 0,682 | 0,682 | 0,681 | 0,68  | 0,68  | 0,677 | 0,677 | 0,677 | 0,677 |
| 4:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,567              | 0,600 | 0,567 | 0,600 | 0,600 | 0,425 | 0,567 | 0,533 | 0,533 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,333 | 0,333 | 0,300 | 0,367 | 0,325 | 0,367 | 0,333 | 0,300 | 0,300 |
|              | T                   | 0,712              | 0,709 | 0,708 | 0,707 | 0,704 | 0,704 | 0,703 | 0,701 | 0,7   | 0,7   |
| 5:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 4     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,600              | 0,567 | 0,600 | 0,600 | 0,567 | 0,425 | 0,567 | 0,600 | 0,425 | 0,567 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,333              | 0,300 | 0,367 | 0,300 | 0,333 | 0,325 | 0,367 | 0,400 | 0,350 | 0,400 |
|              | T                   | 0,733              | 0,732 | 0,729 | 0,729 | 0,729 | 0,727 | 0,725 | 0,725 | 0,723 | 0,721 |

W przypadku zwiększania wartości wagi kryterium 1 – generacji energii elektrycznej – można zauważyć, że rosną wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , co jest związane z możliwością osiągnięcia wyższej generacji przy jednakowej mocy pozostałych źródeł. W przypadku zmian wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  taki wzrost nie jest widoczny. W instalacjach hybrydowych sklasyfikowanych na pierwszym miejscu w rankingu wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  zwiększa się 3-krotnie (wynosi kolejno  $0,2 \rightarrow 0,2 \rightarrow 0,567 \rightarrow 0,567 \rightarrow 0,6$ ). Natomiast wartość  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  zmniejsza się (wynosi kolejno  $0,35 \rightarrow 0,35 \rightarrow 0,3 \rightarrow 0,3 \rightarrow 0,333$ ). Wyższe wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  są przy mocy PV+TW równej 4 i 5 MW, gdyż w tych konfiguracjach większy magazyn energii elektrycznej może przełożyć się na wzrost generacji.

Jednocześnie, przy wartościach wagi będących trzykrotnością (lub większą krotnością) wag pozostałych kryteriów, większość z 10 najlepszych rozwiązań stanowią te o mocy źródeł PV i turbin wiatrowych równej 3 MW. Poza nimi są pojedyncze rozwiązania w których ta moc wynosi 4 MW. Przewymiarowanie wagi kryterium 1 powoduje jednak, że pogarsza się ich pozycja w rankingu. Najkorzystniejsze spośród rozwiązań o mocy  $P_{PV+TW}=4$  MW w wariacie zrównoważonym jest sklasyfikowane na 1 pozycji. Przy trzykrotnym przewymiarowaniu wagi kryterium pierwsze rozwiązanie to jest na 7 pozycji. Przy wadze równej 2-krotności pozostałych kryteriów w gronie najkorzystniejszych rozwiązań jest układ o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  równej 0,18 i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równej 0,26.

Wyniki zwiększenia wartości wagi kryterium 2 zaprezentowano w tabeli 34.

Tab. 34. Przewymiarowanie kryterium 2 – ograniczana generacja z OZE

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:2:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,200 | 0,400 | 0,467 | 0,367 | 0,225 | 0,433 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,233 | 0,333 | 0,350 | 0,300 | 0,200 | 0,367 | 0,300 | 0,267 | 0,167 |
|              | T                   | 0,733              | 0,731 | 0,729 | 0,728 | 0,727 | 0,726 | 0,723 | 0,722 | 0,722 | 0,722 |
| 1:3:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,400 | 0,467 | 0,367 | 0,433 | 0,500 | 0,433 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,233 | 0,333 | 0,300 | 0,200 | 0,367 | 0,267 | 0,167 | 0,200 | 0,333 |
|              | T                   | 0,754              | 0,752 | 0,75  | 0,748 | 0,747 | 0,744 | 0,743 | 0,743 | 0,742 | 0,74  |
| 1:4:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,400 | 0,467 | 0,367 | 0,433 | 0,500 | 0,433 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,233 | 0,333 | 0,300 | 0,200 | 0,367 | 0,267 | 0,167 | 0,200 | 0,333 |
|              | T                   | 0,771              | 0,769 | 0,768 | 0,766 | 0,765 | 0,762 | 0,761 | 0,761 | 0,76  | 0,758 |
| 1:5:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,400 | 0,467 | 0,367 | 0,500 | 0,433 | 0,433 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,233 | 0,333 | 0,300 | 0,200 | 0,367 | 0,167 | 0,267 | 0,200 | 0,333 |
|              | T                   | 0,786              | 0,784 | 0,783 | 0,781 | 0,78  | 0,778 | 0,777 | 0,777 | 0,776 | 0,774 |

Zwiększanie wartości wagi kryterium drugiego powoduje, że niemal wszystkie spośród 10 najkorzystniejszych rozwiązań charakteryzują się mocą OZE równą 3 MW (jedynie jedna konfiguracja przy podwojeniu wartości wagi ma moc PV+TW równą 4 MW). Przy większym przewymiarowaniu mocy źródeł niesterowalnych coraz częściej pojawiają się sytuacje w których generacja przekracza moc przyłączeniową. Ze względu na fakt, że wartości ograniczanej energii są zbliżone przy mocy źródeł niesterowalnych równej 2 i 3 MW (porównując z wyższymi mocami), inne czynniki (np. czas wykorzystania mocy przyłączeniowej lub zyski) decydują o wyższych pozycjach rozwiązań charakteryzujących się mocą OZE równą 3 MW.

Przy wagach kryterium 2 równych 2, 3 i 4 razy większych niż wagi pozostałych kryteriów najkorzystniejszym rozwiązaniem jest HIOZE o mocach  $P_{PV+TW}/P_{ICE}/P_{BME}$  wynoszących 3/1,2/0,8. Między wariantami stosunków wag 1:3:1:1:1 i 1:4:1:1:1 niemal brak jest zmian w klasyfikacji najkorzystniejszych rozwiązań. Między wariantami rozkładu wag 1:4:1:1:1 i 1:5:1:1:1 jedyna zmiana polega na wymianie między rozwiązaniami na 7 i 8 pozycji.

Kolejnym przewymiarowanym kryterium jest wartość całkowitych nakładów inwestycyjnych. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 35.

Tab. 35. Przewymiarowanie wartości wagi kryterium 3 – CAPEX

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1    | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:2:1:1    | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,367 | 0,433 | 0,433 | 0,200 | 0,225 | 0,400 | 0,467 | 0,200 | 0,367 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,333 | 0,233 | 0,200 | 0,350 | 0,300 | 0,300 | 0,200 | 0,325 | 0,300 |
|              | T                   | 0,744              | 0,738 | 0,738 | 0,734 | 0,734 | 0,733 | 0,732 | 0,731 | 0,73  | 0,728 |
| 1:1:3:1:1    | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,367 | 0,433 | 0,433 | 0,367 | 0,400 | 0,467 | 0,225 | 0,367 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,333 | 0,200 | 0,233 | 0,300 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,367 | 0,300 |
|              | T                   | 0,77               | 0,764 | 0,764 | 0,762 | 0,759 | 0,755 | 0,753 | 0,75  | 0,749 | 0,749 |
| 1:1:4:1:1    | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,367 | 0,433 | 0,175 | 0,400 | 0,467 | 0,200 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,200 | 0,300 | 0,333 | 0,233 | 0,300 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,275 |
|              | T                   | 0,79               | 0,786 | 0,783 | 0,783 | 0,781 | 0,774 | 0,773 | 0,771 | 0,768 | 0,768 |
| 1:1:5:1:1    | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 5     | 3     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,433 | 0,367 | 0,367 | 0,433 | 0,175 | 0,080 | 0,400 | 0,200 | 0,150 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,200 | 0,300 | 0,333 | 0,233 | 0,300 | 0,240 | 0,300 | 0,275 | 0,350 |
|              | T                   | 0,806              | 0,804 | 0,803 | 0,799 | 0,795 | 0,794 | 0,791 | 0,787 | 0,787 | 0,786 |

Przy zwiększaniu wartości wagi kryterium 3 – kosztów inwestycyjnych – zmienia się konfiguracja znajdująca się na 1 miejscu. Wartości  $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$

wynoszą w niej odpowiednio 3 MW, 0,4 i 0,267. Zachodzą również zmiany na dalszych pozycjach. Ze względu na fakt, że koszty (które są destymulantą) rosną wraz ze wzrostem mocy zainstalowanej, 2-5-krotnym przewymiarowaniu wagi kryterium 3, większość rozwiązań stanowią te o mocy źródeł OZE równej 3 MW. Pojedyncze rozwiązania o mocy 4 i 5 MW charakteryzują się niską wartością  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  (w przypadku rozwiązania z mocą PV+TW równą 5 MW wynosi 0,06). Jednostkowe koszty instalacji fotowoltaicznych czy farm wiatrowych są znacznie mniejsze niż w przypadku instalacji zgazowania. Z tego względu wzrost kosztów źródeł niesterowalnych może być skompensowany przez spadek kosztów układu zgazowania paliwa alternatywnego. Wraz ze wzrostem wartości wagi kryterium trzeciego poprawiają się pozycje HIOZE w których moc ICE jest wyższa niż moc baterii. Przykładem takiego rozwiązania jest konfiguracja w której wartości  $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  wynoszą odpowiednio 3 MW, 0,433 i 0,2. Przy zrównoważonych wagach rozwiązanie to nie znajduje się wśród najlepszych 10 konfiguracji, a w kolejnych wariantach rozkładu wag jest odpowiednio na pozycjach 4, 3, 2 i 2.

Wyniki przewymiarowania drugiego kryterium z grupy ekonomicznej zaprezentowano w tabeli 36.

Tab. 36. Przewymiarowanie wartości wagi kryterium 4 – różnicy między ceną sprzedaży energii elektrycznej a kosztami produkcji

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:1:2:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,433 | 0,433 | 0,467 | 0,225 | 0,467 | 0,400 | 0,400 | 0,467 | 0,433 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,233 | 0,267 | 0,233 | 0,325 | 0,200 | 0,267 | 0,300 | 0,267 | 0,300 |
|              | T                   | 0,730              | 0,730 | 0,728 | 0,728 | 0,727 | 0,726 | 0,726 | 0,726 | 0,725 | 0,725 |
| 1:1:1:31:1   | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,500              | 0,467 | 0,533 | 0,467 | 0,433 | 0,500 | 0,500 | 0,533 | 0,433 | 0,467 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,233              | 0,267 | 0,233 | 0,233 | 0,300 | 0,300 | 0,267 | 0,267 | 0,267 | 0,333 |
|              | T                   | 0,757              | 0,756 | 0,755 | 0,753 | 0,752 | 0,752 | 0,751 | 0,750 | 0,750 | 0,750 |
| 1:1:1:4:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,533              | 0,533 | 0,500 | 0,500 | 0,533 | 0,500 | 0,500 | 0,467 | 0,467 | 0,467 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,233              | 0,300 | 0,333 | 0,300 | 0,267 | 0,233 | 0,267 | 0,267 | 0,367 | 0,333 |
|              | T                   | 0,783              | 0,783 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,781 | 0,779 | 0,779 | 0,778 | 0,778 |
| 1:1:1:5:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,533              | 0,500 | 0,533 | 0,533 | 0,500 | 0,567 | 0,567 | 0,467 | 0,533 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,333 | 0,267 | 0,233 | 0,300 | 0,300 | 0,267 | 0,367 | 0,333 | 0,267 |
|              | T                   | 0,809              | 0,807 | 0,805 | 0,805 | 0,804 | 0,804 | 0,801 | 0,801 | 0,801 | 0,799 |

W przypadku przewymiarowania wartości wagi kryterium 4 jeszcze bardziej widoczna jest rosnąca tendencja wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Tak samo jak

w przypadku zmian wartości kryterium trzeciego, zmniejsza się lub co najwyżej utrzymuje się na stałym poziomie, mocy i pojemności BME. Skutkuje to niższą wartością LCOE wynikającą z większej generacji (wzrastający mianownik we wzorze na LCOE). Dodatkowo, jak przedstawiono na rysunku 22, wzrasta w takich układach maksymalna cena sprzedaży energii elektrycznej. W wariancie wag 1:1:1:2:1:1, najkorzystniejsze rozwiązanie jest takie samo jak w przypadku wariantu zrównoważonego. Natomiast przy większych wartościach wagi na pierwszej pozycji znajdują się konfiguracje o mocach  $P_{PV+TW}$  równych 3 MW i wartościach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych odpowiednio  $0,5 \rightarrow 0,533 \rightarrow 0,533$  i  $0,233 \rightarrow 0,233 \rightarrow 0,3$ . Już przy wartości wagi kryterium czwartego równej czterokrotności wag pozostałych kryteriów, wszystkie spośród 10 najlepszych HIOZE charakteryzują się stosunkiem mocy agregatu silnikowego do mocy OZE o wartości co najmniej 0,467. Jednocześnie współczynnik  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  nie przekracza wartości 0,367.

Wyniki przewymiarowania wag kryteriów środowiskowych przedstawiono w tabelach 37 – zwiększanie wagi jednostkowego wskaźnika emisji – i 38 – zwiększanie wpływu różnicy między dostępnością, a zużyciem odpadów komunalnych.

Tab. 37. Przewymiarowanie kryterium 5 – jednostkowy wskaźnik emisji

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,71  | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:1:1:2:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 5     | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,140 | 0,140 | 0,200 | 0,160 | 0,250 | 0,175 | 0,175 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,240 | 0,260 | 0,325 | 0,260 | 0,275 | 0,350 | 0,375 | 0,375 |
|              | T                   | 0,680              | 0,680 | 0,680 | 0,680 | 0,678 | 0,677 | 0,676 | 0,675 | 0,675 | 0,673 |
| 1:1:1:1:3:1  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 6     | 5     | 5     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,140              | 0,080 | 0,140 | 0,080 | 0,160 | 0,080 | 0,050 | 0,120 | 0,160 | 0,100 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,240              | 0,240 | 0,260 | 0,260 | 0,240 | 0,280 | 0,183 | 0,280 | 0,260 | 0,240 |
|              | T                   | 0,692              | 0,685 | 0,684 | 0,679 | 0,675 | 0,673 | 0,673 | 0,673 | 0,672 | 0,671 |
| 1:1:1:1:4:1  | $P_{PV+TW}$         | 6                  | 5     | 6     | 5     | 6     | 5     | 6     | 5     | 5     | 6     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,140 | 0,067 | 0,080 | 0,050 | 0,080 | 0,050 | 0,080 | 0,140 | 0,050 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,183              | 0,240 | 0,167 | 0,240 | 0,200 | 0,260 | 0,217 | 0,280 | 0,260 | 0,233 |
|              | T                   | 0,702              | 0,701 | 0,698 | 0,698 | 0,697 | 0,693 | 0,692 | 0,687 | 0,687 | 0,687 |
| 1:1:1:1:5:1  | $P_{PV+TW}$         | 6                  | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 5     | 5     | 6     | 6     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,067 | 0,050 | 0,033 | 0,050 | 0,050 | 0,080 | 0,140 | 0,050 | 0,083 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,183              | 0,167 | 0,200 | 0,333 | 0,217 | 0,233 | 0,240 | 0,240 | 0,250 | 0,167 |
|              | T                   | 0,725              | 0,723 | 0,72  | 0,716 | 0,715 | 0,711 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,705 |

Przy wyższych wartościach wagi kryterium piątego w stosunku do pozostałych kryteriów, wśród najkorzystniejszych rozwiązań dominują HIOZE z mocą znamionową paneli PV i turbin wiatrowych większą niż 4 MW. Przy wadze kryterium piątego równej dwa: 3 na 10 najkorzystniejszych stanowią rozwiązania z OZE o mocy 5 MW. Po dalszym

zwiększeniu wagi warianty z mocą OZE 5 i 6 MW stanowią wszystkie 10 najkorzystniejszych rozwiązań. Im wyższa moc zainstalowana źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych tym większa jest generacja nieemisyjnej energii. Nie jest to wzrost liniowy, gdyż wykładniczo rośnie również wartość ograniczanej energii. Mimo to, maleje jednostkowy wskaźnik emisji, co przekłada się na wyższe pozycje konfiguracji z wyższą mocą  $P_{PV+TW}$  (i mniejszą instalacji zgazowarka–silnik–generator).

Już przy wadze kryterium piątego będącej dwukrotnością wag pozostałych kryteriów, w 10 na 10 najkorzystniejszych przypadków wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  jest mniejsza niż  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  najlepszym rozwiązaniu maleją wraz ze wzrostem wartości wagi kryterium piątego. Wartość tego parametru zmniejsza się czterokrotnie między wariantem zrównoważonym, a wariantem 1:1:1:1:5:1. Jednocześnie około dwukrotnie zmniejszają się wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Ze względu na możliwość zmagazynowania energii generowanej w OZE, utrzymanie mocy i pojemności BME jest korzystniejsze niż mocy silnika (w którym generacja obciążona jest emisją  $CO_2$ ).

Tab. 38. Przewymiarowanie kryterium 6 – różnica między dostępnością a zużyciem odpadów

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,710 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:1:1:1:2  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,400 | 0,225 | 0,200 | 0,367 | 0,225 | 0,250 | 0,275 | 0,500 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,267 | 0,30  | 0,375 | 0,333 | 0,325 | 0,275 | 0,250 | 0,167 | 0,325 |
|              | T                   | 0,753              | 0,748 | 0,745 | 0,745 | 0,744 | 0,743 | 0,742 | 0,74  | 0,738 | 0,738 |
| 1:1:1:1:1:3  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,400 | 0,367 | 0,200 | 0,225 | 0,500 | 0,250 | 0,275 | 0,225 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,267 | 0,333 | 0,375 | 0,300 | 0,167 | 0,275 | 0,250 | 0,325 | 0,400 |
|              | T                   | 0,781              | 0,778 | 0,775 | 0,773 | 0,771 | 0,771 | 0,769 | 0,768 | 0,768 | 0,766 |
| 1:1:1:1:1:4  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,400 | 0,367 | 0,500 | 0,200 | 0,225 | 0,25  | 0,275 | 0,200 | 0,225 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,267 | 0,333 | 0,167 | 0,375 | 0,300 | 0,275 | 0,250 | 0,400 | 0,325 |
|              | T                   | 0,802              | 0,802 | 0,799 | 0,796 | 0,795 | 0,791 | 0,79  | 0,79  | 0,788 | 0,787 |
| 1:1:1:1:1:5  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 4     | 3     | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,400              | 0,200 | 0,367 | 0,500 | 0,200 | 0,225 | 0,275 | 0,250 | 0,333 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,267              | 0,350 | 0,333 | 0,167 | 0,375 | 0,300 | 0,250 | 0,275 | 0,467 | 0,400 |
|              | T                   | 0,821              | 0,82  | 0,818 | 0,816 | 0,813 | 0,808 | 0,807 | 0,807 | 0,807 | 0,806 |

W przypadku zwiększania wartości wagi kryterium związanego z wykorzystaniem dostępnych odpadów komunalnych, wśród 10 najkorzystniejszych rozwiązań znajdują się jedynie HIOZE o sumarycznej mocy źródeł niesterowalnych równej 3 lub 4 MW. Wartości parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  zawierają się w zakresie 0,333-0,5 przy mocy OZE równej 3 MW i 0,2-0,275 przy mocy OZE równej 4 MW. Wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  maleją wykładniczo przy

wzroście wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Dopiero przy pięciokrotnym przewymiarowaniu wartości wagi kryterium szóstego zmienia się konfiguracja rozwiązania znajdującego się na pierwszej pozycji.

W kolejnych krokach dokonano analiz przewymiarowania wag poszczególnych grup kryteriów: energetycznych (tabela 39), ekonomicznych (tabela 40) i środowiskowych (tabela 41).

*Tabela 39. Przewymiarowanie grupy kryteriów energetycznych*

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,710 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 2:2:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 4     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,533              | 0,500 | 0,200 | 0,567 | 0,500 | 0,467 | 0,533 | 0,225 | 0,533 | 0,533 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,333 | 0,350 | 0,300 | 0,300 | 0,367 | 0,267 | 0,325 | 0,333 | 0,233 |
|              | T                   | 0,687              | 0,686 | 0,686 | 0,684 | 0,684 | 0,684 | 0,683 | 0,683 | 0,683 | 0,682 |
| 3:3:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,567              | 0,533 | 0,567 | 0,533 | 0,600 | 0,600 | 0,567 | 0,500 | 0,533 | 0,600 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,300 | 0,333 | 0,333 | 0,300 | 0,333 | 0,367 | 0,333 | 0,367 | 0,367 |
|              | T                   | 0,728              | 0,724 | 0,724 | 0,723 | 0,722 | 0,721 | 0,719 | 0,719 | 0,718 | 0,716 |
| 4:4:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,567              | 0,600 | 0,567 | 0,600 | 0,600 | 0,567 | 0,533 | 0,533 | 0,600 | 0,567 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,333 | 0,333 | 0,300 | 0,367 | 0,367 | 0,333 | 0,300 | 0,400 | 0,400 |
|              | T                   | 0,759              | 0,757 | 0,756 | 0,755 | 0,753 | 0,752 | 0,751 | 0,750 | 0,749 | 0,749 |

Przy zwiększaniu wag kryteriów z grupy energetycznej wzrastają wartości współczynników  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . W przypadku tego drugiego współczynnika, wartość osiąga poziom 0,6. Ze względu na fakt, że poza generacją energii zwiększano wagę destymulanty w postaci wolumenu ograniczanej energii elektrycznej, najwięcej rozwiązań charakteryzuje się mocą OZE równą 3 MW. W przypadku mniejszych wartości tej mocy, zbyt mała jest produkcja energii elektrycznej, a w przypadku większych za duża jest wartość niewykorzystanej generacji. Zwiększając wagę obu kryteriów energetycznych, zmniejsza się prawdopodobieństwo wystąpienia wśród najkorzystniejszych wariantów konfiguracji, która charakteryzuje się wysoką generacją energii elektrycznej ale jednocześnie znaczna jej część nie może być sprzedawana ze względów nierynkowych.

W przypadku zwiększania wartości wag obu kryteriów ekonomicznych dochodzi do znaczących zmian matryc najkorzystniejszych konfiguracji w stosunku do przewymiarowania pojedynczych kryteriów. O ile przy przypisaniu dwu- i trzykrotnych wartości wag kryteriów ekonomicznych wszystkie z rozwiązań mają moc OZE równą 3 MW, tak przy dalszym zwiększaniu wag dochodzi do zmiany i wśród 10



najkorzystniejszych rozwiązań nie ma żadnej konfiguracji o takiej mocy PV+TW. Przy wariantach 1:1:2:2:1:1 i 1:1:3:3:1:1 wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  zawierają się w zakresie 0,367-0,5, a wartość  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w zakresie 0,2-0,333. W wariantcie 1:1:4:4:1:1 wynoszą one odpowiednio 0,175-0,275 i 0,24-0,375. Widoczne jest, że w pierwszych dwóch przypadkach moce silnika są wyższe niż BME, a przy dalszym przewymiarowaniu zależność się odwraca.

*Tabela 40. Przewymiarowanie grupy kryteriów ekonomicznych*

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,701 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:2:2:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,400 | 0,433 | 0,400 | 0,467 | 0,467 | 0,433 | 0,467 | 0,367 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,233              | 0,267 | 0,267 | 0,300 | 0,200 | 0,233 | 0,300 | 0,267 | 0,333 | 0,333 |
|              | T                   | 0,78               | 0,778 | 0,777 | 0,775 | 0,775 | 0,775 | 0,771 | 0,77  | 0,77  | 0,77  |
| 1:1:3:3:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,433 | 0,400 | 0,467 | 0,400 | 0,467 | 0,467 | 0,433 | 0,400 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,233              | 0,267 | 0,267 | 0,233 | 0,300 | 0,200 | 0,267 | 0,300 | 0,333 | 0,233 |
|              | T                   | 0,797              | 0,795 | 0,794 | 0,794 | 0,792 | 0,792 | 0,790 | 0,790 | 0,787 | 0,787 |
| 1:1:4:4:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,250 | 0,200 | 0,200 | 0,180 | 0,275 | 0,200 | 0,225 | 0,175 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,275 | 0,375 | 0,325 | 0,260 | 0,250 | 0,240 | 0,325 | 0,375 |
|              | T                   | 0,717              | 0,714 | 0,711 | 0,709 | 0,709 | 0,709 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 |

*Tabela 41. Przewymiarowanie grupy kryteriów środowiskowych*

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,710 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 1:1:1:1:2:2  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 5     | 4     | 4     | 5     | 4     | 4     | 5     | 5     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,180              | 0,200 | 0,200 | 0,225 | 0,160 | 0,250 | 0,275 | 0,180 | 0,160 | 0,200 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,260              | 0,240 | 0,350 | 0,300 | 0,260 | 0,275 | 0,250 | 0,240 | 0,280 | 0,325 |
|              | T                   | 0,728              | 0,727 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,715 | 0,713 | 0,712 | 0,712 | 0,712 |
| 1:1:1:1:3:3  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,180              | 0,200 | 0,200 | 0,160 | 0,225 | 0,250 | 0,275 | 0,225 | 0,250 | 0,180 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,260              | 0,240 | 0,350 | 0,260 | 0,325 | 0,325 | 0,275 | 0,350 | 0,300 | 0,240 |
|              | T                   | 0,670              | 0,668 | 0,668 | 0,666 | 0,665 | 0,663 | 0,663 | 0,662 | 0,662 | 0,661 |
| 1:1:1:1:4:4  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 5     | 3     | 5     | 4     | 5     | 3     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,567              | 0,180 | 0,533 | 0,200 | 0,350 | 0,160 | 0,533 | 0,375 | 0,500 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,260 | 0,300 | 0,240 | 0,300 | 0,260 | 0,333 | 0,275 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,662              | 0,661 | 0,661 | 0,659 | 0,659 | 0,658 | 0,658 | 0,657 | 0,657 | 0,657 |

Zwiększanie wartości wag obu kryteriów środowiskowych powoduje, że wśród najkorzystniejszych rozwiązań przestają być obecne HIOZE z mocą PV+TW równą 6 MW (obecne przy zwiększaniu wartości wagi jedynie kryterium piątego). Nadal widoczne jest zwiększanie się mocy OZE i zmniejszanie się wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  wraz ze wzrostem wag

(wpływ kryterium piątego). Jednakże, ze względu na równie wysoką wagę wykorzystania dostępnych frakcji energetycznych odpadów, jest to ograniczane. O ile przy wyższych mocach OZE i mniejszych mocach silnika emisja spada, tak też spada wolumen utylizowanych odpadów (zdecydowanie poniżej docelowej wartości). W efekcie w wielu spośród 10 najlepszych konfiguracji moc OZE jest mniejsza niż przy zwiększaniu wagi jedynie kryterium piątego. Jest natomiast wyższa w odniesieniu do przewymiarowania wagi jedynie kryterium 6. Porównując ze zwiększaniem wagi jedynie jednostkowego wskaźnika emisji, w przypadku modyfikacji całej grupy kryteriów środowiskowych zwiększają się wartości obu współczynników  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ .

Ostatnim etapem jest przedstawienie wyników analizy dla dwóch ostatnich wariantów stosunków wag (3:1:2:3:2:1 i 2:1:3:1:2:3). Przedstawiono je razem z wariantem „zrównoważonym” w tabeli 42.

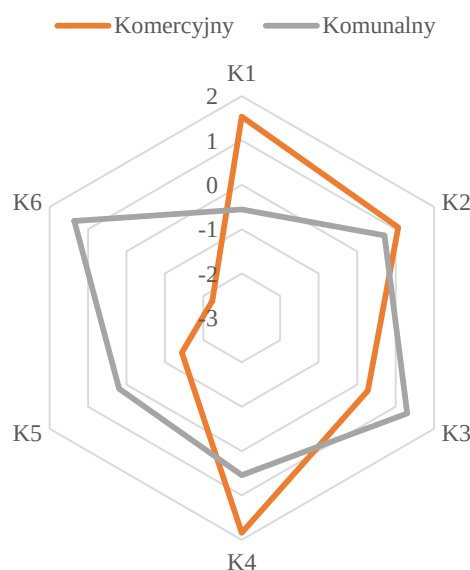
Tabela 42. Wyniki wariantów wag 3:1:2:3:2:1 i 2:1:3:1:2:3

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,225 | 0,400 | 0,200 | 0,250 | 0,200 | 0,433 | 0,367 | 0,250 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,325 | 0,267 | 0,375 | 0,275 | 0,325 | 0,233 | 0,333 | 0,300 |
|              | T                   | 0,716              | 0,711 | 0,710 | 0,708 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,703 | 0,703 |
| 3:1:2:3:2:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,533              | 0,567 | 0,500 | 0,533 | 0,533 | 0,567 | 0,500 | 0,467 | 0,567 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,300 | 0,333 | 0,333 | 0,267 | 0,267 | 0,300 | 0,367 | 0,333 | 0,367 |
|              | T                   | 0,705              | 0,703 | 0,702 | 0,699 | 0,696 | 0,696 | 0,695 | 0,695 | 0,695 | 0,694 |
| 2:1:3:1:2:3  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,200              | 0,225 | 0,400 | 0,250 | 0,200 | 0,367 | 0,200 | 0,225 | 0,275 | 0,175 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,350              | 0,300 | 0,267 | 0,275 | 0,325 | 0,333 | 0,375 | 0,325 | 0,250 | 0,375 |
|              | T                   | 0,733              | 0,730 | 0,727 | 0,725 | 0,725 | 0,723 | 0,723 | 0,721 | 0,721 | 0,720 |

Widoczne jest, że w wariantcie „komercyjnym” (3:1:2:3:2:1) wszystkie układy charakteryzują się mocą OZE równą 3 MW. We wszystkich rozwiązaniach wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  jest wyższa niż  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Stosunek mocy silnika do mocy źródeł niesterowalnych wynosi 0,533 w najkorzystniejszym rozwiązaniu. W całej najlepszej dziesiątce wartość ta zawiera się w przedziale 0,467-0,567. Wartość  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w najkorzystniejszym rozwiązaniu wynosi 0,3, a w całym rankingu zawiera się w przedziale 0,267-0,367.

W wariantcie „komunalnym” (2:1:3:1:2:3) nie dochodzi do zmiany na pierwszym miejscu w rankingu względem wariantu „zrównoważonego”. Parametry  $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  wynoszą odpowiednio 4 MW, 0,2 i 0,35. Również na drugiej pozycji nie dochodzi do zmiany. Pierwszą ze zmian jest dopiero przesunięcie układu o wartościach

$P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych odpowiednio 3 MW, 0,4 i 0,267 z czwartego na trzecie miejsce. W całym rankingu obejmującym 10 najlepszych rozwiązań według tego rozkładu wag na poszczególne kryteria, sumaryczna moc paneli PV i turbin wiatrowych wynosi 4 MW (w 8 rozwiązaniach) oraz 3 MW (w dwóch rozwiązaniach). Zakres wartości parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  to 0,175-0,4, a zakres  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  wynosi 0,25-0,375. Na rysunku 23 zaprezentowano wykres radarowy rozkładu znormalizowanych wartości parametrów dla najkorzystniejszych wariantów układów „komercyjnego” i „komunalnego”.



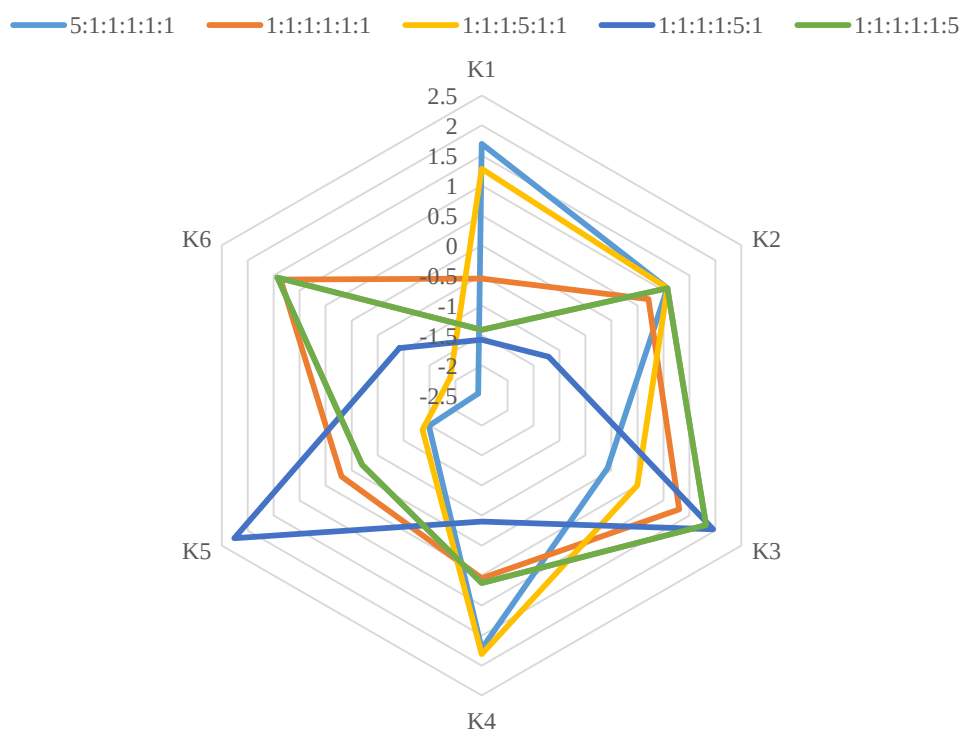
Rys. 23. Wykres znormalizowanych wartości parametrów dla najkorzystniejszych wariantów układów „komercyjnego” i „komunalnego”

Na wykresie im wyższa jest wartość tym jest ona korzystniejsza (niezależnie czy dany parametry jest stymulantą czy destymulantą). Widoczne jest jak w zależności od przyjętego rozkładu wag zmieniają się znormalizowane wartości kryteriów. W wariacie „komercyjnym” najistotniejszymi parametrami są zysk i generacja energii elektrycznej. Te wartości mają w efekcie bardzo wysokie wartości. Koszty inwestycyjne mają średnią wartość – co wynika z wagi im przypisanej. Warto zwrócić uwagę na to, że pomimo faktu, że niewykorzystana generacja ma mniejszą wartość wagi niż wskaźnik emisji, tak drugi z parametrów ma mniej korzystną wartość znormalizowaną. Jest to spowodowane oddziaływaniem kryteriów pierwszego i czwartego, które najkorzystniejsze wartości osiągają wtedy, gdy moc wskaźnik  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  ma wysoką wartość. Przekłada się to na wyższą wartość jednostkowego wskaźnika emisji. Najmniej korzystne jest oddziaływanie wykorzystania odpadów dostępnych lokalnie. Jest ich wykorzystywane więcej niż jest

dostępne na danym obszarze. Ze względu na niewielką wartość wagi tego kryterium równą pozostałym nie ma to aż tak dużego przełożenia na ostateczny wynik.

W wariantcie „komunalnym” najistotniejszymi parametrami są wykorzystanie odpadów i koszty inwestycyjne. Te parametry są mają również najwyższe znormalizowane wartości. Korzystniejsza niż w przypadku układu „komercyjnego” jest wartość wskaźnika emisji (mimo tej samej wartości wagi im przypisanej). Mniej korzystne są natomiast wartości trzech pozostałych kryteriów. O ile znormalizowana wartość energii elektrycznej ograniczanej w efekcie przekroczenia mocy przyłączeniowej nie jest znacząco wyższa, tak w przypadku zysków na sprzedaży energii oraz w szczególności w całkowitej generacji widoczne są istotne spadki wartości.

Na rysunku 24 zaprezentowano wykres radarowy rozkładu znormalizowanych wartości parametrów dla najkorzystniejszych HIOZE wariantów z maksymalnym przewymiarowaniem wartości wagi pojedynczego kryterium.



Rys. 24. Wykres znormalizowanych wartości parametrów dla najkorzystniejszych HIOZE wariantów z maksymalnym przewymiarowaniem wagi pojedynczego kryterium.

Widoczne jest, że przy analizowanych 6 kryteriach można wyróżnić 3 grupy o zbliżonych przebiegach powyższego wykresu. Pierwszą i najliczniejszą stanowią warianty z przewymiarowaniem wag kryteriów szóstego, drugiego i trzeciego (na wykresie ze

względem na pokrywanie się, jest widoczny tylko jeden) oraz wariantu zrównoważonego. Układy charakteryzują się korzystną wartością wykorzystania odpadów, kosztów inwestycyjnych oraz nadmiarowej generacji. Widoczna jest również średnio-korzystna wartość generacji energii i wskaźnika emisji. Drugą z grup stanowią warianty w których przewymiarowano wagę kryteriów pierwszego i czwartego. Charakteryzuje je wysoka wartość zysku, wyprodukowanej energii elektrycznej i niewykorzystanej generacji. Koszty inwestycyjne są średnio-korzystne, a wykorzystanie odpadów i wskaźnik emisji charakteryzują się niekorzystnymi wartościami. Ostatnim z wariantów jest przewymiarowanie kryterium związanego z emisją CO<sub>2</sub>. Charakteryzuje się on korzystnymi wartościami wskaźnika emisji oraz CAPEX. Stosunkowo korzystna jest również wartość zysku. Negatywnymi aspektami są trzy pozostałe parametry (wykorzystanie dostępnych odpadów, generacja energii elektrycznej oraz wartość ograniczonej generacji ze źródeł niesterowalnych).

## 6. Wyniki analiz HIOZE B

### 6.1. Spełnienie warunków ustawowych

Analogicznie jak w przypadku HIOZE A analizę rozpoczęto od sprawdzenia możliwości spełnienia wymagań ustawowych przez HIOZE. W tabelach 43-47 przedstawiono wyniki nałożenia na siebie matryc układów spełniających warunek ( $T_{wyk} \geq 5256$ ) oraz spełniających warunek ( $\sigma_{MAG} \geq 5\%$ ). Zarówno czas wykorzystania jak i udział energii elektrycznej z magazynu dotyczą energii elektrycznej przesyłanej do systemu (nie dotyczą potrzeb odbiorcy zasilanego linią bezpośrednią). Dokładne wartości powyższych parametrów przedstawiono w tabelach w załączniku.

Tabela 43. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW

| Spełnienie<br>ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,4 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,5 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,6 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,7 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,8 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  |
|                      | 0,9 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 1,0 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 1,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 1,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                      | 1,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,4 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,5 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,6 | M                | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,7 | M                | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,8 | M                | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 1,9 | M                | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                      | 2,0 | M                | M   | M   | M   | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

HIOZE B wykorzystujący źródła fotowoltaiczne i wiatrowe o sumarycznej mocy 2 MW spełnia warunki ustawowe w szerszym zakresie mocy ICE oraz BME niż HIOZE A. W układach z dużą mocą BME (powyżej 1,6 MW) spełnienie warunku czasu wykorzystania

mocy przyłączeniowej jest możliwe od mocy ICE wynoszącej 1,3 MW. Przy większych mocach układu zgazowania rozszerza się również możliwy zakres mocy i pojemności BME. Minimalną wartością mocy BME pozwalającą na spełnienie warunku udziału magazynu energii jest 0,3 MW (pojemność 0,6 MWh) przy mocy agregatu silnikowego równej 1,6-1,7 MW. Porównując wyniki przedstawione w tabeli 43 z wynikami dla HIOZE A, więcej układów spełnia warunek dotyczący pięcioprocentowego udziału energii przekazywanej przez magazyn energii elektrycznej ale mniej spełnia warunek dotyczący 60% wykorzystania mocy przyłączeniowej. Jest to jeszcze bardziej widoczne w dalszych tabelach. Dotyczą one układów z większą mocą źródeł niesterowalnych, a co za tym idzie więcej energii może zostać zmagazynowane i przesłane do systemu elektroenergetycznego poprzez BME. Ze względu na tryb pracy magazynu – źródło szczytowe – większość energii elektrycznej wytransferowanej z niego jest sprzedawana do systemu elektroenergetycznego.

Tabela 44. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,6 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,7 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,8 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,9 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 1,0 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 1,1 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 1,2 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,3 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,4 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2,0 | M                | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

W przypadku HIOZE o mocy źródeł niesterowalnych równej 3 MW spełnienie warunku ustawowego dotyczącego czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej jest możliwe od wartości  $P_{ICE}$  równej 1,2 MW (zmniejszenie o 0,1 MW w stosunku do tabeli 43). Jest to możliwe od mocy BME równej 0,7 MW. Spełnienie drugiego z warunków jest możliwe już przy magazynie energii elektrycznej o mocy 0,2 MW i pojemności 0,4 MWh (przy mocy elektrycznej układu zgazowania odpadów wynoszącej co najmniej 0,8 MW). Podobnie jak przy mniejszej mocy OZE zdecydowanie większy (niż w HIOZE A) jest zakres spełnienia pięcioprocentowego udziału magazynu energii elektrycznej, a mniejszy warunku 60% wykorzystania mocy przyłączeniowej. Spełnienie obu warunków jednocześnie jest możliwe dopiero od mocy agregatu silnikowego równej 1,1 MW, przy mocy BME równej 0,8 MW. Przy większych mocach ICE wymagania ustawowe są spełniane przez układy z magazynem energii o mocy 0,2 MW. Finalnie, nieznacznie wzrasta (ze 121 do 164), względem HIOZE A o tej samej mocy PV+TW, liczba HIOZE spełniających oba warunki.

Tabela 45. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,6 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,7 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,8 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,9 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 1,0 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 1,1 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,2 | TM               | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,3 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,4 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2,0 | M                | M   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.



Po zwiększeniu mocy zainstalowanej źródeł PV i turbin wiatrowych rozszerza się zakres rozwiązań (do 184) spełniających wymagania ustawowe. Jednakże, jest ich mniej niż przy HIOZE A o takiej samej mocy OZE (202). O ile moc i pojemność magazynu mogą być mniejsze (od 0,2 MW i 0,4 MWh), tak moc układu zgazowania musi być większa niż w analogicznym HIOZE A. Minimalna jej wartość wynosi 1,1 MW. Porównując z układami o mniejszych mocach źródeł niesterowalnych, nie zmienia się minimalna wartość mocy BME. Zmniejsza się natomiast dopuszczalna moc ICE o 0,1 MW względem HIOZE B charakteryzującego się wartością  $P_{PV+TW}$  równą 3 MW.

Tabela 46. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]  | 0,1 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,2 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,3 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,4 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,5 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,6 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,7 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,8 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0,9 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,0 | TM               | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,1 | TM               | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,2 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,3 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,4 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,5 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,6 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,7 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,8 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1,9 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2,0 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

HIOZE wykorzystujące źródła odnawialne o łącznej mocy 5 MW spełniają oba warunki ustawowe już od mocy ICE równej 0,9 MW (przy mocy BME 1,7 MW). Przy wyższej mocy ICE – 1 MW – możliwe jest spełnienie warunków ustawy przy mocy magazynu równej 0,9 MW. Nie zmienia się minimalna dopuszczalna moc BME wynosząca 0,2 MW (od mocy ICE równej 1,1 MW). Liczba rozwiązań spełniających oba warunki

graniczne wynosi 184. W porównaniu do HIOZE B o mniejszej o 1 MW mocy źródeł niesterowalnych liczba wzrasta o 39 rozwiązań. Dodatkowo, jest ich więcej niż w HIOZE A o analogicznej mocy paneli PV i turbin wiatrowych (213).

Tabela 47. Zakres możliwych rozwiązań przy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW

| Spełnienie ustawy |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |     | 0.1              | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| Moc silnika [MW]  | 0.1 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.2 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.3 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.4 | TM               | TM  | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.5 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.6 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.7 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   |
|                   | 0.8 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 0.9 | TM               | TM  | T   | T   | T   | T   | T   | T   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1   | TM               | TM  | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.1 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.2 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.3 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.4 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.5 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.6 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.7 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.8 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 1.9 | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |
|                   | 2   | M                | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   | S   |

Gdzie, T – brak spełnienia warunku czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej, M – brak spełnienia warunku udziału BME w energii oddawanej do systemu, TM – brak spełnienia obu kryteriów, S – spełnienie wymagań ustawowych.

Przy maksymalnej mocy źródeł niesterowalnych zakres możliwych rozwiązań, które spełniają warunki ustawowe, jest najszerszy. Ich liczba wynosi 242. O ile minimalna moc BME się nie zmienia tak zmniejsza się minimalna moc agregatu silnikowego. Tak jak we wszystkich poprzednich tabelach, widoczne jest, że spełnienie warunku udziału energii z magazynu w energii przesłanej do systemu jest możliwe w większym przedziale rozwiązań niż uzyskanie odpowiedniej wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej.

Podsumowanie zakresów rozwiązań spełniających wymagania ustawowe zaprezentowano w tabeli 48.

*Tabela 48. Podsumowanie zakresu parametrów ICE i BME pod kątem spełnienia warunków ustawowych.*

| $P_{PV+TW}$ | $P_{PRZYŁ}$ | Wartości minimalne  |                     | Wartości maksymalne |                     | Liczba rozwiązań spełniających wymagania |
|-------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------|
|             |             | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ |                                          |
| MW          | MW          | -                   | -                   | -                   | -                   | -                                        |
| 2           | 2           | 0,650               | 0,150               | 1,000               | 1,000               | 121                                      |
| 3           | 2           | 0,400               | 0,067               | 0,667               | 0,667               | 164                                      |
| 4           | 2           | 0,275               | 0,050               | 0,500               | 0,500               | 184                                      |
| 5           | 2           | 0,180               | 0,040               | 0,400               | 0,400               | 223                                      |
| 6           | 2           | 0,133               | 0,033               | 0,333               | 0,333               | 242                                      |

Widoczny w tabeli 48 jest wzrost liczby rozwiązań spełniających oba warunki graniczne wraz ze wzrostem mocy źródeł niesterowalnych. Niemalże nie zmienia się minimalna moc BME, co powoduje stały spadek minimalnej wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Jeszcze bardziej zmniejsza się minimalna wartość współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , co wynika z faktu, że jednocześnie zwiększa się moc  $P_{PV+TW}$  i zmniejsza moc znamionowa agregatu silnikowego. Maksymalne wartości  $P_{BME}$  i  $P_{ICE}$  są identyczne przy wszystkich mocach  $P_{PV+TW}$ . W dalszej części pracy analizowane są jedynie takie rozwiązania, które spełniają oba warunki ustawowe.

## 6.2. Wyniki analiz energetycznych

Wyznaczone wartości wskaźników z grupy energetycznej zaprezentowano w poniższym rozdziale. W tabeli 49 przedstawiono wyniki generacji energii elektrycznej w HIOZE zarówno na cele odbiorcy przemysłowego jak i sprzedanej do systemu elektroenergetycznego. Ze względu na fakt, że generacja energii elektrycznej jest stymulantą, najkorzystniejsze czyli najwyższe jej wartości oznaczono w tabeli kolorem zielonym. Najmniej korzystne (najniższe) wartości oznaczono kolorem czerwonym.

Generacja energii elektrycznej w HIOZE zawiera się w zakresie od 14,18 GWh do 17,43 GWh. Osiągnięcie maksymalnych wartości jest możliwe już w układach o mocy źródeł niesterowalnych równej 2 MW. W większości przypadków prawdziwe jest stwierdzenie, że im wyższa moc agregatu silnikowego tym wyższa jest wartość wygenerowanej energii elektrycznej. Odstępstwem od tej reguły są układy o niewielkich wartościach mocy BME i wysokich wartościach mocy ICE. W tych rozwiązaniach aby uzyskać odpowiedni udział magazynu w generacji, konieczne jest ograniczenie pracy silnika. W efekcie zmniejsza się całkowita produkcja energii elektrycznej.

Tabela 49. Generacja energii elektrycznej w HIOZE B

| EHIOZE<br>[GWh]           |                           | P <sub>BME</sub> [MW]     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           |                           | 0,2                       | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2,0   |       |       |
|                           |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| P <sub>ICE</sub> [MW]     | 1,3                       |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 14,81 | 14,82 | 14,82 | 14,83 |
|                           | 1,4                       |                           |       |       | 15,33 | 15,36 | 15,38 | 15,4  | 15,42 | 15,44 | 15,46 | 15,47 | 15,49 | 15,5  | 15,51 | 15,52 | 15,54 | 15,55 | 15,56 | 15,57 |       |       |
|                           | 1,5                       |                           |       | 15,37 | 15,97 | 16    | 16,03 | 16,06 | 16,08 | 16,1  | 16,12 | 16,14 | 16,15 | 16,17 | 16,18 | 16,2  | 16,21 | 16,22 | 16,23 | 16,24 |       |       |
|                           | 1,6                       |                           | 14,99 | 16,04 | 16,52 | 16,56 | 16,6  | 16,63 | 16,66 | 16,68 | 16,7  | 16,71 | 16,73 | 16,74 | 16,76 | 16,77 | 16,78 | 16,79 | 16,8  | 16,81 |       |       |
|                           | 1,7                       |                           | 15,16 | 16,27 | 16,97 | 17,01 | 17,05 | 17,08 | 17,1  | 17,12 | 17,13 | 17,13 | 17,14 | 17,15 | 17,16 | 17,16 | 17,17 | 17,18 | 17,18 | 17,19 |       |       |
|                           | 1,8                       |                           |       | 15,72 | 16,52 | 17,22 | 17,28 | 17,3  | 17,33 | 17,34 | 17,34 | 17,35 | 17,35 | 17,35 | 17,36 | 17,36 | 17,37 | 17,37 | 17,37 | 17,38 |       |       |
|                           | 1,9                       |                           |       |       | 15,32 | 16,05 | 16,73 | 17,31 | 17,4  | 17,41 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |
|                           | 2,0                       |                           |       |       |       | 15,39 | 16,14 | 16,8  | 17,33 | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                           | 1,2                       |                           |       |       |       |       | 14,79 | 14,83 | 14,86 | 14,89 | 14,91 | 14,94 | 14,96 | 14,99 | 15,01 | 15,03 | 15,05 | 15,07 | 15,09 | 15,11 |       |       |
|                           | 1,3                       | 15,04                     | 15,16 | 15,24 | 15,3  | 15,36 | 15,4  | 15,44 | 15,47 | 15,5  | 15,53 | 15,56 | 15,59 | 15,61 | 15,64 | 15,66 | 15,68 | 15,7  | 15,72 | 15,74 |       |       |
|                           | 1,4                       | 15,47                     | 15,67 | 15,77 | 15,84 | 15,9  | 15,96 | 16    | 16,03 | 16,07 | 16,1  | 16,13 | 16,15 | 16,18 | 16,2  | 16,23 | 16,25 | 16,27 | 16,29 | 16,31 |       |       |
|                           | 1,5                       | 15,66                     | 16,14 | 16,24 | 16,32 | 16,39 | 16,45 | 16,5  | 16,53 | 16,56 | 16,59 | 16,62 | 16,65 | 16,68 | 16,7  | 16,72 | 16,74 | 16,76 | 16,78 | 16,79 |       |       |
|                           | 1,6                       | 15,76                     | 16,53 | 16,65 | 16,74 | 16,81 | 16,87 | 16,92 | 16,95 | 16,97 | 17    | 17,02 | 17,04 | 17,05 | 17,07 | 17,08 | 17,09 | 17,1  | 17,11 | 17,12 |       |       |
|                           | 1,7                       | 15,66                     | 16,83 | 16,96 | 17,05 | 17,12 | 17,17 | 17,21 | 17,24 | 17,25 | 17,26 | 17,27 | 17,28 | 17,28 | 17,29 | 17,29 | 17,3  | 17,3  | 17,31 | 17,31 |       |       |
|                           | 1,8                       | 15,22                     | 17    | 17,13 | 17,2  | 17,26 | 17,31 | 17,34 | 17,37 | 17,38 | 17,38 | 17,39 | 17,39 | 17,39 | 17,4  | 17,4  | 17,4  | 17,4  | 17,41 | 17,41 |       |       |
|                           | 1,9                       |                           | 16,06 | 17,14 | 17,22 | 17,29 | 17,34 | 17,38 | 17,41 | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |
|                           | 2,0                       |                           | 15,3  | 17,07 | 17,2  | 17,27 | 17,33 | 17,37 | 17,4  | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                           | 1,1                       |                           |       |       |       |       |       | 14,75 | 14,79 | 14,83 | 14,87 | 14,9  | 14,94 | 14,97 | 15,01 | 15,04 | 15,07 | 15,1  | 15,13 | 15,15 |       |       |
|                           | 1,2                       | 14,93                     | 15,04 | 15,1  | 15,16 | 15,22 | 15,26 | 15,3  | 15,34 | 15,38 | 15,42 | 15,46 | 15,5  | 15,53 | 15,56 | 15,6  | 15,63 | 15,66 | 15,69 | 15,71 |       |       |
|                           | 1,3                       | 15,41                     | 15,53 | 15,6  | 15,67 | 15,72 | 15,77 | 15,82 | 15,86 | 15,9  | 15,93 | 15,97 | 16,01 | 16,04 | 16,07 | 16,1  | 16,13 | 16,16 | 16,19 | 16,22 |       |       |
|                           | 1,4                       | 15,85                     | 15,98 | 16,06 | 16,12 | 16,19 | 16,24 | 16,28 | 16,32 | 16,36 | 16,39 | 16,43 | 16,46 | 16,49 | 16,53 | 16,56 | 16,59 | 16,61 | 16,64 | 16,66 |       |       |
|                           | 1,5                       | 16,23                     | 16,38 | 16,46 | 16,53 | 16,6  | 16,65 | 16,69 | 16,73 | 16,77 | 16,8  | 16,83 | 16,86 | 16,88 | 16,91 | 16,93 | 16,95 | 16,97 | 16,99 | 17    |       |       |
| 1,6                       | 16,39                     | 16,72                     | 16,81 | 16,88 | 16,94 | 16,99 | 17,04 | 17,07 | 17,09 | 17,11 | 17,13 | 17,15 | 17,17 | 17,18 | 17,19 | 17,2  | 17,21 | 17,22 | 17,23 |       |       |       |
| 1,7                       | 16,32                     | 16,97                     | 17,07 | 17,13 | 17,19 | 17,23 | 17,27 | 17,29 | 17,3  | 17,31 | 17,32 | 17,33 | 17,33 | 17,34 | 17,34 | 17,34 | 17,35 | 17,35 | 17,36 |       |       |       |
| 1,8                       | 15,92                     | 17,11                     | 17,21 | 17,26 | 17,3  | 17,34 | 17,37 | 17,39 | 17,4  | 17,4  | 17,4  | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,42 | 17,42 |       |       |       |
| 1,9                       | 15,16                     | 16,83                     | 17,22 | 17,27 | 17,31 | 17,35 | 17,38 | 17,41 | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| 2,0                       |                           | 16,31                     | 17,18 | 17,25 | 17,29 | 17,33 | 17,37 | 17,4  | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,9                       |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 14,4  | 14,44 | 14,47 | 14,51 |       |       |
| 1,0                       |                           |                           |       |       |       |       |       |       | 14,63 | 14,68 | 14,72 | 14,76 | 14,8  | 14,84 | 14,88 | 14,92 | 14,96 | 14,99 | 15,03 | 15,06 |       |       |
| 1,1                       | 14,75                     | 14,84                     | 14,91 | 14,96 | 15,02 | 15,06 | 15,11 | 15,15 | 15,2  | 15,24 | 15,28 | 15,32 | 15,36 | 15,39 | 15,43 | 15,47 | 15,5  | 15,54 | 15,57 |       |       |       |
| 1,2                       | 15,22                     | 15,31                     | 15,38 | 15,44 | 15,5  | 15,55 | 15,59 | 15,64 | 15,68 | 15,72 | 15,76 | 15,8  | 15,84 | 15,87 | 15,91 | 15,94 | 15,98 | 16,01 | 16,04 |       |       |       |
| 1,3                       | 15,64                     | 15,75                     | 15,82 | 15,89 | 15,95 | 16    | 16,04 | 16,08 | 16,12 | 16,16 | 16,2  | 16,24 | 16,27 | 16,31 | 16,34 | 16,38 | 16,41 | 16,44 | 16,47 |       |       |       |
| 1,4                       | 16,03                     | 16,16                     | 16,23 | 16,3  | 16,35 | 16,41 | 16,45 | 16,49 | 16,53 | 16,56 | 16,6  | 16,63 | 16,67 | 16,7  | 16,73 | 16,76 | 16,78 | 16,81 | 16,83 |       |       |       |
| 1,5                       | 16,26                     | 16,51                     | 16,59 | 16,66 | 16,72 | 16,77 | 16,81 | 16,85 | 16,88 | 16,91 | 16,94 | 16,97 | 16,99 | 17,02 | 17,04 | 17,06 | 17,08 | 17,09 | 17,11 |       |       |       |
| 1,6                       | 16,42                     | 16,81                     | 16,9  | 16,96 | 17,02 | 17,07 | 17,1  | 17,13 | 17,16 | 17,18 | 17,2  | 17,21 | 17,23 | 17,24 | 17,25 | 17,26 | 17,27 | 17,28 | 17,28 |       |       |       |
| 1,7                       | 16,34                     | 17,04                     | 17,13 | 17,18 | 17,23 | 17,27 | 17,3  | 17,32 | 17,33 | 17,34 | 17,35 | 17,36 | 17,36 | 17,36 | 17,37 | 17,37 | 17,38 | 17,38 | 17,38 |       |       |       |
| 1,8                       | 15,89                     | 17,15                     | 17,24 | 17,28 | 17,32 | 17,35 | 17,38 | 17,4  | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 |       |       |       |
| 1,9                       | 15,24                     | 16,78                     | 17,24 | 17,28 | 17,32 | 17,36 | 17,39 | 17,41 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| 2,0                       | 14,87                     | 16,4                      | 17,21 | 17,26 | 17,3  | 17,34 | 17,38 | 17,4  | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,8                       |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 14,18 | 14,22 | 14,26 | 14,3  | 14,34 | 14,38 |       |       |
| 0,9                       |                           |                           |       |       |       |       |       |       | 14,44 | 14,48 | 14,52 | 14,57 | 14,61 | 14,65 | 14,7  | 14,74 | 14,78 | 14,81 | 14,85 | 14,89 |       |       |
| 1,0                       |                           | 14,62                     | 14,68 | 14,74 | 14,79 | 14,84 | 14,88 | 14,93 | 14,97 | 15,02 | 15,06 | 15,11 | 15,15 | 15,19 | 15,23 | 15,27 | 15,3  | 15,34 | 15,38 |       |       |       |
| 1,1                       | 14,94                     | 15,07                     | 15,14 | 15,2  | 15,25 | 15,3  | 15,35 | 15,4  | 15,44 | 15,48 | 15,53 | 15,57 | 15,61 | 15,65 | 15,69 | 15,73 | 15,76 | 15,8  | 15,83 |       |       |       |
| 1,2                       | 15,35                     | 15,51                     | 15,58 | 15,64 | 15,69 | 15,74 | 15,79 | 15,83 | 15,88 | 15,92 | 15,96 | 16    | 16,04 | 16,07 | 16,11 | 16,15 | 16,18 | 16,22 | 16,25 |       |       |       |
| 1,3                       | 15,67                     | 15,91                     | 15,98 | 16,05 | 16,1  | 16,15 | 16,19 | 16,24 | 16,28 | 16,32 | 16,36 | 16,39 | 16,43 | 16,47 | 16,5  | 16,53 | 16,56 | 16,59 | 16,62 |       |       |       |
| 1,4                       | 15,9                      | 16,28                     | 16,35 | 16,42 | 16,47 | 16,52 | 16,56 | 16,6  | 16,64 | 16,68 | 16,71 | 16,75 | 16,78 | 16,81 | 16,84 | 16,86 | 16,89 | 16,91 | 16,94 |       |       |       |
| 1,5                       | 16,13                     | 16,6                      | 16,68 | 16,74 | 16,8  | 16,85 | 16,89 | 16,92 | 16,95 | 16,98 | 17,01 | 17,04 | 17,06 | 17,08 | 17,1  | 17,12 | 17,14 | 17,16 | 17,17 |       |       |       |
| 1,6                       | 16,29                     | 16,88                     | 16,95 | 17,01 | 17,07 | 17,11 | 17,15 | 17,18 | 17,2  | 17,22 | 17,24 | 17,25 | 17,27 | 17,28 | 17,29 | 17,3  | 17,31 | 17,31 | 17,32 |       |       |       |
| 1,7                       | 16,24                     | 17,08                     | 17,16 | 17,21 | 17,26 | 17,3  | 17,33 | 17,35 | 17,36 | 17,36 | 17,37 | 17,38 | 17,38 | 17,38 | 17,39 | 17,39 | 17,39 | 17,39 | 17,4  |       |       |       |
| 1,8                       | 15,79                     | 17,18                     | 17,25 | 17,29 | 17,33 | 17,36 | 17,39 | 17,41 | 17,41 | 17,41 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,42 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| 1,9                       | 15,16                     | 16,61                     | 17,25 | 17,29 | 17,33 | 17,36 | 17,39 | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |
| 2,0                       | 14,86                     | 16,29                     | 17,22 | 17,27 | 17,3  | 17,34 | 17,38 | 17,4  | 17,42 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 | 17,43 |       |       |       |

Również wzrost mocy magazynu powoduje wzrost generacji energii elektrycznej. Jednakże nie jest on aż tak wysoki jak w przypadku agregatu silnikowego. Średni wzrost wartości wyprodukowanej energii elektrycznej przy wzroście mocy BME o 0,1 MW wynosi 0,071 GWh, a przy wzroście mocy ICE o 0,1 MW wynosi 0,257 GWh. W przypadku mocy ICE może jednak zdarzyć się sytuacja, że jej wzrost będzie związany ze spadkiem generacji (ze względu na wspomnianą konieczność utrzymania 5% udziału energii elektrycznej z magazynu w energii przesyłanej do systemu elektroenergetycznego).

W tabeli 50 przedstawiono wyniki wartości niewykorzystanej energii elektrycznej (ze względu na przekroczenie mocy przyłączeniowej) w HIOZE. Ponownie, najkorzystniejsze wartości oznaczono kolorem zielonym, a najmniej korzystne kolorem czerwonym. W tym przypadku, ponieważ parametr ten jest destymulantą, im niższa jest wartość tym jest ona korzystniejsza.

Wzrost wartości niewykorzystanej generacji jest ściśle zależny od wzrostu mocy źródeł niesterowalnych. Przy braku przewymiarowania HIOZE względem odbioru, sytuacje w których generacja musi zostać ograniczona niemal się nie zdarzają. Przy wzroście mocy PV+TW do 3 MW wartość niewykorzystanej energii elektrycznej z tych źródeł wynosi od 33 MWh do 46 MWh. Wartości zwiększają się przy dalszym wzroście mocy źródeł niesterowalnych i wynoszą:

- Od 299 MWh do 352 MWh przy wartości  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW,
- Od 947 MWh do 1121 MWh przy wartości  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW,
- Od 1867 MWh do 2174 MWh przy wartości  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW,

Widoczny jest wykładniczy charakter tego przyrostu.

Tabela 50. Niewykorzystana generacja w HIOZE B

| E <sub>nad</sub><br>[MWh] | P <sub>BME</sub> [MW]     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 0,2                       | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| P <sub>ICE</sub> [MW]     | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 1,3                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,4                       |      |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,5                       |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,6                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,7                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,8                       |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 1,9                       |      |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | 2,0                       |      |      |      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 1,2                       |      |      |      |      | 44   | 44   | 44   | 44   | 44   | 43   | 42   | 42   | 41   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   |
|                           | 1,3                       | 40   | 41   | 43   | 44   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   |
|                           | 1,4                       | 40   | 39   | 42   | 44   | 46   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   |
|                           | 1,5                       | 39   | 38   | 41   | 44   | 45   | 45   | 46   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 45   | 44   | 44   | 44   |
|                           | 1,6                       | 39   | 37   | 39   | 43   | 45   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 45   | 46   | 45   | 45   | 45   |
|                           | 1,7                       | 38   | 36   | 38   | 42   | 44   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 46   | 45   | 46   | 45   | 45   |
|                           | 1,8                       | 38   | 36   | 37   | 40   | 44   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 46   | 46   | 46   |
|                           | 1,9                       |      | 35   | 35   | 38   | 43   | 45   | 46   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   |
|                           | 2,0                       |      | 33   | 33   | 36   | 41   | 44   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 1,1                       |      |      |      |      |      | 337  | 336  | 334  | 331  | 329  | 326  | 322  | 319  | 315  | 311  | 307  | 303  | 299  |
|                           | 1,2                       | 332  | 334  | 339  | 342  | 341  | 342  | 341  | 340  | 339  | 338  | 336  | 333  | 331  | 328  | 325  | 321  | 318  | 312  |
|                           | 1,3                       | 331  | 332  | 338  | 344  | 345  | 346  | 345  | 345  | 344  | 343  | 341  | 340  | 339  | 336  | 335  | 332  | 329  | 325  |
|                           | 1,4                       | 331  | 330  | 339  | 345  | 348  | 349  | 349  | 349  | 348  | 346  | 346  | 345  | 343  | 342  | 341  | 339  | 337  | 334  |
|                           | 1,5                       | 330  | 326  | 336  | 343  | 350  | 351  | 351  | 350  | 351  | 349  | 349  | 347  | 348  | 347  | 346  | 345  | 344  | 341  |
|                           | 1,6                       | 328  | 324  | 332  | 341  | 350  | 352  | 352  | 352  | 352  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 350  | 350  | 350  | 350  |
|                           | 1,7                       | 327  | 322  | 328  | 339  | 347  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  |
|                           | 1,8                       | 325  | 318  | 323  | 336  | 344  | 350  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 351  | 352  | 351  | 351  |
|                           | 1,9                       | 323  | 314  | 318  | 330  | 340  | 348  | 351  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 352  | 353  | 353  | 353  | 352  | 352  |
|                           | 2,0                       |      | 310  | 311  | 322  | 336  | 345  | 350  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 351  | 350  | 350  |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 0,9                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 979  | 969  | 958  | 947  |
|                           | 1,0                       |      |      |      |      |      | 1063 | 1058 | 1052 | 1046 | 1038 | 1031 | 1022 | 1013 | 1005 | 996  | 987  | 978  |      |
|                           | 1,1                       | 1094 | 1092 | 1093 | 1091 | 1088 | 1084 | 1080 | 1077 | 1074 | 1069 | 1064 | 1059 | 1052 | 1045 | 1038 | 1030 | 1022 | 1015 |
|                           | 1,2                       | 1094 | 1092 | 1096 | 1096 | 1094 | 1092 | 1090 | 1087 | 1084 | 1083 | 1078 | 1074 | 1070 | 1065 | 1058 | 1053 | 1047 | 1040 |
|                           | 1,3                       | 1095 | 1093 | 1097 | 1101 | 1103 | 1101 | 1099 | 1098 | 1096 | 1094 | 1091 | 1089 | 1085 | 1081 | 1076 | 1072 | 1067 | 1061 |
|                           | 1,4                       | 1094 | 1091 | 1099 | 1105 | 1106 | 1107 | 1107 | 1106 | 1105 | 1104 | 1101 | 1101 | 1097 | 1094 | 1092 | 1088 | 1085 | 1080 |
|                           | 1,5                       | 1092 | 1089 | 1099 | 1108 | 1113 | 1113 | 1113 | 1113 | 1111 | 1110 | 1110 | 1107 | 1107 | 1105 | 1105 | 1103 | 1102 | 1101 |
|                           | 1,6                       | 1091 | 1085 | 1098 | 1108 | 1114 | 1116 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1116 | 1116 | 1115 | 1115 | 1114 | 1114 | 1114 |
|                           | 1,7                       | 1088 | 1082 | 1092 | 1107 | 1115 | 1119 | 1119 | 1120 | 1120 | 1119 | 1120 | 1121 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1119 | 1118 |
|                           | 1,8                       | 1086 | 1077 | 1086 | 1103 | 1113 | 1118 | 1121 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1119 | 1119 |
|                           | 1,9                       | 1083 | 1070 | 1079 | 1095 | 1107 | 1116 | 1119 | 1119 | 1119 | 1120 | 1119 | 1119 | 1119 | 1118 | 1119 | 1118 | 1119 | 1119 |
|                           | 2,0                       | 1078 | 1063 | 1069 | 1087 | 1102 | 1112 | 1116 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 | 1117 |
|                           | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | 0,8                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1949 | 1932 | 1916 | 1899 | 1867 |
|                           | 0,9                       |      |      |      |      |      | 2062 | 2051 | 2038 | 2027 | 2014 | 2001 | 1987 | 1973 | 1958 | 1944 | 1929 | 1914 |      |
|                           | 1,0                       |      | 2128 | 2122 | 2116 | 2109 | 2100 | 2093 | 2085 | 2075 | 2065 | 2057 | 2046 | 2037 | 2024 | 2012 | 2001 | 1988 | 1962 |
|                           | 1,1                       | 2141 | 2134 | 2132 | 2127 | 2121 | 2115 | 2110 | 2103 | 2097 | 2089 | 2083 | 2074 | 2066 | 2057 | 2047 | 2036 | 2025 | 2004 |
|                           | 1,2                       | 2142 | 2137 | 2137 | 2135 | 2132 | 2129 | 2125 | 2122 | 2117 | 2114 | 2107 | 2101 | 2092 | 2086 | 2078 | 2069 | 2059 | 2040 |
|                           | 1,3                       | 2142 | 2136 | 2140 | 2142 | 2142 | 2140 | 2138 | 2136 | 2133 | 2131 | 2127 | 2123 | 2117 | 2110 | 2104 | 2097 | 2090 | 2076 |
|                           | 1,4                       | 2141 | 2134 | 2143 | 2148 | 2149 | 2149 | 2149 | 2147 | 2146 | 2145 | 2142 | 2141 | 2137 | 2132 | 2130 | 2125 | 2119 | 2111 |
|                           | 1,5                       | 2139 | 2133 | 2144 | 2151 | 2156 | 2160 | 2158 | 2160 | 2159 | 2157 | 2158 | 2156 | 2155 | 2154 | 2152 | 2151 | 2148 | 2145 |
|                           | 1,6                       | 2140 | 2134 | 2146 | 2156 | 2163 | 2165 | 2167 | 2168 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2166 | 2165 | 2165 | 2165 | 2164 | 2164 |
|                           | 1,7                       | 2137 | 2131 | 2142 | 2156 | 2165 | 2169 | 2171 | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 | 2173 | 2172 | 2172 | 2172 | 2173 | 2172 |
|                           | 1,8                       | 2136 | 2126 | 2137 | 2155 | 2166 | 2171 | 2174 | 2174 | 2173 | 2174 | 2173 | 2173 | 2173 | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 |
|                           | 1,9                       | 2132 | 2118 | 2128 | 2147 | 2161 | 2169 | 2172 | 2172 | 2172 | 2171 | 2172 | 2172 | 2171 | 2171 | 2171 | 2171 | 2171 | 2172 |
|                           | 2,0                       | 2126 | 2110 | 2114 | 2136 | 2154 | 2163 | 2169 | 2170 | 2170 | 2170 | 2169 | 2169 | 2169 | 2169 | 2170 | 2169 | 2169 | 2169 |

### 6.3. Wyniki analiz ekonomicznych

Wyznaczone wartości wskaźników z grupy ekonomicznej zaprezentowano w następujących dwóch tabelach. W tabeli 51 przedstawiono całkowite koszty inwestycyjne HIOZE.

CAPEX układów zawiera się w zakresie od 41,2 mln PLN do 83,9 mln PLN. Najwyższą wartością charakteryzuje się HIOZE o najwyższej łącznej mocy zainstalowanej wynoszącej 10 MW – PV 3 MW, turbiny wiatrowe 3 MW, BME 2 MW i ICE 2 MW. Najmniejsza wartość nie jest jednak przy najmniejszej możliwej mocy. 41,2 mln PLN wynosi CAPEX układu o łącznej mocy 4,5 MW – PV 1,5 MW, turbiny wiatrowe 1,5 MW, BME 0,2 MW i ICE 1,3 MW. Przy mniejszych mocach źródeł niesterowalnych konieczne są wyższe moce zainstalowane magazynu energii oraz instalacji zgazowania z agregatem silnikowym. Układy charakteryzują się zdecydowanie wyższymi kosztami jednostkowymi niż PV czy turbiny wiatrowe. Z tego względu CAPEX wynoszący poniżej 50 mln PLN jest możliwy do uzyskania nawet w układach o mocy źródeł niesterowalnych równej 5 i 6 MW. Najdroższym jednostkowo źródłem energii jest instalacja zgazowania odpadów zintegrowana z silnikiem i generatorem. Wzrost mocy generatora o 0,1 MW skutkuje wzrostem CAPEX o 1,7-2 mln PLN w zależności od momentu w którym dochodzi do koniecznej wymiany silnika. Wzrost mocy magazynu skutkuje wzrostem CAPEX o około 1 mln PLN na każde 0,1 MW.

Przedziały wartości kosztów inwestycyjnych układów wynoszą:

- 42,4-68,6 mln PLN przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW,
- 41,2-72,3 mln PLN przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW,
- 43,1-76,0 mln PLN przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW,
- 45,2-79,9 mln PLN przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW,
- 48,5-83,9 mln PLN przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW,

W tabeli 52 przedstawiono uśrednione zyski netto na produkcji jednej megawatogodziny energii elektrycznej.

Tabela 51. CAPEX HIOZE B

| CAPEX<br>[mln<br>PLN] |     | P <sub>BME</sub> [MW]     |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----|---------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       |     | 0,2                       | 0,3                       | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |      |
| P <sub>ICE</sub> [MW] |     | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 1,3 |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 52,7 | 53,7 | 54,7 | 55,7 |      |
|                       | 1,4 |                           |                           |      | 42,4 | 43,4 | 44,5 | 45,5 | 46,5 | 47,5 | 48,5 | 49,6 | 50,6 | 51,6 | 52,6 | 53,6 | 54,7 | 55,7 | 56,7 | 57,7 |      |
|                       | 1,5 |                           |                           | 43,3 | 44,4 | 45,4 | 46,4 | 47,4 | 48,5 | 49,5 | 50,5 | 51,5 | 52,5 | 53,6 | 54,6 | 55,6 | 56,6 | 57,6 | 58,6 | 59,7 |      |
|                       | 1,6 |                           | 44,2                      | 45,2 | 46,3 | 47,3 | 48,3 | 49,4 | 50,4 | 51,4 | 52,4 | 53,4 | 54,5 | 55,5 | 56,5 | 57,5 | 58,5 | 59,5 | 60,6 | 61,6 |      |
|                       | 1,7 |                           | 46,1                      | 47,1 | 48,1 | 49,2 | 50,2 | 51,2 | 52,2 | 53,3 | 54,3 | 55,3 | 56,3 | 57,3 | 58,3 | 59,4 | 60,4 | 61,4 | 62,4 | 63,4 |      |
|                       | 1,8 |                           |                           | 48,9 | 49,9 | 51   | 52   | 53   | 54   | 55,1 | 56,1 | 57,1 | 58,1 | 59,1 | 60,1 | 61,1 | 62,2 | 63,2 | 64,2 | 65,2 |      |
|                       | 1,9 |                           |                           |      | 51,7 | 52,7 | 53,7 | 54,8 | 55,8 | 56,8 | 57,8 | 58,8 | 59,8 | 60,9 | 61,9 | 62,9 | 63,9 | 64,9 | 65,9 | 66,9 |      |
|                       | 2,0 |                           |                           |      |      | 54,4 | 55,4 | 56,5 | 57,5 | 58,5 | 59,5 | 60,5 | 61,6 | 62,6 | 63,6 | 64,6 | 65,6 | 66,6 | 67,6 | 68,6 |      |
|                       |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 1,2 |                           |                           |      |      |      | 44,4 | 45,5 | 46,5 | 47,5 | 48,5 | 49,6 | 50,6 | 51,6 | 52,6 | 53,7 | 54,7 | 55,7 | 56,7 | 57,7 |      |
|                       | 1,3 |                           | 41,2                      | 42,2 | 43,3 | 44,3 | 45,4 | 46,4 | 47,4 | 48,4 | 49,5 | 50,5 | 51,5 | 52,5 | 53,6 | 54,6 | 55,6 | 56,6 | 57,6 | 58,7 | 59,7 |
|                       | 1,4 |                           | 43,1                      | 44,1 | 45,2 | 46,2 | 47,3 | 48,3 | 49,3 | 50,4 | 51,4 | 52,4 | 53,4 | 54,4 | 55,5 | 56,5 | 57,5 | 58,5 | 59,6 | 60,6 | 61,6 |
|                       | 1,5 |                           | 44,9                      | 46   | 47,1 | 48,1 | 49,2 | 50,2 | 51,2 | 52,2 | 53,3 | 54,3 | 55,3 | 56,3 | 57,4 | 58,4 | 59,4 | 60,4 | 61,4 | 62,5 | 63,5 |
|                       | 1,6 |                           | 46,8                      | 47,9 | 48,9 | 50   | 51   | 52,1 | 53,1 | 54,1 | 55,1 | 56,1 | 57,2 | 58,2 | 59,2 | 60,2 | 61,2 | 62,3 | 63,3 | 64,3 | 65,3 |
|                       | 1,7 |                           | 48,6                      | 49,7 | 50,7 | 51,8 | 52,8 | 53,9 | 54,9 | 55,9 | 56,9 | 58   | 59   | 60   | 61   | 62   | 63   | 64   | 65,1 | 66,1 | 67,1 |
|                       | 1,8 |                           | 50,3                      | 51,4 | 52,5 | 53,6 | 54,6 | 55,6 | 56,7 | 57,7 | 58,7 | 59,7 | 60,7 | 61,7 | 62,7 | 63,8 | 64,8 | 65,8 | 66,8 | 67,8 | 68,8 |
|                       | 1,9 |                           |                           | 53,1 | 54,2 | 55,3 | 56,3 | 57,4 | 58,4 | 59,4 | 60,4 | 61,4 | 62,4 | 63,5 | 64,5 | 65,5 | 66,5 | 67,5 | 68,5 | 69,5 | 70,5 |
|                       | 2,0 |                           |                           | 54,8 | 55,9 | 57   | 58   | 59,1 | 60,1 | 61,1 | 62,1 | 63,2 | 64,2 | 65,2 | 66,2 | 67,2 | 68,2 | 69,2 | 70,2 | 71,3 | 72,3 |
|                       |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 1,1 |                           |                           |      |      |      |      | 47,4 | 48,5 | 49,5 | 50,5 | 51,5 | 52,6 | 53,6 | 54,6 | 55,6 | 56,7 | 57,7 | 58,7 | 59,7 |      |
|                       | 1,2 |                           | 43,1                      | 44,2 | 45,2 | 46,3 | 47,3 | 48,3 | 49,4 | 50,4 | 51,4 | 52,4 | 53,5 | 54,5 | 55,5 | 56,5 | 57,6 | 58,6 | 59,6 | 60,6 | 61,7 |
|                       | 1,3 |                           | 45                        | 46,1 | 47,1 | 48,2 | 49,2 | 50,2 | 51,3 | 52,3 | 53,3 | 54,3 | 55,4 | 56,4 | 57,4 | 58,4 | 59,5 | 60,5 | 61,5 | 62,5 | 63,6 |
|                       | 1,4 |                           | 46,9                      | 47,9 | 49   | 50   | 51,1 | 52,1 | 53,1 | 54,2 | 55,2 | 56,2 | 57,2 | 58,3 | 59,3 | 60,3 | 61,3 | 62,4 | 63,4 | 64,4 | 65,4 |
|                       | 1,5 |                           | 48,7                      | 49,8 | 50,8 | 51,9 | 52,9 | 54   | 55   | 56   | 57   | 58,1 | 59,1 | 60,1 | 61,1 | 62,2 | 63,2 | 64,2 | 65,2 | 66,2 | 67,3 |
|                       | 1,6 |                           | 50,5                      | 51,6 | 52,7 | 53,7 | 54,8 | 55,8 | 56,8 | 57,9 | 58,9 | 59,9 | 60,9 | 61,9 | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   | 69,1 |
|                       | 1,7 |                           | 52,3                      | 53,4 | 54,5 | 55,5 | 56,6 | 57,6 | 58,6 | 59,6 | 60,7 | 61,7 | 62,7 | 63,7 | 64,7 | 65,7 | 66,7 | 67,8 | 68,8 | 69,8 | 70,8 |
|                       | 1,8 |                           | 54,1                      | 55,2 | 56,2 | 57,3 | 58,3 | 59,3 | 60,4 | 61,4 | 62,4 | 63,4 | 64,4 | 65,4 | 66,5 | 67,5 | 68,5 | 69,5 | 70,5 | 71,5 | 72,5 |
|                       | 1,9 |                           | 55,8                      | 56,9 | 58   | 59   | 60   | 61,1 | 62,1 | 63,1 | 64,1 | 65,1 | 66,2 | 67,2 | 68,2 | 69,2 | 70,2 | 71,2 | 72,2 | 73,2 | 74,3 |
|                       | 2,0 |                           |                           | 58,6 | 59,7 | 60,7 | 61,7 | 62,8 | 63,8 | 64,8 | 65,9 | 66,9 | 67,9 | 68,9 | 69,9 | 70,9 | 71,9 | 72,9 | 73,9 | 75   | 76   |
|                       |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0,9 |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 56,9 | 57,9 | 58,9 | 59,9 |
|                       | 1,0 |                           |                           |      |      |      |      |      |      | 50,6 | 51,6 | 52,6 | 53,6 | 54,7 | 55,7 | 56,7 | 57,8 | 58,8 | 59,8 | 60,8 | 61,8 |
|                       | 1,1 |                           | 45,2                      | 46,3 | 47,3 | 48,3 | 49,4 | 50,4 | 51,4 | 52,5 | 53,5 | 54,5 | 55,6 | 56,6 | 57,6 | 58,6 | 59,7 | 60,7 | 61,7 | 62,7 | 63,8 |
|                       | 1,2 |                           | 47,1                      | 48,2 | 49,2 | 50,2 | 51,3 | 52,3 | 53,3 | 54,4 | 55,4 | 56,4 | 57,5 | 58,5 | 59,5 | 60,5 | 61,6 | 62,6 | 63,6 | 64,6 | 65,6 |
|                       | 1,3 |                           | 49                        | 50   | 51,1 | 52,1 | 53,2 | 54,2 | 55,2 | 56,2 | 57,3 | 58,3 | 59,3 | 60,4 | 61,4 | 62,4 | 63,4 | 64,5 | 65,5 | 66,5 | 67,5 |
|                       | 1,4 |                           | 50,8                      | 51,9 | 52,9 | 54   | 55   | 56,1 | 57,1 | 58,1 | 59,1 | 60,2 | 61,2 | 62,2 | 63,2 | 64,3 | 65,3 | 66,3 | 67,3 | 68,3 | 69,4 |
|                       | 1,5 |                           | 52,7                      | 53,7 | 54,8 | 55,8 | 56,9 | 57,9 | 58,9 | 59,9 | 61   | 62   | 63   | 64   | 65,1 | 66,1 | 67,1 | 68,1 | 69,1 | 70,2 | 71,2 |
|                       | 1,6 |                           | 54,5                      | 55,6 | 56,6 | 57,6 | 58,7 | 59,7 | 60,7 | 61,8 | 62,8 | 63,8 | 64,8 | 65,8 | 66,9 | 67,9 | 68,9 | 69,9 | 70,9 | 71,9 | 73   |
|                       | 1,7 |                           | 56,3                      | 57,3 | 58,4 | 59,4 | 60,5 | 61,5 | 62,5 | 63,5 | 64,6 | 65,6 | 66,6 | 67,6 | 68,6 | 69,6 | 70,6 | 71,7 | 72,7 | 73,7 | 74,7 |
|                       | 1,8 |                           | 58                        | 59,1 | 60,1 | 61,2 | 62,2 | 63,2 | 64,3 | 65,3 | 66,3 | 67,3 | 68,3 | 69,3 | 70,4 | 71,4 | 72,4 | 73,4 | 74,4 | 75,4 | 76,4 |
|                       | 1,9 |                           | 59,7                      | 60,8 | 61,9 | 62,9 | 63,9 | 65   | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71,1 | 72,1 | 73,1 | 74,1 | 75,1 | 76,1 | 77,1 | 78,1 |
|                       | 2,0 |                           | 61,4                      | 62,5 | 63,6 | 64,6 | 65,6 | 66,7 | 67,7 | 68,7 | 69,7 | 70,8 | 71,8 | 72,8 | 73,8 | 74,8 | 75,8 | 76,8 | 77,8 | 78,9 | 79,9 |
|                       |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0,8 |                           |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 57   | 58   | 59   | 60,1 | 61,1 | 62,1 |
|                       | 0,9 |                           |                           |      |      |      |      |      |      | 52,8 | 53,8 | 54,8 | 55,8 | 56,9 | 57,9 | 58,9 | 59,9 | 61   | 62   | 63   | 64   |
|                       | 1,0 |                           |                           | 48,5 | 49,5 | 50,5 | 51,6 | 52,6 | 53,6 | 54,7 | 55,7 | 56,7 | 57,7 | 58,8 | 59,8 | 60,8 | 61,8 | 62,9 | 63,9 | 64,9 | 65,9 |
|                       | 1,1 |                           | 49,3                      | 50,3 | 51,4 | 52,4 | 53,5 | 54,5 | 55,5 | 56,6 | 57,6 | 58,6 | 59,6 | 60,7 | 61,7 | 62,7 | 63,7 | 64,8 | 65,8 | 66,8 | 67,8 |
|                       | 1,2 |                           | 51,2                      | 52,2 | 53,3 | 54,3 | 55,3 | 56,4 | 57,4 | 58,4 | 59,5 | 60,5 | 61,5 | 62,5 | 63,6 | 64,6 | 65,6 | 66,6 | 67,7 | 68,7 | 69,7 |
|                       | 1,3 |                           | 53                        | 54,1 | 55,1 | 56,2 | 57,2 | 58,2 | 59,3 | 60,3 | 61,3 | 62,3 | 63,4 | 64,4 | 65,4 | 66,4 | 67,5 | 68,5 | 69,5 | 70,5 | 71,6 |
|                       | 1,4 |                           | 54,9                      | 55,9 | 57   | 58   | 59,1 | 60,1 | 61,1 | 62,1 | 63,2 | 64,2 | 65,2 | 66,2 | 67,3 | 68,3 | 69,3 | 70,3 | 71,4 | 72,4 | 73,4 |
|                       | 1,5 |                           | 56,7                      | 57,8 | 58,8 | 59,9 | 60,9 | 61,9 | 62,9 | 64   | 65   | 66   | 67   | 68,1 | 69,1 | 70,1 | 71,1 | 72,1 | 73,2 | 74,2 | 75,2 |
|                       | 1,6 |                           | 58,5                      | 59,6 | 60,6 | 61,7 | 62,7 | 63,7 | 64,8 | 65,8 | 66,8 | 67,8 | 68,8 | 69,9 | 70,9 | 71,9 | 72,9 | 73,9 | 74,9 | 76   | 77   |
|                       | 1,7 |                           | 60,3                      | 61,4 | 62,4 | 63,4 | 64,5 | 65,5 | 66,5 | 67,6 | 68,6 | 69,6 | 70,6 | 71,6 | 72,6 | 73,6 | 74,7 | 75,7 | 76,7 | 77,7 | 78,7 |
|                       | 1,8 |                           | 62                        | 63,1 | 64,2 | 65,2 | 66,2 | 67,2 | 68,3 | 69,3 | 70,3 | 71,3 | 72,3 | 73,3 | 74,4 | 75,4 | 76,4 | 77,4 | 78,4 | 79,4 | 80,4 |
|                       | 1,9 |                           | 63,7                      | 64,8 | 65,9 | 66,9 | 67,9 | 69   | 70   | 71   | 72   | 73   | 74   | 75,1 | 76,1 | 77,1 | 78,1 | 79,1 | 80,1 | 81,1 | 82,2 |
|                       | 2,0 |                           | 65,4                      | 66,5 | 67,6 | 68,6 | 69,6 | 70,7 | 71,7 | 72,7 | 73,7 | 74,8 | 75,8 | 76,8 | 77,8 | 78,8 | 79,8 | 80,8 | 81,8 | 82,9 | 83,9 |



Tabela 52. Zyski w HIOZE B

| ΔC<br>[PLN/MWh]       |                           | P <sub>BME</sub> [MW]     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                       |                           | 0,2                       | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |    |
| P <sub>ICE</sub> [MW] | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       | 1,3                       |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 154 | 148 | 141 | 134 |    |
|                       | 1,4                       |                           |     |     | 235 | 228 | 222 | 216 | 209 | 203 | 196 | 190 | 183 | 177 | 170 | 164 | 157 | 151 | 144 | 138 |    |
|                       | 1,5                       |                           |     | 232 | 233 | 227 | 220 | 214 | 208 | 202 | 196 | 190 | 184 | 177 | 171 | 165 | 159 | 153 | 146 | 140 |    |
|                       | 1,6                       |                           | 224 | 230 | 230 | 224 | 218 | 212 | 207 | 201 | 195 | 189 | 183 | 177 | 171 | 165 | 159 | 153 | 147 | 141 |    |
|                       | 1,7                       |                           | 216 | 224 | 226 | 220 | 215 | 209 | 203 | 197 | 191 | 185 | 179 | 174 | 168 | 162 | 156 | 150 | 144 | 138 |    |
|                       | 1,8                       |                           |     | 206 | 211 | 214 | 208 | 203 | 197 | 191 | 185 | 179 | 173 | 168 | 162 | 156 | 150 | 144 | 138 | 132 |    |
|                       | 1,9                       |                           |     |     | 183 | 188 | 192 | 194 | 189 | 183 | 177 | 171 | 165 | 159 | 153 | 148 | 142 | 136 | 130 | 124 |    |
|                       | 2,0                       |                           |     |     |     | 167 | 173 | 177 | 179 | 174 | 168 | 162 | 156 | 150 | 144 | 138 | 132 | 126 | 121 | 115 |    |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       | 1,2                       |                           |     |     |     |     | 199 | 193 | 186 | 179 | 173 | 166 | 160 | 153 | 147 | 140 | 134 | 127 | 121 | 114 |    |
|                       | 1,3                       | 227                       | 221 | 215 | 210 | 204 | 197 | 191 | 185 | 179 | 173 | 166 | 160 | 154 | 148 | 141 | 135 | 129 | 123 | 116 |    |
|                       | 1,4                       | 222                       | 218 | 212 | 207 | 201 | 195 | 189 | 183 | 177 | 171 | 165 | 159 | 153 | 147 | 141 | 135 | 129 | 123 | 117 |    |
|                       | 1,5                       | 214                       | 214 | 209 | 203 | 198 | 192 | 187 | 181 | 175 | 169 | 163 | 158 | 152 | 146 | 140 | 134 | 128 | 122 | 117 |    |
|                       | 1,6                       | 206                       | 209 | 204 | 199 | 194 | 189 | 183 | 177 | 172 | 166 | 160 | 154 | 148 | 143 | 137 | 131 | 125 | 119 | 113 |    |
|                       | 1,7                       | 194                       | 203 | 199 | 194 | 189 | 184 | 178 | 172 | 167 | 161 | 155 | 149 | 143 | 137 | 131 | 125 | 119 | 113 | 107 |    |
|                       | 1,8                       | 177                       | 196 | 192 | 187 | 182 | 176 | 171 | 165 | 159 | 153 | 148 | 142 | 136 | 130 | 124 | 118 | 112 | 106 | 100 |    |
|                       | 1,9                       |                           | 173 | 183 | 178 | 173 | 168 | 162 | 157 | 151 | 145 | 139 | 133 | 127 | 121 | 115 | 109 | 103 | 97  | 91  |    |
|                       | 2,0                       |                           | 151 | 172 | 168 | 163 | 158 | 153 | 147 | 142 | 136 | 130 | 124 | 118 | 112 | 106 | 100 | 94  | 88  | 82  |    |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       | 1,1                       |                           |     |     |     |     |     | 167 | 161 | 154 | 148 | 142 | 135 | 129 | 123 | 116 | 110 | 104 | 97  | 91  |    |
|                       | 1,2                       | 202                       | 196 | 190 | 184 | 178 | 172 | 166 | 160 | 154 | 147 | 141 | 135 | 129 | 123 | 117 | 111 | 105 | 99  | 93  |    |
|                       | 1,3                       | 198                       | 193 | 187 | 181 | 175 | 170 | 164 | 158 | 152 | 146 | 140 | 134 | 128 | 122 | 116 | 111 | 105 | 99  | 93  |    |
|                       | 1,4                       | 193                       | 189 | 183 | 178 | 172 | 167 | 161 | 155 | 149 | 144 | 138 | 132 | 126 | 121 | 115 | 109 | 103 | 98  | 92  |    |
|                       | 1,5                       | 189                       | 184 | 179 | 174 | 169 | 163 | 158 | 152 | 146 | 141 | 135 | 129 | 124 | 118 | 112 | 106 | 101 | 95  | 89  |    |
|                       | 1,6                       | 181                       | 179 | 175 | 169 | 164 | 159 | 153 | 148 | 142 | 136 | 131 | 125 | 119 | 113 | 107 | 102 | 96  | 90  | 84  |    |
|                       | 1,7                       | 171                       | 174 | 169 | 164 | 159 | 153 | 148 | 142 | 136 | 130 | 124 | 119 | 113 | 107 | 101 | 95  | 89  | 83  | 77  |    |
|                       | 1,8                       | 155                       | 166 | 162 | 156 | 151 | 146 | 140 | 134 | 129 | 123 | 117 | 111 | 105 | 99  | 93  | 87  | 81  | 75  | 69  |    |
|                       | 1,9                       | 131                       | 153 | 152 | 147 | 142 | 137 | 131 | 126 | 120 | 114 | 108 | 102 | 96  | 90  | 84  | 78  | 72  | 66  | 60  |    |
|                       | 2,0                       |                           | 135 | 143 | 138 | 132 | 127 | 122 | 116 | 111 | 105 | 99  | 93  | 87  | 81  | 75  | 69  | 63  | 57  | 51  |    |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       | 0,9                       |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 82  | 75  | 69  | 63  |    |
|                       | 1,0                       |                           |     |     |     |     |     |     | 134 | 128 | 122 | 115 | 109 | 103 | 97  | 91  | 84  | 78  | 72  | 66  |    |
|                       | 1,1                       | 176                       | 170 | 164 | 158 | 152 | 146 | 140 | 134 | 128 | 122 | 115 | 109 | 103 | 97  | 91  | 85  | 79  | 73  | 67  |    |
|                       | 1,2                       | 172                       | 167 | 161 | 156 | 150 | 144 | 138 | 132 | 126 | 120 | 114 | 108 | 103 | 97  | 91  | 85  | 79  | 73  | 68  |    |
|                       | 1,3                       | 168                       | 163 | 158 | 152 | 147 | 141 | 135 | 130 | 124 | 118 | 112 | 107 | 101 | 95  | 89  | 84  | 78  | 72  | 67  |    |
|                       | 1,4                       | 164                       | 160 | 154 | 149 | 143 | 138 | 132 | 127 | 121 | 115 | 110 | 104 | 98  | 93  | 87  | 81  | 76  | 70  | 64  |    |
|                       | 1,5                       | 158                       | 155 | 150 | 145 | 140 | 134 | 129 | 123 | 118 | 112 | 106 | 101 | 95  | 89  | 84  | 78  | 72  | 66  | 61  |    |
|                       | 1,6                       | 150                       | 150 | 145 | 140 | 135 | 130 | 124 | 119 | 113 | 107 | 101 | 96  | 90  | 84  | 78  | 73  | 67  | 61  | 55  |    |
|                       | 1,7                       | 140                       | 144 | 139 | 134 | 129 | 124 | 118 | 112 | 107 | 101 | 95  | 89  | 83  | 77  | 71  | 65  | 60  | 54  | 48  |    |
|                       | 1,8                       | 122                       | 137 | 132 | 127 | 121 | 116 | 110 | 105 | 99  | 93  | 87  | 81  | 75  | 69  | 63  | 57  | 51  | 45  | 39  |    |
|                       | 1,9                       | 100                       | 121 | 123 | 117 | 112 | 107 | 101 | 96  | 90  | 84  | 78  | 72  | 66  | 60  | 54  | 48  | 42  | 36  | 30  |    |
|                       | 2,0                       | 81                        | 105 | 113 | 108 | 102 | 97  | 92  | 86  | 81  | 75  | 69  | 63  | 57  | 51  | 45  | 39  | 33  | 27  | 21  |    |
|                       |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       | 0,8                       |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 67  | 60  | 54  | 48  | 41  | 35 |
|                       | 0,9                       |                           |     |     |     |     |     |     | 106 | 100 | 94  | 88  | 82  | 75  | 69  | 63  | 57  | 51  | 45  | 39  |    |
|                       | 1,0                       |                           | 143 | 137 | 131 | 125 | 119 | 113 | 107 | 101 | 95  | 89  | 83  | 77  | 71  | 65  | 59  | 53  | 47  | 41  |    |
|                       | 1,1                       | 146                       | 141 | 135 | 130 | 124 | 118 | 112 | 106 | 100 | 94  | 88  | 82  | 77  | 71  | 65  | 59  | 53  | 47  | 42  |    |
|                       | 1,2                       | 142                       | 138 | 133 | 127 | 121 | 116 | 110 | 104 | 98  | 93  | 87  | 81  | 75  | 70  | 64  | 58  | 53  | 47  | 41  |    |
|                       | 1,3                       | 137                       | 135 | 129 | 124 | 118 | 113 | 107 | 101 | 96  | 90  | 85  | 79  | 73  | 68  | 62  | 57  | 51  | 45  | 40  |    |
|                       | 1,4                       | 131                       | 131 | 126 | 120 | 115 | 109 | 104 | 98  | 93  | 87  | 82  | 76  | 71  | 65  | 59  | 54  | 48  | 43  | 37  |    |
|                       | 1,5                       | 125                       | 126 | 121 | 116 | 111 | 106 | 100 | 95  | 89  | 83  | 78  | 72  | 67  | 61  | 55  | 50  | 44  | 38  | 32  |    |
|                       | 1,6                       | 118                       | 121 | 116 | 111 | 106 | 101 | 95  | 90  | 84  | 78  | 73  | 67  | 61  | 56  | 50  | 44  | 38  | 32  | 26  |    |
|                       | 1,7                       | 107                       | 115 | 110 | 105 | 100 | 95  | 89  | 84  | 78  | 72  | 66  | 60  | 54  | 48  | 43  | 37  | 31  | 25  | 19  |    |
|                       | 1,8                       | 89                        | 107 | 103 | 97  | 92  | 87  | 81  | 76  | 70  | 64  | 58  | 52  | 46  | 40  | 34  | 28  | 22  | 16  | 10  |    |
|                       | 1,9                       | 65                        | 88  | 93  | 88  | 83  | 77  | 72  | 66  | 61  | 55  | 49  | 43  | 37  | 31  | 25  | 19  | 13  | 7   | 1   |    |
|                       | 2,0                       | 47                        | 72  | 83  | 78  | 73  | 68  | 62  | 57  | 51  | 46  | 40  | 34  | 28  | 22  | 16  | 10  | 4   | -2  | -8  |    |

Ze względu na wyższe ceny energii elektrycznej kupowanej przez odbiorcę przemysłowego niż ceny sprzedaży energii w ramach HIOZE, uzyskane w tej konfiguracji zyski na pojedynczej jednostce energii elektrycznej są wyższe niż w przypadku HIOZE A. Wynoszą one od -8 PLN/MWh (strata) do 235 PLN/MWh. W HIOZE A przedział wynosi od -242 PLN/MWh do 114 PLN/MWh. W przypadku HIOZE B jedyne dwie wartości oznaczające stratę są widoczne przy maksymalnych mocach wszystkich źródeł. Poza nimi wszystkie pozostałe wartości są dodatnie, a instalacje hybrydowe przynoszą zyski.

Najwyższe wartości są możliwe do osiągnięcia przy sumarycznej mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW (115-235 PLN/MWh). Nieco niższe wartości osiągane są przy 3 MW (82-227 PLN/MWh). Im wyższa jest moc źródeł tym mniejsze są zyski. Twierdzenie jest prawdziwe zarówno dla źródeł niesterowalnych jak i dla magazynu oraz instalacji zgazowania. Przy wszystkich mocach  $P_{PV+TW}$  najkorzystniejsze wartości osiągane są przy niskich mocach ICE oraz BME. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wzrost mocy BME ma większy negatywny wpływ na jednostkowe zyski na sprzedaży energii, niż wzrost mocy ICE. Pomimo tego, że jednostkowy koszt inwestycyjny instalacji zgazowania jest wyższy niż w przypadku BME, tak przyrost mocy ICE wiąże się ze zdecydowanie większym wzrostem generacji energii niż przyrost mocy i pojemności magazynu. Efektem tego jest wzrost mianownika w równaniu LCOE i ostatecznie mniejsze koszty produkcji energii.

#### 6.4. Wyniki analiz środowiskowych

Ostatnimi wyznaczonymi parametrami są wskaźniki środowiskowe. W tabeli 53 przedstawiono jednostkowy wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> przy generacji energii elektrycznej w HIOZE.

Najmniej korzystne wartości wskaźnika są przy najmniejszych mocach źródeł niesterowalnych. Im wyższa jest ich moc tym mniejsze są wartości jednostkowego wskaźnika emisji:

- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW wynoszą one 0,979-1,172 t/MWh,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW wynoszą one 0,929-0,996 t/MWh,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW wynoszą one 0,694-0,868 t/MWh,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW wynoszą one 0,574-0,795 t/MWh,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW wynoszą one 0,487-0,731 t/MWh.

Tabela 53. Jednostkowy wskaźnik emisji w HIOZE B

| E <sub>fCO2</sub><br>[t/MWh] |     | P <sub>BME</sub> [MW]     |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-----|---------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |     | 0,2                       | 0,3                       | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2,0   |       |
|                              |     | P <sub>PV+WT</sub> = 2 MW |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| P <sub>CE</sub> [MW]         | 1,3 |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,979 | 0,979 | 0,979 | 0,979 |
|                              | 1,4 |                           |                           |       | 0,993 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 |       |
|                              | 1,5 |                           |                           | 1,043 | 1,007 | 1,007 | 1,008 | 1,008 | 1,008 | 1,008 | 1,008 | 1,008 | 1,009 | 1,009 | 1,009 | 1,009 | 1,009 | 1,009 | 1,009 | 1,009 |       |
|                              | 1,6 |                           | 1,113                     | 1,046 | 1,018 | 1,019 | 1,019 | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  | 1,02  |       |
|                              | 1,7 |                           | 1,141                     | 1,068 | 1,028 | 1,028 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,029 | 1,028 | 1,028 | 1,028 |       |
|                              | 1,8 |                           |                           | 1,129 | 1,077 | 1,037 | 1,035 | 1,036 | 1,036 | 1,036 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 |       |
|                              | 1,9 |                           |                           |       | 1,171 | 1,121 | 1,078 | 1,045 | 1,041 | 1,041 | 1,041 | 1,041 | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,039 |       |
|                              | 2,0 |                           |                           |       |       | 1,172 | 1,122 | 1,08  | 1,05  | 1,046 | 1,046 | 1,045 | 1,045 | 1,045 | 1,044 | 1,044 | 1,044 | 1,044 | 1,044 | 1,044 |       |
|                              |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 3 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              |     | 1,2                       |                           |       |       |       |       | 0,829 | 0,83  | 0,831 | 0,831 | 0,832 | 0,832 | 0,833 | 0,833 | 0,834 | 0,834 | 0,835 | 0,835 | 0,836 | 0,836 |
|                              |     | 1,3                       | 0,837                     | 0,842 | 0,845 | 0,847 | 0,848 | 0,849 | 0,85  | 0,85  | 0,851 | 0,851 | 0,852 | 0,852 | 0,853 | 0,853 | 0,854 | 0,854 | 0,854 | 0,855 | 0,855 |
|                              |     | 1,4                       | 0,856                     | 0,858 | 0,861 | 0,864 | 0,865 | 0,866 | 0,867 | 0,867 | 0,868 | 0,868 | 0,868 | 0,869 | 0,869 | 0,87  | 0,87  | 0,87  | 0,871 | 0,871 | 0,871 |
|                              |     | 1,5                       | 0,883                     | 0,872 | 0,875 | 0,878 | 0,88  | 0,881 | 0,881 | 0,882 | 0,882 | 0,882 | 0,882 | 0,883 | 0,883 | 0,883 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,884 |
|                              |     | 1,6                       | 0,91                      | 0,883 | 0,887 | 0,89  | 0,892 | 0,893 | 0,893 | 0,893 | 0,893 | 0,893 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 | 0,894 |
|                              |     | 1,7                       | 0,94                      | 0,892 | 0,896 | 0,899 | 0,901 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,901 | 0,901 | 0,901 | 0,901 | 0,901 | 0,901 | 0,9   | 0,9   | 0,9   |
|                              |     | 1,8                       | 0,982                     | 0,897 | 0,902 | 0,905 | 0,907 | 0,908 | 0,908 | 0,908 | 0,908 | 0,907 | 0,907 | 0,906 | 0,906 | 0,906 | 0,906 | 0,906 | 0,905 | 0,905 | 0,905 |
|                              |     | 1,9                       |                           | 0,952 | 0,905 | 0,908 | 0,911 | 0,912 | 0,913 | 0,913 | 0,913 | 0,912 | 0,912 | 0,911 | 0,911 | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,909 | 0,909 |
|                              |     | 2,0                       |                           | 0,996 | 0,908 | 0,911 | 0,914 | 0,916 | 0,917 | 0,917 | 0,917 | 0,916 | 0,916 | 0,915 | 0,915 | 0,914 | 0,914 | 0,914 | 0,913 | 0,913 | 0,913 |
|                              |     |                           | P <sub>PV+WT</sub> = 4 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              |     | 1,1                       |                           |       |       |       |       |       | 0,694 | 0,696 | 0,697 | 0,698 | 0,699 | 0,7   | 0,701 | 0,702 | 0,703 | 0,704 | 0,704 | 0,705 | 0,706 |
|                              | 1,2 | 0,7                       | 0,705                     | 0,709 | 0,712 | 0,714 | 0,715 | 0,717 | 0,718 | 0,719 | 0,721 | 0,722 | 0,723 | 0,724 | 0,724 | 0,725 | 0,726 | 0,727 | 0,727 | 0,728 |       |
|                              | 1,3 | 0,72                      | 0,725                     | 0,729 | 0,732 | 0,734 | 0,736 | 0,737 | 0,738 | 0,739 | 0,74  | 0,741 | 0,742 | 0,743 | 0,744 | 0,744 | 0,745 | 0,746 | 0,746 | 0,747 |       |
|                              | 1,4 | 0,736                     | 0,742                     | 0,746 | 0,749 | 0,752 | 0,753 | 0,754 | 0,755 | 0,756 | 0,756 | 0,757 | 0,758 | 0,759 | 0,76  | 0,761 | 0,761 | 0,762 | 0,762 | 0,763 |       |
|                              | 1,5 | 0,75                      | 0,756                     | 0,76  | 0,764 | 0,766 | 0,768 | 0,769 | 0,769 | 0,77  | 0,77  | 0,771 | 0,772 | 0,772 | 0,773 | 0,773 | 0,773 | 0,774 | 0,774 | 0,774 |       |
|                              | 1,6 | 0,77                      | 0,768                     | 0,773 | 0,776 | 0,778 | 0,78  | 0,781 | 0,781 | 0,781 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,782 | 0,783 | 0,783 |       |
|                              | 1,7 | 0,794                     | 0,777                     | 0,782 | 0,785 | 0,787 | 0,789 | 0,789 | 0,789 | 0,789 | 0,789 | 0,789 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,788 |       |
|                              | 1,8 | 0,826                     | 0,783                     | 0,787 | 0,79  | 0,792 | 0,794 | 0,794 | 0,795 | 0,794 | 0,794 | 0,793 | 0,793 | 0,793 | 0,793 | 0,792 | 0,792 | 0,792 | 0,792 | 0,792 |       |
|                              | 1,9 | 0,868                     | 0,797                     | 0,79  | 0,793 | 0,795 | 0,797 | 0,798 | 0,799 | 0,799 | 0,798 | 0,798 | 0,797 | 0,797 | 0,797 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 |       |
|                              | 2,0 |                           | 0,821                     | 0,791 | 0,795 | 0,798 | 0,8   | 0,802 | 0,802 | 0,802 | 0,802 | 0,801 | 0,801 | 0,8   | 0,8   | 0,8   | 0,799 | 0,799 | 0,799 | 0,799 |       |
|                              |     | P <sub>PV+WT</sub> = 5 MW |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              | 0,9 |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,574 | 0,575 | 0,576 | 0,576 |
|                              | 1,0 |                           |                           |       |       |       |       |       | 0,593 | 0,595 | 0,596 | 0,598 | 0,599 | 0,6   | 0,601 | 0,602 | 0,603 | 0,604 | 0,605 | 0,605 |       |
|                              | 1,1 | 0,599                     | 0,604                     | 0,608 | 0,611 | 0,613 | 0,615 | 0,617 | 0,619 | 0,62  | 0,622 | 0,623 | 0,624 | 0,625 | 0,626 | 0,627 | 0,628 | 0,629 | 0,63  | 0,631 |       |
|                              | 1,2 | 0,621                     | 0,627                     | 0,63  | 0,634 | 0,636 | 0,638 | 0,639 | 0,641 | 0,642 | 0,644 | 0,645 | 0,646 | 0,647 | 0,648 | 0,649 | 0,65  | 0,651 | 0,652 | 0,652 |       |
|                              | 1,3 | 0,641                     | 0,646                     | 0,65  | 0,653 | 0,656 | 0,658 | 0,659 | 0,66  | 0,662 | 0,663 | 0,664 | 0,665 | 0,666 | 0,667 | 0,668 | 0,669 | 0,67  | 0,67  | 0,671 |       |
|                              | 1,4 | 0,657                     | 0,663                     | 0,667 | 0,671 | 0,673 | 0,675 | 0,676 | 0,677 | 0,678 | 0,679 | 0,68  | 0,681 | 0,682 | 0,683 | 0,684 | 0,684 | 0,685 | 0,685 | 0,686 |       |
|                              | 1,5 | 0,676                     | 0,678                     | 0,682 | 0,685 | 0,688 | 0,69  | 0,691 | 0,691 | 0,692 | 0,693 | 0,694 | 0,694 | 0,695 | 0,696 | 0,696 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,698 |       |
|                              | 1,6 | 0,694                     | 0,689                     | 0,694 | 0,697 | 0,7   | 0,701 | 0,702 | 0,703 | 0,703 | 0,704 | 0,704 | 0,704 | 0,704 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 |       |
|                              | 1,7 | 0,715                     | 0,698                     | 0,703 | 0,706 | 0,708 | 0,71  | 0,711 | 0,711 | 0,711 | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  | 0,71  |       |
|                              | 1,8 | 0,746                     | 0,703                     | 0,708 | 0,711 | 0,713 | 0,715 | 0,715 | 0,715 | 0,715 | 0,715 | 0,714 | 0,714 | 0,714 | 0,714 | 0,714 | 0,713 | 0,713 | 0,713 | 0,713 |       |
|                              | 1,9 | 0,779                     | 0,72                      | 0,71  | 0,713 | 0,715 | 0,717 | 0,719 | 0,719 | 0,719 | 0,719 | 0,718 | 0,718 | 0,717 | 0,717 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,716 | 0,716 |       |
|                              | 2,0 | 0,795                     | 0,735                     | 0,711 | 0,715 | 0,717 | 0,72  | 0,721 | 0,722 | 0,722 | 0,722 | 0,721 | 0,721 | 0,72  | 0,72  | 0,72  | 0,719 | 0,719 | 0,719 | 0,719 |       |
|                              |     | P <sub>PV+WT</sub> = 6 MW |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              | 0,8 |                           |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,487 | 0,488 | 0,488 | 0,489 | 0,49  | 0,491 |       |
|                              | 0,9 |                           |                           |       |       |       |       |       |       | 0,511 | 0,512 | 0,514 | 0,515 | 0,516 | 0,518 | 0,519 | 0,52  | 0,52  | 0,521 | 0,522 | 0,522 |
|                              | 1,0 | 0,524                     | 0,527                     | 0,53  | 0,533 | 0,535 | 0,537 | 0,539 | 0,54  | 0,542 | 0,543 | 0,545 | 0,546 | 0,547 | 0,548 | 0,549 | 0,549 | 0,55  | 0,551 | 0,551 |       |
|                              | 1,1 | 0,545                     | 0,548                     | 0,552 | 0,555 | 0,558 | 0,56  | 0,562 | 0,564 | 0,565 | 0,567 | 0,568 | 0,569 | 0,57  | 0,572 | 0,572 | 0,573 | 0,574 | 0,575 | 0,575 |       |
|                              | 1,2 | 0,567                     | 0,57                      | 0,574 | 0,577 | 0,58  | 0,582 | 0,584 | 0,586 | 0,587 | 0,588 | 0,59  | 0,591 | 0,592 | 0,593 | 0,594 | 0,595 | 0,595 | 0,596 | 0,597 |       |
|                              | 1,3 | 0,589                     | 0,589                     | 0,593 | 0,597 | 0,599 | 0,601 | 0,603 | 0,604 | 0,606 | 0,607 | 0,608 | 0,61  | 0,611 | 0,611 | 0,612 | 0,613 | 0,614 | 0,614 | 0,615 |       |
|                              | 1,4 | 0,61                      | 0,606                     | 0,61  | 0,614 | 0,616 | 0,618 | 0,62  | 0,621 | 0,622 | 0,623 | 0,624 | 0,626 | 0,626 | 0,627 | 0,628 | 0,629 | 0,629 | 0,63  | 0,63  |       |
|                              | 1,5 | 0,628                     | 0,62                      | 0,625 | 0,628 | 0,631 | 0,633 | 0,634 | 0,635 | 0,636 | 0,637 | 0,638 | 0,638 | 0,639 | 0,64  | 0,64  | 0,641 | 0,641 | 0,641 | 0,642 |       |
|                              | 1,6 | 0,643                     | 0,632                     | 0,637 | 0,64  | 0,642 | 0,644 | 0,645 | 0,646 | 0,646 | 0,647 | 0,647 | 0,648 | 0,648 | 0,648 | 0,648 | 0,648 | 0,649 | 0,649 | 0,649 |       |
|                              | 1,7 | 0,662                     | 0,641                     | 0,645 | 0,648 | 0,651 | 0,653 | 0,654 | 0,654 | 0,654 | 0,654 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 |       |
|                              | 1,8 | 0,691                     | 0,646                     | 0,65  | 0,653 | 0,655 | 0,657 | 0,658 | 0,658 | 0,658 | 0,657 | 0,657 | 0,657 | 0,657 | 0,656 | 0,656 | 0,656 | 0,656 | 0,656 | 0,656 |       |
|                              | 1,9 | 0,719                     | 0,669                     | 0,652 | 0,655 | 0,657 | 0,659 | 0,661 | 0,661 | 0,661 | 0,661 | 0,66  | 0,66  | 0,659 | 0,659 | 0,659 | 0,659 | 0,659 | 0,658 | 0,658 |       |
|                              | 2,0 | 0,731                     | 0,681                     | 0,652 | 0,656 | 0,659 | 0,661 | 0,663 | 0,664 | 0,664 | 0,664 | 0,663 | 0,663 | 0,662 | 0,662 | 0,662 | 0,662 | 0,661 | 0,661 | 0,661 |       |

Najmniejsze wartości przy każdej z mocy  $P_{PV+TW}$  osiągane są przy najmniejszych możliwych mocach ICE. Im wyższa jest moc agregatu silnikowego tym za większą część wygenerowanej energii elektrycznej on odpowiada. Jako, że jest jedynym źródłem w HIOZE obciążonym emisją  $CO_2$  przy generacji, większa produkcja w nim równa się większej emisji. Co istotne również większa moc magazynu energii może wiązać się z wyższą wartością tego wskaźnika. Pozwala ona na wykorzystanie zmagazynowanie części generacji z OZE oraz właśnie z silnika.

Należy zaznaczyć, że jedynie 58% emisji przedstawionej w tabeli 53, jest emisją z nieodnawialnej części odpadów. W efekcie emisja z nieodnawialnego paliwa wynosi 0,282-0,680 t/MWh. Podsumowując, nawet w najgorszym z wariantów jest porównywalna z obecną emisyjnością polskiego sektora wytwarzania energii elektrycznej, a w najlepszym wypadku jest od niej około 2,5 krotnie mniejsza.

W tabeli 54 przedstawiono wartości rocznej masy utylizowanych odpadów. Wartości te są skorelowane z jednostkowym wskaźnikiem emisji ze względu na fakt, że zgazowanie frakcji energetycznej odpadów jest jedynym źródłem obciążonym emisją  $CO_2$ . Analogicznie jak w przypadku wskaźnika emisji najwyższe wartości są przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW i zmniejszają się wraz ze wzrostem tego parametru. Najbliżej docelowej wartości utylizowanej frakcji pre-RDF są rozwiązania z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 5 MW i 6 MW. Przy mniejszych wartościach tej mocy wykorzystywane jest zbyt dużo odpadów względem lokalnej dostępności. Im wyższe są wartości mocy ICE tym wyższa jest wartość masy utylizowanych odpadów. Jednostajnej zależności nie ma natomiast przy zmianie mocy BME. W zależności od wartości mocy  $P_{PV+TW}$  roczna masa utylizowanych odpadów wynosi:

- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 2 MW od 9,95 do 12,51 tysięcy ton,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW od 8,42 do 10,96 tysięcy ton,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW od 7,03 do 9,59 tysięcy ton,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW od 5,68 do 8,63 tysięcy ton,
- Przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW od 4,74 do 7,94 tysięcy ton.

Tabela 54. Roczna masa utylizowanych odpadów w HIOZE B

| Bok<br>[tys, t]       |     | PBME [MW]     |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       |     | 0,2           | 0,3           | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2,0   |
| P <sub>ICE</sub> [MW] |     | PPV+WT = 2 MW |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 1,3 |               |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 9,95  | 9,96  | 9,97  | 9,97  |
|                       | 1,4 |               |               |       | 10,45 | 10,47 | 10,5  | 10,51 | 10,53 | 10,54 | 10,55 | 10,56 | 10,58 | 10,59 | 10,6  | 10,6  | 10,61 | 10,62 | 10,63 | 10,64 |
|                       | 1,5 |               |               | 11    | 11,04 | 11,07 | 11,09 | 11,11 | 11,13 | 11,14 | 11,16 | 11,17 | 11,18 | 11,2  | 11,21 | 11,22 | 11,23 | 11,23 | 11,24 | 11,25 |
|                       | 1,6 |               | 11,46         | 11,51 | 11,55 | 11,59 | 11,62 | 11,64 | 11,66 | 11,68 | 11,69 | 11,7  | 11,71 | 11,72 | 11,73 | 11,74 | 11,75 | 11,76 | 11,77 | 11,78 |
|                       | 1,7 |               | 11,87         | 11,93 | 11,97 | 12,01 | 12,04 | 12,06 | 12,08 | 12,09 | 12,1  | 12,1  | 12,1  | 12,11 | 12,11 | 12,12 | 12,12 | 12,12 | 12,13 | 12,13 |
|                       | 1,8 |               |               | 12,18 | 12,22 | 12,25 | 12,28 | 12,3  | 12,32 | 12,32 | 12,32 | 12,32 | 12,33 | 12,33 | 12,33 | 12,33 | 12,33 | 12,33 | 12,34 | 12,34 |
|                       | 1,9 |               |               |       | 12,31 | 12,35 | 12,38 | 12,41 | 12,43 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,44 | 12,43 | 12,43 | 12,43 |
|                       | 2,0 |               |               |       |       | 12,38 | 12,42 | 12,46 | 12,49 | 12,5  | 12,51 | 12,5  | 12,5  | 12,5  | 12,49 | 12,49 | 12,49 | 12,49 | 12,49 | 12,48 |
|                       |     |               | PPV+WT = 3 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 1,2 |               |               |       |       |       | 8,42  | 8,45  | 8,47  | 8,49  | 8,52  | 8,54  | 8,56  | 8,57  | 8,59  | 8,61  | 8,63  | 8,64  | 8,66  | 8,67  |
|                       | 1,3 |               | 8,64          | 8,76  | 8,83  | 8,89  | 8,94  | 8,98  | 9     | 9,03  | 9,05  | 9,08  | 9,1   | 9,12  | 9,14  | 9,16  | 9,18  | 9,19  | 9,21  | 9,23  |
|                       | 1,4 |               | 9,09          | 9,22  | 9,32  | 9,39  | 9,45  | 9,49  | 9,52  | 9,54  | 9,57  | 9,59  | 9,61  | 9,63  | 9,65  | 9,67  | 9,69  | 9,71  | 9,72  | 9,74  |
|                       | 1,5 |               | 9,49          | 9,65  | 9,76  | 9,84  | 9,9   | 9,95  | 9,98  | 10    | 10,03 | 10,05 | 10,07 | 10,09 | 10,11 | 10,13 | 10,14 | 10,16 | 10,17 | 10,18 |
|                       | 1,6 |               | 9,84          | 10,02 | 10,13 | 10,22 | 10,29 | 10,34 | 10,37 | 10,39 | 10,41 | 10,42 | 10,44 | 10,45 | 10,46 | 10,47 | 10,48 | 10,48 | 10,49 | 10,5  |
|                       | 1,7 |               | 10,11         | 10,3  | 10,44 | 10,52 | 10,58 | 10,63 | 10,66 | 10,67 | 10,68 | 10,68 | 10,68 | 10,68 | 10,69 | 10,69 | 10,69 | 10,69 | 10,69 | 10,7  |
|                       | 1,8 |               | 10,26         | 10,46 | 10,6  | 10,68 | 10,74 | 10,78 | 10,81 | 10,82 | 10,83 | 10,82 | 10,82 | 10,82 | 10,82 | 10,82 | 10,81 | 10,81 | 10,81 | 10,81 |
|                       | 1,9 |               |               | 10,49 | 10,64 | 10,73 | 10,81 | 10,85 | 10,89 | 10,9  | 10,91 | 10,91 | 10,9  | 10,9  | 10,89 | 10,89 | 10,88 | 10,88 | 10,88 | 10,88 |
|                       | 2,0 |               |               | 10,45 | 10,64 | 10,75 | 10,83 | 10,89 | 10,92 | 10,95 | 10,96 | 10,96 | 10,95 | 10,95 | 10,94 | 10,94 | 10,93 | 10,93 | 10,93 | 10,92 |
|                       |     |               | PPV+WT = 4 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 1,1 |               |               |       |       |       |       | 7,03  | 7,06  | 7,1   | 7,13  | 7,15  | 7,18  | 7,21  | 7,23  | 7,26  | 7,28  | 7,3   | 7,32  | 7,34  |
|                       | 1,2 |               | 7,18          | 7,28  | 7,35  | 7,41  | 7,46  | 7,5   | 7,53  | 7,56  | 7,6   | 7,63  | 7,66  | 7,69  | 7,72  | 7,74  | 7,76  | 7,79  | 7,81  | 7,83  |
|                       | 1,3 |               | 7,61          | 7,73  | 7,81  | 7,87  | 7,92  | 7,97  | 8     | 8,03  | 8,06  | 8,09  | 8,12  | 8,15  | 8,18  | 8,2   | 8,23  | 8,25  | 8,27  | 8,3   |
|                       | 1,4 |               | 8,01          | 8,14  | 8,22  | 8,29  | 8,35  | 8,39  | 8,43  | 8,46  | 8,49  | 8,51  | 8,54  | 8,57  | 8,59  | 8,62  | 8,64  | 8,67  | 8,69  | 8,71  |
|                       | 1,5 |               | 8,36          | 8,5   | 8,59  | 8,66  | 8,73  | 8,77  | 8,81  | 8,83  | 8,86  | 8,88  | 8,91  | 8,93  | 8,95  | 8,97  | 8,98  | 9     | 9,01  | 9,03  |
|                       | 1,6 |               | 8,65          | 8,82  | 8,92  | 8,98  | 9,05  | 9,1   | 9,13  | 9,15  | 9,17  | 9,18  | 9,19  | 9,2   | 9,22  | 9,22  | 9,23  | 9,24  | 9,24  | 9,25  |
|                       | 1,7 |               | 8,89          | 9,06  | 9,16  | 9,22  | 9,28  | 9,33  | 9,35  | 9,37  | 9,37  | 9,37  | 9,37  | 9,38  | 9,38  | 9,38  | 9,38  | 9,38  | 9,38  | 9,38  |
|                       | 1,8 |               | 9,02          | 9,19  | 9,29  | 9,35  | 9,4   | 9,44  | 9,47  | 9,48  | 9,48  | 9,48  | 9,48  | 9,47  | 9,47  | 9,47  | 9,47  | 9,47  | 9,47  | 9,47  |
|                       | 1,9 |               | 9,03          | 9,21  | 9,33  | 9,39  | 9,44  | 9,49  | 9,52  | 9,54  | 9,55  | 9,54  | 9,54  | 9,53  | 9,53  | 9,53  | 9,52  | 9,52  | 9,52  | 9,51  |
|                       | 2,0 |               |               | 9,19  | 9,33  | 9,41  | 9,46  | 9,52  | 9,55  | 9,58  | 9,59  | 9,59  | 9,58  | 9,58  | 9,57  | 9,57  | 9,56  | 9,56  | 9,56  | 9,55  |
|                       |     |               | PPV+WT = 5 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 0,9 |               |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 5,68  | 5,7   | 5,72  |
|                       | 1,0 |               |               |       |       |       |       |       | 5,96  | 6     | 6,03  | 6,06  | 6,09  | 6,12  | 6,15  | 6,17  | 6,2   | 6,22  | 6,24  | 6,26  |
|                       | 1,1 |               | 6,07          | 6,15  | 6,22  | 6,28  | 6,32  | 6,36  | 6,4   | 6,44  | 6,47  | 6,51  | 6,54  | 6,57  | 6,59  | 6,62  | 6,65  | 6,67  | 6,7   | 6,72  |
|                       | 1,2 |               | 6,49          | 6,59  | 6,66  | 6,72  | 6,77  | 6,81  | 6,84  | 6,88  | 6,92  | 6,95  | 6,98  | 7,01  | 7,04  | 7,07  | 7,09  | 7,12  | 7,14  | 7,16  |
|                       | 1,3 |               | 6,88          | 6,98  | 7,06  | 7,13  | 7,18  | 7,22  | 7,26  | 7,29  | 7,32  | 7,36  | 7,39  | 7,41  | 7,44  | 7,47  | 7,49  | 7,52  | 7,54  | 7,57  |
|                       | 1,4 |               | 7,23          | 7,35  | 7,43  | 7,5   | 7,56  | 7,6   | 7,63  | 7,66  | 7,69  | 7,72  | 7,75  | 7,78  | 7,8   | 7,83  | 7,85  | 7,87  | 7,89  | 7,91  |
|                       | 1,5 |               | 7,55          | 7,68  | 7,77  | 7,84  | 7,89  | 7,94  | 7,97  | 8     | 8,02  | 8,04  | 8,07  | 8,09  | 8,11  | 8,13  | 8,14  | 8,16  | 8,17  | 8,18  |
|                       | 1,6 |               | 7,81          | 7,96  | 8,05  | 8,11  | 8,17  | 8,22  | 8,25  | 8,27  | 8,28  | 8,3   | 8,31  | 8,32  | 8,33  | 8,34  | 8,34  | 8,35  | 8,36  | 8,36  |
|                       | 1,7 |               | 8,02          | 8,17  | 8,26  | 8,32  | 8,38  | 8,42  | 8,44  | 8,45  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,46  | 8,47  |
|                       | 1,8 |               | 8,14          | 8,28  | 8,38  | 8,43  | 8,47  | 8,51  | 8,53  | 8,54  | 8,54  | 8,54  | 8,54  | 8,54  | 8,53  | 8,53  | 8,53  | 8,53  | 8,53  | 8,53  |
|                       | 1,9 |               | 8,14          | 8,29  | 8,4   | 8,46  | 8,5   | 8,55  | 8,58  | 8,59  | 8,6   | 8,59  | 8,59  | 8,58  | 8,58  | 8,58  | 8,57  | 8,57  | 8,57  | 8,56  |
|                       | 2,0 |               | 8,11          | 8,28  | 8,4   | 8,46  | 8,52  | 8,56  | 8,6   | 8,62  | 8,63  | 8,63  | 8,63  | 8,62  | 8,62  | 8,61  | 8,61  | 8,61  | 8,6   | 8,6   |
|                       |     |               | PPV+WT = 6 MW |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 0,8 |               |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4,74  | 4,76  | 4,78  | 4,8   | 4,82  |
|                       | 0,9 |               |               |       |       |       |       |       | 5,06  | 5,09  | 5,12  | 5,15  | 5,18  | 5,21  | 5,23  | 5,26  | 5,28  | 5,3   | 5,32  | 5,34  |
|                       | 1,0 |               |               | 5,26  | 5,31  | 5,37  | 5,41  | 5,45  | 5,49  | 5,52  | 5,56  | 5,59  | 5,62  | 5,65  | 5,68  | 5,7   | 5,73  | 5,75  | 5,77  | 5,82  |
|                       | 1,1 |               | 5,59          | 5,68  | 5,74  | 5,79  | 5,84  | 5,88  | 5,92  | 5,96  | 5,99  | 6,02  | 6,06  | 6,09  | 6,11  | 6,14  | 6,17  | 6,19  | 6,21  | 6,23  |
|                       | 1,2 |               | 5,98          | 6,07  | 6,14  | 6,2   | 6,25  | 6,29  | 6,33  | 6,36  | 6,4   | 6,43  | 6,46  | 6,49  | 6,52  | 6,54  | 6,57  | 6,59  | 6,61  | 6,64  |
|                       | 1,3 |               | 6,33          | 6,43  | 6,51  | 6,57  | 6,63  | 6,67  | 6,7   | 6,74  | 6,77  | 6,8   | 6,83  | 6,86  | 6,89  | 6,91  | 6,94  | 6,96  | 6,98  | 7     |
|                       | 1,4 |               | 6,66          | 6,77  | 6,85  | 6,92  | 6,97  | 7,01  | 7,05  | 7,08  | 7,11  | 7,14  | 7,16  | 7,19  | 7,22  | 7,24  | 7,26  | 7,28  | 7,29  | 7,31  |
|                       | 1,5 |               | 6,95          | 7,07  | 7,15  | 7,22  | 7,27  | 7,32  | 7,35  | 7,38  | 7,4   | 7,42  | 7,45  | 7,47  | 7,48  | 7,5   | 7,52  | 7,53  | 7,54  | 7,55  |
|                       | 1,6 |               | 7,2           | 7,32  | 7,41  | 7,47  | 7,53  | 7,57  | 7,6   | 7,62  | 7,63  | 7,65  | 7,66  | 7,67  | 7,68  | 7,69  | 7,69  | 7,7   | 7,7   | 7,71  |
|                       | 1,7 |               | 7,38          | 7,51  | 7,6   | 7,66  | 7,71  | 7,75  | 7,77  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,79  | 7,8   |
|                       | 1,8 |               | 7,49          | 7,61  | 7,7   | 7,75  | 7,79  | 7,83  | 7,85  | 7,86  | 7,86  | 7,86  | 7,86  | 7,85  | 7,85  | 7,85  | 7,85  | 7,85  | 7,85  | 7,84  |
|                       | 1,9 |               | 7,49          | 7,62  | 7,71  | 7,77  | 7,82  | 7,86  | 7,89  | 7,9   | 7,91  | 7,9   | 7,9   | 7,89  | 7,89  | 7,89  | 7,88  | 7,88  | 7,88  | 7,87  |
|                       | 2,0 |               | 7,46          | 7,61  | 7,71  | 7,77  | 7,82  | 7,87  | 7,91  | 7,93  | 7,94  | 7,94  | 7,93  | 7,93  | 7,92  | 7,92  | 7,92  | 7,91  | 7,91  | 7,91  |

## 6.5. Wyniki analiz wielokryterialnych

Analogicznie do rozdziału szóstego, zaprezentowano wyniki analiz wielokryterialnych w postaci rankingów obejmujących 10 najkorzystniejszych rozwiązań w świetle każdego z zestawów wag kryteriów. W rankingu sporządzonym dla zrównoważonego wariantu wag (1:1:1:1:1:1) 9 z 10 rozwiązań charakteryzuje się mocą źródeł PV i wiatrowych równą 4 MW. Jedynie na 8 miejscu znajduje się rozwiązanie w którym moc źródeł niesterowalnych jest mniejsza i wynosi 3 MW. We wszystkich rozwiązaniach uwzględnionych w rankingu tego zestawu wag, współczynniki  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  mają wyższe (od 3 do 7,5 krotnie) wartości niż współczynniki  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Zakresy wartości tych współczynników w rankingu wynoszą odpowiednio 0,3-0,433 i 0,05-0,1. Najkorzystniejsza HIOZE charakteryzuje się mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW oraz współczynnikami  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  oraz  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równymi odpowiednio 0,3 i 0,05.

W tabeli 55 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach wag 1-7 (wagi zrównoważone oraz przypisywanie każdemu kolejnemu kryterium wartości wagi równej 0).

Tabela 55. Rankingi dla wariantów wag 1-7

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |        |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5      | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4      | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325  | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075  | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722  | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 0:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 5     | 3     | 4      | 4     | 5     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,300 | 0,220 | 0,433 | 0,300  | 0,325 | 0,220 | 0,300 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,075 | 0,040 | 0,067 | 0,1000 | 0,050 | 0,060 | 0,125 | 0,100 | 0,075 |
|              | T                   | 0,822              | 0,806 | 0,803 | 0,792 | 0,791  | 0,790 | 0,789 | 0,777 | 0,776 | 0,774 |
| 1:0:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 5     | 5     | 6     | 6      | 4     | 5     | 5     | 6     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,220              | 0,240 | 0,220 | 0,183 | 0,167  | 0,300 | 0,260 | 0,240 | 0,183 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,040              | 0,040 | 0,060 | 0,033 | 0,050  | 0,050 | 0,040 | 0,060 | 0,050 | 0,050 |
|              | T                   | 0,737              | 0,73  | 0,727 | 0,726 | 0,725  | 0,723 | 0,722 | 0,72  | 0,719 | 0,717 |
| 1:1:0:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4      | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,375              | 0,400 | 0,425 | 0,375 | 0,350  | 0,400 | 0,350 | 0,425 | 0,325 | 0,375 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,050  | 0,100 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,100 |
|              | T                   | 0,689              | 0,689 | 0,688 | 0,687 | 0,687  | 0,684 | 0,684 | 0,684 | 0,683 | 0,682 |
| 1:1:1:0:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 5     | 4     | 4      | 5     | 4     | 5     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,220 | 0,300 | 0,350  | 0,240 | 0,325 | 0,220 | 0,375 | 0,350 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,040 | 0,075 | 0,050  | 0,040 | 0,075 | 0,060 | 0,050 | 0,075 |
|              | T                   | 0,704              | 0,701 | 0,701 | 0,699 | 0,698  | 0,696 | 0,696 | 0,696 | 0,694 | 0,693 |
| 1:1:1:1:0:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3      | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,467 | 0,467 | 0,433 | 0,500  | 0,533 | 0,467 | 0,500 | 0,433 | 0,567 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,067 | 0,100 | 0,100 | 0,100  | 0,100 | 0,133 | 0,133 | 0,133 | 0,100 |
|              | T                   | 0,767              | 0,762 | 0,759 | 0,758 | 0,758  | 0,754 | 0,75  | 0,749 | 0,748 | 0,747 |
| 1:1:1:1:1:0  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 2      | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,533              | 0,500 | 0,567 | 0,533 | 0,850  | 0,567 | 0,467 | 0,467 | 0,500 | 0,433 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,100              | 0,100 | 0,100 | 0,133 | 0,250  | 0,133 | 0,100 | 0,067 | 0,133 | 0,067 |
|              | T                   | 0,758              | 0,756 | 0,756 | 0,752 | 0,751  | 0,751 | 0,750 | 0,750 | 0,749 | 0,749 |

Wyłączenie z analizy kryterium pierwszego poprzez przypisanie mu wagi równej 0 nie skutkuje zmianą najkorzystniejszego rozwiązania. Zmieniają się natomiast układy na kolejnych miejscach w rankingu względem wariantu równych wag. Widoczne w tabeli zmiany miejsc w rankingu: 3→2, 9→4, 6→5, 2→6, 5→10. Pozostałe układy nie są obecne w rankingu wariantu zrównoważonego. Widoczne jest pojawienie się rozwiązań charakteryzujących się wyższą mocą źródeł niesterowalnych (5 MW) i jednocześnie znacznie mniejszymi wartościami współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ .

Przypisanie kryterium drugiemu (wartości ograniczanej generacji) wagi równej 0 skutkuje wzrostem mocy źródeł niesterowalnych w układach znajdujących się w rankingu. Większość spośród rozwiązań stanowią te o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW (5 rozwiązań) i 6 MW (3 rozwiązania). W tych rozwiązaniach możliwe do osiągnięcia jest podobna generacja energii elektrycznej (jak w układach o mniejszej wartości tej mocy) ale jest ona obciążona mniejszą emisją. Wiąże się to jednak z częstszymi ograniczeniami pracy źródeł wynikającymi z przekroczenia mocy przyłączeniowej. Jednakże, w tym wariancie wag nie jest ona brana pod uwagę co poprawia pozycję tych rozwiązań.

Przy wyłączeniu z analiz kryterium kosztów inwestycyjnych – wszystkie rozwiązania w rankingu charakteryzują się mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW. W odniesieniu do wariantu równych wag zmienia się (rośnie) wartość współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Nie zmienia się natomiast wartość współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Wartości tych współczynników w całym rankingu zawierają się w zakresach odpowiednio 0,35-0,425 i 0,05-0,1. Wyższe wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  wynikają z faktu, że nie są brane pod uwagę znacznie wyższe jednostkowe koszty inwestycyjne tego układu, a jest widoczne ich pozytywne oddziaływanie większej mocy ICE na wskaźniki energetyczne.

W przypadku, gdy waga kryterium czwartego wynosi 0, wszystkie rozwiązania znajdujące się w rankingu charakteryzują się mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW lub 5 MW. Nie zmieniają się (względem równych wag) układy znajdujące się na dwóch pierwszych miejscach w rankingu. Wzrost mocy źródeł na dalszych miejscach w rankingu wynika z faktu, że o ile pogarsza się w nich opłacalność inwestycji (która nie jest brana pod uwagę) tak poprawiają się wskaźniki środowiskowe.

W rankingu utworzonym dla wariantu nie uwzględniającego kryterium jednostkowego wskaźnika emisji, wszystkie z rozwiązań charakteryzują się mocą źródeł niesterowalnych równą 3 MW oraz wysokimi wartościami (0,433-0,567) współczynnika

$P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  są 3,25-7 krotnie mniejsze. Trendy są jeszcze bardziej widoczne przy wyłączeniu z analizy kryterium szóstego. W rankingu utworzonym w tym wariancie poza układami z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 3 MW jest obecne rozwiązanie o mocy 2 MW. Wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  wynoszą 0,467-0,8, a  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  0,067-0,25. W obu tych wariantach wag brak jest negatywnego wpływu większego zużycia odpadów skutkującego wyższą emisją lub koniecznością dodatkowego sprowadzania pre-RDF spoza analizowanego obszaru.

W tabeli 56 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach wag 1 oraz 8-11 (wagi równe oraz przewymiarowanie wartości wagi kryterium pierwszego względem pozostałych kryteriów).

*Tabela 56. Rankingi przy zmianie wartości wagi kryterium pierwszego*

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 2:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,425              | 0,400 | 0,425 | 0,400 | 0,450 | 0,375 | 0,375 | 0,450 | 0,425 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,075              | 0,075 | 0,100 | 0,100 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,125 | 0,125 |
|              | T                   | 0,714              | 0,712 | 0,711 | 0,709 | 0,708 | 0,706 | 0,706 | 0,705 | 0,705 | 0,703 |
| 3:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,425              | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,400 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,100              | 0,100 | 0,075 | 0,075 | 0,125 | 0,125 | 0,150 | 0,150 | 0,175 | 0,075 |
|              | T                   | 0,731              | 0,731 | 0,731 | 0,730 | 0,728 | 0,726 | 0,725 | 0,722 | 0,721 | 0,720 |
| 4:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,450              | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,425 | 0,450 | 0,425 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,100              | 0,125 | 0,100 | 0,075 | 0,125 | 0,150 | 0,150 | 0,075 | 0,175 | 0,175 |
|              | T                   | 0,752              | 0,749 | 0,748 | 0,747 | 0,746 | 0,746 | 0,745 | 0,744 | 0,743 | 0,743 |
| 5:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,450              | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,425 | 0,450 | 0,425 | 0,425 | 0,425 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,100              | 0,125 | 0,150 | 0,175 | 0,200 | 0,150 | 0,075 | 0,175 | 0,125 | 0,100 |
|              | T                   | 0,768              | 0,767 | 0,766 | 0,765 | 0,762 | 0,762 | 0,762 | 0,761 | 0,761 | 0,761 |

Zwiększanie wartości wagi kryterium pierwszego powoduje wzrost wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w rozwiązaniu znajdującym się na pierwszym miejscu w rankingu. Przy wadze  $K_1$  wynoszącej dwukrotność wagi pozostałych kryteriów, współczynniki te wynoszą odpowiednio 0,425 i 0,075 (wzrost o 0,125 i 0,025 względem wariantu równych wag). Przy wyższych krotnościach wartości wagi współczynnik  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  wzrasta do 0,45, a współczynnik  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  do 0,1. Niezależnie od wartości wagi kryterium pierwszego, wszystkie rozwiązania uwzględnione w tabeli 56 charakteryzują się mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW. Im wyższe są wartości tej wagi tym częstsze w rankingu są wyższe wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Przy wagach 5:1:1:1:1:1



pierwszy z tych współczynników ma wartości w zakresie 0,425-0,45, a drugi 0,075-0,2. Wynika to z faktu, że wzrost mocy zarówno ICE jak i BME zwiększa generację energii elektrycznej, czyli wartość kryterium pierwszego, którego znaczenie rośnie wraz ze wzrostem wagi.

W tabeli 57 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 12-15 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wagi kryterium drugiego względem pozostałych kryteriów).

Tabela 57. Rankingi dla zmiany wartości wagi kryterium drugiego

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:2:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 3     | 4     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,433 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,467 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,067 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,067 | 0,100 | 0,100 |
|              | T                   | 0,746              | 0,741 | 0,740 | 0,738 | 0,736 | 0,734 | 0,733 | 0,732 | 0,729 | 0,729 |
| 1:3:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 4     | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,300 | 0,433 | 0,467 | 0,467 | 0,325 | 0,300 | 0,500 | 0,433 | 0,350 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,050 | 0,100 | 0,067 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,133 | 0,050 |
|              | T                   | 0,761              | 0,755 | 0,754 | 0,753 | 0,751 | 0,751 | 0,748 | 0,747 | 0,746 | 0,745 |
| 1:4:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,467 | 0,500 | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,533 | 0,500 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,100 | 0,100 | 0,133 | 0,133 | 0,050 | 0,100 | 0,133 |
|              | T                   | 0,778              | 0,772 | 0,771 | 0,769 | 0,766 | 0,765 | 0,763 | 0,762 | 0,761 | 0,759 |
| 1:5:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,467 | 0,500 | 0,433 | 0,467 | 0,533 | 0,500 | 0,433 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,100 | 0,100 | 0,133 | 0,133 | 0,100 | 0,133 | 0,167 |
|              | T                   | 0,793              | 0,787 | 0,787 | 0,785 | 0,782 | 0,781 | 0,779 | 0,777 | 0,776 | 0,774 |

Im wyższa jest wartość wagi kryterium drugiego tym więcej rozwiązań w rankingu charakteryzuje się wartością  $P_{PV+TW}$  wynoszącą 3 MW. Przy równych wagach jest tylko jedno takie rozwiązanie. Przy wadze  $K_2$  równej 2 jest ich cztery, przy wadze równej 3 – sześć, przy wadze równej 4 – dziewięć, a przy maksymalnym przewymiarowaniu wagi  $K_2$  wszystkie rozwiązania mają wartość  $P_{PV+TW}$  równą 3 MW. Do zmiany rozwiązania znajdującego się na pierwszym miejscu rankingu dochodzi w wariantach wag 1:3:1:1:1:1. W tym i w kolejnych wariantach rozkładu wag najkorzystniejszym układem jest ten o mocy  $P_{PV+TW}$  wynoszącą 3 MW i wartościach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,433 i 0,067. Zależności wynikają z rosnącej istotności kryterium związanego z generacją przekraczającą możliwości odbioru. Przy mniejszych mocach źródeł niesterowalnych takie sytuacje są rzadsze, a jednocześnie dzięki wzrostowi mocy stabilnego źródła – układu zgazowania z agregatem silnikowym – możliwe jest utrzymanie właściwego poziomu wyprodukowanej

energii elektrycznej. Co istotne, nie dochodzi do znaczącego zwiększenia się wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Do odpowiedniego ograniczenia niewykorzystanej generacji wystarcza zmniejszenie mocy OZE.

W tabeli 58 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach stosunków wag 1 oraz 16-19 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wagi kosztów inwestycyjnych względem pozostałych kryteriów).

*Tabela 58. Rankingi dla zmiany wartości wagi kryterium trzeciego*

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:2:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,433 | 0,300 | 0,325 | 0,433 | 0,325 | 0,300 | 0,467 | 0,350 | 0,220 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,067 | 0,075 | 0,050 | 0,100 | 0,075 | 0,100 | 0,067 | 0,050 | 0,040 |
|              | T                   | 0,773              | 0,764 | 0,762 | 0,761 | 0,753 | 0,750 | 0,750 | 0,748 | 0,748 | 0,745 |
| 1:1:3:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,433 | 0,300 | 0,433 | 0,325 | 0,467 | 0,300 | 0,433 | 0,325 | 0,467 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,067 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,067 | 0,100 | 0,133 | 0,075 | 0,100 |
|              | T                   | 0,8                | 0,798 | 0,786 | 0,785 | 0,783 | 0,779 | 0,772 | 0,772 | 0,770 | 0,770 |
| 1:1:4:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 3     | 4     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,300 | 0,433 | 0,300 | 0,467 | 0,325 | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,220 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,050 | 0,100 | 0,075 | 0,067 | 0,050 | 0,133 | 0,100 | 0,100 | 0,040 |
|              | T                   | 0,824              | 0,819 | 0,809 | 0,805 | 0,801 | 0,799 | 0,794 | 0,790 | 0,789 | 0,786 |
| 1:1:5:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 4     | 3     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,300 | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,433 | 0,325 | 0,467 | 0,300 | 0,220 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,050 | 0,100 | 0,067 | 0,075 | 0,133 | 0,050 | 0,100 | 0,100 | 0,040 |
|              | T                   | 0,844              | 0,835 | 0,828 | 0,819 | 0,819 | 0,812 | 0,812 | 0,806 | 0,802 | 0,799 |

W przypadku zwiększania wartości wagi kryterium trzeciego – CAPEX, do zmiany na pierwszej pozycji w rankingu dochodzi w wariantach wag 1:1:4:1:1:1. Przy tym rozkładzie wag najkorzystniejszym rozwiązaniem jest HIOZE o wartości  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,433 i 0,067. W dwóch poprzedzających wariantach rozkładu wag rozwiązanie to znajdowało się na drugim miejscu w rankingu. W wariantach stosunków wag 1:1:4:1:1:1 i 1:1:5:1:1:1 na drugim miejscu w rankingu znajduje się rozwiązanie, które jest najkorzystniejszym przy mniejszych wartościach wagi  $K_3$ . Poza rozwiązaniami, które charakteryzuje moc  $P_{PV+TW}$  równa 3 MW i 4 MW, w rankingu na dziesiątej pozycji w 3 wariantach rozkładu wag jest obecne rozwiązanie w którym sumaryczna moc źródeł niesterowalnych wynosi 5 MW. W rozwiązaniu tym mniejsze są wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  (odpowiednio 0,22 i 0,04 wobec 0,3-0,467 i 0,05-0,133 przy mniejszych mocach  $P_{PV+TW}$ ). W efekcie wzrost kosztów inwestycyjnych źródeł niesterowalnych jest kompensowany

przez zmniejszenie wydatków na instalację zgazowania pre-RDF oraz na magazyn energii elektrycznej. Zależność ta widoczna jest również między rozwiązaniami z mocą  $P_{PV+TW}$  równymi 3 MW i 4 MW.

W tabeli 59 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 20-23 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wagi kryterium czwartego względem pozostałych kryteriów).

Tabela 59. Rankingi dla zmiany wartości wagi kryterium czwartego

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:1:2:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,433 | 0,325 | 0,433 | 0,300 | 0,467 | 0,350 | 0,467 | 0,325 | 0,433 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,067 | 0,050 | 0,100 | 0,075 | 0,067 | 0,050 | 0,100 | 0,075 | 0,133 |
|              | T                   | 0,757              | 0,756 | 0,750 | 0,746 | 0,746 | 0,745 | 0,741 | 0,740 | 0,739 | 0,734 |
| 1:1:1:3:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,467 | 0,325 | 0,433 | 0,300 | 0,500 | 0,467 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,050 | 0,100 | 0,050 | 0,133 | 0,075 | 0,100 | 0,133 |
|              | T                   | 0,786              | 0,774 | 0,774 | 0,772 | 0,767 | 0,763 | 0,761 | 0,759 | 0,759 | 0,755 |
| 1:1:1:4:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 4     | 3     | 2     | 3     | 2     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,467 | 0,300 | 0,433 | 0,700 | 0,500 | 0,750 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,100 | 0,050 | 0,133 | 0,250 | 0,100 | 0,250 | 0,050 |
|              | T                   | 0,809              | 0,795 | 0,795 | 0,787 | 0,783 | 0,781 | 0,778 | 0,778 | 0,776 | 0,774 |
| 1:1:1:5:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 2     | 2     | 3     | 2     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,433              | 0,467 | 0,433 | 0,467 | 0,700 | 0,750 | 0,433 | 0,800 | 0,500 | 0,300 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,067              | 0,067 | 0,100 | 0,100 | 0,250 | 0,250 | 0,133 | 0,250 | 0,100 | 0,050 |
|              | T                   | 0,826              | 0,812 | 0,812 | 0,803 | 0,803 | 0,799 | 0,796 | 0,794 | 0,793 | 0,792 |

Zwiększanie wagi kryterium odnoszącego się do zysków na produkcji jednostki energii elektrycznej skutkuje zmniejszeniem liczby rozwiązań z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW w rankingu. Zamiast nich więcej jest rozwiązań z mocą 3 MW oraz pojawiają się (od wariantu stosunku wag 1:1:1:4:1:1) rozwiązania o mocy 2 MW. Rozwiązania charakteryzują się wysokimi wartościami  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . W przypadku układów o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW jest to 0,433-0,5, a przy 2 MW od 0,7 do 0,8. W przypadku układów o mocy źródeł niesterowalnych równej 2 MW wysokie są również wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Rozwiązanie znajdujące się na pierwszej pozycji zmienia się w wariantach wag 1:1:1:3:1:1. Co ciekawe, ponownie (jak przy zwiększaniu wartości wag  $K_2$  i  $K_3$ ) najkorzystniejszym rozwiązaniem staje się układ o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 3 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,433 i 0,067.

W tabeli 60 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 24-27 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wagi jednostkowego wskaźnika emisji względem pozostałych kryteriów).

*Tabela 60. Rankingi dla zmiany wartości wagi kryterium piątego*

| Stosunek wag | Parametr                             | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                                      | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:1:1:2:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 5                  | 4     | 5     | 5     | 4     | 4     | 5     | 5     | 4     | 5     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,220              | 0,300 | 0,220 | 0,240 | 0,300 | 0,325 | 0,220 | 0,240 | 0,325 | 0,260 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,040              | 0,050 | 0,060 | 0,040 | 0,075 | 0,050 | 0,080 | 0,060 | 0,075 | 0,040 |
|              | T                                    | 0,731              | 0,728 | 0,723 | 0,721 | 0,72  | 0,719 | 0,714 | 0,713 | 0,711 | 0,711 |
| 1:1:1:1:3:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 5                  | 5     | 5     | 6     | 5     | 6     | 5     | 6     | 4     | 5     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,220              | 0,220 | 0,240 | 0,167 | 0,220 | 0,167 | 0,240 | 0,183 | 0,300 | 0,220 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,040              | 0,060 | 0,040 | 0,050 | 0,080 | 0,067 | 0,060 | 0,033 | 0,050 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,746              | 0,737 | 0,732 | 0,732 | 0,729 | 0,725 | 0,724 | 0,723 | 0,723 | 0,721 |
| 1:1:1:1:4:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 6                  | 5     | 6     | 5     | 6     | 6     | 6     | 5     | 5     | 6     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,167              | 0,220 | 0,167 | 0,220 | 0,183 | 0,167 | 0,183 | 0,240 | 0,220 | 0,167 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,040 | 0,067 | 0,060 | 0,033 | 0,083 | 0,050 | 0,040 | 0,080 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,758              | 0,756 | 0,751 | 0,748 | 0,746 | 0,743 | 0,741 | 0,741 | 0,74  | 0,736 |
| 1:1:1:1:5:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 6                  | 6     | 5     | 6     | 6     | 6     | 6     | 5     | 6     | 6     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,167              | 0,167 | 0,220 | 0,183 | 0,167 | 0,183 | 0,167 | 0,220 | 0,150 | 0,183 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,067 | 0,040 | 0,033 | 0,083 | 0,050 | 0,100 | 0,060 | 0,150 | 0,067 |
|              | T                                    | 0,778              | 0,771 | 0,765 | 0,764 | 0,764 | 0,759 | 0,757 | 0,757 | 0,754 | 0,752 |

Wzrost wartości wagi pierwszego kryterium z grupy środowiskowej skutkuje odwrotną tendencją (względem wzrostu istotności kryterium czwartego) zmian wartości P<sub>PV+TW</sub> układów znajdujących się w rankingu. W wariacie wag 1:1:1:1:2:1 sześć z dziesięciu rozwiązań charakteryzuje się sumaryczną mocą P<sub>PV+TW</sub> równą 5 MW. Przy wyższych wartościach wagi K<sub>5</sub> jest ich 6→4→2 ale pojawiają się rozwiązania o wartości P<sub>PV+TW</sub> równej 6 MW. Jest ich odpowiednio 3→6→8. Wraz ze wzrostem wartości wagi K<sub>5</sub> zmniejsza się wartość współczynnika P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub>. W kolejnych wariantach rozkładu wag maksymalna wartość tego parametru wynosi odpowiednio 0,433→0,325→0,3→0,24→0,22. Co istotne nie dochodzi do spadków wartości P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub>. Wręcz przeciwnie, przy wyższych wartościach wagi K<sub>5</sub> współczynnik P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub> się zwiększa. Najwyższe wartości tego parametru w kolejnych wariantach wag wynoszą: 0,1→0,08→0,1→0,1→0,15. Przy wyższych mocach i pojemnościach magazynu możliwe jest zmagazynowanie i późniejsze wykorzystanie większej wartości energii elektrycznej z OZE. Efektem tego jest większe ograniczenie emisyjnej generacji energii elektrycznej z frakcji energetycznej odpadów.

Przy wzroście wartości wagi kryterium piątego dwukrotnie zmienia się rozwiązanie znajdujące się na pierwszym miejscu w rankingu. W wariantach rozkładu wag 1:1:1:1:2:1 i 1:1:1:1:3:1 jest to układ o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,22 i 0,04. Natomiast w wariantach stosunku wag 1:1:1:1:4:1 i 1:1:1:1:5:1 najkorzystniejszy jest układ o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 6 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,167 i 0,05.

W tabeli 61 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 28-31 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wagi kryterium szóstego względem pozostałych kryteriów).

Tabela 61. Rankingi dla zmiany wartości wagi kryterium szóstego

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:1:1:1:2  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 4     | 5     | 4     | 5     | 4     | 5     | 4     | 5     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,220              | 0,30  | 0,220 | 0,300 | 0,240 | 0,325 | 0,220 | 0,30  | 0,240 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,040              | 0,050 | 0,060 | 0,075 | 0,040 | 0,050 | 0,080 | 0,10  | 0,060 | 0,075 |
|              | T                   | 0,737              | 0,736 | 0,727 | 0,727 | 0,723 | 0,723 | 0,718 | 0,717 | 0,714 | 0,714 |
| 1:1:1:1:1:3  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 5     | 5     | 5     | 4     | 6     | 6     | 5     | 5     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,220              | 0,220 | 0,240 | 0,220 | 0,300 | 0,167 | 0,167 | 0,220 | 0,240 | 0,300 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,040              | 0,060 | 0,040 | 0,080 | 0,050 | 0,050 | 0,067 | 0,100 | 0,060 | 0,075 |
|              | T                   | 0,755              | 0,746 | 0,736 | 0,736 | 0,736 | 0,735 | 0,729 | 0,728 | 0,727 | 0,726 |
| 1:1:1:1:1:4  | $P_{PV+TW}$         | 5                  | 6     | 5     | 6     | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     | 5     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,220              | 0,167 | 0,220 | 0,167 | 0,220 | 0,183 | 0,167 | 0,240 | 0,183 | 0,220 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,040              | 0,050 | 0,060 | 0,067 | 0,080 | 0,033 | 0,083 | 0,040 | 0,050 | 0,100 |
|              | T                   | 0,770              | 0,764 | 0,76  | 0,758 | 0,751 | 0,751 | 0,750 | 0,747 | 0,743 | 0,742 |
| 1:1:1:1:1:5  | $P_{PV+TW}$         | 6                  | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     | 6     | 6     | 5     | 6     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,167              | 0,220 | 0,167 | 0,167 | 0,220 | 0,183 | 0,167 | 0,183 | 0,220 | 0,167 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,040 | 0,067 | 0,083 | 0,060 | 0,033 | 0,100 | 0,050 | 0,080 | 0,117 |
|              | T                   | 0,786              | 0,782 | 0,781 | 0,773 | 0,772 | 0,771 | 0,765 | 0,763 | 0,762 | 0,757 |

W przypadku zwiększania wartości wagi drugiego z kryteriów środowiskowych – wykorzystania dostępnych lokalnie odpadów, również widoczny jest wzrost mocy źródeł niesterowalnych. W wariantach rozkładu wag 1:1:1:1:1:4 i 1:1:1:1:1:5 występują jedynie rozwiązania w których moc paneli fotowoltaicznych i turbin wiatrowych jest równa 5 lub 6 MW. Wyższe niż przy zwiększaniu wagi  $K_5$  są wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Niższe są natomiast wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

Identyczne jak w tabeli 60 są również rozwiązania znajdujące się na pierwszych miejscach w rankingach. Jediną różnicą jest to, że do zmiany najkorzystniejszego rozwiązania z układu o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$

i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,22 i 0,04 na układ o wartościach wynoszących odpowiednio 6 MW, 0,167 i 0,05 dochodzi dopiero w wariancie stosunku wag 1:1:1:1:1:5.

W tabeli 62 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 32-34 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wag kryteriów z grupy energetycznej względem pozostałych kryteriów).

Tabela 62. Rankingi dla zmiany wartości wag kryteriów 1 i 2

| Stosunek wag | Parametr            | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                   | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 2:2:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 4                  | 3     | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,425              | 0,567 | 0,400 | 0,567 | 0,425 | 0,600 | 0,450 | 0,400 | 0,533 | 0,567 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,075              | 0,100 | 0,075 | 0,133 | 0,100 | 0,100 | 0,075 | 0,100 | 0,100 | 0,167 |
|              | T                   | 0,726              | 0,724 | 0,724 | 0,723 | 0,722 | 0,720 | 0,720 | 0,720 | 0,720 | 0,720 |
| 3:3:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,600              | 0,600 | 0,567 | 0,567 | 0,600 | 0,600 | 0,567 | 0,567 | 0,567 | 0,600 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,133              | 0,167 | 0,133 | 0,167 | 0,100 | 0,200 | 0,200 | 0,100 | 0,233 | 0,233 |
|              | T                   | 0,756              | 0,755 | 0,754 | 0,754 | 0,753 | 0,752 | 0,752 | 0,751 | 0,750 | 0,749 |
| 4:4:1:1:1:1  | $P_{PV+TW}$         | 3                  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
|              | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | 0,600              | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,567 | 0,567 | 0,567 | 0,567 | 0,600 |
|              | $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | 0,167              | 0,200 | 0,133 | 0,233 | 0,267 | 0,200 | 0,167 | 0,233 | 0,133 | 0,100 |
|              | T                   | 0,783              | 0,782 | 0,782 | 0,781 | 0,778 | 0,778 | 0,778 | 0,778 | 0,776 | 0,776 |

Przewymiarowanie wartości wag kryteriów z całej grupy energetycznej względem wag pozostałych kryteriów skutkuje zmniejszeniem się wartości mocy źródeł niesterowalnych. Już w wariancie wag 3:3:1:1:1:1 wszystkie rozwiązania charakteryzują się wartością tego parametru równą 3 MW. Dodatkowo dochodzi do zwiększenia się wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w większym stopniu niż w przypadku rozważania zmiany wagi tylko jednego z tych kryteriów. Pierwszy z tych współczynników w wariancie równych wag zawiera się w zakresie 0,3-0,433. Przy zwiększaniu wag  $K_1$  i  $K_2$  zakresy te wynoszą 0,4-0,6→0,567-0,6→0,567-0,6. W przypadku drugiego współczynnika wartości zwiększają się z poziomu 0,05-0,1 do 0,1-0,233. Wzrost mocy źródeł sterowalnych oraz magazynu pozwala zwiększyć generację energii elektrycznej (kryterium pierwsze) i jednocześnie obniżyć wolumen niewykorzystanej energii (kryterium drugie). W przypadku kryterium drugiego istotna jest również redukcja mocy zainstalowanej w źródłach niesterowalnych co zmniejsza redukcję energii elektrycznej.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem w wariancie wag 2:2:1:1:1:1 jest układ o mocy  $P_{PV+TW}$  równej 4 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,425 i 0,075.

W wariantach z wyższymi wartościami wag  $K_1$  i  $K_2$  jest to układ o parametrach wynoszących odpowiednio 3 MW, 0,6 i 0,133, a następnie 3 MW, 0,6 i 0,167.

W tabeli 63 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach rozkładu wag 1 oraz 35-37 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wag kryteriów z grupy ekonomicznej względem pozostałych kryteriów).

*Tabela 63. Rankingi dla zmiany wartości wag kryteriów 3 i 4*

| Stosunek wag | Parametr                             | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                                      | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:2:2:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 4     | 3     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,433              | 0,300 | 0,433 | 0,467 | 0,325 | 0,300 | 0,467 | 0,433 | 0,325 | 0,350 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,067              | 0,050 | 0,100 | 0,067 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,133 | 0,075 | 0,050 |
|              | T                                    | 0,792              | 0,786 | 0,78  | 0,776 | 0,773 | 0,773 | 0,768 | 0,766 | 0,761 | 0,76  |
| 1:1:3:3:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 3     | 4     | 3     | 3     | 2     | 4     | 4     | 3     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,300 | 0,467 | 0,433 | 0,700 | 0,300 | 0,325 | 0,467 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,050 | 0,100 | 0,133 | 0,250 | 0,075 | 0,050 | 0,133 |
|              | T                                    | 0,835              | 0,820 | 0,815 | 0,814 | 0,804 | 0,804 | 0,798 | 0,798 | 0,797 | 0,789 |
| 1:1:4:4:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 3     | 2     | 4     | 3     | 3     | 2     | 2     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,433              | 0,433 | 0,467 | 0,700 | 0,300 | 0,433 | 0,467 | 0,750 | 0,700 | 0,300 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,067              | 0,100 | 0,067 | 0,250 | 0,050 | 0,133 | 0,100 | 0,250 | 0,300 | 0,075 |
|              | T                                    | 0,862              | 0,846 | 0,840 | 0,832 | 0,831 | 0,828 | 0,827 | 0,817 | 0,814 | 0,814 |

We wszystkich przeanalizowanych wariantach zwiększający wagę obu kryteriów ekonomicznych najkorzystniejszym rozwiązaniem jest układ o mocy P<sub>PV+TW</sub> równej 3 MW i współczynnikach P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub> i P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub> równych 0,433 i 0,067. Różnice między rankingami są natomiast widoczne na dalszych pozycjach. Wraz ze zwiększaniem się wartości wag, spada pozycja rozwiązań charakteryzujących się mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW. W zamian pojawia się więcej rozwiązań z mocą 3 MW (i zajmują one wyższe pozycje). Dodatkowo pojawiają się rozwiązania w których sumaryczna moc paneli PV i turbin wiatrowych wynosi zaledwie 2 MW. W efekcie, częstsze są wyższe wartości współczynników P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub> i P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub>. Nie osiągają one jednak, aż tak wysokich wartości jak w przypadku zwiększania wartości wag kryteriów energetycznych, wyłączając jednak układy o wartości P<sub>PV+TW</sub> równej 2 MW. W tych ostatnich wartości współczynnika P<sub>ICE</sub>/P<sub>PV+TW</sub> wynoszą 0,7-0,75, a współczynnika P<sub>BME</sub>/P<sub>PV+TW</sub> 0,25-0,3.

W tabeli 64 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w wariantach stosunków wag 1 oraz 35-37 (wagi zrównoważone oraz przewymiarowanie wartości wag kryteriów z grupy środowiskowej względem pozostałych kryteriów).

Tabela 64. Rankingi dla zmiany wartości wag kryteriów 5 i 6

| Stosunek wag | Parametr                             | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                                      | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,736              | 0,730 | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 1:1:1:1:2:2  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 5                  | 5     | 5     | 6     | 5     | 4     | 6     | 5     | 6     | 5     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,220              | 0,220 | 0,240 | 0,167 | 0,220 | 0,30  | 0,167 | 0,240 | 0,183 | 0,220 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,040              | 0,060 | 0,040 | 0,050 | 0,080 | 0,050 | 0,067 | 0,060 | 0,033 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,750              | 0,741 | 0,734 | 0,734 | 0,733 | 0,729 | 0,727 | 0,726 | 0,724 | 0,724 |
| 1:1:1:1:3:3  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 6                  | 6     | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,167              | 0,167 | 0,220 | 0,167 | 0,183 | 0,220 | 0,183 | 0,167 | 0,220 | 0,167 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,067 | 0,040 | 0,083 | 0,033 | 0,060 | 0,050 | 0,100 | 0,080 | 0,117 |
|              | T                                    | 0,782              | 0,776 | 0,773 | 0,768 | 0,767 | 0,764 | 0,761 | 0,761 | 0,756 | 0,754 |
| 1:1:1:1:4:4  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 6                  | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 5     | 6     | 6     | 6     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,167              | 0,167 | 0,167 | 0,183 | 0,167 | 0,183 | 0,220 | 0,167 | 0,150 | 0,150 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,067 | 0,083 | 0,033 | 0,100 | 0,050 | 0,040 | 0,117 | 0,150 | 0,167 |
|              | T                                    | 0,814              | 0,808 | 0,801 | 0,796 | 0,794 | 0,789 | 0,788 | 0,788 | 0,785 | 0,782 |

W wariantach rozkładu wag w których zwiększane są wartości obu kryteriów środowiskowych dominują rozwiązania o mocy źródeł niesterowalnych równych 5 i 6 MW. Im wyższe są wartości wag tym więcej jest rozwiązań z najwyższą analizowaną wartością tej mocy. Stosunkowo wysokie są wartości współczynnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  wynoszące w wariancie wag 1:1:1:1:4:4 od 0,033-0,167 (przy równych wagach 0,05-0,1). Mniejsze niż w wariancie zrównoważonym są natomiast wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Takie wartości parametrów sprawiają, że układy charakteryzują się małą emisyjnością (za większość generacji odpowiadają źródła bezemisyjne) oraz dobrym wykorzystaniem dostępnych lokalnie odpadów – w najlepszych rozwiązaniach maksymalnie około 500 ton różnicy między wartością docelową, a faktycznym zużyciem.

W tabeli 65 przedstawiono rankingi 10 najkorzystniejszych rozwiązań w zrównoważonym wariancie wag oraz w wariantach 3:1:2:3:2:1 i 2:1:3:1:2:3.

Tabela 65. Rankingi dla wariantów wag 3:1:2:3:2:1 i 2:1:3:1:2:3

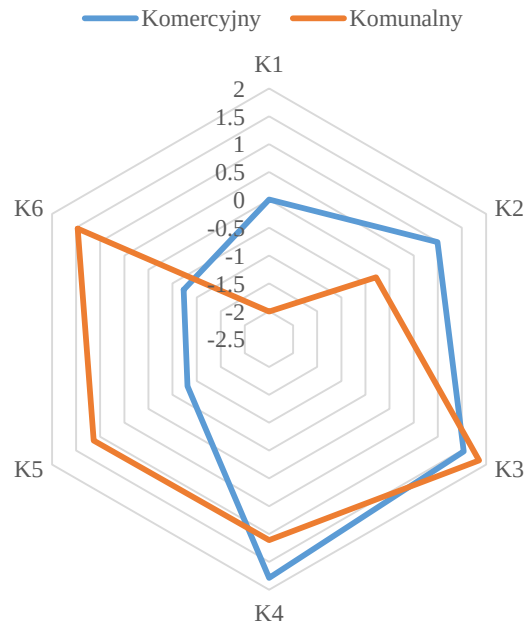
| Stosunek wag | Parametr                             | Miejsce w rankingu |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |                                      | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1:1:1:1:1:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 4                  | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,300              | 0,325 | 0,300 | 0,350 | 0,325 | 0,300 | 0,375 | 0,350 | 0,433 | 0,325 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,050              | 0,050 | 0,075 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,067 | 0,100 |
|              | T                                    | 0,736              | 0,73  | 0,727 | 0,724 | 0,722 | 0,717 | 0,717 | 0,716 | 0,715 | 0,713 |
| 3:1:2:3:2:1  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 3                  | 3     | 4     | 4     | 3     | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,533              | 0,567 | 0,375 | 0,400 | 0,500 | 0,350 | 0,375 | 0,567 | 0,533 | 0,425 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,100              | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,100 | 0,050 | 0,075 | 0,133 | 0,133 | 0,075 |
|              | T                                    | 0,726              | 0,725 | 0,724 | 0,722 | 0,721 | 0,721 | 0,721 | 0,720 | 0,720 | 0,718 |
| 2:1:3:1:2:3  | P <sub>PV+TW</sub>                   | 5                  | 5     | 4     | 5     | 5     | 6     | 4     | 5     | 4     | 6     |
|              | P <sub>ICE</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,220              | 0,220 | 0,300 | 0,240 | 0,220 | 0,167 | 0,300 | 0,240 | 0,325 | 0,183 |
|              | P <sub>BME</sub> /P <sub>PV+TW</sub> | 0,040              | 0,060 | 0,050 | 0,040 | 0,080 | 0,050 | 0,075 | 0,060 | 0,050 | 0,033 |
|              | T                                    | 0,752              | 0,742 | 0,740 | 0,738 | 0,732 | 0,731 | 0,730 | 0,728 | 0,727 | 0,725 |



W przypadku wariantu stosunku wag 3:1:2:3:2:1 – „komercyjnego” – najkorzystniejszym rozwiązaniem jest rozwiązanie o mocy źródeł niesterowalnych równej 3 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,533 i 0,1. Układ znajdujący się na drugim miejscu w rankingu różni się wyższą wartością współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , która wynosi 0,567. W rankingu utworzonym dla tego zestawu wag znajdują się rozwiązania z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 3 MW i 4 MW. W przypadku mniejszej z nich, wartości parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  zawierają się w zakresie 0,5-0,567, a parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w zakresie 0,1-0,133. Przy wyższej mocy zakresy wartości tych współczynników zmniejszają się odpowiednio do 0-35-0,425 i 0,05-0,075. Rozwiązania charakteryzujące się stosunkowo niskimi mocami źródeł bezemisyjnych i wysoką mocą instalacji przetwarzającej pre-RDF, odznaczają się wysoką generacją energii elektrycznej oraz wysokimi zyskami na produkcji każdej jej jednostki. Z tego względu osiągają wysokie pozycje w rankingu przygotowanego dla tego zestawu wag (wspomniane parametry mają najwyższe wartości wag). Wadą tych układów jest wysoka emisja i zużycie odpadów przekraczające lokalną dostępność. Jednakże, mają one mniejszą wagę w tym wariantcie.

Inna sytuacja jest w przypadku „komunalnego” wariantu rozkładu wag (2:1:3:1:2:3). Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest układ o mocy źródeł niesterowalnych równej 5 MW i współczynnikach  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równych 0,22 i 0,04. Połowa spośród rozwiązań uwzględnionych w rankingu charakteryzuje się sumaryczną mocą paneli PV i turbin wiatrowych równą 5 MW. Dwa kolejne rozwiązania mają tę moc równą 6 MW, a trzy kolejne 4 MW. W tych rozwiązaniach wykorzystanie odpadów jest zbliżone do lokalnej dostępności. Dodatkowo, ze względu na mniejsze wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  (od 0,167 do 0,325) i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  (od 0,033 do 0,08) możliwe jest obniżenie kosztów inwestycyjnych (ICE i BME są jednostkowo znacznie droższe niż panele PV i turbiny wiatrowe). Ponadto, zmniejsza się jednostkowy wskaźnik emisji przy niewielkim zmniejszeniu wartości generacji energii elektrycznej (kryteria z pośrednią wagą). Wiąże się to jednak z mniejszymi zyskami na sprzedaży jednostki energii elektrycznej oraz dużą wartością energii przekraczającą możliwości przyłączeniowe. Efekt działania tych negatywnych parametrów jest jednak ograniczony przez najmniejszą wartość wagi tych kryteriów.

Na rysunku 25 porównano znormalizowane wartości wynikowe parametrów, które zadecydowały o wyborze rozwiązań w wariantach stosunków wag 3:1:2:3:2:1 i 2:1:3:1:2:3.



Rys 25. Wykresy radarowe porównujące znormalizowane wartości kryteriów w wariacie komercyjnym i komunalnym.

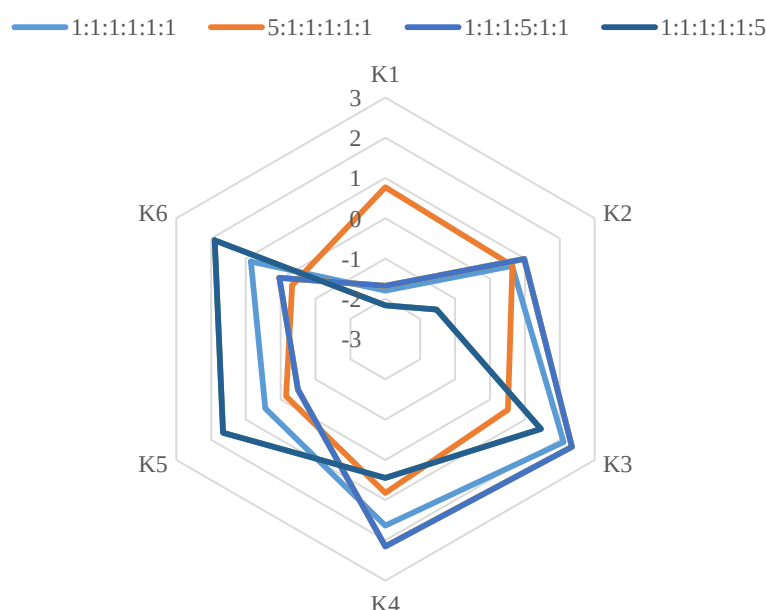
Na wykresie im wyższa jest wartość tym jest korzystniejsza (niezależnie czy dany parametr jest stymulantą czy destymulantą). Widoczne jest jak w zależności od przyjętych wag rozkładają się znormalizowane wartości kryteriów. W wariacie „komercyjnym” najwyższe wartości osiągane są przez kryteria K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> i K<sub>4</sub>. Co ciekawe, kryteria te mają odpowiednio krotności najmniejszej wartości wagi równe 1, 2 i 3. Drugi z parametrów (całkowita generacja) z najwyższą wartością wagi charakteryzuje się średnią wartością. Jednakże, wartości generacji w układach spełniających warunki ustawy są bardzo zbliżone, przez co odchylenie standardowe jest niewielkie. W efekcie brak jest rozwiązań ze znormalizowaną wartością kryterium, która jest znacznie wyższa od pozostałych i w efekcie bardzo istotnie wpływa na wyniki. Najmniej korzystne są wartości wskaźnika emisji oraz wykorzystanie dostępnych lokalnie odpadów. Kryteria te mają odpowiednio wagę 2 i 1. Rozwiązanie charakteryzuje się bardzo wysoką wartością K<sub>4</sub>, czyli zysków na jednostce energii. Również drugi z parametrów ekonomicznych (CAPEX) jest bardzo korzystny.

W wariacie „komunalnym” najmniej korzystne wartości osiągają oba kryteria z grupy energetycznej. Pozostałe wartości kryteriów są wysokie. Zarówno CAPEX (czyli kryterium z wagą równą 3) jak i zyski na sprzedaży jednostki energii (kryterium z najmniejszą wartością wagi) są bardzo korzystne. Wartość CAPEX jest lepsza niż w przypadku wariantu „komercyjnego”, natomiast wartość K<sub>4</sub> jest nieco gorsza. Bardzo korzystne są również parametry środowiskowe. Zarówno mała wartość jednostkowego

wskaźnika emisji jak i właściwy poziom wykorzystania frakcji energetycznej odpadów jest osiągnięty w tych samych zakresach parametrów w przypadku HIOZE B.

Porównując oba warianty wag można zauważyć, że wariant „komunalny” jest korzystniejszy w zakresie kryteriów: kosztów inwestycyjnych, jednostkowego wskaźnika emisji i wykorzystania dostępnych odpadów. Wariant „komercyjny” jest natomiast lepszy w zakresie parametrów energetycznych oraz zysków na sprzedaży energii elektrycznej.

Na rysunku 26 porównano znormalizowane wartości wynikowe parametrów, które zadecydowały o wyborze rozwiązań w wariancie zrównoważonym i w wariantach z pięciokrotnym przewymiarowaniem wag pojedynczych kryteriów względem pozostałych.



Rys 26. Wykresy radarowe porównujące znormalizowane wartości kryteriów w wariancie zrównoważonym oraz z 5-krotnym przewymiarowaniem wartości wag pojedynczego kryterium (zestawy wag 1:5:1:1:1:1 i 1:1:5:1:1:1 mają taki sam przebieg wykresu jak 1:1:1:5:1:1, a zestaw wag 1:1:1:1:5:1 taki sam jak 1:1:1:1:1:5).

Na wykresie 26 zaprezentowano porównanie znormalizowanych wartości kryteriów w najkorzystniejszych układach zrównoważonego wariantu rozkładu wag oraz przy 5-krotnym przewymiarowaniu wagi pojedynczego kryterium względem pozostałych. Pomimo analizy 7 wariantów rozkładu wag, na wykresie widoczne są jedynie 4 linie. Wynika to z faktu, że najkorzystniejsze rozwiązania powtarzają się w wariantach 1:5:1:1:1:1, 1:1:5:1:1:1 i 1:1:1:5:1:1, a także w wariantach 1:1:1:1:5:1 i 1:1:1:1:1:5. Widoczne jest, że w HIOZE B kryteria środowiskowe są ze sobą ściśle związane. Podobna zależność występuje między kryteriami ekonomicznymi. Analizując poszczególne przebiegi można

zauważyć, że przy równych wagach wszystkich kryteriów, znormalizowane wartości w 5 na 6 przypadków są dodatnie. Jediną ujemną (i w efekcie najmniej korzystną) wartością jest generacja energii elektrycznej. Pozostałe kryteria charakteryzują się wartościami mniejszymi niż w poszczególnych wariantach z 5-krotnym przewymiarowaniem pojedynczych kryteriów. Natomiast nie ma na tym przebiegu, aż tak niskich wartości jak w pozostałych wariantach (poza wspomnianą wcześniej wartością  $K_1$ ). Zwiększenie wagi kryterium pierwszego skutkuje zwiększeniem wartości tego parametru. Nie zmienia się przy tym wartość niewykorzystanej generacji ale pozostałe wartości kryteriów zmniejszają się względem wariantu z równymi wagami. Kryteria środowiskowe przyjmują wartości ujemne, a kryteria ekonomiczne pozostają dodatnie lecz mniejsze niż przy równych wagach wszystkich kryteriów. Znormalizowana wartość  $K_1$  jest niewiele mniejsza niż 1. Wynika to z faktu, że mała różnorodność wyników generacji energii elektrycznej powoduje, że maksymalna znormalizowana wartość tego kryterium jest zbliżona do jedności.

W przypadku przewymiarowania wartości wagi kryteriów  $K_2$  lub  $K_3$  lub  $K_4$ , widoczna jest poprawa wartości ograniczanej energii w odniesieniu do wcześniejszych wariantów rozkładu wag. Zwiększa się ona w niewielkim stopniu. Zdecydowanie istotniejsze, w odniesieniu do wariantu 5:1:1:1:1:1, są wzrosty znormalizowanych wartości kryteriów ekonomicznych. Są one również wyższe niż w wariancie równych wag ale nie aż tak znacząco. Pogarsza się natomiast wartość jednostkowego wskaźnika emisji (w odniesieniu do obu wcześniejszych wariantów rozkładu wag) oraz wykorzystanie lokalnie dostępnej frakcji energetycznej odpadów (porównując z wariantem 1:1:1:1:1:1).

Ostatni przebieg na wykresie 26 wskazuje znormalizowane wartości parametrów przy zwiększeniu wag kryteriów środowiskowych. Widoczne jest, że wartości jednostkowego wskaźnika emisji oraz wykorzystania pre-RDF są najkorzystniejsze ze wszystkich wariantów przedstawionych na rysunku. Jest to jednak związane z najmniej korzystnymi wartościami wskaźników energetycznych oraz zysków na pojedynczej jednostce energii elektrycznej. Ze względu na niskie jednostkowe koszty inwestycyjne źródeł niesterowalnych CAPEX jest mniejszy niż w najlepszym rozwiązaniu wariantu rozkładu wag 5:1:1:1:1:1.

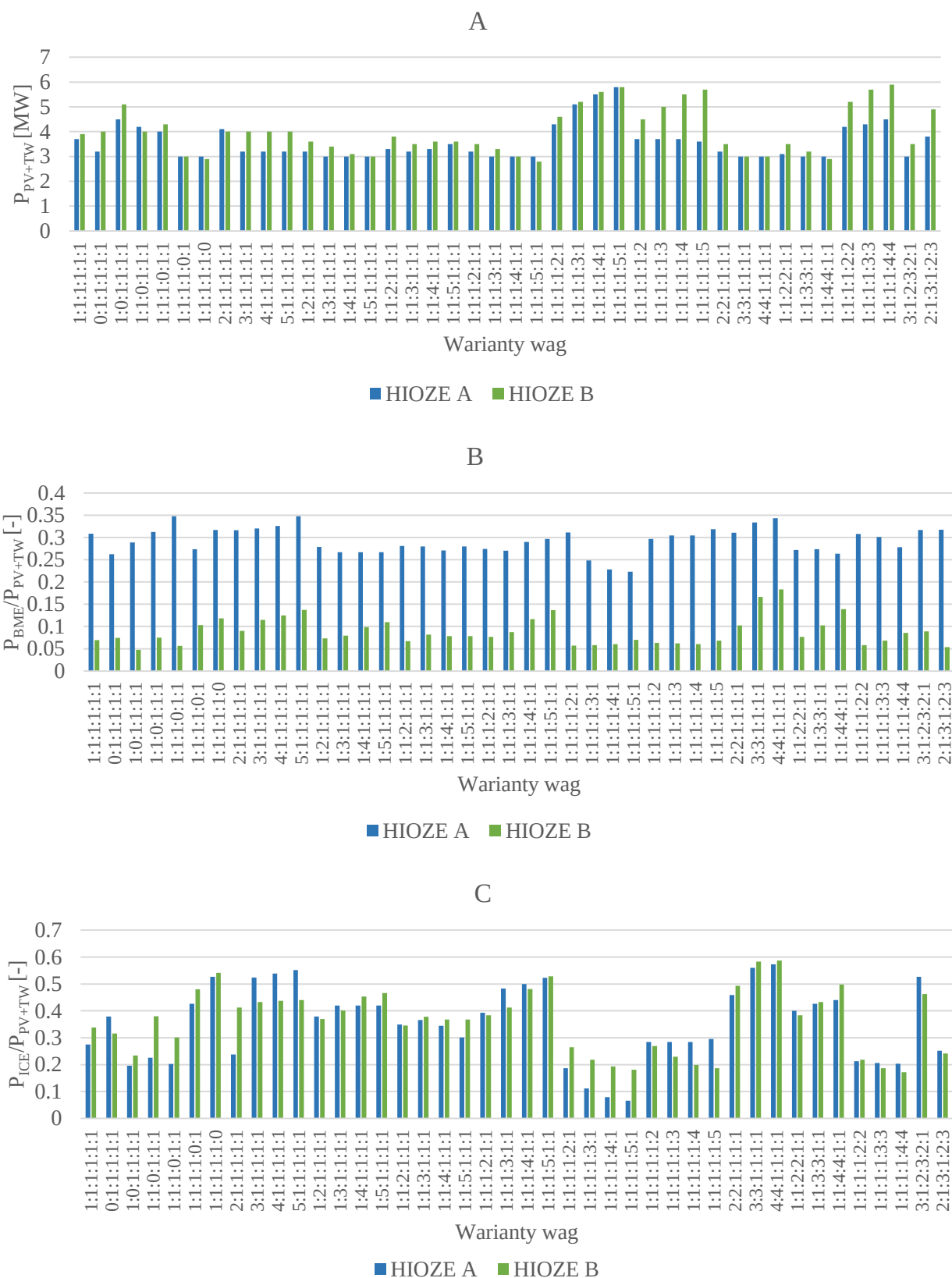
## 7. Dyskusja wyników

Celem pracy, poza opracowaniem metodologii doboru parametrów HIOZE, jest zbadanie wpływu wag poszczególnych kryteriów na wyniki. Zaprezentowane w poprzednich rozdziałach rankingi różniły się w zależności od konfiguracji układu hybrydowego (HIOZE A i HIOZE B). W celu zobrazowania wpływu wag poszczególnych kryteriów na wybrane parametry obu konfiguracji HIOZE zamieszczono wykresy na rysunku 27. Przedstawiono na nich wartości sumarycznej mocy źródeł niesterowalnych oraz współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Wartości zostały określone jako średnie arytmetyczne z 10 najkorzystniejszych rozwiązań w każdym z wariantów wag.

Porównując między sobą układy HIOZE A oraz HIOZE B można zauważyć, że w układach, które poza sprzedażą energii do systemu elektroenergetycznego pokrywają zapotrzebowanie odbiorcy, częściej występują wyższe moce źródeł niesterowalnych. Sytuacje w których parametr  $P_{PV+TW}$  wyższy jest w HIOZE A występują jedynie przy niewielkim przewymiarowaniu wagi  $K_1$ , w sytuacji gdy kryterium  $K_4$  ma wysoką wagę oraz przy przypisaniu wartości równej 0 kryteriom  $K_3$  i  $K_6$ . W pozostałych przypadkach parametr  $P_{PV+TW}$  ma wyższą wartość w HIOZE B lub w obu konfiguracjach wartości są sobie równe.

Widoczne jest również to, że przy przewymiarowaniu wartości kryterium  $K_6$  oraz całej grupy kryteriów środowiskowych różnica między wartościami w obu konfiguracjach HIOZE jest znacząca. W układzie HIOZE A zużycie odpadów zbliżone do docelowego występuje głównie w układach z mocą  $P_{PV+TW}$  równą 3 lub 4 MW, a w przypadku HIOZE B z mocą 5 lub 6 MW.

Jeszcze większe rozbieżności można zaobserwować na rysunku 27B. Przedstawione na nim są średnie wartości parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . We wszystkich przypadkach HIOZE A charakteryzuje się wyższą wartością od HIOZE B. W przypadku pierwszej z konfiguracji, 5% udziału BME musi być w całej wygenerowanej energii elektrycznej (cała energia jest sprzedawana do systemu, więc musi spełniać warunki ustawowe dotyczące hybrydowych instalacji OZE). Natomiast, w przypadku HIOZE B jedynie nadwyżki energii sprzedawane są do systemu, więc mianownik w równaniu służącym do obliczania udziału BME jest mniejszy. Efektem jest zmniejszenie się wymaganych wartości mocy BME przy której następuje spełnienie tego warunku granicznego.



Rys 27. Porównanie najkorzystniejszych rozwiązań we wszystkich wariantach wag w zakresie: A) mocy źródeł niesterowalnych, B) wartości wskaźnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  oraz C) wartości wskaźnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ .

Proporcjonalnie najmniejsze różnice między konfiguracjami (w kontekście parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ ), są w wariantach wag 1:5:1:1:1:1, 1:1:1:4:1:1, 1:1:1:5:1:1, 3:3:1:1:1:1, 4:4:1:1:1:1 i 1:1:4:4:1:1. Ze względu widoczne jest to, że najmniejsze różnice są, gdy kryteria  $K_2$  i  $K_4$  mają wysokie wartości wagi. W przypadku pierwszego z nich, wynika to, z faktu, że zwiększone możliwości magazynowania energii pozwalają na ograniczenie wartości niewykorzystanej energii elektrycznej. W przypadku kryterium  $K_4$  wynika to z pozytywnego wpływu zwiększenia wykorzystania generacji z OZE na opłacalność inwestycji.

O ile moc źródeł niesterowalnych niemal we wszystkich wariantach jest wyższa w HIOZE B, a parametr  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w HIOZE A, tak w przypadku parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  rozłożenie jest bardziej równomierne. W 19 wariantach wag wyższa jest wartość w HIOZE A. Są to warianty, w których zmienia się waga  $K_1$ , wzrasta waga  $K_4$ ,  $K_6$  oraz obu kryteriów środowiskowych na raz. Dodatkowo sytuacja ta zachodzi w wariantach „komunalnym” i „komercyjnym”. Ten rozkład wynika z następujących powodów:

- W przypadku  $K_1$  ze względu na charakterystykę obciążenia odbiorcy w układzie HIOZE B, w której najwyższe wartości osiągane są w ciągu dnia, możliwe jest wykorzystanie większej części generacji w PV. Skutkiem jest mniejszy wpływ wzrostu mocy ICE do mocy źródeł niesterowalnych.
- W przypadku kryterium  $K_4$  występuje podobna zależność. Wzrost mocy układu zgazowania pre-RDF pozwala na zwiększenie generacji w większym stopniu niż przyrost mocy pozostałych źródeł, co ma szczególnie wysokie znaczenie w HIOZE A, gdy przez cały czas (również w nocy) możliwości odbioru są takie same.
- W przypadku kryteriów  $K_6$  oraz przy wzroście wartości wag obu kryteriów z grupy środowiskowej, efekt ten wynika, że znacznie wyższych wartości mocy  $P_{PV+TW}$ . W efekcie uzyskiwane wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , w którym moc  $P_{PV+TW}$  jest w mianowniku, są mniejsze.

W pozostałych 23 przypadkach wyższa jest wartość parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  w HIOZE B.

Następnie, w tabeli 66 zaprezentowano trendy zmian parametrów przy zwiększaniu się wartości wag poszczególnych kryteriów.

Tabela 66. Wpływ wag kryteriów na wartości parametrów  $P_{PV+TW}$ ,  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

| Wzrost wartości wagi | HIOZE A        |                     |                       | HIOZE B      |                       |                       |
|----------------------|----------------|---------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
|                      | $P_{PV+TW}$    | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | $P_{BME}/P_{PV+TW}$   | $P_{PV+TW}$  | $P_{ICE}/P_{PV+TW}$   | $P_{BME}/P_{PV+TW}$   |
| $K_1$                | $\wedge (2)$   | $\vee (2)$          | $\uparrow$            | $\vee (1)$   | $\uparrow$            | $\vee (1)$            |
| $K_2$                | $\downarrow$   | $\uparrow$          | $\wedge (1)$          | $\downarrow$ | $\uparrow$            | $\uparrow$            |
| $K_3$                | $\vee (3)$     | $\wedge (3)$        | $\downarrow$          | $\vee (3)$   | $\vee (1) \wedge (3)$ | $\vee (2) \wedge (3)$ |
| $K_4$                | $\downarrow$   | $\uparrow$          | $\vee (3)$            | $\downarrow$ | $\uparrow$            | $\uparrow$            |
| $K_5$                | $\uparrow$     | $\downarrow$        | $\wedge (2)$          | $\uparrow$   | $\downarrow$          | $\vee (2)$            |
| $K_6$                | $\wedge (1-4)$ | $\vee (1)$          | $\vee (2)$            | $\uparrow$   | $\downarrow$          | $\vee (4)$            |
| $K_1$ i $K_2$        | $\downarrow$   | $\uparrow$          | $\uparrow$            | $\downarrow$ | $\uparrow$            | $\uparrow$            |
| $K_3$ i $K_4$        | $\downarrow$   | $\uparrow$          | $\vee (2) \wedge (3)$ | $\downarrow$ | $\uparrow$            | $\uparrow$            |
| $K_5$ i $K_6$        | $\uparrow$     | $\downarrow$        | $\downarrow$          | $\uparrow$   | $\downarrow$          | $\vee (2)$            |

Gdzie,  $\uparrow$  - wartość parametru rośnie wraz ze wzrostem wagi danego kryterium,  $\downarrow$  - wartość parametru maleje wraz ze wzrostem wagi danego kryterium,  $\wedge$  - wartość parametru rośnie wraz ze wzrostem wagi danego kryterium do maksimum, a następnie maleje,  $\vee$  - wartość parametru maleje wraz ze wzrostem wagi danego kryterium do minimum, a następnie rośnie. Przy znakach  $\wedge$  i  $\vee$  w nawiasach znajdują się liczby mówiące o wartości wagi danego kryterium przy której analizowany parametr osiąga odpowiednio maksimum lub minimum.

Wzrost wartości wagi kryterium pierwszego, w przypadku konfiguracji HIOZE A, jest związany z ujemną korelacją parametrów  $P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Początkowo wartość mocy źródeł niesterowalnych rośnie i maleje jednocześnie wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Po osiągnięciu maksimum przez pierwszy z tych parametrów i minimum przez drugi przy wadze  $K_1$  równej 2, trendy się odwracają. Wzrost mocy silnika pozwala na uzyskanie większego przyrostu generacji energii elektrycznej niż wzrost mocy PV czy TW. Parametr  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  wzrasta przy wzroście wagi  $K_1$  niezależnie od wartości pozostałych parametrów. W przypadku HIOZE B sytuacja jest odmienna. Wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  rośnie przy wzroście wartości wagi kryterium pierwszego. W zakresie wag 1-5 widoczny jest



również wzrost pozostałych dwóch parametrów. Wartości  $P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  maleją jedynie przy zmianie wagi  $K_1$  z 0 na równą pozostałym kryteriom. W tym przypadku widoczne jest, że parametry są skorelowane. Im wyższa jest moc źródeł niesterowalnych tym korzystniejsze jest zastosowanie magazynów o wyższej wartości mocy i pojemności aby w większym stopniu wykorzystać generację.

Wzrost wartości wagi  $K_2$  w obu konfiguracjach HIOZE skutkuje zmniejszeniem mocy źródeł niesterowalnych (zmniejszenie generacji przekraczającej moc przyłączeniową) i wzrostem wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  (utrzymanie właściwego poziomu generacji energii elektrycznej). Różnica między konfiguracjami występuje w zakresie zmian parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . O ile w HIOZE B widoczny jest wzrost tej wartości przy wzroście wagi kryterium drugiego, tak w HIOZE A wartość tego parametru rośnie między wariantami 1:0:1:1:1:1 i 1:1:1:1:1:1, a następnie maleje.

W przypadku zmian wartości wagi kryterium kosztów inwestycyjnych, w HIOZE B nie ma stałych trendów zmian wartości parametrów  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Zależność między parametrami  $P_{PV+TW}$  i  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  jest natomiast widoczna w przypadku HIOZE A. Wartość mocy źródeł niesterowalnych osiąga minimum w tym samym punkcie w którym  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  osiąga maksimum. Widoczne jest, że do pewnej wartości wagi  $K_3$  bardziej opłacalne jest zwiększanie mocy źródeł charakteryzujących się mniejszymi jednostkowymi kosztami inwestycyjnymi. Jednocześnie ze względu na wysokie koszty inwestycyjne baterii, wartość parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  maleje przy wzroście wagi  $K_3$ .

Wzrost wagi kryterium czwartego oddziałuje podobnie na wartości parametrów układu w HIOZE A i HIOZE B. Wraz ze wzrostem istotności zysków na produkcji jednostki energii elektrycznej, wzrasta wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , a spada moc  $P_{PV+TW}$ . Wynika to, z mniejszych kosztów wytwarzania energii w źródle sterowalnym. W przypadku parametru  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w konfiguracji HIOZE B widoczna jest dodatnia korelacja ze wzrostem wagi  $K_4$ , natomiast w przypadku HIOZE A wartość tego parametru maleje w zakresie wag 0-3.

Również wzrost wartości wagi jednostkowego wskaźnika emisji charakteryzuje się ścisłym związaniem mocy  $P_{PV+TW}$  i parametru  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Wzrost istotności tego kryterium skutkuje wzrostem mocy źródeł bezemisyjnych oraz jednoczesnym spadkiem wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Jest to zauważalne zarówno w HIOZE A jak i w HIOZE B. Im wyższa jest moc znamionowa źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych tym mniej energii elektrycznej jest produkowane w jedynym źródle emisyjnym w układzie. Parametr  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  w zależności

od konfiguracji, przy mniejszych wartościach wagi  $K_5$  rośnie, a przy większych maleje (HIOZE A) lub odwrotnie (HIOZE B).

Zwiększanie wartości wagi kryterium szóstego w przypadku HIOZE B skutkuje wzrostem mocy  $P_{PV+TW}$  oraz spadkiem wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Parametr  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  również maleje do czterokrotności wartości pozostałych wag, a następnie rośnie. W przypadku HIOZE A, wszystkie parametry osiągają w analizowanym zakresie swoje minimum lub maksimum. Sumaryczna moc paneli PV i turbin wiatrowych najwyższą wartość osiąga przy wadze równej 1 i zaczyna maleć dopiero przy pięciokrotności wartości wag pozostałych kryteriów. Przy wadze  $K_6$  równej 1 minimum osiąga parametr  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ , a przy wadze  $K_6$  równej 2 minimum osiąga parametr  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

Zwiększanie wartości wag obu kryteriów z grupy energetycznej jednocześnie skutkuje wzrostem wartości parametrów  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  przy jednoczesnym spadku mocy  $P_{PV+TW}$ . Nie jest to zależne od konfiguracji układu (zależności występują zarówno w HIOZE A jak i HIOZE B). Niemal taki sam charakter zmian wartości tych parametrów występuje przy przewymiarowaniu obu kryteriów ekonomicznych. Jedyną różnicą jest brak możliwości określenia charakteru zmienności w przypadku  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ .

Odwrotne zależności są widoczne przy zwiększaniu wartości wag kryteriów środowiskowych. Moc  $P_{PV+TW}$  rośnie, a maleje wartość  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . W przypadku HIOZE A maleje również wartość  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . W HIOZE B wartość ta maleje przy zmianie wag 1-2 i rośnie między wartościami wag 2-4.

W tabeli 67 zaprezentowano porównanie wartości parametrów uzyskanych w najkorzystniejszych rozwiązaniach wariantu równych wag oraz wariantów „komunalnym” i „komercyjnym” (3:1:2:3:2:1, 2:1:3:1:2:3).

W HIOZE A najkorzystniejsze rozwiązanie w wariacie równych wag jest identyczne jak w wariacie komunalnym. Rozwiązanie charakteryzuje się mocą źródeł niesterowalnych równą 4 MW i parametrami  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  równymi odpowiednio 0,2 i 0,35. W układzie tym, całkowita generacja energii elektrycznej wynosi 12,87 GWh. Ze względu na dwukrotne przewymiarowanie mocy źródeł niesterowalnych nad moc przyłączeniową, 405 MWh energii elektrycznej musi zostać ograniczone ze względu na przekroczenie mocy przyłączeniowej. Najkorzystniejsze rozwiązanie w wariacie komercyjnym charakteryzuje się mniejszą mocą  $P_{PV+TW}$  i mniejszą wartością  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  ale wyższą wartością współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Efektem tego jest wyższa o niemal 4 GWh

generacja energii elektrycznej i jednocześnie 4-krotnie mniejsza wartość niewykorzystanej generacji. Wyższa wartość współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  skutkuje tym, że pomimo zmniejszenia pozostałych parametrów koszty inwestycyjne rosną o 13,6% względem pozostałych dwóch wariantów. Jednakże, ze względu na wyższą generację energii elektrycznej, zyski na sprzedaży jednostki energii wzrastają z 33,91 PLN/MWh do 113,61 PLN/MWh. Negatywnymi aspektami są natomiast kwestie środowiskowe. W wariantcie komercyjnym preferowane rozwiązanie charakteryzuje się o 275 kg/MWh wyższą wartością emisji CO<sub>2</sub> (159,5 kg/MWh wyższą emisją CO<sub>2</sub> ze źródeł nieodnawialnych). Dodatkowo zużywane jest więcej odpadów niż jest dostępne lokalnie. W przypadku wariantu komunalnego i równych wag wartość bezwzględna różnicy między wykorzystaniem a dostępnością pre-RDF wynosi 145 t rocznie.

*Tabela 67. Porównanie parametrów uzyskanych w wariantach 1:1:1:1:1:1, 3:1:2:3:2:1, 2:1:3:1:2:3.*

| Parametr            | Jednostka | HIOZE A                   |                       |                      | HIOZE B                   |                       |                      |
|---------------------|-----------|---------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|                     |           | Wariant<br>równych<br>wag | Wariant<br>komercyjny | Wariant<br>komunalny | Wariant<br>równych<br>wag | Wariant<br>komercyjny | Wariant<br>komunalny |
| $P_{PV+TW}$         | MW        | 4                         | 3                     | 4                    | 4                         | 3                     | 5                    |
| $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ | -         | 0,200                     | 0,533                 | 0,200                | 0,300                     | 0,533                 | 0,220                |
| $P_{BME}/P_{PV+TW}$ | -         | 0,350                     | 0,300                 | 0,350                | 0,050                     | 0,100                 | 0,040                |
| $E_{HIOZE}$         | GWh       | 12,87                     | 16,57                 | 12,87                | 14,93                     | 16,53                 | 14,75                |
| $E_{nad}$           | MWh       | 405                       | 95                    | 405                  | 332                       | 37                    | 1094                 |
| CAPEX               | mln PLN   | 49,92                     | 56,76                 | 49,92                | 43,11                     | 47,86                 | 45,22                |
| $\Delta C$          | PLN/MWh   | 33,91                     | 113,61                | 33,91                | 201,56                    | 208,98                | 175,82               |
| $E_{fCO_2}$         | t/MWh     | 0,614                     | 0,889                 | 0,614                | 0,700                     | 0,883                 | 0,599                |
| $\Delta B$          | t         | 144,7                     | 4833,8                | 144,7                | 1896,4                    | 4738,3                | 790,6                |

Podobne zależności można zaobserwować w przypadku HIOZE B. W tej konfiguracji każdy z wariantów wag przedstawionych w tabeli charakteryzuje się innymi parametrami. W efekcie pomimo faktu, że w wariantcie komunalnym moc źródeł OZE jest najwyższa (5 MW) tak generacja energii ma najmniejszą wartość (14,75 GWh). Układ wybrany w wariantcie równych wag charakteryzujący się mocą  $P_{PV+TW}$  równą 4 MW osiąga

niewiele większą generację energii elektrycznej – 14,93 GWh. Najwyższą wartość generacji jest osiągnięta przez układ z najmniejszą mocą źródeł niesterowalnych, równą 3 MW. W tym układzie produkowane jest 16,53 GWh. Wynika to z najwyższej wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  wynoszącej 0,533 względem 0,22 w wariancie komunalnym i 0,3 w wariancie równych wag. Ze względu na najmniejszą sumaryczną moc paneli PV i turbin wiatrowych najkorzystniejsza jest również wartość niewykorzystanej generacji wynosząca zaledwie 37 MWh. W wariancie równych wag jest to 405 MWh, a przy mocy  $P_{PV+TW}$  równej 5 MW 1094 MWh.

Pomimo faktu, że w wariancie „komunalnym” koszty inwestycyjne mają przypisaną najwyższą wagę, to w wariancie równych wag CAPEX jest najmniejszy. Dużo większa jest różnica między zużyciem, a dostępnością frakcji energetycznej odpadów, co jest drugim kryterium z tak wysoką wartością wagi. Najwyższe koszty inwestycyjne są w wariancie komercyjnym, który jednakże charakteryzuje się najwyższymi zyskami na jednostkę energii elektrycznej – 208,98 PLN/MWh. Jest to o ponad 7 PLN/MWh więcej niż w wariancie równych wag i o ponad 33 PLN/MWh więcej niż w wariancie „komunalnym”. Wariant „komunalny” charakteryzuje się najkorzystniejszymi wartościami parametrów środowiskowych.

Porównując ze sobą HIOZE A oraz HIOZE B można zauważyć, że drugie z nich wypada korzystniej. Znacznie wyższe są uzyskiwane w tym scenariuszu zyski, co wynika z ograniczania kupna energii z systemu elektroenergetycznego (np. w postaci kontraktów długoterminowych). Cena kupna energii elektrycznej jest wyższa niż cena sprzedaży energii z HIOZE. W efekcie wyższe zyski związane są z ograniczaniem kupna energii elektrycznej niż ze zwiększaniem jej sprzedaży. Kolejnym aspektem jest możliwość zastosowania magazynów energii o mniejszych mocach i pojemnościach. Jedynie sprzedaż energii do systemu elektroenergetycznego następuje w ramach przepisów dotyczących hybrydowych instalacji OZE. W efekcie, do spełnienia 5% udziału energii przekazywanej poprzez BME w energii przesyłanej do systemu elektroenergetycznego, nie są potrzebne tak duże baterie. Jednocześnie nie dochodzi do znaczącego wzrostu mocy agregatu silnikowego. Skutkiem jest znaczna redukcja kosztów inwestycyjnych w najkorzystniejszych rozwiązaniach, co może zwiększyć dostępność technologii. Podsumowując, z punktu widzenia inwestora rozwiązanie HIOZE B jest korzystniejsze. Natomiast należy zaznaczyć, że scenariusz B zakłada obecność zakładu przemysłowego lub klastra energii, który jest integralną częścią całego systemu. W przypadku braku takich instytucji, nie jest możliwe zastosowanie HIOZE

B. Wynika z tego, że dużą zaletą HIOZE A jest większa elastyczność pod kątem miejsca inwestycji.

## 8. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz uzyskanych wyników stwierdza się, że:

1. Potwierdzono tezę mówiącą o tym, że „Dobór wartości współczynników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  dla hybrydowej instalacji OZE [...] jest zadaniem, które należy rozwiązywać za pomocą wielokryterialnych metod podejmowania decyzji z uwzględnieniem różnych kryteriów z grupy technicznych, ekonomicznych oraz środowiskowych”. W przypadku braku zastosowania metod wielokryterialnych, dobór parametrów instalacji pod względem tylko jednego z kryteriów skutkowałby wyborem rozwiązania, w którym inne parametry oddziaływałyby negatywnie na pracę HIOZE. W efekcie jedynie analiza uwzględniająca wszystkie kluczowe aspekty pracy instalacji prowadzi do właściwego doboru parametrów, zgodnego z założeniami inwestorskimi.
2. Opracowano algorytm służący do doboru parametrów hybrydowych instalacji OZE składających się z odnawialnych źródeł niesterowalnych (wiatrowych i fotowoltaicznych), baterijnego magazynu energii oraz układu zgazowania frakcji energetycznych odpadów komunalnych zintegrowanego z agregatem silnikowym. Algorytm pozwala na wyznaczenie wszystkich układów z zadanego zakresu, które spełniają ustawowe warunki dotyczące czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej i udziału energii elektrycznej magazynu w energii przekazanej do systemu, a następnie umożliwia wybór najkorzystniejszego rozwiązania. Wybór tego rozwiązania odbywa się przy wykorzystaniu analizy wielokryterialnej. Pozwala to na jednoczesne wykorzystanie kilku kluczowych kryteriów.
3. Zaproponowany w pracy algorytm oceny jest uniwersalny i umożliwia analizę zarówno hybrydowych instalacji OZE sprzedających energię jedynie do systemu elektroenergetycznego jak i układów, których głównym zadaniem jest zasilenie odbiorcy przemysłowego w ramach linii bezpośredniej (jedynie nadwyżki energii są sprzedawane do systemu). Metodologia umożliwia również swobodny dobór wartości wag wszystkich kryteriów, dzięki czemu możliwe jest uwzględnienie potrzeb i wymagań dowolnego inwestora.
4. Wszystkie spośród sześciu wykorzystanych kryteriów decyzyjnych w istotny sposób wpływają na pracę układu i są kluczowe dla właściwego doboru

parametrów na etapie projektowania. Kryteria te w różny sposób wpływają na dobór parametrów HIOZE. Poszczególne kryteria zwiększają lub zmniejszają wartości mocy  $P_{PV+TW}$  oraz wskaźników  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . W przypadku części kryteriów oddziaływanie nie jest liniowe, a wartości wyżej wymienionych parametrów osiągają swoje minima lub maksima przy zmianie wartości wag kryteriów.

5. Układ zasilający odbiorcę przemysłowego (HIOZE B) charakteryzuje się znacznie mniejszymi wartościami wskaźnika  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  i wyższymi wartościami mocy  $P_{PV+TW}$  niż układ wykorzystywany jedynie do sprzedaży energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego (HIOZE A). Wynika to z następujących kwestii:
  - a. W HIOZE B objęta wymaganiami ustawowymi dotyczącymi hybrydowych instalacji OZE jest jedynie ta część energii elektrycznej, która jest sprzedawana do systemu elektroenergetycznego. Zatem, możliwe jest spełnienie kryterium granicznego udziału energii z BME w szerszym zakresie mocy i pojemności magazynu. Ze względu na wysokie jednostkowe koszty inwestycyjne oraz wysokie koszty energii związane z bateryjnym magazynem energii korzystne jest zmniejszanie wartości tego parametru.
  - b. W HIOZE A maksymalna możliwość odbioru energii elektrycznej z instalacji hybrydowej jest stała, a w HIOZE B zmienia się i jest najwyższa w ciągu dnia. Ze względu na fakt, że zapotrzebowanie odbiorcy przemysłowego dodatkowo koreluje z generacją w OZE, a w szczególności z generacją w źródłach PV, więcej energii elektrycznej z tego źródła może zostać wykorzystane. Zwiększa się opłacalność instalacji, a także poprawiają się wskaźniki środowiskowe.
6. Wybrane według zakładanych potrzeb inwestorów warianty rozkładu wag pokazują uniwersalność algorytmu. W wariantcie „komercyjnym” bardzo wysoka jest generacja energii elektrycznej (około 4 GWh wyższa niż w wariantcie równych wag i wariantcie „komunalnym” w HIOZE A i 2 GWh wyższa w HIOZE B). Jednocześnie wyższe niż w pozostałych wariantach są jednostkowe wartości zysku na produkcji energii elektrycznej. Efektem tego jest wysoka opłacalność biznesowa inwestycji. Wysokie wartości tych parametrów wynikają z przypisania im wyższych wag niż pozostałym kryteriom decyzyjnym.

Jednocześnie, ze względu na niewielką wartość wagi kryterium wykorzystania lokalnie dostępnych odpadów, wykorzystywane jest zdecydowanie więcej pre-RDF niż wynosi lokalna dostępność. W wariancie „komunalnym” natomiast zużycie odpadów jest bardzo zbliżone do lokalnej dostępności. Niższe niż w wariancie „komercyjnym” są również koszty inwestycyjne. Widoczna jest zatem poprawa wskaźników, którym przypisano najwyższe wartości wagi. Jednocześnie, ze względu na uwzględnienie również pozostałych kryteriów w analizie brak jest wariantów, w których którekolwiek kryterium byłoby na nieakceptowalnym poziomie. Widać to na przykład w przypadku jednostkowych zysków, które w żadnym z wybranych rozwiązań nie osiągają ujemnych wartości. Wynika z tego uniwersalność opracowanego algorytmu, który może być wykorzystany zarówno przez przedsiębiorców jak i jednostki komunalne lub partnerstwa prywatno-publiczne.

7. Wzrost wartości wagi kryterium pierwszego – generacji energii elektrycznej, powoduje, że wzrastają wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  (w HIOZE A dopiero od wartości wagi tego kryterium równej 2-krotności wag pozostałych kryteriów) i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  (w HIOZE B od wagi równej wagom pozostałych kryteriów). W przypadku HIOZE A przy wyższych wartościach wagi  $K_1$  widoczny jest spadek wartości  $P_{PV+TW}$ , a w HIOZE B można zauważyć odwrotny trend. Wzrost wartości wagi kryterium drugiego – wartości ograniczonej energii elektrycznej, skutkuje wzrostem wartości współczynnika  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i spadkiem wartości  $P_{PV+TW}$  w obu konfiguracjach HIOZE. Trend dotyczący wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  różni się między konfiguracjami. W przypadku HIOZE A wartość współczynnika maleje, a w HIOZE B rośnie wraz ze wzrostem wartości wagi  $K_2$ . Wzrost wartości wagi zysków na produkcji jednostki energii elektrycznej skutkuje spadkiem wartości  $P_{PV+TW}$  i wzrostem wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  (w HIOZE A dopiero od wartości wagi tego kryterium równej 3-krotności wag pozostałych kryteriów). Wzrost wartości wag kryterium  $K_5$  powoduje, że rosną wartości mocy źródeł niesterowalnych, a maleją wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$ . Wartości  $P_{BME}/P_{PV+TW}$  rosną w HIOZE A i maleją w HIOZE B do wagi  $K_5$  równej 2, a następnie trendy się odwracają. Trendy dotyczące zmian parametrów w funkcji wagi kryterium szóstego – domknięcia systemu odpadami, różnią się pomiędzy HIOZE A i HIOZE B. Wynika to, z faktu, że zarówno zbyt mała jak i zbyt duża wartość masy wykorzystanych odpadów nie jest korzystna.



Ze względu na fakt, że zużycie odpadów w poszczególnych rozwiązaniach obu konfiguracji HIOZE różni się od siebie znacząco, nie można znaleźć trendów łączących obie konfiguracje. W przypadku zwiększania wartości wag obu kryteriów energetycznych lub obu kryteriów środowiskowych widoczne jest, że maleje wartość  $P_{PV+TW}$  w najbardziej korzystnych rozwiązaniach ale rosną wartości  $P_{ICE}/P_{PV+TW}$  i  $P_{BME}/P_{PV+TW}$ . Odwrotny trend widoczny jest przy wzroście wartości wag obu kryteriów środowiskowych.

8. Zastosowanie sterowalnego źródła energii elektrycznej, którym jest agregat silnikowy spalający syngaz, powoduje, że możliwe jest spełnienie ustawowego wymagania dotyczącego czasu wykorzystania nawet przy niewielkim przewymiarowaniu jednostek wytwórczych względem mocy przyłączeniowej. W układach w których sumaryczna moc źródeł niesterowalnych wynosi 100% lub 150% mocy przyłączeniowej agregat silnikowy odpowiada za ponad połowę generacji w HIOZE. Przy większym przewymiarowaniu źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych udział się zmniejsza, jednakże nadal stanowi istotną część całkowitej generacji. Zwiększanie mocy agregatu silnikowego powoduje znaczny wzrost generacji energii elektrycznej w HIOZE. Aż tak duży wzrost nie jest widoczny w przypadku zwiększania mocy i pojemności BME. W efekcie, pomimo faktu, że zarówno ICE jak i BME charakteryzują się wyższymi kosztami inwestycyjnymi niż PV i TW, tak wpływ ICE na opłacalność inwestycji może być zdecydowanie pozytywny. Wpływają na to wysoki czas wykorzystania mocy zainstalowanej, sterowalność oraz zyski za przyjęcie odpadów do utylizacji. Zwiększanie generacji w ICE oddziałuje jednoznacznie negatywnie na emisję  $CO_2$ . W tym aspekcie pozytywnie może oddziaływać BME, dzięki któremu możliwe jest zwiększenie udziału OZE w generacji. W tym aspekcie najbardziej pozytywnie oddziałuje wzrost mocy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych. Należy jednak zaznaczyć, że dobór mocy silnika istotnie wpływa na drugi z parametrów środowiskowych tzn. na domknięcie systemu gospodarki odpadami.
9. Wykorzystanie instalacji zgazowania frakcji energetycznych odpadów w hybrydowych instalacjach OZE powinno być rozważane jako jedna z opcji zapewnienia stabilnej pracy takiej instalacji. Ze względu na wymaganie dotyczące wysokiej wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej zastosowanie źródeł sterowalnych jest najrozsądniejszą opcją, gdyż pozwala

zmniejszyć moc źródeł niesterowalnych, a więc ogranicza wartość energii elektrycznej, która nie może zostać przekazana do systemu elektroenergetycznego ze względu na przekroczenie mocy przyłączeniowej. Jak wykazano, wpływ takiej instalacji na opłacalność inwestycji jest korzystny. Instalacje termicznego przetwarzania odpadów są niezbędnym elementem systemu gospodarki odpadami. Według wszystkich zaprezentowanych szacunków, w Polsce nadal niezbędne jest powstanie kolejnych instalacji tego typu, aby całkowicie zagospodarować wysokokaloryczne frakcje zmieszanych odpadów komunalnych. Technologia zgazowania odpadów wydaje się być jedyną możliwą (spośród ITPO) do zastosowania w ramach hybrydowych instalacji OZE, ze względu na możliwość współpracy z elastycznym źródłem energii (agregatem silnikowym) oraz dostępności *know-how* w Polsce, która wynika z dotychczas prowadzonych badań w różnych instytucjach.

10. W dobie gwałtownego wzrostu udziału OZE w systemach elektroenergetycznych i wynikających z tego problemów z dostępem nowych źródeł do systemu elektroenergetycznego, oraz niskiej wartości czasu wykorzystania przyłączy przez istniejące elektrownie fotowoltaiczne i wiatrowe, rozwiązania takie jak *cable pooling*, czy w szczególności hybrydowe instalacje OZE, stają się kluczowym i nieodzownym elementem nowoczesnych systemów elektroenergetycznych. Jak wykazano w pracy, kombinacja źródeł niesterowalnych ze sterowalnymi i magazynami energii elektrycznej pozwala osiągnąć całkowite lub niemal całkowite wykorzystanie mocy przyłączeniowej przez cały rok. Nie jest to możliwe przy zastosowaniu pojedynczych źródeł PV lub turbin wiatrowych.

## Literatura

1. Wielgosiński, G. Jak wygląda rynek RDF w Polsce? *Magazyn Biomasa* **2024**. <https://magazynbiomasa.pl/jak-wyglada-rynek-rdf-w-polsce/> [dostęp: 07.02.2025]
2. Malik, P.; Awasthi, M.; Sinha, S. Biomass-based Gaseous Fuel for Hybrid Renewable Energy Systems: An Overview and Future Research Opportunities. *Int J Energy Res* **2021**, *45*, 3464–3494.
3. Dodo, U.A.; Ashigwuike, E.C. Techno-Economic and Environmental Analysis of Utility-Scale Hybrid Renewable Energy System Integrating Waste-to-Energy Plant to Complement an Unreliable Grid Operation. *Energ. Ecol. Environ.* **2023**, *8*, 439–456.
4. Pandiyan, P.; Sitharthan, R.; Saravanan, S.; Prabakaran, N.; Tiwari, M.R.; Chinnadurai, T.; Yuvaraj, T.; Devabalaji, K.R. A Comprehensive Review of the Prospects for Rural Electrification Using Stand-Alone and Hybrid Energy Technologies. *Sustainable energy technologies and assessments* **2022**, *52*, 102155.
5. Singh, A.; Basak, P. Conceptualization and Techno-Economic Evaluation of Microgrid Based on PV/Biomass in Indian Scenario. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *317*, 128378.
6. Aslam, Z.; Li, H.; Hammerton, J.; Andrews, G.; Ross, A.; Lovett, J.C. Increasing Access to Electricity: An Assessment of the Energy and Power Generation Potential from Biomass Waste Residues in Tanzania. *Energies* **2021**, *14*, 1793.
7. Singh, A.; Basak, P. Conceptualization and Techno-Economic Evaluation of Municipal Solid Waste Based Microgrid. *Energy* **2022**, *238*, 121711.
8. Hurtado, E.; Peñalvo-López, E.; Pérez-Navarro, Á.; Vargas, C.; Alfonso, D. Optimization of a Hybrid Renewable System for High Feasibility Application in Non-Connected Zones. *Applied Energy* **2015**, *155*, 308–314.
9. Abd El-Sattar, H.; Sultan, H.M.; Kamel, S.; Khurshaid, T.; Rahmann, C. Optimal Design of Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Biomass/Battery Energy Storage System in Abu-Monqar, Egypt. *Journal of Energy Storage* **2021**, *44*, 103336.
10. Żołądek, M.; Figaj, R.; Kafetzis, A.; Panopoulos, K. Energy-Economic Assessment of Self-Sufficient Microgrid Based on Wind Turbine, Photovoltaic Field, Wood Gasifier, Battery, and Hydrogen Energy Storage. *International Journal of Hydrogen Energy* **2024**, *52*, 728–744.
11. Perez-Navarro, A.; Alfonso, D.; Álvarez, C.; Ibáñez, F.; Sanchez, C.; Segura, I. Hybrid Biomass-Wind Power Plant for Reliable Energy Generation. *Renewable Energy* **2010**, *35*, 1436–1443.
12. Roman, J.; Wróblewski, R.; Kłojzy-Karczmarczyk, B.; Ceran, B. Energetic, Economic and Environmental (3E) Analysis of a RES-Waste Gasification Plant with Syngas Storage Cooperation. *Energies* **2023**, *16*, 2062.
13. van Leeuwen, L.B.; Cappon, H.J.; Keesman, K.J. Urban Bio-Waste as a Flexible Source of Electricity in a Fully Renewable Energy System. *Biomass and Bioenergy* **2021**, *145*, 105931.
14. Bagheri, M.; Shirzadi, N.; Bazdar, E.; Kennedy, C.A. Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy Infrastructure for Urban Sustainability: Green Vancouver. *Renewable and sustainable energy reviews* **2018**, *95*, 254–264.
15. Esfilar, R.; Bagheri, M.; Golestani, B. Technoeconomic Feasibility Review of Hybrid Waste to Energy System in the Campus: A Case Study for the University of Victoria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, *146*, 111190.
16. Tiwary, A.; Spasova, S.; Williams, I.D. A Community-Scale Hybrid Energy System Integrating Biomass for Localised Solid Waste and Renewable Energy Solution: Evaluations in UK and Bulgaria. *Renewable energy* **2019**, *139*, 960–967.

17. Baghel, N.; Manjunath, K.; Kumar, A. Assessment of Solar-Biomass Hybrid Power System for Decarbonizing and Sustainable Energy Transition for Academic Building. *Process Safety and Environmental Protection* **2024**, *187*, 1201–1212.
18. Eliasu, A.; Derkyi, N.S.A.; Gyamfi, S. Techno-Economic Analysis of Municipal Solid Waste Gasification for Electricity Generation. *International Journal of Energy Economics and Policy* **2022**, *12*, 342–348.
19. Kumar, N.; Karmakar, S.; Kumar, D.; Sarkar, A.; Zairov, R. Energy Conversion through Hybrid Renewable Energy System (HRES) from Solid Waste and Its Economic Assessment. *Waste Biomass Valor* **2024**, *15*, 6977–6995.
20. Malik, P.; Awasthi, M.; Sinha, S. A Techno-Economic Investigation of Grid Integrated Hybrid Renewable Energy Systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* **2022**, *51*, 101976.
21. Ribó-Pérez, D.; Bastida-Molina, P.; Gómez-Navarro, T.; Hurtado-Pérez, E. Hybrid Assessment for a Hybrid Microgrid: A Novel Methodology to Critically Analyse Generation Technologies for Hybrid Microgrids. *Renewable Energy* **2020**, *157*, 874–887.
22. Younas, M.; Kamal, R.; Khalid, M.S.; Qamar, A. Economic Planning for Remote Community Microgrid Containing Solar PV, Biomass Gasifier and Microhydro. In Proceedings of the 2018 Clemson University Power Systems Conference (PSC); IEEE, 2018; 1–7.
23. El-Maaroufi, A.; Daoudi, M.; Laamara, R.A. Techno-Economic Analysis of a PV/WT/Biomass off-Grid Hybrid Power System for Rural Electrification in Northern Morocco Using HOMER. *Renewable Energy* **2024**, *231*, 120904.
24. Al Afif, R.; Ayed, Y.; Maaitah, O.N. Feasibility and Optimal Sizing Analysis of Hybrid Renewable Energy Systems: A Case Study of Al-Karak, Jordan. *Renewable Energy* **2023**, *204*, 229–249.
25. Yimen, N.; Monkam, L.; Tcheukam-Toko, D.; Musa, B.; Abang, R.; Fombe, L.F.; Abbasoglu, S.; Dagbasi, M. Optimal Design and Sensitivity Analysis of Distributed Biomass-based Hybrid Renewable Energy Systems for Rural Electrification: Case Study of Different Photovoltaic/Wind/Battery-integrated Options in Babadam, Northern Cameroon. *IET Renewable Power Gen* **2022**, *16*, 2939–2956.
26. Zheng, Y.; Jenkins, B.M.; Kornbluth, K.; Træholt, C. Optimization under Uncertainty of a Biomass-Integrated Renewable Energy Microgrid with Energy Storage. *Renewable energy* **2018**, *123*, 204–217.
27. Irshad, A.S.; Zakir, M.N.; Rashad, S.S.; Lotfy, M.E.; Mikhaylov, A.; Elkholy, M.H.; Pinter, G.; Senjyu, T. Comparative Analyses and Optimizations of Hybrid Biomass and Solar Energy Systems Based upon a Variety of Biomass Technologies. *Energy Conversion and Management: X* **2024**, *23*, 100640.
28. Akinte, O.O.; Plangklang, B.; Prasartkaew, B.; Aina, T.S. Energy Storage Management of a Solar Photovoltaic–Biomass Hybrid Power System. *Energies* **2023**, *16*, 5122.
29. Tehrani, M.M.; Akhtari, M.; Kasaeian, A.; Rad, M.A.V.; Toopshekan, A.; Motlagh, M.S. Techno-Economic Investigation of a Hybrid Biomass Renewable Energy System to Achieve the Goals of SDG-17 in Deprived Areas of Iran. *Energy conversion and management* **2023**, *291*, 117319.
30. Garcia, A.Q.; Nishiumi, N.; Saito, A.; Matsumura, E.; Senda, J. Economic, Environmental and Energetic Analysis of a Distributed Generation System Composed by Waste Gasification and Photovoltaic Panels. *Energies* **2021**, *14*, 3889.
31. Roman, J.; Kłojzy-Karczmarczyk, B.; Wróblewski, R.; Ceran, B. Analysis of the Use of Waste Gasification in a Hybrid Generation System to Supply an Industrial Demand and Power Grid through Cable Pooling. *Renewable Energy* **2025**, *244*, 122721.

32. Jahangir, M.H.; Cheraghi, R. Economic and Environmental Assessment of Solar-Wind-Biomass Hybrid Renewable Energy System Supplying Rural Settlement Load. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* **2020**, *42*, 100895.
33. Zhang, K.; Zhou, B.; Wu, Q.; Cao, Y.; Liu, N.; Voropai, N.; Barakhtenko, E. Modeling and Utilization of Biomass-to-Syngas for Industrial Multi-Energy Systems. *CSEE Journal of Power and Energy Systems* **2021**, *7*, 932–942.
34. Samy, M.M.; Barakat, S. Hybrid Invasive Weed Optimization-Particle Swarm Optimization Algorithm for Biomass/PV Micro-Grid Power System. In Proceedings of the 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON); IEEE, 2019; 377–382.
35. Mukhtar, S.; Muhammad, S.; Alyousef, H.A.; Khan, W.; Shah, R.; El-Tantawy, S.A. Enviro-Economic and Optimal Hybrid Energy System: Photovoltaic–Biogas–Hydro–Battery System in Rural Areas of Pakistan. *Heliyon* **2024**, *10*, e35182.
36. Anand, A.; Maurya, R.; Kumar, P.; Chakraborty, A.; Ray, S. Equilibrium Optimizer Algorithm for Optimal Sizing of Utility-Connected Hybrid PV-Biomass Systems. In Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT); IEEE, 2023; 1–6.
37. Mishra, S.; Saini, G.; Chauhan, A.; Upadhyay, S.; Balakrishnan, D. Optimal Sizing and Assessment of Grid-Tied Hybrid Renewable Energy System for Electrification of Rural Site. *Renewable Energy Focus* **2023**, *44*, 259–276.
38. Gusain, C.; Nangia, U.; Tripathi, M.M. Optimal Sizing of Standalone Hybrid Renewable Energy System Based on Reliability Indicator: A Case Study. *Energy Conversion and Management* **2024**, *310*, 118490.
39. Parihar, A.K.S.; Sethi, V.; Banerjee, R. Sizing of Biomass Based Distributed Hybrid Power Generation Systems in India. *Renewable Energy* **2019**, *134*, 1400–1422.
40. Jasim, A.M.; Jasim, B.H.; Baiceanu, F.-C.; Neagu, B.-C. Optimized Sizing of Energy Management System for Off-Grid Hybrid Solar/Wind/Battery/Biogasifier/Diesel Microgrid System. *Mathematics* **2023**, *11*, 1248.
41. Garrido, H.; Vendeirinho, V.; Brito, M.C. Feasibility of KUDURA Hybrid Generation System in Mozambique: Sensitivity Study of the Small-Scale PV-Biomass and PV-Diesel Power Generation Hybrid System. *Renewable Energy* **2016**, *92*, 47–57.
42. Li, C.Y.; Wu, J.Y.; Dai, Y.J.; Wang, C.-H. Multi-Criteria Optimization of a Biomass Gasification-Based Combined Cooling, Heating, and Power System Integrated with an Organic Rankine Cycle in Different Climate Zones in China. *Energy Conversion and Management* **2021**, *243*, 114364.
43. Rosso-Cerón, A.M.; Kafarov, V.; Latorre-Bayona, G.; Quijano-Hurtado, R. A Novel Hybrid Approach Based on Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Tools for Assessing Sustainable Alternatives of Power Generation in San Andrés Island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2019**, *110*, 159–173.
44. Ceran, B.; Sroka, K. Wielokryterialna Analiza Współpracy Hybrydowego Systemu Wytwórczego z Systemem Elektroenergetycznym. *Polityka Energetyczna* **2016**, *19*, 37–50.
45. Żelazna, A.; Gołębiowska, J.; Zdyb, A.; Pawłowski, A. A Hybrid vs. on-Grid Photovoltaic System: Multicriteria Analysis of Environmental, Economic, and Technical Aspects in Life Cycle Perspective. *Energies* **2020**, *13*, 3978.
46. Tomczewski, A.; Mikulski, S.; Szymenderski, J. Application of the Analytic Hierarchy Process Method to Select the Final Solution for Multi-Criteria Optimization of the Structure of a Hybrid Generation System with Energy Storage. *Energies* **2024**, *17*, 6435.

47. Das, S.; Dutta, R.; De, S.; De, S. Review of Multi-Criteria Decision-Making for Sustainable Decentralized Hybrid Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2024**, *202*, 114676.
48. Siksnelyte-Butkiene, I.; Zavadskas, E.K.; Streimikiene, D. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) for the Assessment of Renewable Energy Technologies in a Household: A Review. *Energies* **2020**, *13*, 1164.
49. Das, S.; De, S.; Dutta, R.; De, S. Multi-Criteria Decision-Making for Techno-Economic and Environmentally Sustainable Decentralized Hybrid Power and Green Hydrogen Cogeneration System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2024**, *191*, 114135.
50. Wang, Y.; Shi, L.; Song, M.; Jia, M.; Li, B. Evaluating the Energy-Exergy-Economy-Environment Performance of the Biomass-Photovoltaic-Hydrogen Integrated Energy System Based on Hybrid Multi-Criterion Decision-Making Model. *Renewable Energy* **2024**, *224*, 120220.
51. Usman, M.; Jonas, D.; Frey, G. A Methodology for Multi-Criteria Assessment of Renewable Integrated Energy Supply Options and Alternative HVAC Systems in a Household. *Energy and Buildings* **2022**, *273*, 112397.
52. PSE S.A. Plan Rozwoju w Zakresie Zaspokojenia Obecnego i Przyszłego Zapotrzebowania Na Energię Elektryczną Na Lata 2025 – 2034, <https://www.pse.pl/documents/20182/55b0f905-3dd9-4e7e-b33a-78694e893928?safeargs=646f776e6c6f61643d74727565> [dostęp: 26.02.2025].
53. Maćkowiak-Pandera, J.; Gawlikowska-Fyk, A. Koniec importu surowców energetycznych z Rosji? <https://www.forum-energii.eu/koniec-importu-surowcow-energetycznych-z-rosji> [dostęp: 26.02.2025]
54. Czyżewski, D. *Europa, Rosja i Nowa Walka o Surowce Energetyczne*; Warsaw Enterprise Institute: Warszawa, **2022**;
55. Agencja Rynku Energii; Ministerstwo Klimatu i Środowiska *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej*; Agencja rynku Energii: Warszawa, **2024**;
56. Mikołajuk, H.; Zatorska, M.; Stępiak, E.; Wrońska, I.; Galewski, K. *Informacja Statystyczna o Energii Elektrycznej Listopad 2024*; Agencja Rynku Energii: Warszawa, 2024;
57. Forum Energii; Spadek produkcji energii odnawialnej w grudniu, <https://www.gramwzielone.pl/trendy/20297738/spadek-produkcji-energii-odnawialnej-w-grudniu> [dostęp: 10.02.2025].
58. Juszczak, A. Ciemna Flauta w Europie Podważa Opieranie Miksu Energetycznego Tylko Na OZE. *Tygodnik Gospodarczy PIE* **2024**, *47*, 6–7.
59. Paska, J. *Rozproszone Źródła Energii*; Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, **2017**;
60. Wawrzyniak, K.; Chmiel, T. Aspekty Ekonomiczno-Finansowe w Strategii Rozwoju Energetyki Rozproszonej w Polsce Do 2040 Roku. *Energetyka Rozproszona* **2022**, *8*, 11-21.
61. Odmowy przyłączeń do sieci pobiły w 2023 roku absolutny rekord - WysokieNapiecie.pl <https://wysokienapiecie.pl/100728-odmowy-przylaczen-do-sieci-pobily-w-2023-roku-absolutny-rekord/> [dostęp: 10.02.2025].
62. International Energy Agency *Integrating Solar and Wind. Global Experience and Emerging Challenges*; International Energy Agency, **2024**.
63. Ministerstwo Klimatu i Środowiska; SCENARIUSZ 3. DO PREKONSULTACJI AKTUALIZACJI KPEIK/PEP2040 Analiza Dla Sektora Elektroenergetycznego z Uwzględnieniem Zmiany Sytuacji Polityczno-Gospodarczej Po Inwazji Rosji Na Ukrainę **2023**. <https://www.gov.pl/attachment/37f0218e-da89-4e15-9cd0-0992549f6627> [dostęp: 26.02.2025]

64. Paska, J. Generacja Rozproszona z Wykorzystaniem Hybrydowych Układów Wytwórczych. *Energetyka* **2013**, 457–462.
65. Paska, J.; Kłos, M.; Pawlak, K.; Zagrajek, K.; Marchel, P.; Błędzińska, M.; Michalski, Ł.; Terlikowski, P. Topologie Instalacji Hybrydowych OZE Wraz Ze Strategią Kontraktowania Energii. *Przegląd Elektrotechniczny* **2019**, 95, 94-97.
66. Orłowska, A. Generacja Rozproszona a Niezawodność. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering* **2019**, 98, 19-30.
67. Adamczewski, T.; Paska, J.; Plewa, G.; Chmiel, T. *Łączenie Źródeł OZE. Potencjał Cable Pooling w Polsce*; Forum Energii, **2023**.
68. Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej; DWF; TPA Poland / Baker Tilly TPA; Polska Agencja Inwestycji i Handlu *Energetyka Wiatrowa w Polsce*; TPA Poland / Baker Tilly TPA, **2024**.
69. Presidency of the Council of Ministers *DECREE LAW No. 15/2022*; 2022; <https://diariodarepublica.pt/dr/en/detail/decree-law/15-2022-177634016> [dostęp 14.02.2025]
70. Commission for Regulation of Utilities Electricity Connection Policy – Generation and System Services 2024; [https://cruie-live-96ca64acab2247eca8a850a7e54b-5b34f62.divio-media.com/documents/CRU2024101\\_Electricity\\_Connection\\_Policy\\_Generation\\_\\_System\\_Services\\_Decision\\_Paper.pdf](https://cruie-live-96ca64acab2247eca8a850a7e54b-5b34f62.divio-media.com/documents/CRU2024101_Electricity_Connection_Policy_Generation__System_Services_Decision_Paper.pdf) [dostęp: 28.02.2025]
71. Hybridisation of Renewable Energy Generation Installations Raises Regulatory Issues in Spain Available online: <https://www.osborneclarke.com/insights/hybridisation-renewable-energy-generation-installations-raises-regulatory-issues-spain> [dostęp: 28.02.2025].
72. Kurtyka, M. Energetyka Rozproszona Jako Element Uniezależniania Polski Od Zewnętrznych Wstrząsów. *Energetyka Rozproszona* **2022**, 8, 41–47.
73. *Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii*; <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20150000478/U/D20150478Lj.pdf> [dostęp: 06.08.2024]
74. *Ustawa z Dnia 10 Kwietnia 1997 r. Prawo Energetyczne*; <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970540348/U/D19970348Lj.pdf> [dostęp: 28.02.2025]
75. Najdrowska, M. Wytyczne Prezesa URE w sprawie wątpliwości dotyczących przyłączania instalacji funkcjonujących w modelu cable pooling. *Kochański & Partners* 2024; <https://www.kochanski.pl/wytyczne-prezesa-ure-w-sprawie-watpliwosci-dotyczacych-przylaczania-instalacji-funkcjonujacych-w-modelu-cable-pooling/> [dostęp: 28.02.2025]
76. Pierwsza polska hybryda OZE z koncesją. Pokazujemy instalację z bliska; <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/pierwsza-polska-hybryda-oze-z-koncesja-pokazujemy-instalacje-z-bliska-14766.html> [dostęp 28.02.2025].
77. Stężowski, J. Polski koncern wykorzystuje cable pooling. *e-magazyny.pl* 2024. <https://e-magazyny.pl/polski-koncern-wykorzystuje-cable-pooling/> [dostęp 28.02.2025].
78. Wkrótce w Polsce ruszy projekt oparty o cable pooling; <https://www.wnp.pl/energia/wkrotce-w-polsce-ruszy-projekt-oparty-o-cable-pooling,743401.html> [dostęp 28.02.2025].
79. Fal, K.; Płońska, K.; Płoński, K.; Rabiega, A. Analiza możliwości implementacji instytucji linii bezpośredniej do instalacji OZE [https://www.er.agh.edu.pl/media/filer\\_public/64/1a/641ad513-8231-42d3-8e26-888962c49329/raport\\_analiza\\_linii\\_bezposredniej.pdf](https://www.er.agh.edu.pl/media/filer_public/64/1a/641ad513-8231-42d3-8e26-888962c49329/raport_analiza_linii_bezposredniej.pdf) [dostęp: 25.02.2025].

80. Wielgoński, G. *Termiczne przekształcanie odpadów*; Wydawnictwo Nowa Energia: Racibórz, **2020**.
81. IOS-PIB *Morfologia odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce*; IOS-PIB, **2022**.
82. Rada Ministrów Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2028 **2023**; <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WMP20230000702/O/M20230702.pdf> [dostęp 06.02.2025]
83. Sejm Ustawa z Dnia 14 Grudnia 2012 r. o Odpadach **2012**; <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20130000021/U/D20130021Lj.pdf> [dostęp 06.02.2025]
84. Nadziakiewicz, J.; Waclawiak, K.; Stelmach, S. *Procesy Termiczne Utylizacji Odpadów*; Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, **2007**.
85. IOS-PIB; NFOŚiGW *Termiczne Przekształcanie Odpadów Komunalnych w Polsce w 2022 r.*; IOS-PIB, **2022**.
86. Kłojzy-Karczmarczyk, B.; Staszczak, J. Szacowanie Masy Frakcji Energetycznych w Odpadach Komunalnych Wytwarzanych Na Obszarach o Różnym Charakterze Zabudowy. *Polityka Energetyczna* **2017**, 20, 143–154.
87. Wandrasz, J.; Wandrasz, A. *Paliwa Formowane. Biopaliwa i Paliwa z Odpadów w Procesach Termicznych*; Seidel-Przywecki: Warszawa, **2006**.
88. Hrbek, J. Status Report on Thermal Gasification of Biomass and Waste 2019. *Proceedings of the IEA Bioenergy Task*; 2022; 33, 1–125.
89. Primus, A.; Rosik-Dulewska, C. Produkcja Energii w Źródłach Kogeneracyjnych Małej Mocy z Wykorzystaniem Technologii Zgazowania Odpadów Pochodzenia Komunalnego. Uwarunkowania Prawne i Ekonomiczne. *Polityka Energetyczna* **2017**, 20, 79-92.
90. Skorek, J.; Kalina, J. *Gazowe Układy Kogeneracyjne*; Wydawnictwa Naukowo-Techniczne: Warszawa, **2005**.
91. Kardaś, D.; Kluska, J. Autotermiczny Reaktor Grawitacyjny Zgazowania Odpadów Komunalnych; Instytut Maszyn Przepływowych PAN, **2016**, [https://www.imp.gda.pl/fileadmin/doc/news/2016/15\\_wfos2/Raport.pdf](https://www.imp.gda.pl/fileadmin/doc/news/2016/15_wfos2/Raport.pdf) [dostęp 03.11.2023]
92. Molino, A.; Chianese, S.; Musmarra, D. Biomass Gasification Technology: The State of the Art Overview. *Journal of Energy Chemistry* **2016**, 25, 10–25.
93. Mishra, S.; Upadhyay, R.K. Review on Biomass Gasification: Gasifiers, Gasifying Mediums, and Operational Parameters. *Materials Science for Energy Technologies* **2021**, 4, 329–340.
94. Chmielniak, T.; Lepszy, S.; Czaja, D. *Instalacje Turbiny Gazowej w Energetyce i Przemśle*; Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, **2015**.
95. Chmielniak, T.; Skorek, J.; Kalina, J.; Lepszy, S. *Układy Energetyczne Zintegrowane Ze Zgazowaniem Biomasy*; Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, **2008**.
96. Sidek, F.N.; Samad, N.A.; Saleh, S. Review on Effects of Gasifying Agents, Temperature and Equivalence Ratio in Biomass Gasification Process. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing, **2020**; 863, 012028.
97. Tezer, Ö.; Karabağ, N.; Öngen, A.; Çolpan, C.Ö.; Ayol, A. Biomass Gasification for Sustainable Energy Production: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, 47, 15419–15433.
98. Klugmann-Radziemska, E. *Energetyka i Ochrona Środowiska: Generowanie i Magazynowanie Energii: Odpady Energetyczne: Analiza Cyklu Życia*; I.; Wydawnictwo Naukowe PWN: Warszawa, **2023**.
99. Chmielniak, T. *Technologie Energetyczne*; 2 edycja.; WN PWN: Warszawa, **2021**.



100. Jamrozik, A.; Pyrc, M.; Świącik, M.; Schab, M. Oczyszczanie i Przetwarzanie Gazu Generatorowego Ze Zgazowania Odpadów. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury/Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture* **2015**, 62, 145–156.
101. Agapova, A.; Cancian, G.; Sever, L. *Gasification. Diversification of Biomass Processing and Waste Utilisation*; European Biogas Association, **2024**;
102. All Power Labs 130KW HYBRID BIOMASS MICROGRID; [https://www.allpowerlabs.com/wpcontent/uploads/2020/10/130PPBaseContainerMicrogridOneSheetSmall10\\_28\\_20.pdf](https://www.allpowerlabs.com/wpcontent/uploads/2020/10/130PPBaseContainerMicrogridOneSheetSmall10_28_20.pdf) [dostęp: 28.07.2023].
103. Wood Gasification: Our Technology | Burkhardt Energy; <https://burkhardt-gruppe.de/en/power-engineering/heat-and-power-from-wood/wood-gas-generator/> [dostęp: 31.01.2025].
104. Overview Biomass Power Plant; <https://re2.energy/en/biomass-power-plants/overview-biomass-power-plant> [dostęp: 31.01.2025].
105. Pio, D.T.; Tarelho, L.A.C. Industrial Gasification Systems (> 3 MWth) for Bioenergy in Europe: Current Status and Future Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, 145, 111108.
106. Indrawan, N.; Kumar, A.; Moliere, M.; Sallam, K.A.; Huhnke, R.L. Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste: A Review. *Journal of the Energy Institute* **2020**, 93, 2293–2313.
107. Pawlik, M.; Strzelczyk, F. *Elektrownie*; VII edycja.; Wydawnictwo WNT, **2016**.
108. Hagos, F.Y.; Aziz, A.R.A.; Sulaiman, S.A. Trends of Syngas as a Fuel in Internal Combustion Engines. *Advances in Mechanical Engineering* **2014**, 6, 401587.
109. Przybyła, G.; Postrzednik, S.; Żmudka, Z. The Impact of Air-Fuel Mixture Composition on SI Engine Performance during Natural Gas and Producer Gas Combustion. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing, **2016**; 148, 012082.
110. Fiore, M.; Magi, V.; Viggiano, A. Internal Combustion Engines Powered by Syngas: A Review. *Applied Energy* **2020**, 276, 115415.
111. Bhaduri, S.; Berger, B.; Pochet, M.; Jeanmart, H.; Contino, F. HCCI Engine Operated with Unscrubbed Biomass Syngas. *Fuel Processing Technology* **2017**, 157, 52–58.
112. Roman, J. Koncepcja Wykorzystania Magazynu Gazu w Celu Poprawy Współpracy Pomędzy OZE a Układem Zgazowarka-Silnik Gazowy. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk* **2024**, 112, 183-191.
113. Lanagran, E.; Ortega, M.V.; Ortega, M.; Vera, D.; Jurado, F. Design of an Energy Management System Applied to an Electric Power Plant Based on a Biomass Gasifier. *Renewable Energy* **2023**, 216, 119116.
114. Sobolewski, A.; Iluk, T.; Szul, M. Gasification of SRF in a GazEla Fixed Bed Reactor. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* **2014**, 186, 799–807.
115. Kazimierski, P.; Kluska, J.; Ochnio, M.; Tiutiurski, P.; Kardaś, D. Charakterystyka Porównawcza Zgazowania Drewna Bukowego i RDF w Reaktorze Przeciwprądowym. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* **2017**, 38–40.
116. Chan, W.P.; Veksha, A.; Lei, J.; Oh, W.-D.; Dou, X.; Giannis, A.; Lisak, G.; Lim, T.-T. A Hot Syngas Purification System Integrated with Downdraft Gasification of Municipal Solid Waste. *Applied Energy* **2019**, 237, 227–240.
117. Saravanakumar, A.; Chen, W.-H.; Arunachalam, K.D.; Park, Y.-K.; Ong, H.C. Pilot-Scale Study on Downdraft Gasification of Municipal Solid Waste with Mass and Energy Balance Analysis. *Fuel* **2022**, 315, 123287.

118. Barontini, F.; Frigo, S.; Gabbrielli, R.; Sica, P. Co-Gasification of Woody Biomass with Organic and Waste Matrices in a down-Draft Gasifier: An Experimental and Modeling Approach. *Energy Conversion and management* **2021**, *245*, 114566.
119. Jančauskas, A.; Striūgas, N.; Zakarauskas, K.; Skvorčinskienė, R.; Eimontas, J.; Buinevičius, K. Experimental Investigation of Sorted Municipal Solid Wastes Producer Gas Composition in an Updraft Fixed Bed Gasifier. *Energy* **2024**, *289*, 130063.
120. Vonk, G.; Piriou, B.; Dos Santos, P.F.; Wolbert, D.; Vaitilingom, G. Comparative Analysis of Wood and Solid Recovered Fuels Gasification in a Downdraft Fixed Bed Reactor. *Waste Management* **2019**, *85*, 106–120.
121. Waldheim, L. *Gasification of Waste Forenergy Carriers: A Review*; IEA Bioenergy, 2018;
122. Wood, S.; Fanning, M.; Venn, M.; Whiting, K. *Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies. Stage Two - Case Studies*; WSP Environmental Limited: London, **2013**.
123. Mitsubishi Heavy Industries | Mitsubishi MSW Gasification & Ash Melting System : Gasification Process; [https://www.mhi.com/products/environment/pyrolysis\\_gasification\\_melting\\_gasification.html](https://www.mhi.com/products/environment/pyrolysis_gasification_melting_gasification.html) [dostęp: 03.02.2025].
124. INVESTEKO S.A. *Energia z Odpadów Jako Ekologiczna Wizja Przyszłości*; INVESTEKO S.A.: Świętochłowice, **2018**.
125. Mobile Waste Gasification Station | Mini Waste to Energy Plant; <https://gasificationplant.com/waste-to-energy/mobile-waste-to-energy-plant/> [dostęp: 03.02.2025].
126. Nikodem, W. Zgazowanie Odpadów Komunalnych. *Polityka energetyczna* **2007**, *10*, 305–316.
127. Ściążko, M.; Nowak, W. Technologie Zgazowania Odpadów Komunalnych. *Nowa Energia* **2017**, *1*, 22-26.
128. Aguado, R.; Escámez, A.; Jurado, F.; Vera, D. Experimental Assessment of a Pilot-Scale Gasification Plant Fueled with Olive Pomace Pellets for Combined Power, Heat and Biochar Production. *Fuel* **2023**, *344*, 128127.
129. Mazhkoo, S.; Dadfar, H.; HajiHashemi, M.; Pourali, O. A Comprehensive Experimental and Modeling Investigation of Walnut Shell Gasification Process in a Pilot-Scale Downdraft Gasifier Integrated with an Internal Combustion Engine. *Energy Conversion and Management* **2021**, *231*, 113836.
130. Soares, J.; Oliveira, A.C. Experimental Assessment of Pine Wood Chips Gasification at Steady and Part-Load Performance. *Biomass and Bioenergy* **2020**, *139*, 105625.
131. Kardaś, D.; Kluska, J.; Kazimierski, P.; Heda, Ł. Kontenerowa Instalacja Zgazowania Odpadów Komunalnych w Nowym Dworze. *Nowa Energia* **2017**, *2*, 16-20.
132. Jodkowski, W.; Sitka, A.; Szumiło, B. Zgazowanie Frakcji Nadsitowej Odpadów Komunalnych z Wytwarzaniem Energii Ciepłej. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* **2014**, *16*, 45-52.
133. Enea Operator Standardowe profile zużycia energii na 2021 rok; [https://www.operator.enea.pl/uploads-ev2/Operator/us%C5%82ugidystrybucyjne/iriesd/zalacznik\\_4\\_iriesd\\_profile\\_2021.xlsx](https://www.operator.enea.pl/uploads-ev2/Operator/us%C5%82ugidystrybucyjne/iriesd/zalacznik_4_iriesd_profile_2021.xlsx) [dostęp: 07.03.2024]
134. GUS Zmieszane Odpady Zebrane w Ciągu Roku; <https://bdł.stat.gov.pl/bdł/dane/podgrup/tablica> [dostęp: 02.04.2025]
135. Steag Energy Services GmbH EBSILON Professional Documentation 2024; [https://help.ebsilon.com/EN/EBSILON\\_Professional\\_Documentation.html](https://help.ebsilon.com/EN/EBSILON_Professional_Documentation.html) [dostęp: 10.20.2025]

136. Canabal, A.I.; Castineiras, J.P.; Anón, J.A.R.; Fraga, C.E.; Soalleiro, R.R. Elemental Composition of Raw and Torrefied Pellets Made from Pine and Pine-Eucalyptus Blends. *Biomass and Bioenergy* **2023**, *177*, 106951.
137. Lourinho, G.; Alves, O.; Garcia, B.; Rijo, B.; Brito, P.; Nobre, C. Costs of Gasification Technologies for Energy and Fuel Production: Overview, Analysis, and Numerical Estimation. *Recycling* **2023**, *8*, 49.
138. Stapf, D.; Seifert, H.; Wexler, M. Thermochemical Processes for Feedstock Recycling of Waste. **2018**.
139. IRENA *Renewable Power Generation Costs in 2022*; International Renewable Energy Agency: Abu Dhab, **2023**.
140. NREL Commercial Battery Storage 2024; [https://atb.nrel.gov/electricity/2024/commercial\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2024/commercial_battery_storage) [dostęp: 01.08.2024]
141. Islam, M.S.; Akhter, R.; Rahman, M.A. A Thorough Investigation on Hybrid Application of Biomass Gasifier and PV Resources to Meet Energy Needs for a Northern Rural Off-Grid Region of Bangladesh: A Potential Solution to Replicate in Rural off-Grid Areas or Not? *Energy* **2018**, *145*, 338–355.
142. Porcu, A.; Sollai, S.; Marotto, D.; Mureddu, M.; Ferrara, F.; Pettinau, A. Techno-Economic Analysis of a Small-Scale Biomass-to-Energy BFB Gasification-Based System. *Energies* **2019**, *12*, 494.
143. Mustafa, A.; Calay, R.K.; Mustafa, M.Y. A Techno-Economic Study of a Biomass Gasification Plant for the Production of Transport Biofuel for Small Communities. *Energy Procedia* **2017**, *112*, 529–536.
144. Indrawan, N.; Simkins, B.; Kumar, A.; Huhnke, R.L. Economics of Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste. *Energies* **2020**, *13*, 3703.
145. energy.instrat.pl Ceny Prądu Na Następny Rok Oraz Inne Produkty Na Rynku Terminowym; <https://energy.instrat.pl/wiecej-danych/> [dostęp:05.06.2025]
146. Rozliczeniowa cena uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>; PSE SA, 2024; <https://raporty.pse.pl/?report=RCCO2&state=Funkcjonowanie%20KSE,Raporty%20dobowe%20z%20funkcjonowania%20KSE,Funkcjonowanie%20RB,Parametry%20Kwartalne%20RB,Raporty%20dobowe%20z%20funkcjonowania%20RB,Podstawowe%20wska%C5%BAAniki%20cenowe%20i%20kosztowe&date=2024-07-28&type=table> [dostęp: 23.07.2024]
147. Energia nie tylko na kryzys; <https://bww-kancelaria.pl/energia-nie-tylko-na-kryzys/> [dostęp:15.07.2025]
148. Filipowicz-Chomko, M. Wpływ Doboru Technik Normalizacji Kryteriów Decyzyjnych Na Stabilność Rankingów Uzyskanych Algorytmem TOPSIS. *Modelowanie i przetwarzanie informacji w warunkach niepewności* **2021**, 7–31.
149. Kacprzak, D. Przedziałowa Metoda TOPSIS Dla Grupowego Podejmowania Decyzji. *Optimum. Economic Studies* **2018**, *94*, 256–273.
150. Behzadian, M.; Otaghsara, S.K.; Yazdani, M.; Ignatius, J. A State-of the-Art Survey of TOPSIS Applications. *Expert Systems with applications* **2012**, *39*, 13051–13069.
151. Kaya, İ.; Çolak, M.; Terzi, F. Use of MCDM Techniques for Energy Policy and Decision-Making Problems: A Review. *Int J Energy Res* **2018**, *42*, 2344–2372, doi:10.1002/er.4016.
152. Kumar, A.; Sah, B.; Singh, A.R.; Deng, Y.; He, X.; Kumar, P.; Bansal, R.C. A Review of Multi Criteria Decision Making (MCDM) towards Sustainable Renewable Energy Development. *Renewable and sustainable energy reviews* **2017**, *69*, 596–609.

153. Siksnyte, I.; Zavadskas, E.K.; Streimikiene, D.; Sharma, D. An Overview of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Dealing with Sustainable Energy Development Issues. *Energies* **2018**, *11*, 2754.
154. Chakraborty, S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A Comparative Analysis. *Decision Analytics Journal* **2022**, *2*, 100021.

## Załącznik A1

Tab. A1.1. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 3 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 3100             | 3107 | 3112 | 3117 | 3121 | 3125 | 3128 | 3131 | 3134 | 3136 | 3139 | 3141 | 3143 | 3145 | 3147 | 3149 | 3150 | 3151 | 3152 | 3153 |
|                      | 0,2 | 3518             | 3526 | 3533 | 3539 | 3544 | 3549 | 3553 | 3557 | 3560 | 3563 | 3566 | 3569 | 3571 | 3574 | 3576 | 3578 | 3581 | 3582 | 3584 | 3586 |
|                      | 0,3 | 3930             | 3941 | 3950 | 3957 | 3963 | 3969 | 3974 | 3979 | 3983 | 3987 | 3991 | 3994 | 3997 | 4000 | 4003 | 4006 | 4008 | 4011 | 4013 | 4015 |
|                      | 0,4 | 4337             | 4350 | 4361 | 4370 | 4377 | 4384 | 4390 | 4396 | 4401 | 4406 | 4411 | 4415 | 4419 | 4423 | 4426 | 4430 | 4433 | 4436 | 4438 | 4441 |
|                      | 0,5 | 4733             | 4749 | 4762 | 4773 | 4782 | 4791 | 4799 | 4806 | 4812 | 4818 | 4824 | 4829 | 4834 | 4839 | 4843 | 4848 | 4852 | 4856 | 4860 | 4863 |
|                      | 0,6 | 5113             | 5133 | 5149 | 5161 | 5173 | 5184 | 5193 | 5202 | 5210 | 5218 | 5225 | 5232 | 5238 | 5244 | 5250 | 5255 | 5260 | 5265 | 5270 | 5274 |
|                      | 0,7 | 5475             | 5502 | 5520 | 5535 | 5549 | 5561 | 5573 | 5584 | 5594 | 5604 | 5613 | 5622 | 5630 | 5638 | 5646 | 5653 | 5660 | 5666 | 5672 | 5677 |
|                      | 0,8 | 5820             | 5855 | 5877 | 5896 | 5911 | 5926 | 5939 | 5951 | 5963 | 5975 | 5986 | 5997 | 6007 | 6017 | 6027 | 6035 | 6044 | 6052 | 6059 | 6066 |
|                      | 0,9 | 6151             | 6194 | 6221 | 6244 | 6262 | 6278 | 6293 | 6308 | 6322 | 6335 | 6347 | 6360 | 6372 | 6383 | 6394 | 6407 | 6419 | 6430 | 6441 | 6451 |
|                      | 1,0 | 6464             | 6517 | 6548 | 6574 | 6596 | 6615 | 6632 | 6648 | 6664 | 6679 | 6694 | 6708 | 6721 | 6734 | 6746 | 6757 | 6767 | 6777 | 6786 | 6795 |
|                      | 1,1 | 6741             | 6809 | 6851 | 6883 | 6913 | 6937 | 6956 | 6974 | 6991 | 7007 | 7022 | 7036 | 7049 | 7061 | 7072 | 7082 | 7091 | 7100 | 7108 | 7116 |
|                      | 1,2 | 7016             | 7094 | 7144 | 7180 | 7214 | 7242 | 7263 | 7279 | 7294 | 7307 | 7319 | 7330 | 7340 | 7350 | 7359 | 7367 | 7375 | 7382 | 7389 | 7395 |
|                      | 1,3 | 7253             | 7358 | 7420 | 7460 | 7497 | 7536 | 7570 | 7601 | 7628 | 7654 | 7679 | 7703 | 7727 | 7750 | 7771 | 7791 | 7810 | 7828 | 7845 | 7861 |
|                      | 1,4 | 7488             | 7606 | 7678 | 7724 | 7763 | 7802 | 7838 | 7871 | 7901 | 7928 | 7954 | 7979 | 8003 | 8026 | 8048 | 8069 | 8089 | 8108 | 8126 | 8143 |
|                      | 1,5 | 7697             | 7812 | 7911 | 7965 | 8015 | 8062 | 8107 | 8150 | 8191 | 8230 | 8267 | 8303 | 8338 | 8372 | 8405 | 8437 | 8468 | 8498 | 8527 | 8555 |
|                      | 1,6 | 7889             | 8006 | 8116 | 8181 | 8242 | 8300 | 8356 | 8410 | 8462 | 8513 | 8562 | 8610 | 8656 | 8701 | 8745 | 8788 | 8830 | 8871 | 8911 | 8950 |
|                      | 1,7 | 8051             | 8175 | 8280 | 8368 | 8450 | 8528 | 8603 | 8676 | 8747 | 8816 | 8883 | 8949 | 9013 | 9076 | 9137 | 9197 | 9256 | 9314 | 9371 | 9427 |
|                      | 1,8 | 8182             | 8312 | 8417 | 8516 | 8615 | 8703 | 8772 | 8839 | 8904 | 8967 | 9028 | 9088 | 9146 | 9203 | 9259 | 9314 | 9368 | 9421 | 9473 | 9524 |
|                      | 1,9 | 8272             | 8399 | 8506 | 8594 | 8672 | 8750 | 8818 | 8884 | 8948 | 9010 | 9070 | 9129 | 9186 | 9242 | 9297 | 9351 | 9404 | 9456 | 9507 | 9557 |
|                      | 2,0 | 8279             | 8396 | 8499 | 8579 | 8651 | 8715 | 8778 | 8839 | 8898 | 8955 | 9010 | 9064 | 9117 | 9169 | 9220 | 9270 | 9319 | 9367 | 9414 | 9460 |

Tabela A1.2. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 3 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0,3              | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 |
|                      | 0,2 | 0,3              | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,2 |
|                      | 0,3 | 0,3              | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 |
|                      | 0,4 | 0,4              | 0,6 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 |
|                      | 0,5 | 0,4              | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 |
|                      | 0,6 | 0,5              | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 |
|                      | 0,7 | 0,6              | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,8 |
|                      | 0,8 | 0,6              | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,3 |
|                      | 0,9 | 0,6              | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 3,9 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 1,0 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 |
|                      | 1,1 | 0,7              | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,6 |
|                      | 1,2 | 0,8              | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 5,8 | 6,0 |
|                      | 1,3 | 0,8              | 1,5 | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,3 |
|                      | 1,4 | 0,8              | 1,6 | 2,2 | 2,8 | 3,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 |
|                      | 1,5 | 0,8              | 1,6 | 2,3 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,2 | 6,4 | 6,7 |
|                      | 1,6 | 0,8              | 1,6 | 2,3 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,8 | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,4 | 6,5 | 6,6 |
|                      | 1,7 | 0,8              | 1,6 | 2,3 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,2 |
|                      | 1,8 | 0,8              | 1,5 | 2,2 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,5 |
|                      | 1,9 | 0,8              | 1,5 | 2,1 | 2,7 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 2,0 | 0,5              | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,6 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |

Tab. A1.3. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 4 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 3774             | 3791 | 3805 | 3819 | 3831 | 3842 | 3853 | 3863 | 3872 | 3880 | 3889 | 3897 | 3904 | 3911 | 3917 | 3923 | 3929 | 3935 | 3940 | 3945 |
|                      | 0,2 | 4145             | 4165 | 4181 | 4196 | 4210 | 4222 | 4235 | 4246 | 4257 | 4267 | 4277 | 4286 | 4294 | 4303 | 4311 | 4319 | 4326 | 4333 | 4340 | 4346 |
|                      | 0,3 | 4505             | 4528 | 4547 | 4563 | 4578 | 4592 | 4605 | 4618 | 4630 | 4642 | 4653 | 4664 | 4675 | 4684 | 4694 | 4703 | 4712 | 4721 | 4729 | 4737 |
|                      | 0,4 | 4854             | 4881 | 4902 | 4920 | 4937 | 4952 | 4967 | 4981 | 4994 | 5007 | 5019 | 5031 | 5043 | 5054 | 5065 | 5076 | 5086 | 5096 | 5106 | 5115 |
|                      | 0,5 | 5192             | 5223 | 5247 | 5268 | 5286 | 5303 | 5319 | 5335 | 5350 | 5364 | 5378 | 5391 | 5403 | 5416 | 5428 | 5440 | 5452 | 5463 | 5474 | 5484 |
|                      | 0,6 | 5517             | 5555 | 5582 | 5604 | 5624 | 5643 | 5661 | 5678 | 5694 | 5709 | 5725 | 5739 | 5754 | 5768 | 5777 | 5794 | 5806 | 5819 | 5831 | 5843 |
|                      | 0,7 | 5832             | 5876 | 5905 | 5929 | 5951 | 5971 | 5990 | 6009 | 6026 | 6044 | 6060 | 6074 | 6094 | 6107 | 6122 | 6137 | 6151 | 6164 | 6177 | 6190 |
|                      | 0,8 | 6133             | 6186 | 6217 | 6244 | 6267 | 6289 | 6310 | 6329 | 6348 | 6366 | 6383 | 6398 | 6415 | 6435 | 6452 | 6467 | 6483 | 6498 | 6512 | 6526 |
|                      | 0,9 | 6422             | 6485 | 6519 | 6547 | 6572 | 6595 | 6616 | 6637 | 6657 | 6676 | 6693 | 6710 | 6728 | 6745 | 6761 | 6777 | 6794 | 6810 | 6826 | 6841 |
|                      | 1,0 | 6699             | 6769 | 6809 | 6839 | 6867 | 6890 | 6911 | 6933 | 6952 | 6969 | 6986 | 7003 | 7020 | 7037 | 7053 | 7069 | 7085 | 7101 | 7117 | 7133 |
|                      | 1,1 | 6963             | 7041 | 7087 | 7119 | 7148 | 7173 | 7196 | 7219 | 7241 | 7262 | 7282 | 7301 | 7320 | 7338 | 7356 | 7373 | 7390 | 7407 | 7423 | 7440 |
|                      | 1,2 | 7212             | 7297 | 7353 | 7386 | 7417 | 7444 | 7470 | 7495 | 7519 | 7542 | 7564 | 7586 | 7607 | 7628 | 7648 | 7668 | 7687 | 7706 | 7725 | 7743 |
|                      | 1,3 | 7442             | 7537 | 7601 | 7638 | 7670 | 7699 | 7727 | 7754 | 7780 | 7806 | 7831 | 7856 | 7880 | 7904 | 7928 | 7951 | 7974 | 7997 | 8020 | 8043 |
|                      | 1,4 | 7658             | 7757 | 7828 | 7869 | 7903 | 7936 | 7968 | 7999 | 8029 | 8058 | 8086 | 8114 | 8141 | 8168 | 8194 | 8220 | 8246 | 8271 | 8297 | 8322 |
|                      | 1,5 | 7853             | 7958 | 8036 | 8083 | 8117 | 8149 | 8180 | 8210 | 8239 | 8267 | 8294 | 8321 | 8347 | 8373 | 8398 | 8423 | 8448 | 8473 | 8498 | 8523 |
|                      | 1,6 | 8026             | 8136 | 8222 | 8277 | 8303 | 8328 | 8352 | 8376 | 8399 | 8422 | 8445 | 8467 | 8489 | 8511 | 8532 | 8553 | 8574 | 8595 | 8616 | 8637 |
|                      | 1,7 | 8176             | 8291 | 8381 | 8442 | 8472 | 8496 | 8519 | 8541 | 8563 | 8584 | 8605 | 8626 | 8646 | 8666 | 8686 | 8706 | 8726 | 8746 | 8766 | 8786 |
|                      | 1,8 | 8297             | 8413 | 8507 | 8575 | 8599 | 8621 | 8643 | 8664 | 8685 | 8706 | 8726 | 8746 | 8766 | 8786 | 8806 | 8826 | 8846 | 8866 | 8886 | 8906 |
|                      | 1,9 | 8374             | 8491 | 8588 | 8654 | 8687 | 8710 | 8731 | 8752 | 8772 | 8792 | 8812 | 8832 | 8852 | 8872 | 8892 | 8912 | 8932 | 8952 | 8972 | 8992 |
|                      | 2,0 | 8385             | 8492 | 8581 | 8647 | 8681 | 8704 | 8725 | 8746 | 8766 | 8786 | 8806 | 8826 | 8846 | 8866 | 8886 | 8906 | 8926 | 8946 | 8966 | 8986 |

Tabela A1.4. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 4 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0,6              | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,0 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,9 |
|                      | 0,2 | 0,6              | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,7 | 4,9 | 5,0 | 5,2 |
|                      | 0,3 | 0,6              | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,4 |
|                      | 0,4 | 0,6              | 1,1 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,5 | 4,7 | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,6 |
|                      | 0,5 | 0,7              | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,7 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,8 |
|                      | 0,6 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,6 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 |     |
|                      | 0,7 | 0,7              | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,6 | 5,8 | 5,9 | 6,1 |
|                      | 0,8 | 0,7              | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,3 |
|                      | 0,9 | 0,8              | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,2 |
|                      | 1,0 | 0,8              | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,5 |
|                      | 1,1 | 0,8              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,3 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,4 | 6,6 |
|                      | 1,2 | 0,8              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,3 | 6,5 | 6,7 |
|                      | 1,3 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,4 | 6,6 |
|                      | 1,4 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,4 | 6,6 |
|                      | 1,5 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 3,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,1 | 6,3 | 6,5 |
|                      | 1,6 | 0,9              | 1,6 | 2,3 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,2 |
|                      | 1,7 | 0,9              | 1,6 | 2,3 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 5,6 |
|                      | 1,8 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 1,9 | 0,9              | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 2,0 | 0,6              | 1,1 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |

Tab. A1.5. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 5 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 4219             | 4245 | 4269 | 4290 | 4310 | 4328 | 4345 | 4361 | 4377 | 4392 | 4407 | 4420 | 4434 | 4447 | 4460 | 4472 | 4485 | 4497 | 4509 | 4521 |
|                      | 0,2 | 4554             | 4581 | 4606 | 4629 | 4650 | 4670 | 4688 | 4706 | 4722 | 4739 | 4754 | 4769 | 4784 | 4799 | 4813 | 4827 | 4840 | 4853 | 4865 | 4878 |
|                      | 0,3 | 4879             | 4909 | 4934 | 4958 | 4980 | 5001 | 5021 | 5039 | 5057 | 5075 | 5092 | 5108 | 5124 | 5140 | 5155 | 5170 | 5184 | 5198 | 5212 | 5226 |
|                      | 0,4 | 5197             | 5227 | 5254 | 5279 | 5302 | 5324 | 5345 | 5365 | 5384 | 5403 | 5421 | 5438 | 5456 | 5472 | 5489 | 5505 | 5521 | 5536 | 5551 | 5566 |
|                      | 0,5 | 5505             | 5539 | 5566 | 5592 | 5616 | 5639 | 5661 | 5682 | 5703 | 5722 | 5355 | 5722 | 5778 | 5795 | 5813 | 5830 | 5847 | 5863 | 5879 | 5895 |
|                      | 0,6 | 5804             | 5841 | 5871 | 5897 | 5922 | 5945 | 5968 | 5990 | 6011 | 6032 | 5579 | 5962 | 6090 | 6108 | 6127 | 6145 | 6162 | 6180 | 6197 | 6214 |
|                      | 0,7 | 6094             | 6135 | 6166 | 6193 | 6218 | 6242 | 6265 | 6288 | 6309 | 6357 | 5760 | 6162 | 6392 | 6412 | 6431 | 6451 | 6470 | 6488 | 6506 | 6524 |
|                      | 0,8 | 6371             | 6420 | 6452 | 6481 | 6506 | 6531 | 6554 | 6577 | 6599 | 5580 | 5992 | 6405 | 6684 | 6705 | 6726 | 6746 | 6767 | 6786 | 6806 | 6824 |
|                      | 0,9 | 6638             | 6693 | 6729 | 6758 | 6785 | 6809 | 6833 | 6857 | 5395 | 5832 | 6259 | 6683 | 6967 | 6988 | 7009 | 7031 | 7051 | 7072 | 7092 | 7113 |
|                      | 1,0 | 6894             | 6955 | 6994 | 7026 | 7054 | 7079 | 7103 | 7126 | 5627 | 6068 | 6509 | 6957 | 7240 | 7262 | 7283 | 7304 | 7325 | 7345 | 7365 | 7385 |
|                      | 1,1 | 7138             | 7204 | 7247 | 7281 | 7310 | 7337 | 7361 | 5427 | 5875 | 6320 | 6768 | 7210 | 7499 | 7521 | 7543 | 7564 | 7585 | 7605 | 7625 | 7644 |
|                      | 1,2 | 7367             | 7440 | 7488 | 7521 | 7552 | 7580 | 7605 | 5654 | 6117 | 6562 | 7005 | 7436 | 7744 | 7765 | 7786 | 7807 | 7827 | 7846 | 7866 | 7885 |
|                      | 1,3 | 7577             | 7659 | 7712 | 7747 | 7779 | 7808 | 5429 | 5888 | 6342 | 6790 | 7225 | 7643 | 7971 | 7992 | 8012 | 8032 | 8052 | 8071 | 8090 | 8108 |
|                      | 1,4 | 7774             | 7862 | 7920 | 7957 | 7990 | 8021 | 5701 | 6161 | 6588 | 7016 | 7425 | 7819 | 8181 | 8200 | 8220 | 8238 | 8257 | 8275 | 8293 | 8310 |
|                      | 1,5 | 7953             | 8046 | 8112 | 8153 | 8185 | 5387 | 5940 | 6407 | 6793 | 7180 | 7553 | 7916 | 8262 | 8387 | 8405 | 8423 | 8440 | 8456 | 8472 | 8487 |
|                      | 1,6 | 8114             | 8212 | 8284 | 8328 | 8361 | 5554 | 6119 | 6576 | 6943 | 7296 | 7628 | 7947 | 8257 | 8543 | 8565 | 8579 | 8592 | 8605 | 8617 | 8627 |
|                      | 1,7 | 8250             | 8354 | 8430 | 8479 | 8510 | 5679 | 6256 | 6706 | 7059 | 7342 | 7595 | 7825 | 8035 | 8233 | 8402 | 8556 | 8702 | 8709 | 8715 | 8720 |
|                      | 1,8 | 8356             | 8467 | 8546 | 8599 | 8629 | 5642 | 6189 | 6597 | 6876 | 7061 | 7196 | 7301 | 7383 | 7448 | 7501 | 7532 | 7549 | 7570 | 7587 | 7599 |
|                      | 1,9 | 8429             | 8541 | 8619 | 8670 | 8694 | 8713 | 5577 | 5887 | 6073 | 6156 | 6184 | 6197 | 6201 | 6213 | 6218 | 6222 | 6229 | 6231 | 6237 | 6239 |
|                      | 2,0 | 8440             | 8540 | 8617 | 8665 | 8688 | 8704 | 8722 | 8737 | 8749 | 8757 | 5288 | 5302 | 5314 | 5324 | 5329 | 5332 | 5339 | 5347 | 5353 | 5358 |

Tabela A1.6. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 5 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0,7              | 1,3 | 1,8 | 2,3 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 3,9 | 4,3 | 4,6 | 4,9 | 5,2 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,3 | 6,6 | 6,8 | 7,1 | 7,3 |
|                      | 0,2 | 0,7              | 1,3 | 1,8 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 3,9 | 4,2 | 4,5 | 4,9 | 5,2 | 5,5 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,5 | 6,8 | 7,0 | 7,3 |
|                      | 0,3 | 0,7              | 1,2 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 3,4 | 3,8 | 4,1 | 4,5 | 4,8 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,2 | 6,5 | 6,7 | 7,0 | 7,2 |
|                      | 0,4 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 4,1 | 4,4 | 4,7 | 5,0 | 5,3 | 5,6 | 5,9 | 6,2 | 6,4 | 6,7 | 6,9 | 7,2 |
|                      | 0,5 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 4,0 | 4,4 | 5,0 | 5,0 | 5,3 | 5,5 | 5,8 | 6,1 | 6,4 | 6,6 | 6,9 | 7,1 |
|                      | 0,6 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 3,6 | 4,0 | 4,3 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,3 | 6,6 | 6,8 | 7,1 |
|                      | 0,7 | 0,7              | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,5 | 6,8 | 7,0 |
|                      | 0,8 | 0,7              | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,2 | 6,5 | 6,8 | 7,0 |
|                      | 0,9 | 0,8              | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,3 | 3,6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,2 | 6,5 | 6,7 | 7,0 |
|                      | 1,0 | 0,8              | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,2 | 6,4 | 6,7 | 6,9 |
|                      | 1,1 | 0,8              | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 3,4 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,4 | 6,6 | 6,8 |
|                      | 1,2 | 0,8              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,6 | 5,8 | 6,1 | 6,3 | 6,5 | 6,7 |
|                      | 1,3 | 0,9              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 6,0 | 6,2 | 6,4 | 6,6 |
|                      | 1,4 | 0,9              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,4 |
|                      | 1,5 | 0,9              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,2 |
|                      | 1,6 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,7 | 5,8 |
|                      | 1,7 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,1 | 5,2 |
|                      | 1,8 | 0,9              | 1,6 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 1,9 | 0,9              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 2,0 | 0,6              | 1,1 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |

Tab. A1.7. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 6 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 4545             | 4575 | 4602 | 4628 | 4652 | 4676 | 4698 | 4719 | 4739 | 4759 | 4778 | 4797 | 4815 | 4833 | 4850 | 4868 | 4885 | 4901 | 4917 | 4933 |
|                      | 0,2 | 4855             | 4886 | 4914 | 4940 | 4965 | 4989 | 5012 | 5034 | 5055 | 5076 | 5096 | 5115 | 5134 | 5153 | 5171 | 5189 | 5207 | 5224 | 5241 | 5258 |
|                      | 0,3 | 5158             | 5190 | 5218 | 5245 | 5271 | 5295 | 5318 | 5341 | 5363 | 5384 | 5405 | 5426 | 5446 | 5465 | 5484 | 5502 | 5520 | 5538 | 5556 | 5574 |
|                      | 0,4 | 5454             | 5487 | 5516 | 5543 | 5569 | 5594 | 5618 | 5641 | 5663 | 5691 | 5706 | 5727 | 5747 | 5767 | 5787 | 5807 | 5826 | 5846 | 5865 | 5883 |
|                      | 0,5 | 5741             | 5776 | 5806 | 5834 | 5860 | 5885 | 5909 | 5933 | 5955 | 5981 | 6002 | 6020 | 6041 | 6061 | 6082 | 6103 | 6124 | 6144 | 6164 | 6184 |
|                      | 0,6 | 6020             | 6058 | 6089 | 6117 | 6144 | 6169 | 6194 | 6217 | 6241 | 6264 | 6286 | 6307 | 6328 | 6349 | 6371 | 6392 | 6413 | 6434 | 6455 | 6475 |
|                      | 0,7 | 6288             | 6331 | 6364 | 6393 | 6420 | 6445 | 6470 | 6494 | 6518 | 6541 | 6563 | 6584 | 6605 | 6626 | 6647 | 6668 | 6689 | 6710 | 6731 | 6752 |
|                      | 0,8 | 6547             | 6596 | 6630 | 6660 | 6688 | 6714 | 6739 | 6763 | 6785 | 6806 | 6827 | 6847 | 6867 | 6887 | 6907 | 6927 | 6947 | 6967 | 6987 | 7007 |
|                      | 0,9 | 6794             | 6848 | 6886 | 6917 | 6946 | 6972 | 6997 | 7021 | 7044 | 7067 | 7089 | 7111 | 7132 | 7153 | 7174 | 7194 | 7215 | 7235 | 7255 | 7275 |
|                      | 1,0 | 7031             | 7090 | 7130 | 7163 | 7192 | 7219 | 7244 | 7267 | 7289 | 7311 | 7332 | 7353 | 7374 | 7394 | 7415 | 7435 | 7455 | 7475 | 7495 | 7515 |
|                      | 1,1 | 7257             | 7320 | 7364 | 7398 | 7428 | 7454 | 7479 | 7503 | 7526 | 7548 | 7570 | 7591 | 7612 | 7632 | 7652 | 7672 | 7692 | 7712 | 7732 | 7752 |
|                      | 1,2 | 7468             | 7537 | 7584 | 7619 | 7650 | 7678 | 7703 | 7726 | 7748 | 7770 | 7791 | 7812 | 7832 | 7852 | 7872 | 7892 | 7912 | 7932 | 7952 | 7972 |
|                      | 1,3 | 7664             | 7741 | 7792 | 7828 | 7860 | 7889 | 7917 | 7944 | 7970 | 7995 | 8020 | 8044 | 8067 | 8090 | 8112 | 8134 | 8155 | 8176 | 8196 | 8216 |
|                      | 1,4 | 7845             | 7930 | 7986 | 8024 | 8056 | 8086 | 8114 | 8141 | 8167 | 8192 | 8216 | 8239 | 8261 | 8283 | 8304 | 8325 | 8345 | 8365 | 8385 | 8405 |
|                      | 1,5 | 8014             | 8101 | 8163 | 8203 | 8235 | 8267 | 8297 | 8326 | 8354 | 8381 | 8407 | 8432 | 8456 | 8479 | 8501 | 8522 | 8543 | 8563 | 8583 | 8603 |
|                      | 1,6 | 8164             | 8255 | 8323 | 8365 | 8396 | 8425 | 8453 | 8480 | 8506 | 8531 | 8556 | 8580 | 8603 | 8625 | 8646 | 8667 | 8687 | 8707 | 8727 | 8747 |
|                      | 1,7 | 8290             | 8387 | 8457 | 8502 | 8533 | 8561 | 8588 | 8614 | 8640 | 8665 | 8690 | 8714 | 8737 | 8759 | 8780 | 8801 | 8821 | 8841 | 8861 | 8881 |
|                      | 1,8 | 8392             | 8493 | 8565 | 8612 | 8641 | 8667 | 8692 | 8716 | 8740 | 8763 | 8786 | 8808 | 8829 | 8850 | 8870 | 8890 | 8910 | 8930 | 8950 | 8970 |
|                      | 1,9 | 8459             | 8562 | 8632 | 8676 | 8698 | 8717 | 8733 | 8752 | 8770 | 8787 | 8804 | 8821 | 8837 | 8853 | 8869 | 8885 | 8900 | 8916 | 8931 | 8947 |
|                      | 2,0 | 8464             | 8561 | 8630 | 8671 | 8691 | 8707 | 8724 | 8738 | 8750 | 8757 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.8. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE A z mocą  $P_{PV+TW} = 6 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0,7              | 1,4 | 1,9 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,9 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,5 | 5,9 | 6,3 | 6,6 | 7,0 | 7,3 | 7,6 | 7,9 | 8,2 | 8,5 |
|                      | 0,2 | 0,7              | 1,3 | 1,9 | 2,4 | 2,9 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,6 | 5,0 | 5,4 | 5,7 | 6,1 | 6,4 | 6,7 | 7,1 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,3 |
|                      | 0,3 | 0,7              | 1,2 | 1,8 | 2,3 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,5 | 5,9 | 6,2 | 6,5 | 6,8 | 7,2 | 7,5 | 7,7 | 8,0 |
|                      | 0,4 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 3,9 | 4,3 | 5,0 | 5,0 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,0 | 7,3 | 7,6 | 7,9 |
|                      | 0,5 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,5 | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 6,8 | 7,1 | 7,4 | 7,7 |
|                      | 0,6 | 0,7              | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 4,1 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,0 | 7,3 | 7,5 |
|                      | 0,7 | 0,7              | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,3 | 5,6 | 6,0 | 6,3 | 6,6 | 6,8 | 7,1 | 7,4 |
|                      | 0,8 | 0,7              | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,3 | 5,6 | 5,9 | 6,2 | 6,5 | 6,7 | 7,0 | 7,3 |
|                      | 0,9 | 0,7              | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,5 | 5,8 | 6,1 | 6,4 | 6,6 | 6,9 | 7,2 |
|                      | 1,0 | 0,8              | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,5 | 6,8 | 7,0 |
|                      | 1,1 | 0,8              | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,4 | 6,6 | 6,9 |
|                      | 1,2 | 0,8              | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,3 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,5 | 6,7 |
|                      | 1,3 | 0,8              | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,5 |
|                      | 1,4 | 0,8              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,3 |
|                      | 1,5 | 0,9              | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,8 | 6,0 |
|                      | 1,6 | 0,9              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 |
|                      | 1,7 | 0,9              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 1,8 | 0,9              | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 1,9 | 0,9              | 1,5 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
|                      | 2,0 | 0,6              | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |



Tab. A1.9. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 2 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 86               | 86   | 86   | 86   | 86   | 86   | 86   | 86   | 86   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   | 87   |
|                      | 0,2 | 154              | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 154  | 155  | 155  | 155  | 155  | 155  | 155  | 155  | 155  | 155  |
|                      | 0,3 | 257              | 257  | 257  | 257  | 257  | 257  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 258  | 259  | 259  |
|                      | 0,4 | 400              | 401  | 401  | 402  | 402  | 402  | 402  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 403  | 404  | 404  |
|                      | 0,5 | 592              | 593  | 594  | 595  | 596  | 596  | 596  | 597  | 597  | 597  | 597  | 597  | 598  | 598  | 598  | 598  | 598  | 598  | 598  | 598  |
|                      | 0,6 | 831              | 835  | 838  | 839  | 840  | 841  | 842  | 842  | 843  | 843  | 844  | 844  | 844  | 844  | 844  | 844  | 844  | 845  | 845  | 845  |
|                      | 0,7 | 1123             | 1131 | 1136 | 1140 | 1142 | 1144 | 1145 | 1146 | 1147 | 1147 | 1148 | 1149 | 1149 | 1149 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1151 | 1151 |
|                      | 0,8 | 1479             | 1491 | 1500 | 1506 | 1511 | 1515 | 1518 | 1520 | 1522 | 1523 | 1524 | 1525 | 1526 | 1526 | 1527 | 1528 | 1528 | 1528 | 1529 | 1529 |
|                      | 0,9 | 1905             | 1925 | 1939 | 1949 | 1957 | 1962 | 1968 | 1973 | 1977 | 1980 | 1983 | 1985 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|                      | 1,0 | 2427             | 2457 | 2477 | 2493 | 2507 | 2518 | 2527 | 2535 | 2542 | 2549 | 2555 | 2559 | 2563 | 2567 | 2570 | 2573 | 2575 | 2577 | 2579 | 2580 |
|                      | 1,1 | 3136             | 3177 | 3207 | 3230 | 3249 | 3266 | 3279 | 3292 | 3304 | 3315 | 3325 | 3335 | 3343 | 3351 | 3358 | 3364 | 3369 | 3374 | 3379 | 3383 |
|                      | 1,2 | 3971             | 4025 | 4065 | 4096 | 4123 | 4147 | 4167 | 4184 | 4201 | 4217 | 4231 | 4245 | 4258 | 4270 | 4281 | 4291 | 4301 | 4310 | 4318 | 4325 |
|                      | 1,3 | 4845             | 4913 | 4962 | 5002 | 5037 | 5068 | 5095 | 5117 | 5139 | 5159 | 5177 | 5195 | 5211 | 5227 | 5242 | 5256 | 5269 | 5281 | 5293 | 5304 |
|                      | 1,4 | 5699             | 5785 | 5845 | 5895 | 5938 | 5978 | 6013 | 6043 | 6070 | 6094 | 6115 | 6135 | 6154 | 6172 | 6189 | 6205 | 6220 | 6235 | 6249 | 6262 |
|                      | 1,5 | 6511             | 6612 | 6683 | 5991 | 6793 | 6842 | 6883 | 6918 | 6948 | 6975 | 7001 | 7024 | 7047 | 7067 | 7086 | 7104 | 7120 | 7136 | 7150 | 7164 |
|                      | 1,6 | 7204             | 7324 | 5486 | 6888 | 7541 | 7598 | 7647 | 7690 | 7724 | 7752 | 7777 | 7799 | 7820 | 7840 | 7858 | 7874 | 7890 | 7905 | 7920 | 7933 |
|                      | 1,7 | 7776             | 7907 | 5709 | 7200 | 8139 | 8197 | 8247 | 8290 | 8322 | 8340 | 8354 | 8366 | 8375 | 8385 | 8394 | 8403 | 8412 | 8420 | 8428 | 8435 |
|                      | 1,8 | 8129             | 8272 | 8365 | 6462 | 7543 | 8473 | 8558 | 8593 | 8621 | 8636 | 8643 | 8649 | 8655 | 8661 | 8666 | 8670 | 8675 | 8680 | 8684 | 8688 |
|                      | 1,9 | 8211             | 8360 | 8450 | 8509 | 5922 | 6911 | 7823 | 8603 | 8722 | 8742 | 8747 | 8750 | 8752 | 8754 | 8755 | 8756 | 8757 | 8758 | 8758 | 8758 |
|                      | 2,0 | 8168             | 8327 | 8420 | 8487 | 8536 | 6021 | 7027 | 7920 | 8622 | 8750 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.10. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 2 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 0.0              | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
|                      | 0,2 | 0.1              | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 |
|                      | 0,3 | 0.2              | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
|                      | 0,4 | 0.4              | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
|                      | 0,5 | 0.6              | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.7 |
|                      | 0,6 | 0.8              | 1.3 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.4 |
|                      | 0,7 | 1.0              | 1.6 | 2.0 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
|                      | 0,8 | 1.1              | 1.9 | 2.4 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.4 | 3.6 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.8 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.1 |
|                      | 0,9 | 1.4              | 2.3 | 3.0 | 3.5 | 3.8 | 4.0 | 4.3 | 4.5 | 4.6 | 4.8 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.4 |
|                      | 1,0 | 1.6              | 2.7 | 3.5 | 4.1 | 4.5 | 4.9 | 5.2 | 5.5 | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 6.3 | 6.4 | 6.6 | 6.7 | 6.8 | 6.8 | 6.9 | 6.9 | 7.0 |
|                      | 1,1 | 1.7              | 2.8 | 3.6 | 4.3 | 4.9 | 5.3 | 5.7 | 6.0 | 6.3 | 6.5 | 6.8 | 7.0 | 7.2 | 7.4 | 7.6 | 7.7 | 7.9 | 8.0 | 8.2 | 8.3 |
|                      | 1,2 | 1.6              | 2.7 | 3.6 | 4.4 | 5.0 | 5.5 | 5.9 | 6.2 | 6.6 | 6.9 | 7.2 | 7.4 | 7.7 | 7.9 | 8.1 | 8.3 | 8.5 | 8.7 | 8.8 | 9.0 |
|                      | 1,3 | 1.6              | 2.7 | 3.6 | 4.4 | 5.0 | 5.6 | 6.0 | 6.4 | 6.7 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7.9 | 8.1 | 8.4 | 8.6 | 8.8 | 9.0 | 9.2 | 9.3 |
|                      | 1,4 | 1.5              | 2.6 | 3.6 | 4.4 | 5.1 | 5.7 | 6.2 | 6.6 | 7.0 | 7.3 | 7.6 | 7.9 | 8.1 | 8.4 | 8.6 | 8.8 | 9.0 | 9.2 | 9.4 | 9.6 |
|                      | 1,5 | 1.6              | 2.7 | 3.6 | 5.0 | 5.2 | 5.8 | 6.4 | 6.8 | 7.2 | 7.5 | 7.8 | 8.1 | 8.3 | 8.6 | 8.8 | 9.0 | 9.2 | 9.4 | 9.6 | 9.7 |
|                      | 1,6 | 1.5              | 2.7 | 5.0 | 5.0 | 5.4 | 6.1 | 6.7 | 7.1 | 7.4 | 7.8 | 8.0 | 8.3 | 8.5 | 8.8 | 9.0 | 9.1 | 9.3 | 9.5 | 9.6 | 9.8 |
|                      | 1,7 | 1.5              | 2.6 | 5.0 | 5.0 | 5.3 | 5.9 | 6.5 | 6.9 | 7.1 | 7.3 | 7.5 | 7.6 | 7.8 | 7.9 | 7.9 | 8.1 | 8.1 | 8.2 | 8.3 | 8.4 |
|                      | 1,8 | 1.3              | 2.3 | 3.1 | 5.0 | 5.0 | 5.4 | 5.8 | 5.9 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.5 | 6.6 | 6.6 | 6.7 | 6.7 | 6.7 |
|                      | 1,9 | 0.8              | 1.5 | 2.2 | 2.8 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.4 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
|                      | 2,0 | 0.5              | 1.0 | 1.6 | 2.2 | 2.9 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.2 | 5.2 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.3 |

Tab. A1.11. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE B z mocą

$P_{PV+TW} = 3 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 857              | 868  | 877  | 884  | 890  | 895  | 899  | 903  | 907  | 910  | 912  | 914  | 916  | 917  | 918  | 919  | 920  | 920  | 921  | 921  |
|                      | 0,2 | 1068             | 1081 | 1092 | 1102 | 1109 | 1116 | 1121 | 1126 | 1130 | 1134 | 1138 | 1141 | 1144 | 1146 | 1148 | 1150 | 1151 | 1152 | 1153 | 1154 |
|                      | 0,3 | 1305             | 1322 | 1336 | 1347 | 1357 | 1366 | 1373 | 1378 | 1383 | 1388 | 1393 | 1397 | 1401 | 1405 | 1408 | 1410 | 1413 | 1415 | 1416 | 1418 |
|                      | 0,4 | 1560             | 1585 | 1603 | 1617 | 1628 | 1638 | 1648 | 1656 | 1663 | 1670 | 1675 | 1680 | 1685 | 1690 | 1694 | 1698 | 1701 | 1704 | 1707 | 1709 |
|                      | 0,5 | 1832             | 1864 | 1886 | 1904 | 1919 | 1933 | 1945 | 1956 | 1966 | 1975 | 1983 | 1991 | 1998 | 2004 | 2009 | 2014 | 2018 | 2022 | 2026 | 2030 |
|                      | 0,6 | 2110             | 2154 | 2184 | 2205 | 2223 | 2241 | 2257 | 2273 | 2286 | 2300 | 2312 | 2322 | 2332 | 2341 | 2349 | 2356 | 2362 | 2369 | 2375 | 2380 |
|                      | 0,7 | 2404             | 2463 | 2503 | 2533 | 2557 | 2580 | 2601 | 2620 | 2638 | 2655 | 2670 | 2685 | 2698 | 2710 | 2722 | 2732 | 2742 | 2752 | 2761 | 2769 |
|                      | 0,8 | 2721             | 2800 | 2851 | 2893 | 2924 | 2952 | 2978 | 3002 | 3025 | 3045 | 3065 | 3082 | 3098 | 3113 | 3127 | 3141 | 3154 | 3167 | 3179 | 3191 |
|                      | 0,9 | 3074             | 3183 | 3246 | 3298 | 3339 | 3371 | 3401 | 3430 | 3456 | 3481 | 3504 | 3526 | 3546 | 3565 | 3584 | 3602 | 3620 | 3636 | 3651 | 3666 |
|                      | 1,0 | 3487             | 3629 | 3710 | 3774 | 3826 | 3865 | 3899 | 3932 | 3963 | 3993 | 4021 | 4048 | 4073 | 4097 | 4119 | 4140 | 4161 | 4181 | 4200 | 4219 |
|                      | 1,1 | 4043             | 4213 | 4318 | 4393 | 4456 | 4505 | 4546 | 4584 | 4620 | 4653 | 4685 | 4717 | 4748 | 4776 | 4804 | 4831 | 4857 | 4881 | 4904 | 4924 |
|                      | 1,2 | 4679             | 4882 | 5017 | 5105 | 5181 | 5243 | 5291 | 5333 | 5373 | 5412 | 5449 | 5484 | 5517 | 5549 | 5580 | 5609 | 5637 | 5664 | 5689 | 5713 |
|                      | 1,3 | 5334             | 5573 | 5732 | 5835 | 5921 | 5996 | 6055 | 6102 | 6148 | 6191 | 6233 | 6271 | 6307 | 6340 | 6372 | 6404 | 6433 | 6462 | 6490 | 6514 |
|                      | 1,4 | 5955             | 6124 | 6402 | 6531 | 6626 | 6714 | 6786 | 6840 | 6886 | 6930 | 6973 | 7013 | 7050 | 7084 | 7117 | 7148 | 7178 | 7207 | 7234 | 7259 |
|                      | 1,5 | 6518             | 6377 | 7024 | 7167 | 7274 | 7368 | 7446 | 7506 | 7552 | 7596 | 7638 | 7677 | 7714 | 7748 | 7780 | 7809 | 7835 | 7860 | 7882 | 7902 |
|                      | 1,6 | 7011             | 6521 | 7554 | 7709 | 7829 | 7926 | 8009 | 8071 | 8115 | 8149 | 8181 | 8208 | 8233 | 8255 | 8274 | 8290 | 8303 | 8316 | 8328 | 8340 |
|                      | 1,7 | 7388             | 6387 | 7960 | 8136 | 8253 | 8343 | 8416 | 8469 | 8502 | 8518 | 8532 | 8544 | 8554 | 8564 | 8572 | 8579 | 8585 | 8591 | 8597 | 8602 |
|                      | 1,8 | 7609             | 5795 | 8178 | 8357 | 8458 | 8539 | 8599 | 8647 | 8678 | 8692 | 8697 | 8702 | 8707 | 8712 | 8716 | 8720 | 8723 | 8726 | 8729 | 8731 |
|                      | 1,9 | 7633             | 7914 | 6916 | 8369 | 8484 | 8578 | 8641 | 8693 | 8730 | 8750 | 8755 | 8757 | 8758 | 8758 | 8758 | 8759 | 8759 | 8759 | 8759 | 8760 |
|                      | 2,0 | 7553             | 7822 | 5900 | 8284 | 8451 | 8551 | 8621 | 8678 | 8721 | 8749 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.12. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 3 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 1.6              | 2.8 | 3.8 | 4.6 | 5.2  | 5.8  | 6.2  | 6.7  | 7.0  | 7.3  | 7.6  | 7.7  | 7.9  | 8.0  | 8.1  | 8.2  | 8.3  | 8.3  | 8.4  | 8.5  |
|                      | 0,2 | 1.6              | 2.8 | 3.8 | 4.6 | 5.3  | 5.8  | 6.3  | 6.7  | 7.0  | 7.3  | 7.6  | 7.9  | 8.1  | 8.3  | 8.4  | 8.6  | 8.7  | 8.8  | 8.8  | 8.9  |
|                      | 0,3 | 1.7              | 3.0 | 4.0 | 4.8 | 5.5  | 6.1  | 6.5  | 6.9  | 7.3  | 7.6  | 7.9  | 8.1  | 8.4  | 8.6  | 8.8  | 9.0  | 9.1  | 9.3  | 9.3  | 9.4  |
|                      | 0,4 | 2.0              | 3.4 | 4.5 | 5.3 | 6.0  | 6.5  | 7.0  | 7.5  | 7.9  | 8.2  | 8.5  | 8.8  | 9.1  | 9.3  | 9.5  | 9.7  | 9.9  | 10.1 | 10.2 | 10.3 |
|                      | 0,5 | 2.3              | 3.7 | 4.8 | 5.7 | 6.5  | 7.1  | 7.7  | 8.1  | 8.6  | 9.0  | 9.4  | 9.7  | 10.0 | 10.3 | 10.5 | 10.7 | 10.9 | 11.1 | 11.2 | 11.4 |
|                      | 0,6 | 2.6              | 4.2 | 5.5 | 6.4 | 7.1  | 7.8  | 8.4  | 9.0  | 9.4  | 9.9  | 10.3 | 10.7 | 11.1 | 11.4 | 11.6 | 11.9 | 12.1 | 12.3 | 12.5 | 12.7 |
|                      | 0,7 | 2.8              | 4.6 | 6.1 | 7.1 | 7.9  | 8.7  | 9.4  | 10.0 | 10.5 | 11.1 | 11.5 | 12.0 | 12.3 | 12.7 | 13.0 | 13.3 | 13.6 | 13.8 | 14.1 | 14.3 |
|                      | 0,8 | 2.9              | 5.0 | 6.6 | 7.9 | 8.8  | 9.6  | 10.3 | 10.9 | 11.5 | 12.0 | 12.5 | 13.0 | 13.4 | 13.8 | 14.1 | 14.4 | 14.8 | 15.0 | 15.3 | 15.6 |
|                      | 0,9 | 3.1              | 5.3 | 7.0 | 8.5 | 9.5  | 10.3 | 11.0 | 11.7 | 12.2 | 12.8 | 13.3 | 13.8 | 14.2 | 14.6 | 15.0 | 15.4 | 15.7 | 16.1 | 16.4 | 16.6 |
|                      | 1,0 | 3.1              | 5.5 | 7.4 | 9.0 | 10.1 | 10.9 | 11.6 | 12.3 | 12.9 | 13.4 | 14.0 | 14.4 | 14.9 | 15.4 | 15.8 | 16.1 | 16.5 | 16.8 | 17.2 | 17.5 |
|                      | 1,1 | 3.1              | 5.5 | 7.4 | 9.1 | 10.3 | 11.2 | 11.9 | 12.5 | 13.1 | 13.6 | 14.2 | 14.6 | 15.1 | 15.6 | 16.0 | 16.4 | 16.8 | 17.1 | 17.5 | 17.8 |
|                      | 1,2 | 2.9              | 5.3 | 7.3 | 9.0 | 10.3 | 11.3 | 12.0 | 12.6 | 13.2 | 13.7 | 14.2 | 14.7 | 15.1 | 15.5 | 15.9 | 16.3 | 16.6 | 17.0 | 17.3 | 17.6 |
|                      | 1,3 | 2.8              | 5.2 | 7.1 | 8.8 | 10.2 | 11.3 | 12.0 | 12.6 | 13.2 | 13.7 | 14.2 | 14.7 | 15.1 | 15.4 | 15.8 | 16.1 | 16.4 | 16.7 | 17.1 | 17.3 |
|                      | 1,4 | 2.7              | 5.0 | 6.8 | 8.6 | 10.0 | 11.2 | 12.0 | 12.6 | 13.1 | 13.6 | 14.0 | 14.4 | 14.8 | 15.2 | 15.5 | 15.8 | 16.1 | 16.4 | 16.6 | 16.9 |
|                      | 1,5 | 2.5              | 5.0 | 6.6 | 8.3 | 9.8  | 11.0 | 11.8 | 12.4 | 12.9 | 13.3 | 13.7 | 14.1 | 14.5 | 14.8 | 15.1 | 15.3 | 15.6 | 15.8 | 16.0 | 16.2 |
|                      | 1,6 | 2.4              | 5.0 | 6.3 | 7.9 | 9.5  | 10.7 | 11.5 | 12.1 | 12.5 | 12.8 | 13.1 | 13.4 | 13.6 | 13.9 | 14.0 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 |
|                      | 1,7 | 2.2              | 5.0 | 5.9 | 7.4 | 8.9  | 10.0 | 10.8 | 11.3 | 11.6 | 11.7 | 11.9 | 12.0 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.6 |
|                      | 1,8 | 2.0              | 5.0 | 5.2 | 6.5 | 7.7  | 8.7  | 9.5  | 10.0 | 10.2 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.9 |
|                      | 1,9 | 1.5              | 2.9 | 5.0 | 5.5 | 6.7  | 7.9  | 8.7  | 9.3  | 9.6  | 9.8  | 9.8  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|                      | 2,0 | 1.1              | 2.4 | 5.0 | 5.0 | 6.2  | 7.4  | 8.4  | 9.1  | 9.5  | 9.8  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |

Tab. A1.13. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 4 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 1841             | 1872 | 1897 | 1918 | 1937 | 1953 | 1969 | 1983 | 1996 | 2009 | 2022 | 2033 | 2044 | 2055 | 2065 | 2074 | 2082 | 2091 | 2097 | 2104 |
|                      | 0,2 | 2042             | 2079 | 2108 | 2132 | 2154 | 2173 | 2191 | 2208 | 2225 | 2241 | 2257 | 2273 | 2288 | 2301 | 2314 | 2326 | 2338 | 2348 | 2356 | 2364 |
|                      | 0,3 | 2250             | 2291 | 2325 | 2354 | 2379 | 2403 | 2425 | 2446 | 2467 | 2488 | 2508 | 2526 | 2544 | 2560 | 2575 | 2590 | 2603 | 2614 | 2625 | 2635 |
|                      | 0,4 | 2465             | 2516 | 2555 | 2588 | 2617 | 2645 | 2671 | 2697 | 2723 | 2747 | 2769 | 2791 | 2811 | 2830 | 2848 | 2864 | 2878 | 2891 | 2904 | 2916 |
|                      | 0,5 | 2693             | 2755 | 2799 | 2837 | 2870 | 2902 | 2934 | 2963 | 2992 | 3020 | 3046 | 3070 | 3093 | 3115 | 3134 | 3152 | 3169 | 3185 | 3200 | 3216 |
|                      | 0,6 | 2935             | 3013 | 3065 | 3108 | 3147 | 3185 | 3220 | 3254 | 3285 | 3315 | 3344 | 3371 | 3397 | 3421 | 3443 | 3464 | 3484 | 3503 | 3522 | 3539 |
|                      | 0,7 | 3198             | 3297 | 3356 | 3405 | 3450 | 3493 | 3533 | 3570 | 3606 | 3640 | 3672 | 3701 | 3729 | 3755 | 3780 | 3804 | 3828 | 3850 | 3871 | 3892 |
|                      | 0,8 | 3484             | 3604 | 3673 | 3731 | 3782 | 3829 | 3874 | 3915 | 3955 | 3992 | 4028 | 4062 | 4093 | 4122 | 4149 | 4176 | 4202 | 4228 | 4254 | 4279 |
|                      | 0,9 | 3800             | 3946 | 4029 | 4095 | 4155 | 4207 | 4256 | 4301 | 4345 | 4386 | 4425 | 4462 | 4497 | 4530 | 4563 | 4594 | 4625 | 4654 | 4682 | 4709 |
|                      | 1,0 | 4173             | 4343 | 4443 | 4520 | 4587 | 4644 | 4696 | 4745 | 4792 | 4837 | 4880 | 4921 | 4962 | 5001 | 5038 | 5074 | 5110 | 5144 | 5177 | 5209 |
|                      | 1,1 | 4665             | 4861 | 4978 | 5064 | 5137 | 5200 | 5256 | 5309 | 5360 | 5410 | 5458 | 5505 | 5550 | 5594 | 5638 | 5679 | 5719 | 5756 | 5793 | 5828 |
|                      | 1,2 | 5239             | 5457 | 5595 | 5688 | 5767 | 5838 | 5897 | 5954 | 6009 | 6064 | 6116 | 6167 | 6214 | 6259 | 6304 | 6346 | 6387 | 6427 | 6466 | 6503 |
|                      | 1,3 | 5827             | 6066 | 6224 | 6321 | 6408 | 6485 | 6551 | 6608 | 6663 | 6715 | 6765 | 6814 | 6862 | 6908 | 6952 | 6995 | 7036 | 7076 | 7114 | 7151 |
|                      | 1,4 | 6372             | 6636 | 6813 | 6918 | 7009 | 7092 | 7162 | 7220 | 7272 | 7323 | 7370 | 7417 | 7462 | 7506 | 7549 | 7590 | 7629 | 7665 | 7699 | 7731 |
|                      | 1,5 | 6868             | 7149 | 7348 | 7462 | 7555 | 7640 | 7713 | 7773 | 7823 | 7869 | 7912 | 7953 | 7990 | 8025 | 8058 | 8088 | 8116 | 8141 | 8165 | 8186 |
|                      | 1,6 | 7292             | 7359 | 7805 | 7933 | 8019 | 8105 | 8177 | 8234 | 8276 | 8308 | 8338 | 8365 | 8388 | 8409 | 8427 | 8442 | 8456 | 8470 | 8482 | 8493 |
|                      | 1,7 | 7618             | 7274 | 8150 | 8285 | 8361 | 8436 | 8498 | 8545 | 8576 | 8592 | 8604 | 8614 | 8623 | 8630 | 8636 | 8641 | 8647 | 8652 | 8658 | 8663 |
|                      | 1,8 | 7792             | 6727 | 8327 | 8467 | 8528 | 8586 | 8638 | 8679 | 8707 | 8719 | 8723 | 8726 | 8729 | 8732 | 8735 | 8737 | 8739 | 8741 | 8743 | 8745 |
|                      | 1,9 | 7788             | 5706 | 7951 | 8476 | 8542 | 8599 | 8655 | 8701 | 8736 | 8754 | 8758 | 8758 | 8759 | 8759 | 8759 | 8759 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |
|                      | 2,0 | 7705             | 8003 | 7261 | 8432 | 8519 | 8573 | 8632 | 8683 | 8723 | 8750 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.14. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 4 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub><br>[%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]        | 0,1 | 2.2              | 3.9 | 5.1 | 6.2 | 7.1  | 7.8  | 8.5  | 9.2  | 9.8  | 10.4 | 10.9 | 11.4 | 11.9 | 12.4 | 12.8 | 13.2 | 13.5 | 13.9 | 14.1 | 14.4 |
|                         | 0,2 | 2.3              | 4.0 | 5.3 | 6.4 | 7.3  | 8.1  | 8.9  | 9.6  | 10.2 | 10.8 | 11.5 | 12.1 | 12.7 | 13.2 | 13.7 | 14.1 | 14.5 | 14.9 | 15.2 | 15.5 |
|                         | 0,3 | 2.4              | 4.1 | 5.5 | 6.6 | 7.6  | 8.5  | 9.3  | 10.1 | 10.9 | 11.6 | 12.3 | 12.9 | 13.5 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 15.4 | 15.8 | 16.1 | 16.4 |
|                         | 0,4 | 2.6              | 4.4 | 5.9 | 7.0 | 8.0  | 9.0  | 9.8  | 10.7 | 11.5 | 12.3 | 12.9 | 13.6 | 14.2 | 14.8 | 15.3 | 15.7 | 16.2 | 16.5 | 16.9 | 17.2 |
|                         | 0,5 | 2.8              | 4.6 | 6.1 | 7.4 | 8.4  | 9.4  | 10.3 | 11.2 | 12.0 | 12.8 | 13.5 | 14.2 | 14.8 | 15.4 | 15.9 | 16.3 | 16.7 | 17.2 | 17.5 | 17.9 |
|                         | 0,6 | 3.0              | 4.9 | 6.4 | 7.7 | 8.8  | 9.9  | 10.8 | 11.7 | 12.5 | 13.2 | 13.9 | 14.6 | 15.2 | 15.8 | 16.3 | 16.8 | 17.2 | 17.7 | 18.1 | 18.5 |
|                         | 0,7 | 3.1              | 5.1 | 6.7 | 8.0 | 9.2  | 10.3 | 11.2 | 12.1 | 12.9 | 13.7 | 14.4 | 15.0 | 15.6 | 16.2 | 16.7 | 17.2 | 17.7 | 18.1 | 18.5 | 19.0 |
|                         | 0,8 | 3.2              | 5.4 | 7.0 | 8.4 | 9.7  | 10.7 | 11.7 | 12.5 | 13.4 | 14.1 | 14.8 | 15.5 | 16.1 | 16.6 | 17.1 | 17.6 | 18.1 | 18.6 | 19.1 | 19.5 |
|                         | 0,9 | 3.3              | 5.6 | 7.2 | 8.7 | 10.1 | 11.1 | 12.1 | 12.9 | 13.7 | 14.5 | 15.1 | 15.8 | 16.4 | 17.0 | 17.5 | 18.0 | 18.5 | 19.0 | 19.5 | 19.9 |
|                         | 1,0 | 3.4              | 5.7 | 7.5 | 9.0 | 10.4 | 11.4 | 12.3 | 13.2 | 13.9 | 14.7 | 15.3 | 16.0 | 16.6 | 17.2 | 17.8 | 18.3 | 18.8 | 19.3 | 19.8 | 20.3 |
|                         | 1,1 | 3.3              | 5.7 | 7.5 | 9.0 | 10.3 | 11.3 | 12.2 | 13.0 | 13.7 | 14.5 | 15.1 | 15.8 | 16.4 | 17.0 | 17.6 | 18.1 | 18.6 | 19.1 | 19.6 | 20.0 |
|                         | 1,2 | 3.2              | 5.6 | 7.3 | 8.8 | 10.1 | 11.2 | 11.9 | 12.7 | 13.4 | 14.1 | 14.8 | 15.4 | 16.0 | 16.5 | 17.1 | 17.6 | 18.1 | 18.5 | 18.9 | 19.3 |
|                         | 1,3 | 3.1              | 5.4 | 7.1 | 8.5 | 9.8  | 10.8 | 11.6 | 12.3 | 13.0 | 13.6 | 14.1 | 14.7 | 15.2 | 15.7 | 16.2 | 16.6 | 17.1 | 17.5 | 17.9 | 18.3 |
|                         | 1,4 | 3.0              | 5.2 | 6.9 | 8.2 | 9.5  | 10.6 | 11.4 | 12.0 | 12.6 | 13.1 | 13.6 | 14.0 | 14.5 | 14.9 | 15.3 | 15.7 | 16.1 | 16.5 | 16.8 | 17.1 |
|                         | 1,5 | 2.9              | 5.1 | 6.8 | 8.0 | 9.2  | 10.3 | 11.1 | 11.7 | 12.2 | 12.7 | 13.1 | 13.5 | 13.8 | 14.1 | 14.4 | 14.7 | 15.0 | 15.2 | 15.4 | 15.6 |
|                         | 1,6 | 2.8              | 5.0 | 6.5 | 7.8 | 8.9  | 10.0 | 10.8 | 11.4 | 11.7 | 12.1 | 12.3 | 12.6 | 12.8 | 13.0 | 13.1 | 13.3 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.7 |
|                         | 1,7 | 2.6              | 5.0 | 6.1 | 7.3 | 8.3  | 9.3  | 10.1 | 10.5 | 10.8 | 10.9 | 11.0 | 11.1 | 11.3 | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.6 | 11.7 |
|                         | 1,8 | 2.3              | 5.0 | 5.5 | 6.5 | 7.3  | 8.1  | 8.8  | 9.3  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.8  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
|                         | 1,9 | 1.9              | 5.0 | 5.0 | 5.8 | 6.5  | 7.3  | 8.1  | 8.7  | 9.0  | 9.2  | 9.2  | 9.2  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  |
|                         | 2,0 | 1.5              | 3.1 | 5.0 | 5.4 | 6.2  | 7.0  | 7.9  | 8.6  | 9.0  | 9.2  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.4  | 9.4  | 9.4  | 9.4  | 9.4  | 9.4  |

Tab. A1.15. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 5 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 2505             | 2550 | 2589 | 2623 | 2654 | 2684 | 2711 | 2737 | 2763 | 2789 | 2814 | 2839 | 2864 | 2888 | 2911 | 2932 | 2951 | 2970 | 2986 | 3002 |
|                      | 0,2 | 2686             | 2734 | 2776 | 2814 | 2849 | 2881 | 2912 | 2942 | 2971 | 3000 | 3028 | 3056 | 3083 | 3109 | 3133 | 3157 | 3178 | 3198 | 3216 | 3233 |
|                      | 0,3 | 2879             | 2930 | 2975 | 3016 | 3055 | 3090 | 3125 | 3159 | 3193 | 3225 | 3258 | 3289 | 3318 | 3346 | 3371 | 3396 | 3419 | 3440 | 3460 | 3479 |
|                      | 0,4 | 3082             | 3140 | 3189 | 3233 | 3275 | 3314 | 3353 | 3391 | 3428 | 3465 | 3500 | 3533 | 3565 | 3596 | 3624 | 3650 | 3674 | 3696 | 3716 | 3737 |
|                      | 0,5 | 3295             | 3363 | 3415 | 3463 | 3508 | 3551 | 3594 | 3637 | 3680 | 3719 | 3758 | 3794 | 3828 | 3860 | 3890 | 3918 | 3943 | 3968 | 3991 | 4015 |
|                      | 0,6 | 3522             | 3601 | 3660 | 3712 | 3762 | 3810 | 3858 | 3906 | 3951 | 3995 | 4035 | 4073 | 4110 | 4145 | 4176 | 4206 | 4235 | 4262 | 4290 | 4316 |
|                      | 0,7 | 3761             | 3856 | 3924 | 3984 | 4039 | 4094 | 4146 | 4197 | 4244 | 4289 | 4332 | 4373 | 4411 | 4448 | 4482 | 4516 | 4548 | 4579 | 4610 | 4640 |
|                      | 0,8 | 4024             | 4138 | 4214 | 4281 | 4340 | 4398 | 4453 | 4506 | 4557 | 4605 | 4651 | 4695 | 4737 | 4776 | 4815 | 4852 | 4889 | 4925 | 4960 | 4995 |
|                      | 0,9 | 4321             | 4455 | 4540 | 4616 | 4682 | 4742 | 4800 | 4854 | 4907 | 4957 | 5007 | 5054 | 5100 | 5143 | 5186 | 5229 | 5271 | 5312 | 5352 | 5391 |
|                      | 1,0 | 4657             | 4817 | 4916 | 4999 | 5071 | 5134 | 5194 | 5251 | 5306 | 5360 | 5412 | 5463 | 5512 | 5561 | 5609 | 5655 | 5700 | 5744 | 5786 | 5827 |
|                      | 1,1 | 5102             | 5288 | 5403 | 5491 | 5568 | 5636 | 5698 | 5757 | 5815 | 5871 | 5926 | 5978 | 6030 | 6080 | 6128 | 6176 | 6224 | 6271 | 6318 | 6363 |
|                      | 1,2 | 5621             | 5829 | 5959 | 6051 | 6134 | 6207 | 6270 | 6331 | 6390 | 6448 | 6503 | 6557 | 6609 | 6659 | 6707 | 6754 | 6801 | 6846 | 6891 | 6934 |
|                      | 1,3 | 6142             | 6371 | 6518 | 6614 | 6702 | 6780 | 6847 | 6906 | 6962 | 7017 | 7070 | 7121 | 7171 | 7219 | 7267 | 7314 | 7358 | 7401 | 7443 | 7483 |
|                      | 1,4 | 6637             | 6885 | 7050 | 7150 | 7239 | 7319 | 7388 | 7445 | 7498 | 7549 | 7599 | 7648 | 7693 | 7737 | 7779 | 7819 | 7857 | 7893 | 7927 | 7959 |
|                      | 1,5 | 7083             | 7192 | 7532 | 7636 | 7724 | 7805 | 7874 | 7931 | 7978 | 8023 | 8064 | 8103 | 8140 | 8174 | 8205 | 8235 | 8262 | 8286 | 8309 | 8329 |
|                      | 1,6 | 7464             | 7399 | 7934 | 8050 | 8131 | 8207 | 8273 | 8325 | 8363 | 8394 | 8422 | 8448 | 8470 | 8490 | 8507 | 8522 | 8536 | 8547 | 8558 | 8567 |
|                      | 1,7 | 7754             | 7297 | 8239 | 8359 | 8425 | 8493 | 8550 | 8592 | 8619 | 8633 | 8645 | 8654 | 8662 | 8668 | 8674 | 8679 | 8684 | 8689 | 8693 | 8697 |
|                      | 1,8 | 7912             | 6698 | 8392 | 8511 | 8563 | 8614 | 8659 | 8696 | 8720 | 8731 | 8734 | 8737 | 8740 | 8742 | 8744 | 8746 | 8748 | 8750 | 8752 | 8753 |
|                      | 1,9 | 7898             | 5814 | 7883 | 8510 | 8566 | 8617 | 8667 | 8709 | 8740 | 8756 | 8759 | 8759 | 8759 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |
|                      | 2,0 | 7818             | 5325 | 7378 | 8470 | 8537 | 8586 | 8641 | 8689 | 8726 | 8751 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.16. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 5 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 2.0              | 3.7 | 5.2 | 6.4 | 7.5 | 8.6  | 9.5  | 10.3 | 11.2 | 12.0 | 12.8 | 13.6 | 14.3 | 15.0 | 15.7 | 16.3 | 16.8 | 17.4 | 17.8 | 18.3 |
|                      | 0,2 | 2.0              | 3.7 | 5.2 | 6.4 | 7.6 | 8.6  | 9.6  | 10.5 | 11.4 | 12.2 | 13.1 | 13.8 | 14.6 | 15.3 | 16.0 | 16.6 | 17.2 | 17.7 | 18.1 | 18.6 |
|                      | 0,3 | 2.1              | 3.8 | 5.2 | 6.5 | 7.7 | 8.7  | 9.7  | 10.7 | 11.6 | 12.5 | 13.4 | 14.2 | 15.0 | 15.7 | 16.3 | 16.9 | 17.4 | 17.9 | 18.4 | 18.9 |
|                      | 0,4 | 2.2              | 3.9 | 5.4 | 6.6 | 7.8 | 8.9  | 9.9  | 10.9 | 11.9 | 12.8 | 13.7 | 14.5 | 15.3 | 16.0 | 16.6 | 17.2 | 17.7 | 18.2 | 18.7 | 19.1 |
|                      | 0,5 | 2.4              | 4.0 | 5.5 | 6.8 | 8.0 | 9.1  | 10.2 | 11.2 | 12.2 | 13.1 | 14.0 | 14.8 | 15.5 | 16.2 | 16.9 | 17.5 | 18.0 | 18.5 | 18.9 | 19.4 |
|                      | 0,6 | 2.5              | 4.2 | 5.6 | 7.0 | 8.2 | 9.3  | 10.4 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.3 | 15.1 | 15.8 | 16.5 | 17.1 | 17.7 | 18.2 | 18.7 | 19.2 | 19.7 |
|                      | 0,7 | 2.6              | 4.4 | 5.9 | 7.3 | 8.6 | 9.8  | 10.9 | 11.9 | 12.9 | 13.8 | 14.6 | 15.4 | 16.1 | 16.8 | 17.4 | 18.0 | 18.5 | 19.1 | 19.6 | 20.1 |
|                      | 0,8 | 2.8              | 4.7 | 6.2 | 7.7 | 8.9 | 10.1 | 11.2 | 12.2 | 13.1 | 14.0 | 14.8 | 15.6 | 16.3 | 16.9 | 17.6 | 18.2 | 18.8 | 19.4 | 19.9 | 20.5 |
|                      | 0,9 | 2.9              | 5.0 | 6.5 | 8.0 | 9.3 | 10.4 | 11.4 | 12.4 | 13.3 | 14.1 | 14.9 | 15.7 | 16.4 | 17.1 | 17.8 | 18.4 | 19.0 | 19.6 | 20.2 | 20.7 |
|                      | 1,0 | 3.1              | 5.2 | 6.7 | 8.2 | 9.5 | 10.6 | 11.6 | 12.5 | 13.4 | 14.2 | 15.0 | 15.7 | 16.5 | 17.1 | 17.8 | 18.4 | 19.1 | 19.6 | 20.2 | 20.7 |
|                      | 1,1 | 3.1              | 5.3 | 6.9 | 8.3 | 9.5 | 10.6 | 11.5 | 12.4 | 13.2 | 14.0 | 14.8 | 15.5 | 16.1 | 16.8 | 17.4 | 18.0 | 18.6 | 19.2 | 19.8 | 20.3 |
|                      | 1,2 | 3.1              | 5.3 | 6.8 | 8.2 | 9.4 | 10.4 | 11.3 | 12.1 | 12.8 | 13.6 | 14.3 | 14.9 | 15.6 | 16.2 | 16.7 | 17.3 | 17.8 | 18.3 | 18.8 | 19.3 |
|                      | 1,3 | 3.0              | 5.2 | 6.7 | 8.0 | 9.2 | 10.1 | 11.0 | 11.7 | 12.3 | 13.0 | 13.6 | 14.2 | 14.7 | 15.3 | 15.8 | 16.3 | 16.8 | 17.2 | 17.7 | 18.1 |
|                      | 1,4 | 2.9              | 5.0 | 6.6 | 7.8 | 8.9 | 9.9  | 10.7 | 11.3 | 11.9 | 12.4 | 13.0 | 13.5 | 13.9 | 14.4 | 14.8 | 15.2 | 15.6 | 15.9 | 16.3 | 16.6 |
|                      | 1,5 | 2.8              | 5.0 | 6.4 | 7.5 | 8.6 | 9.6  | 10.3 | 10.9 | 11.4 | 11.8 | 12.3 | 12.6 | 13.0 | 13.3 | 13.6 | 13.9 | 14.1 | 14.4 | 14.6 | 14.8 |
|                      | 1,6 | 2.8              | 5.0 | 6.3 | 7.3 | 8.3 | 9.2  | 10.0 | 10.4 | 10.8 | 11.1 | 11.4 | 11.7 | 11.9 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 |
|                      | 1,7 | 2.6              | 5.0 | 5.9 | 6.9 | 7.7 | 8.6  | 9.2  | 9.7  | 9.9  | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.7 | 10.7 |
|                      | 1,8 | 2.3              | 5.0 | 5.3 | 6.2 | 6.8 | 7.5  | 8.1  | 8.5  | 8.7  | 8.8  | 8.9  | 8.9  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 9.1  | 9.1  | 9.1  |
|                      | 1,9 | 1.9              | 5.0 | 5.0 | 5.5 | 6.1 | 6.8  | 7.5  | 8.0  | 8.3  | 8.4  | 8.4  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  |
|                      | 2,0 | 1.6              | 5.0 | 5.0 | 5.3 | 5.9 | 6.6  | 7.4  | 8.0  | 8.3  | 8.5  | 8.6  | 8.6  | 8.6  | 8.6  | 8.7  | 8.7  | 8.7  | 8.7  | 8.7  | 8.7  |

Tab. A1.17. Wyniki czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 6 \text{ MW}$

| T <sub>wyk</sub> [h] |     | Moc baterii [MW] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 2995             | 3045 | 3090 | 3131 | 3170 | 3206 | 3241 | 3276 | 3310 | 3343 | 3378 | 3412 | 3446 | 3479 | 3510 | 3540 | 3568 | 3595 | 3618 | 3640 |
|                      | 0,2 | 3166             | 3218 | 3265 | 3308 | 3349 | 3388 | 3426 | 3464 | 3501 | 3539 | 3577 | 3615 | 3651 | 3686 | 3719 | 3751 | 3780 | 3807 | 3832 | 3855 |
|                      | 0,3 | 3346             | 3401 | 3450 | 3496 | 3540 | 3583 | 3625 | 3666 | 3708 | 3750 | 3791 | 3831 | 3870 | 3906 | 3941 | 3974 | 4004 | 4032 | 4058 | 4082 |
|                      | 0,4 | 3535             | 3597 | 3650 | 3700 | 3747 | 3793 | 3839 | 3885 | 3931 | 3977 | 4020 | 4061 | 4101 | 4138 | 4175 | 4209 | 4240 | 4269 | 4297 | 4324 |
|                      | 0,5 | 3736             | 3806 | 3864 | 3917 | 3967 | 4017 | 4067 | 4116 | 4166 | 4213 | 4259 | 4304 | 4344 | 4385 | 4421 | 4457 | 4490 | 4521 | 4552 | 4582 |
|                      | 0,6 | 3945             | 4028 | 4092 | 4148 | 4202 | 4256 | 4309 | 4362 | 4414 | 4463 | 4510 | 4557 | 4600 | 4642 | 4683 | 4720 | 4756 | 4791 | 4826 | 4860 |
|                      | 0,7 | 4169             | 4266 | 4337 | 4398 | 4457 | 4516 | 4574 | 4630 | 4683 | 4734 | 4784 | 4831 | 4876 | 4919 | 4961 | 5001 | 5041 | 5080 | 5118 | 5155 |
|                      | 0,8 | 4415             | 4528 | 4607 | 4676 | 4741 | 4804 | 4864 | 4921 | 4976 | 5029 | 5080 | 5130 | 5178 | 5223 | 5267 | 5311 | 5354 | 5396 | 5440 | 5481 |
|                      | 0,9 | 4690             | 4822 | 4912 | 4989 | 5058 | 5122 | 5183 | 5241 | 5299 | 5355 | 5408 | 5460 | 5510 | 5558 | 5605 | 5651 | 5697 | 5741 | 5784 | 5827 |
|                      | 1,0 | 5001             | 5155 | 5256 | 5340 | 5415 | 5481 | 5543 | 5603 | 5662 | 5719 | 5774 | 5828 | 5881 | 5932 | 5981 | 6029 | 6076 | 6122 | 6168 | 6214 |
|                      | 1,1 | 5412             | 5526 | 5700 | 5788 | 5868 | 5938 | 6001 | 6063 | 6124 | 6182 | 6239 | 6293 | 6348 | 6401 | 6452 | 6502 | 6551 | 6599 | 6646 | 6691 |
|                      | 1,2 | 5886             | 5995 | 6210 | 6303 | 6385 | 6460 | 6526 | 6588 | 6648 | 6705 | 6760 | 6815 | 6867 | 6919 | 6969 | 7018 | 7066 | 7114 | 7160 | 7206 |
|                      | 1,3 | 6371             | 6401 | 6727 | 6824 | 6911 | 6986 | 7051 | 7110 | 7167 | 7222 | 7276 | 7327 | 7377 | 7426 | 7474 | 7520 | 7565 | 7607 | 7648 | 7688 |
|                      | 1,4 | 6830             | 6704 | 7215 | 7315 | 7399 | 7476 | 7543 | 7600 | 7652 | 7703 | 7751 | 7798 | 7843 | 7886 | 7926 | 7964 | 8002 | 8037 | 8070 | 8101 |
|                      | 1,5 | 7241             | 7014 | 7653 | 7754 | 7839 | 7916 | 7981 | 8035 | 8080 | 8121 | 8161 | 8198 | 8233 | 8265 | 8295 | 8323 | 8348 | 8372 | 8393 | 8412 |
|                      | 1,6 | 7585             | 7236 | 8017 | 8122 | 8201 | 8275 | 8337 | 8387 | 8423 | 8451 | 8477 | 8501 | 8522 | 8540 | 8557 | 8571 | 8583 | 8595 | 8604 | 8613 |
|                      | 1,7 | 7842             | 7168 | 8293 | 8397 | 8463 | 8528 | 8585 | 8626 | 8651 | 8664 | 8674 | 8682 | 8689 | 8694 | 8699 | 8703 | 8707 | 8711 | 8714 | 8717 |
|                      | 1,8 | 7978             | 6558 | 8425 | 8526 | 8575 | 8625 | 8670 | 8705 | 8729 | 8739 | 8742 | 8744 | 8746 | 8749 | 8751 | 8753 | 8754 | 8755 | 8756 | 8756 |
|                      | 1,9 | 7959             | 5716 | 7657 | 8526 | 8578 | 8626 | 8673 | 8713 | 8742 | 8757 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |
|                      | 2,0 | 7880             | 5309 | 7224 | 8486 | 8545 | 8593 | 8645 | 8691 | 8727 | 8750 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 |

Tabela A1.18. Wyniki udziału BME w energii elektrycznej przesyłanej do systemu elektroenergetycznego w HIOZE B z mocą  $P_{PV+TW} = 6 \text{ MW}$ .

| σ <sub>MAG</sub> [%] |     | Moc baterii [MW] |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |     | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  |
| Moc silnika [MW]     | 0,1 | 1.8              | 3.4 | 4.8 | 6.1 | 7.2 | 8.3  | 9.3  | 10.2 | 11.2 | 12.1 | 12.9 | 13.8 | 14.7 | 15.5 | 16.2 | 16.9 | 17.6 | 18.2 | 18.7 | 19.2 |
|                      | 0,2 | 1.9              | 3.4 | 4.8 | 6.1 | 7.2 | 8.3  | 9.3  | 10.3 | 11.2 | 12.2 | 13.1 | 14.0 | 14.9 | 15.7 | 16.4 | 17.1 | 17.8 | 18.3 | 18.9 | 19.4 |
|                      | 0,3 | 1.9              | 3.4 | 4.8 | 6.1 | 7.2 | 8.3  | 9.4  | 10.4 | 11.4 | 12.4 | 13.3 | 14.3 | 15.1 | 15.9 | 16.6 | 17.3 | 17.9 | 18.5 | 19.0 | 19.5 |
|                      | 0,4 | 2.0              | 3.5 | 4.9 | 6.2 | 7.4 | 8.5  | 9.6  | 10.6 | 11.7 | 12.7 | 13.6 | 14.5 | 15.3 | 16.1 | 16.8 | 17.5 | 18.1 | 18.6 | 19.2 | 19.7 |
|                      | 0,5 | 2.1              | 3.6 | 5.1 | 6.3 | 7.5 | 8.7  | 9.8  | 10.9 | 11.9 | 12.9 | 13.8 | 14.7 | 15.5 | 16.3 | 17.0 | 17.6 | 18.2 | 18.8 | 19.3 | 19.8 |
|                      | 0,6 | 2.3              | 3.8 | 5.3 | 6.6 | 7.8 | 8.9  | 10.0 | 11.1 | 12.2 | 13.1 | 14.0 | 14.9 | 15.7 | 16.4 | 17.1 | 17.8 | 18.4 | 19.0 | 19.5 | 20.1 |
|                      | 0,7 | 2.4              | 4.1 | 5.5 | 6.8 | 8.0 | 9.2  | 10.4 | 11.4 | 12.4 | 13.4 | 14.3 | 15.1 | 15.9 | 16.6 | 17.3 | 17.9 | 18.5 | 19.2 | 19.7 | 20.3 |
|                      | 0,8 | 2.6              | 4.3 | 5.7 | 7.1 | 8.4 | 9.6  | 10.7 | 11.7 | 12.7 | 13.6 | 14.4 | 15.2 | 16.0 | 16.7 | 17.4 | 18.1 | 18.7 | 19.3 | 20.0 | 20.5 |
|                      | 0,9 | 2.7              | 4.6 | 6.0 | 7.4 | 8.7 | 9.8  | 10.9 | 11.9 | 12.8 | 13.7 | 14.5 | 15.3 | 16.1 | 16.8 | 17.4 | 18.1 | 18.7 | 19.4 | 19.9 | 20.5 |
|                      | 1,0 | 2.8              | 4.8 | 6.3 | 7.7 | 9.0 | 10.1 | 11.1 | 12.0 | 12.9 | 13.7 | 14.5 | 15.3 | 16.0 | 16.7 | 17.4 | 18.0 | 18.6 | 19.2 | 19.8 | 20.4 |
|                      | 1,1 | 2.9              | 5.0 | 6.4 | 7.7 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 11.8 | 12.7 | 13.5 | 14.2 | 14.9 | 15.6 | 16.3 | 17.0 | 17.6 | 18.2 | 18.8 | 19.3 | 19.8 |
|                      | 1,2 | 2.9              | 5.0 | 6.4 | 7.6 | 8.8 | 9.8  | 10.7 | 11.6 | 12.3 | 13.0 | 13.7 | 14.4 | 15.0 | 15.6 | 16.2 | 16.8 | 17.3 | 17.9 | 18.4 | 18.9 |
|                      | 1,3 | 2.8              | 5.0 | 6.3 | 7.5 | 8.6 | 9.6  | 10.4 | 11.1 | 11.8 | 12.4 | 13.0 | 13.6 | 14.2 | 14.7 | 15.2 | 15.7 | 16.2 | 16.7 | 17.1 | 17.5 |
|                      | 1,4 | 2.8              | 5.0 | 6.2 | 7.3 | 8.3 | 9.2  | 10.0 | 10.7 | 11.3 | 11.8 | 12.3 | 12.8 | 13.3 | 13.7 | 14.2 | 14.5 | 14.9 | 15.3 | 15.6 | 15.9 |
|                      | 1,5 | 2.7              | 5.0 | 6.1 | 7.1 | 8.1 | 9.0  | 9.7  | 10.3 | 10.8 | 11.2 | 11.6 | 12.0 | 12.3 | 12.6 | 12.9 | 13.2 | 13.5 | 13.7 | 13.9 | 14.1 |
|                      | 1,6 | 2.7              | 5.0 | 6.0 | 6.9 | 7.8 | 8.7  | 9.4  | 9.8  | 10.2 | 10.5 | 10.7 | 11.0 | 11.2 | 11.4 | 11.5 | 11.7 | 11.8 | 11.9 | 12.0 | 12.1 |
|                      | 1,7 | 2.6              | 5.0 | 5.7 | 6.6 | 7.4 | 8.1  | 8.8  | 9.2  | 9.4  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.9  | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.1 |
|                      | 1,8 | 2.3              | 5.0 | 5.1 | 5.8 | 6.4 | 7.0  | 7.6  | 8.0  | 8.2  | 8.3  | 8.4  | 8.4  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.6  | 8.6  |
|                      | 1,9 | 1.9              | 5.0 | 5.0 | 5.2 | 5.8 | 6.4  | 7.0  | 7.5  | 7.8  | 7.9  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  |
|                      | 2,0 | 1.6              | 5.0 | 5.0 | 5.1 | 5.6 | 6.2  | 6.9  | 7.5  | 7.9  | 8.1  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.3  | 8.3  |