Forum Energii
Analizy i dialog

Łączenie źródeł OZE

Potencjał *cable pooling* w Polsce

www.forum-energii.eu

Forum Energii to europejski, interdyscyplinarny think tank z Polski, którego zespół tworzą ekspertki i eksperci działający w obszarze energii. Łączymy doświadczenia zdobyte m.in. w biznesie, administracji publicznej, mediach i nauce ze specjalistyczną wiedzą z obszaru energii.

Misją Forum Energii jest inicjowanie dialogu, proponowanie rozwiązań opartych na wiedzy, a także inspirowanie do działania na rzecz sprawiedliwej i efektywnej transformacji energetycznej, która prowadzi do neutralności klimatycznej. Cel ten realizujemy poprzez analizy, opinie i dyskusję na temat dekarbonizacji głównych obszarów gospodarki.

Wszystkie analizy Forum Energii są udostępniane nieodpłatnie i mogą być powielane pod warunkiem wskazania ich źródła i autorów.

AUTORZY:
Tobiasz Adamczewski – Forum Energii
prof. Józef Paska – Enercode
dr Grzegorz Plewa – Enercode
Tomasz Chmiel – Enercode

WSPÓŁPRACA:
Julia Ćwiek
Zespół Forum Energii

REDAKCJA:
Julia Zaleska

OPRACOWANIE GRAFICZNE:
Karol Koszniec

ZDJĘCIE:
shutterstock

DATA PUBLIKACJI:
maj 2023

Raport powstał przy współpracy z Enercode

SPIS TREŚCI

Wstęp (dr Joanna Maćkowiak-Pandera)

1. Najważniejsze wnioski 3
2. Wprowadzenie 4
3. Charakterystyka *cable pooling* 7
4. Doświadczenia holenderskie 11
5. Formalno-prawne bariery łączenia źródeł OZE w Polsce 12
6. Analiza potencjału łączenia źródeł OZE w Polsce 13
   - 6.1. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe oraz fotowoltaiczne 15
   - 6.2. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe, fotowoltaiczne oraz magazyn energii elektrycznej 16
   - 6.3. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe, fotowoltaiczne oraz elektrolizer 18
7. Potencjał zwiększenia dostępnych mocy przyłączeniowych w Polsce dzięki zastosowaniu koncepcji łączenia źródeł OZE 19
8. Posumowanie i rekomendacje 21

Wstęp

Rozwój OZE w Polsce przyspiesza dzięki sprzyjającym warunkom ekonomicznym. Spółki energetyczne, przemysł, samorządy i gospodarstwa domowe chcą rozwijać źródła odnawialne. W 2022 r. operator polskiego systemu przesyłowego podsumował planowany rozwój OZE do 2032 r. na podstawie wydanych warunków i umów przyłączeniowych. Wynik tych podsumowań przekroczył prognozy zawarte w krajowych dokumentach strategicznych. Zgodnie z tymi przewidywaniami do końca dekady ok. połowa energii elektrycznej w Polsce będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych. Naszym zdaniem tej energii może być jeszcze więcej.

Prognozy PSE są wypadkową postępu technologicznego i czynników ekonomicznych, nie zostało to jednak zaplanowane przez instytucje państwowe. Można wręcz powiedzieć, że OZE w Polsce rozwija się wbrew, a nie dzięki strategii rządowej. Żeby rozwój OZE zaczął harmonijnie uzupełniać odstawiane wysokoemisyjne elektrownie węglowe, trzeba przeprowadzić wiele zmian i inwestycji. Jedną z największych barier stały się sieci.

W lutym tego roku opublikowaliśmy raport *Przyspieszyć rozwój OZE*, w którym wyjaśniamy, dlaczego operatorzy odmawiają nowych przyłączeń i jak można odblokować ten hamulec. System zgód przyłączeniowych jest całkowicie nietransparentny i niedostosowany do obecnych czasów. Wcześniej, kiedy przyłączano niemal wyłącznie źródła konwencjonalne, można było założyć, że będą one pracować przez większość dni w roku, często wykorzystując swoją pełną moc. Teraz jednak elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne sporadycznie wytwarzają energię z mocą znamionową, w niewielkim stopniu wykorzystując moc przyłączeniową. Dlatego rekomendujemy, żeby uwzględnić ten zmienny profil pracy źródeł odnawialnych i umożliwić łączenie wielu źródeł energii w jednym punkcie przyłączeniowym. Proces legislacyjny toczy się – trwają prace nad projektem ustawy mającej wdrożyć i przystosować *cable pooling* do polskich warunków, ale nadal nie ma finału. My przedstawiamy nie tyle czy, ale jak łączyć źródła oraz jaki jest potencjał tego mechanizmu dla uwolnienia mocy przyłączeniowych. Badamy też, przy jakich warunkach ekonomicznych znajdą się podmioty, które zaczną inwestować, gdy taki mechanizm się pojawi.

Zachęcamy do lektury i dyskusji.

Z poważaniem,
dr Joanna Maćkowiak-Pandera
Prezeska Forum Energii

1. Najważniejsze wnioski

- Szybki rozwój OZE w Polsce jest kluczowy, aby:
  - sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną (wynikającemu m.in. z elektryfikacji ogrzewnictwa i elektromobilności czy produkcji zielonego wodoru w procesie elektrolizy),
  - wypełnić lukę generacyjną po węglu,
  - ograniczyć import paliw kopalnych,
  - sprostać oczekiwaniom środowiskowym.
- Analizy Forum Energii i Aurora Energy Research wskazują, że do 2030 r. Polska będzie potrzebowała co najmniej 25 GW mocy zainstalowanych w lądowych elektrowniach wiatrowych i 25 GW w elektrowniach fotowoltaicznych.
- Rozwój OZE, jaki przewidywany jest przez polskich operatorów systemu przesyłowego i systemów dystrybucyjnych na podstawie wydanych warunków i umów przyłączeniowych, nie jest wystarczający, by zaspokoić zapotrzebowanie na energię do 2030 r. Deficyt wynosi ok. 16 GW.
- Mimo przewidywanego deficytu energii, operatorzy odmawiają wydawania nowych warunków przyłączeniowych. Tylko w 2021 r. odmówiono przyłączenia ok. 14,5 GW mocy OZE. W 2022 roku było to już 51 GW. Brak mocy przyłączeniowych jest w dużej mierze problemem teoretycznym, ponieważ źródła wytwórcze wykorzystują tylko niewielki ich potencjał.
- Jednym z rozwiązań tego problemu jest łączenie źródeł OZE w punkcie przyłączenia do sieci, tzw. ***cable pooling***. Aby umożliwić powszechne stosowanie łączenia źródeł w Polsce, potrzebne są jednak zmiany w prawie.
- W celu umożliwienia łaczenia źródeł, wytwórcy energii powinni być prawnie zobowiązani do tego, by podczas produkcji nie przekraczać mocy określonej w umowie przyłączeniowej.
- Straty spowodowane ograniczeniami produkcji można zmniejszać, stosując magazyny energii i elektrolizery. Jednak ich rozwój wymaga systemowego wsparcia.
- Nasza analiza wskazuje, że umożliwienie łączenia źródeł OZE będzie zachętą do dodatkowych inwestycji w źródła odnawialne na poziomie 25 GW do 2030 r.
- Wartość mocy przyłączeniowych udostępnionych dzięki łączeniu źródeł wynosi niemal 40 mld zł. Jest to znaczna oszczędność w porównaniu z kosztami koniecznej rozbudowy sieci.

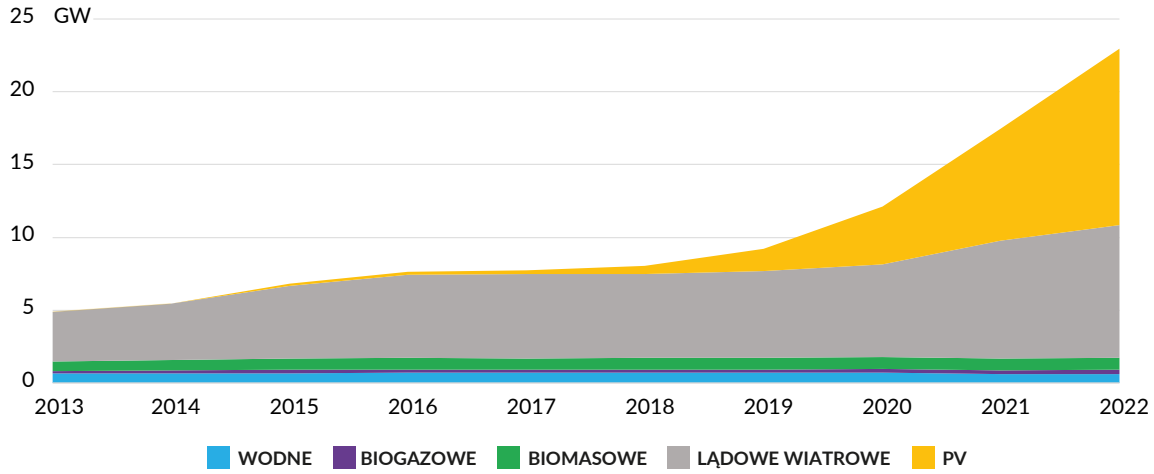
2. Wprowadzenie

W Polsce potrzebny jest dalszy, dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii. Wraz z rozwojem elektromobilności, pomp ciepła oraz zielonego wodoru będzie rosło zapotrzebowanie na energię elektryczną. Jednocześnie zbliżamy się do luki generacyjnej, która będzie wynikała z konieczności odstawiania starych i niewydolnych bloków węglowych.

Po 2025 r., kiedy zacznie kończyć się wsparcie publiczne dla elektrowni węglowych, z polskiego systemu może wyjść falowo najpierw 8 GW, a nieco później kolejne 6 GW mocy konwencjonalnych. Elektrownie będą wyłączane ze względu na wiek i wysokie koszty utrzymania. Pisaliśmy o tym w lipcu 2021 r., a scenariusze niewystarczalności zostały potwierdzone analizami Ministerstwa Klimatu i Środowiska na podstawie danych m.in. z PSE oraz URE[1, 2].

W ostatnich latach rozwój źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych przyspieszył. Najpierw dzięki rozwojowi mikroinstalacji fotowoltaicznych, później dzięki większym inwestycjom komercyjnym. Budowane są elektrownie wiatrowe, które otrzymały pozwolenia lokalizacyjne jeszcze przed wejściem w życie tzw. zasady 10 H[3]. Wykres 1 przedstawia dotychczasowy przebieg rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce.

Wykres 1. Moc zainstalowana w odnawialnych źródłach energii w Polsce w latach 2013–2022



Źródło: Forum Energii, *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2023*, 2023, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/transformacja-2023.

Moce OZE w 2030 r.

Dalszy rozwój odnawialnych źródeł energii będzie zależał w głównej mierze od możliwości przyłączenia ich do sieci elektroenergetycznej. Operator systemu przesyłowego (PSE S.A.) oszacował na podstawie warunków i istniejących umów przyłączeniowych[4], że do 2030 r. będzie przyłączonych:

- 6 GW w morskich elektrowniach wiatrowych,
- 14 GW w lądowych elektrowniach wiatrowych,
- 20 GW w elektrowniach fotowoltaicznych (w tym ok. 6 GW w mikroinstalacjach).

1 A. Gawlikowska-Fyk, *Po 2025 r. węgiel będzie wychodził z polskiego systemu energetycznego falami*, Forum Energii, 2021, https://www.forum-energii.eu/pl/blog/luka-weglowa-2025.

2 Minister Klimatu i Środowiska, *Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej za okres od dnia 1 stycznia 2019 r. do dnia 31 grudnia 2020 r.*, 2021, https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/Energetyka/Sprawozdania_z_wynikow_monitorowania_bezpieczenstwa_dostaw_energii_elektrycznej/Sprawozdanie_MKiS_z_monitorowania_bezpieczenstwa_dostaw_energii_elektrycznej_za_okres_2019-2020_tekst_ostateczny.pdf.

3 *Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych* (tj. Dz.U. z 2021 r. poz. 724).

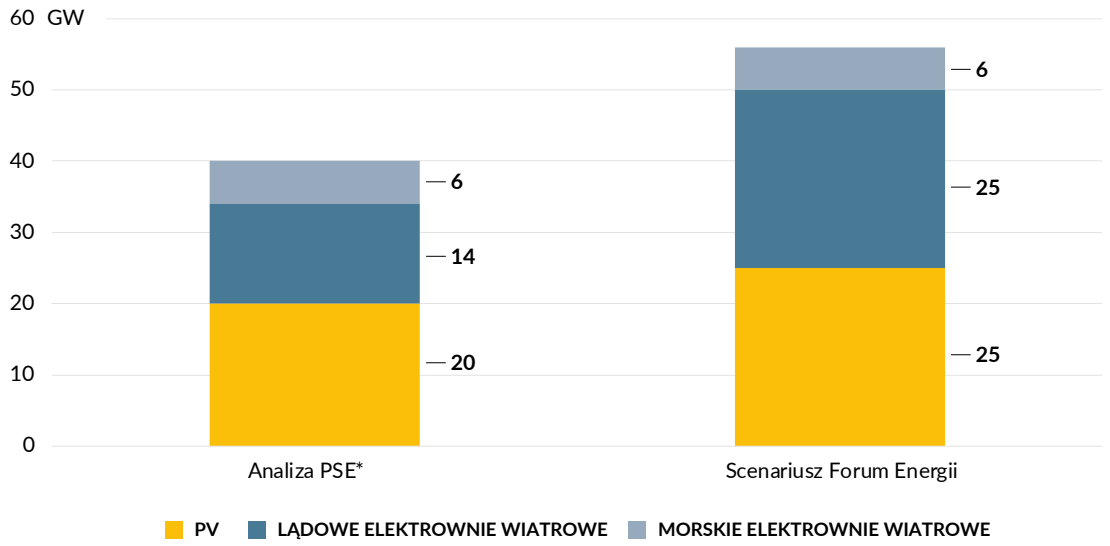
4 Urząd Regulacji Energetyki, *Karta Efektywnej Transformacji Sieci Dystrybucyjnych Polskiej Elektroenergetyki. Raport zbiorczy z prac Zespołu Projektowego*, 2022, https://www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/aktualnosci/10630,Rynek-energii-elektrycznej-historyczne-porozumienie-sektorowe-regulatora-i-opera.html.

Z analizy Forum Energii wynika jednak, że prognozowany przez PSE rozwój OZE będzie niewystarczający, by sprostać potrzebom energetycznym Polski do 2030 r.[5] Bierze ona pod uwagę wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną ze względu na rozwój:

- elektromobilności (1,8 mln pojazdów elektrycznych),
- pomp ciepła (2 mln sztuk),
- produkcji zielonego wodoru (ok. 400 tys. t H_2/rok).

Analiza ta uwzględnia jednocześnie warunki ekonomiczne i regulacyjne, które będą powodować to, że energia produkowana z węgla będzie zastępowana energią pozyskiwaną z OZE wraz z nowymi jednostkami bilansującymi. **Wykres 2 porównuje moce OZE w roku 2030 zgodnie z prognozą PSE do scenariusza Forum Energii. Według tego drugiego, polski system elektroenergetyczny będzie potrzebował co najmniej 16 GW więcej mocy OZE.**

Wykres 2. Prognozowana i wymagana moc źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych do 2030 r.



Źródło: Polskie Sieci Elektroenergetyczne, *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2023–2032*, 2022, https://www.pse.pl/documents/20182/291785a3-7832-4cb6-a5ae-971d29024b82.
* Dane dotyczące PV nie zawierają dalszego rozwoju prosumeryzmu niż ok. 6 GW mocy zainstalowanych mikroinstalacji. Zapowiadana w planie PSE moc w morskich elektrowniach wiatrowych na rok 2032 to 11 GW.

Odmowy przyłączeń są barierą rozwoju sieci

Operatorzy systemów dystrybucyjnych (OSD) już od dłuższego czasu sygnalizują ograniczone możliwości przyłączania nowych instalacji OZE do swoich sieci. Wynika to z ograniczonej dostępnej mocy przyłączeniowej. Odmowy wydania warunków przyłączeniowych stały się już w Polsce normą. W 2022 r. **wydano 7 tys. odmów dotyczących projektów o łącznej mocy 51 GW**[6] (wykres 3).

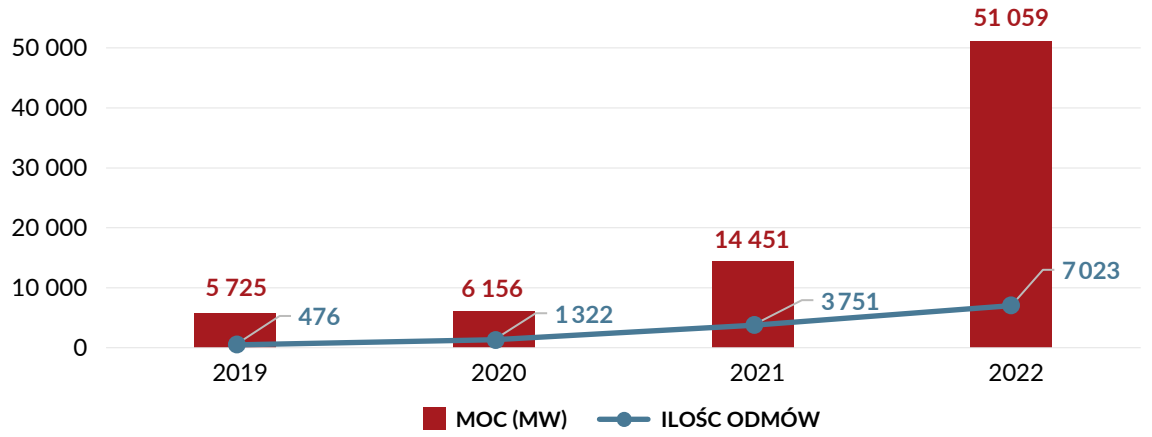
5 Analiza została przeprowadzona przez Aurora Energy Research wraz z Forum Energii. Jej założenia i wyniki znajdują się w opinii: T. Adamczewski, J. Maćkowiak-Pandera, *OZE może ograniczyć import paliw*, Forum Energii, 2022, https://www.forum-energii.eu/pl/blog/oze-moze-ograniczyc-import-paliw.

6 Urząd Regulacji Energetyki, *Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2022*, 2023, s. 101, https://www.ure.gov.pl/download/9/13743/Sprawozdanie2022.pdf.

O problemach związanych z procesem uzyskiwania warunków przyłączeniowych pisaliśmy wcześniej w raporcie *Przyspieszyć rozwój OZE*[7]. Główne przyczyny odmów to:

- brak transparentności przy:
  - planowaniu rozwoju sieci i przyszłych dostępnych mocy przyłączeniowych,
  - realizacji ekspertyz poprzedzających decyzje o przyłączeniu,
  - kolejkowaniu wniosków o warunki przyłączenia;
- brak warunków technicznych, czyli m.in. potencjalne przeciążenia linii energetycznych,
- brak warunków ekonomicznych, czyli brak środków na rozwój sieci i tworzenie nowych mocy przyłączeniowych.

Wykres 3. Odmowy wydania warunków przyłączeniowych w mocach (MW) w latach 2019-2022



Źródło: URE, *Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu regulacji energetyki 2022*, Warszawa 2023, https://www.ure.gov.pl/download/9/13743/Sprawozdanie2022.pdf.

Żeby umożliwić dodatkowy rozwój OZE, będą więc potrzebne znaczące inwestycje w infrastrukturę sieciową oraz zmiana w sposobie zarządzania nią. Polskie sieci niewątpliwie wymagają modernizacji: 39% linii napowietrznych i 33% stacji elektroenergetycznych jest w wieku powyżej 40 lat[8]. Oprócz inwestycji infrastrukturalnych, wymagane będą rozwiązania niskokosztowe, które pozwolą szybko odblokować dodatkowe moce przyłączeniowe, takie jak:

- dokładny przegląd infrastruktury sieciowej – tak, by ewentualne odmowy wynikały z przyczyn rzeczywistych zagrożeń dla pracy sieci, a nie teoretycznych przeciążeń, które nie wpływają na bezpieczeństwo systemu (o czym pisaliśmy w analizie *Przyspieszyć rozwój OZE*),
- umożliwienie stosowania linii bezpośredniej, czyli podłączania instalacji OZE bezpośrednio do odbiorcy,
- *cable pooling*, czyli współdzielenie infrastruktury przyłączeniowej różnych źródeł wytwórczych.

Linia bezpośrednia i *cable pooling* są rozwiązaniami już dostrzeżonymi w *Karcie Efektywnej Transformacji Sieci Dystrybucyjnych Polskiej Elektroenergetyki* przygotowanej przez URE[9]. Co więcej, prace nad rozwiązaniami legislacyjnymi w tym zakresie toczą się w Ministerstwie Klimatu i Środowiska już od wielu miesięcy.

7 Forum Energii, *Przyspieszyć rozwój OZE*, 2023, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/przyspieszyc-rozwoj-oze.
8 Client Earth, *Sieci - wąskie gardło polskiej transformacji energetycznej*, 2022, https://www.clientearth.pl/najnowsze-dzialania/artykuly/nowy-raport-sieci-waskie-gardlo-transformacji-energetycznej/.
9 Urząd Regulacji Energetyki, *Karta Efektywnej Transformacji...*, *op.cit*.

Celem tego raportu jest pokazanie, jak w polskich warunkach łączenie źródeł we wspólnym punkcie przyłączenia (tzw. *cable pooling*) może wesprzeć dalszy rozwój OZE i ograniczyć koszty rozwoju sieci.

Cable pooling to połączenie różnych źródeł wytwórczych OZE (oraz magazynów energii i elektrolizerów) w tym samym węźle przyłączenia o sumarycznej mocy większej niż moc przyłączeniowa[10]. W ten sposób, wykorzystując jedno przyłącze, można połączyć np. farmy wiatrowe i elektrownie słoneczne, które znajdują się blisko siebie[11]. Połączenie w jednym węźle różnych farm wiatrowych lub słonecznych, przekraczających moc przyłączeniową, może też być określane jako *oversizing*[12, 13].

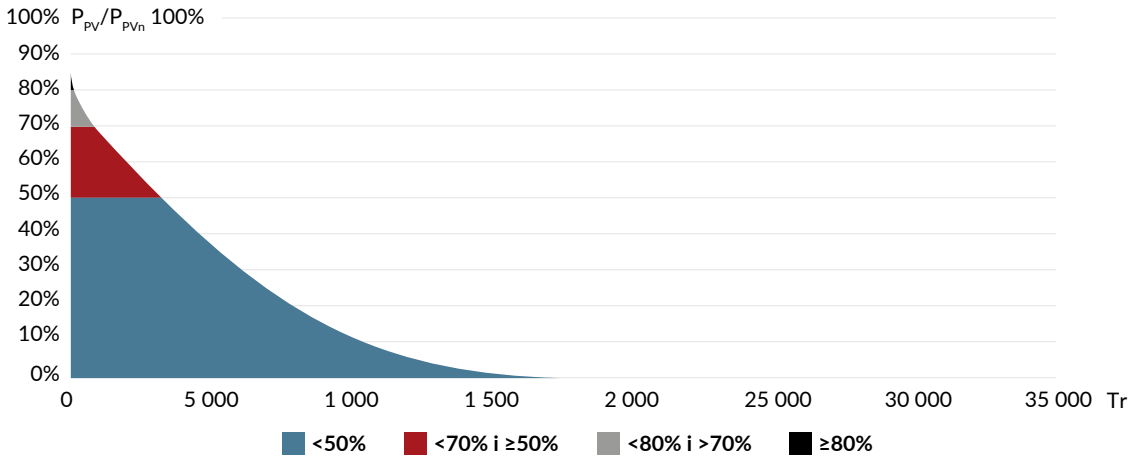
3. Charakterystyka *cable pooling*

Obecnie obowiązuje zasada, że podmiot inwestujący w instalację OZE uzyskuje warunki przyłączenia na moc równą mocy zainstalowanego źródła (lub źródeł). Energia pozyskiwana z wiatru i słońca zależy od warunków pogodowych, więc instalacje te rzadko osiągają pełne moce produkcyjne. Sprawia to, że system nie jest wykorzystany efektywnie, co zwiększa koszty jego funkcjonowania i przekłada się na taryfy.

Wykres 4 pokazuje, że czas, w którym generacja farmy fotowoltaicznej przekracza 50% mocy znamionowej, jest bardzo krótki. Budowa pełnej infrastruktury elektroenergetycznej (linii, stacji 110 kV, stacji SN oraz koszty inwestycji umożliwiających przyłączenie do sieci) zwymiarowanej na pełne 20 MW jest więc przedsięwzięciem bardzo nieefektywnym kosztowo i energetycznie.

Winą za ten stan rzeczy nie można jednak obarczać sposobu pracy źródeł energii zależnych od pogody, ale niedostosowane do nich zasady korzystania z infrastruktury sieciowej. System energetyczny był planowany pod jednostki konwencjonalne mogące wykorzystywać niemal pełne moce przyłączeniowe w długich okresach. Przy tak dynamicznym rozwoju źródeł odnawialnych, trzeba zmienić podejście do dysponowania mocami przyłączeniowymi.

Wykres 4. Uporządkowane wartości mocy generowanej w ciągu roku w analizowanej farmie fotowoltaicznej



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Forum Energii, *Przyspieszyć rozwój OZE*, 2023, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/przyspieszyc-rozwoj-oze.

10 J. Jacyszyn, *Hybrydowe instalacje OZE, czyli cable pooling w polskim wydaniu*, Komentarz IPE 3/2022, Instytut Polityki Energetycznej, 2022, https://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2015/09/Hybrydowe_instalacje_OZE_JakubJacyszyn.pdf.

11 Netbeheer Nederland, *Cable pooling. Update factsheet & verdieping*, 2020, https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_5de4ca08ea.pdf.

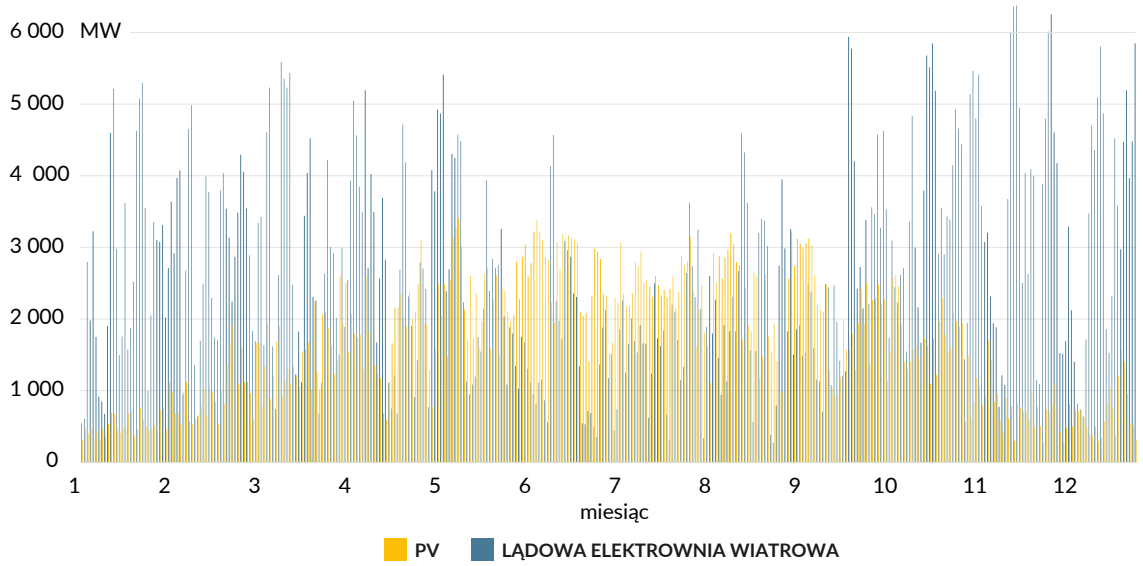
12 S. Z. M. Golroodbari et al., *Pooling the cable: A techno-economic feasibility study of integrating offshore floating photovoltaic solar technology within an offshore wind park*. "Solar Energy" March 2021, vol. 219, p. 65–74, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20313219.

13 J. Jacyszyn, *op.cit*.

Dzięki współdzieleniu przyłączeń infrastruktura sieciowa jest wykorzystywana w sposób optymalny. Moc z różnych źródeł jest wyprowadzana wtedy, gdy warunki atmosferyczne sprzyjają wytwarzaniu energii. Poprzez łączenie źródeł na wiatr i słońce generacja często występuje naprzemiennie lub uzupełnia się do mocy przyłączeniowej.

Wykres 5 przedstawia generację wiatrową i fotowoltaiczną w 2021 r. w Polsce zarejestrowaną przez PSE S.A. Wynika z niego, że w pewnych okresach występuje nakładanie się wysokiej generacji wiatrowej i słonecznej, co w niektórych przypadkach mogłoby prowadzić do konieczności ograniczania produkcji.

Wykres 5. Generacja energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych w 2021 r. (MW)



Źródło: J. Jacyszyn, *Hybrydowe instalacje OZE, czyli cable pooling w polskim wydaniu*, Komentarz IPE 3/2022, Instytut Polityki Energetycznej, 2022, https://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2015/09/Hybrydowe_instalacje_OZE_JakubJacyszyn.pdf.

W uogólnieniu, energia pozyskiwana z wiatru i energia słoneczna uzupełniają się. W lecie bardzo często występują wysokie nasłonecznienia przy niższych prędkościach wiatru. W zimie natomiast zazwyczaj wiatr jest silny, a wysokie nasłonecznienia występują rzadziej. Czasami zachodzi jednak konieczność wyłączenia lub ograniczenia produkcji jednostek wytwórczych, żeby produkcja nie przekraczała mocy umownej.

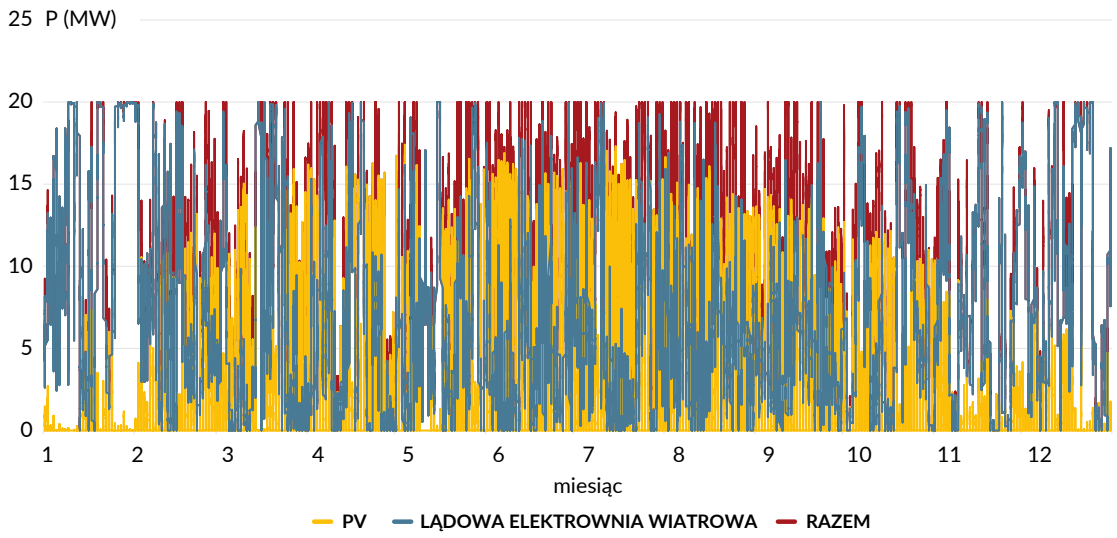
Ograniczenie produkcji to mniejsza efektywność wykorzystania źródła, co przekłada się na zmniejszenie przychodów wytwórcy. Z badań wynika jednak, że w Europie takie ograniczenia występują przez ok. 50 dni w roku, a ich czas waha się od 15 minut do 8 godzin, co odpowiada 1,5% rocznego czasu produkcji[14]. Według innych danych, pokrywanie się dużych wartości prędkości wiatru i nasłonecznienia występuje w ok. 5% czasu produkcji[15].

Wykres 6 przedstawia wynik analizy obliczeniowej dla połączonej instalacji 20 MW lądowej elektrowni wiatrowej i 20 MW elektrowni fotowoltaicznej. Wskazuje on, że kwadransów, w których nastąpiło przekroczenie mocy przyłączeniowej w ciągu roku, było zaledwie 2 161 (6,2%). Taki wynik prowadzi do koncepcji współdzielenia infrastruktury przyłączeniowej przy zastosowaniu ograniczeń, żeby nie dochodziło do przekroczeń. Straty związane z ograniczeniami mogą być zmniejszone po zastosowaniu magazynu energii.

14 Priogen, *Cable Pooling for Solar*, https://priogen.com/cable-pooling-for-solar/.

15 ComCam Energy Portfolio Management, *Maximaal profiteren van wind én zon met de beschikbare netcapaciteit door cable pooling*, https://www.comcamenergy.com/blog/maximaal-profiteren-van-wind-en-zon-met-de-beschikbare-netcapaciteit-door-cable-pooling/.

Wykres 6. Sumaryczna moc generowana przez elektrownię wiatrową i elektrownię fotowoltaiczną o mocach 20 MW w ciągu 12 miesięcy

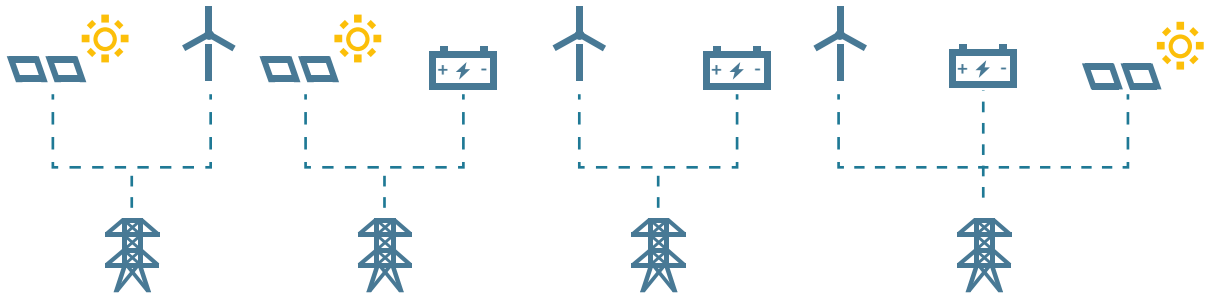


Źródło: opracowanie własne na podstawie: Forum Energii, *Przyspieszyć rozwój…, op.cit.*

Istnieje więc możliwość zmagazynowania energii wyprodukowanej ponad zdolności przyłączeniowe. Energia ta może być następnie wprowadzona do sieci przy niższej produkcji ze źródeł odnawialnych. Jednak przy wydawaniu warunków przyłączeniowych, moc magazynu energii jest także traktowana jako moc wytwórcza. Dlatego trzeba umożliwić przyłączanie źródeł i magazynów o łącznej mocy przekraczającej moc zawartą w umowie przyłączeniowej, żeby móc w pełni korzystać z kombinacji tych instalacji – zwiększając jednocześnie potencjał rozwoju mocy OZE oraz zmniejszając straty wynikające z konieczności ograniczania produkcji energii.

Kombinacje łączenia instalacji, które przedstawia rysunek 1, to najczęściej spotykane przypadki *cable pooling*.

Rysunek 1. Typowe kombinacje łączenia instalacji OZE i magazynu energii



Źródło: opracowanie własne.

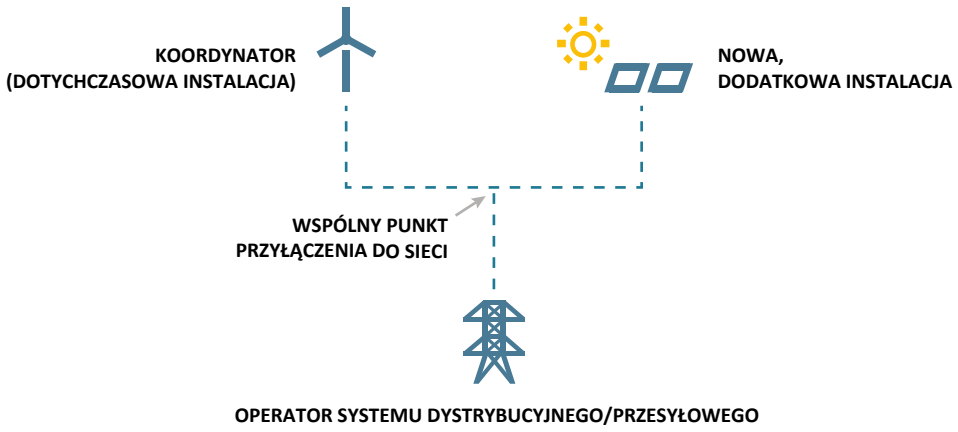
Rozwiązania typu *cable pooling* stają się coraz popularniejsze, gdyż pozwalają na kształtowanie różnych konfiguracji źródeł energii (wiatr, słońce) i magazynów energii podłączonych do jednego węzła przyłączeniowego sieci[16]. Co więcej, tego typu inwestycje pozwolą też na przyłączenie elektrolizera, który mógłby korzystać bezpośrednio z energii wytworzonej w źródle OZE. Zarządzanie źródłami OZE oraz przyłączaniem ich do sieci będzie jednak wymagało współpracy między inwestorami i operatorami sieci.

16 I. Hanas, D. Brudzyński, *Cable pooling jako sposób na brak przyłączeń i efektywniejsze wykorzystanie infrastruktury energetycznej?* 2022, https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/cable-pooling-jako-sposob-na-brak-przylaczen-i-efektywniejsze-wykorzystanie-infrastruktury-energetycznej.

Organizacja współpracy między źródłami energii a siecią

Łączenie źródeł energii wymaga koordynacji między nimi (i magazynem), żeby nie dochodziło do przekroczeń mocy przyłączeniowej. W związku z tym będzie potrzebne wyznaczenie podmiotu odpowiedzialnego za dysponowanie mocą w systemie – koordynatora. Koordynatorem tym może być spółka, której wydano warunki lub umowę przyłączeniową. Obowiązki koordynatora i podmiotu dysponującego dodatkowym źródłem należy ustalić w umowie między nimi. Powinna ona zawierać m.in. informacje dotyczące tego, która instalacja ma ograniczać produkcję, żeby nie przekraczać dozwolonych parametrów. Natomiast koordynator bierze odpowiedzialność wobec operatora systemu dystrybucyjnego czy przesyłowego w ramach umowy przyłączeniowej.

Rysunek 2. Schemat organizacji współpracy wytwórców i operatora przy łączeniu źródeł



Źródło: opracowanie własne.

Łączenie źródeł powinno też gwarantować prawo do dyspozycji pełną mocą przyłączeniową tym podmiotom, które mają już wydane warunki lub podpisane umowy na moce przyłączeniowe. To znaczy, że podmiot z dodatkowym źródłem musi dostosować profil produkcji do koordynatora (chyba że umowa między nimi będzie stanowić inaczej).

Co więcej, koordynator powinien zadbać o to, by operator sieci był informowany o profilu przyszłej produkcji. Jest to szczególnie istotne w przypadku łączenia źródeł energii z magazynami i elektrolizerami. Operator systemu prognozuje produkcje i zapotrzebowanie na energię na podstawie prognozy pogody. Elektrolizery i magazyny zmieniają ten profil, pobierając energię zanim trafi do sieci. W celu bilansowania systemu, operator powinien mieć dostęp do planowanej produkcji i dostarczania energii do sieci przez wszystkie instalacje podłączone do jednego punktu a przyłączenia.

Dostępność mocy przyłączeniowych wynika z inwestycji powstałych z opłat sieciowych i pieniędzy publicznych, których koszt ponosi społeczeństwo. Jednocześnie, rozwój OZE leży w interesie całego państwa. Dlatego koordynator powinien być zobowiązany do jak najpełniejszego wykorzystania mocy przyłączeniowej, czyli na tyle, na ile jest to technicznie możliwe.

Po umożliwieniu łączenia źródeł przez legislatora, koordynator powinien dokonać dodatkowych inwestycji w nowe moce wytwórcze w ciągu określonego czasu (np. trzech lat). Jeśli nie zamierza lepiej wykorzystać mocy przyłączeniowej, powinien być zobowiązany do tego, by inni inwestorzy mogli z niej skorzystać.

Operator systemu dystrybucyjnego lub przesyłowego powinien mieć możliwość ograniczania mocy łączonych źródeł, jeśli przekraczałyby one moc przyłączeniową. Dodatkowo, powinien mieć również możliwość nakładania kar na koordynatorów za przekraczanie mocy określonej w umowie.

Podobne rozwiązania zostały zastosowane w innych krajach UE, w tym w Holandii. Kolejny rozdział tego raportu przedstawia, w jaki sposób zrealizowano tam łączenie źródeł.

4. Doświadczenia holenderskie

Brak warunków przyłączeniowych był w Holandii jedną z kluczowych barier rozwoju energetyki odnawialnej[17]. Rozwiązaniem tego problemu stał się *cable pooling*[18]. Ze względu na innowacyjność tej metody, regulacje prawne dotyczące *cable pooling* w Holandii nadal się kształtują. Przyjęto więc, że inwestorzy mogą łączyć swoje instalacje, ustalając jeden główny punkt przyłączenia.

Najważniejsze zasady łączenia źródeł energii w Holandii:

- W prawie niderlandzkim powstaje jedna umowa o przyłączenie i przesył między podmiotem przyłączanym a operatorem sieci dla danego przyłącza (niezależnie od liczby punktów alokacyjnych przypisanych do tego przyłącza[19]).
- Właściciele instalacji mogą wnioskować o wspólne przyłączenie dla dwóch projektów powstających zarówno jako nowa inwestycja, jak i połączenie istniejących instalacji[20].
- W celu przyłączenia kolejnego źródła do istniejącej już instalacji, należy podpisać z jej właścicielem umowę dotyczącą połączenia oraz wystąpić o zmianę umowy z operatorem sieci elektroenergetycznej[21].
- System holenderski opiera się na ujemnych i dodatnich cenach niezbilansowania. Gdy instalacja produkuje więcej energii niż jej moc zakontraktowana, to właściciel instalacji płaci karę lub otrzymuje premię za nadprodukcję.
- Kwoty za przekroczenie mocy są elastyczne i zmieniają się z godziny na godzinę. Ceny są cały czas dostępne do wglądu na stronie operatora sieci. Kształtują się one na poziomie 50–170 euro/MWh[22].
- Strony umowy dotyczącej łączenia źródeł wspólnie ponoszą koszty przekroczenia mocy umownej. Niemniej jednak, strony najczęściej zawierają umowę, w której sprecyzowane są zasady dzielenia się odpowiedzialnością – zazwyczaj to właściciel instalacji, która przekroczyła moc zakontraktowaną, jest zobowiązany zrekompensować drugiej stronie poniesioną karę[23].

Jednym z największych wyzwań w Holandii było oszacowanie, jak duża moc przyłączeniowa będzie potrzebna w każdym projekcie z połączonymi źródłami, dobierając odpowiedni stosunek produkcji z energii wiatru i słonecznej. Aby wypełnić tę lukę, wiele firm stworzyło narzędzia, dzięki którym małe instalacje OZE mogą dokonać analizy zastosowania *cable pooling*[24].

Doświadczenia międzynarodowe, w tym holederskie, powinny być brane pod uwagę przy tworzeniu zasad łączenia źródeł OZE w Polsce. Dotychczasowe propozycje krajowych rozwiązań przedstawia kolejny rozdział.

17 I. Hanas, D. Brudzyński, *op.cit.*
18 CMS Law-Now, *Netherlands raises solutions for current grid-capacity shortages*, 2019, https://cms-lawnow.com/en/ealerts/2019/07/netherlands-raises-solutions-for-current-grid-capacity-shortages.
19 Overheid Wettenbank, *Netcode elektriciteit*, 2023, https://wetten.overheid.nl/BWBR0037940/2023-03-11.
20 Invest-NL, *Model Cable Pooling Overeenkomst Brownfield*, 2022, https://www.invest-nl.nl/business-development/publicaties/cable-pooling-overeenkomst-met-opslag?lang=en.
21 *Ibidem*.
22 *Ibidem*.
23 *Ibidem*.
24 Firan, *Slimme combinaties van zon- en windenergie*, 2020, https://www.firan.nl/wp-content/uploads/2021/01/Firan-Whitepaper-Renewable-Energy-Matching-Tool_13102020_DEF.pdf.

5. Formalno-prawne bariery łączenia źródeł OZE w Polsce

Polskie prawo nie przewiduje obecnie możliwości skoordynowanej współpracy między instalacjami, która miałaby na celu efektywne wykorzystanie zdolności dystrybucyjnych w jednym punkcie przyłączenia. Operatorzy twierdzą, że nie mają tytułu prawnego do dyscyplinowania tych wytwórców, którzy posiadając moc przyłączeniową mniejszą od mocy znamionowej, będą ją systematycznie przekraczać.

Aby obejść te przeszkody, inwestorzy wydzielają podrzędną sieć i sami zostają jej operatorem (OSDn). Sieć podrzędna ma umowę na wyprowadzanie mocy do sieci nadrzędnej (dystrybucyjnej lub przesyłowej). Moc umowna takiej OSDn jest taka sama, jak np. wcześniej zainstalowana moc farmy wiatrowej. Następnie, nowo stworzony OSDn wydaje warunki dla nowej instalacji (np. fotowoltaicznej). Wówczas właściciel instalacji jest jednocześnie operatorem systemu podrzędnego i podmiotem odpowiedzialnym za utrzymanie wyprowadzanej mocy do limitu pierwotnie uzyskanego od OSD. Taka procedura jest jednak czasochłonna i skomplikowana (a więc kosztowna), w związku z czym dostępna tylko dla dużych zorganizowanych podmiotów.

Działania te wynikają przede wszystkim z biznesowej kreatywności, a nie ze strategii rozwoju energetyki, która byłaby poparta dedykowanymi przepisami prawa. Nie umożliwia to więc wykorzystania pełnego potencjału mocy przyłączeniowych.

W związku z tym, pod koniec 2022 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska rozpoczęło konsultacje tzw. pakietu sieciowego[25]. Jednym z jego filarów są przepisy służące rozwojowi *cable pooling* w Polsce. Proponowane rozwiązania to m.in:

- umożliwienie przyłączenia mocy większej niż wynikałoby to z warunków przyłączeniowych,
- ustanowienie możliwości ograniczania produkcji przez wytwórcę, żeby nie przekraczać mocy umownej,
- nadanie operatorowi sieciowemu uprawnień do:
  - polecenia ograniczenia mocy wprowadzanej do sieci do poziomu mocy przyłączeniowej bez ponoszenia odpowiedzialności za skutki,
  - odłączenia od sieci w przypadku przekroczenia mocy przyłączeniowej o więcej niż 5%,
  - nałożenia kary w wysokości 5 zł/kW na wytwórcę za przekroczenie mocy umownej.

Proponowane zmiany usuną większość barier dla wdrożenia *cable pooling* w Polsce. Trzeba jednak mieć na uwadze, że projekt jest jeszcze konsultowany i może ulec zmianie.

Patrząc na doświadczenia holenderskie, dobrą praktyką jest zawieranie standardowych umów pomiędzy inwestorami, które określają zasady współpracy stron oraz podział kosztów wspólnego przyłączenia i instalacji. Taka modelowa umowa – *Cable Pooling Agreement* (CPA)[26] – została zaprezentowana przez holenderskie organizacje branżowe. Wypracowanie jasnego i transparentnego porozumienia kontraktowego pomiędzy inwestorami mogłoby umożliwić wykorzystanie pełnego potencjału *cable pooling* również w polskiej rzeczywistości prawnej.

Odpowiednie regulacje kontraktowe powinny też pojawić się na poziomie umowy przyłączeniowej zawieranej z właściwym operatorem. Takie trójstronne porozumienie mogłoby być korzystne dla inwestorów i operatora systemu z uwagi na ograniczenie liczby wiążących stosunków zobowiązaniowych oraz transparentności. W takim przypadku powinna zostać zachowana swoboda kontraktowa w zakresie określenia, która instalacja ma ograniczyć swoją produkcję, tak aby suma wyprodukowanej energii elektrycznej z obu (lub więcej) instalacji, nie przekroczyła mocy zainstalowanego przyłącza[27].

Po wdrożeniu tych zasad do polskiego porządku prawnego, będzie można wykorzystać potencjał łączenia źródeł OZE w Polsce. W dalszej kolejności należy ustalić, jak wiele nowych mocy mogłoby zostać przyłączonych do sieci, gdyby umożliwić *cable pooling*.

25 Pakiet sieciowy. Projekt z dnia 7 grudnia 2022 r.

26 Ventolines, *New agreement makes sharing grid connection for wind, solar and storage legally possible*, 2022, https://www.ventolines.nl/en/ventolines-en/new-agreement-makes-sharing-grid-connection-for-wind-solar-and-storage-legally-possible/.

27 I. Hanas, D. Brudzyński, *op.cit.*

6. Analiza potencjału łączenia źródeł OZE w Polsce

Co do zasady, *cable pooling* jest jednoznaczne ze zniesieniem wymogu, by moc przyłączeniowa była równa mocy źródła wytwórczego. Oznacza to, że wielkość mocy OZE (i magazynu energii) nie byłaby już ograniczana przez operatorów sieci. Inwestor będzie mógł np. dostać warunki przyłączenia na źródło o mocy 5 MW (lub większe) przy mocy przyłączeniowej 1 MW. Głównym ograniczeniem ze strony operatora byłby natomiast wymóg, by chwilowa produkcja z podłączonego źródła nie przekraczała mocy z umowy przyłączeniowej.

Ograniczanie produkcji będzie przekładać się na mniejszy wolumen energii wytwarzanej i sprzedawanej przez wytwórcę. Funkcjonowanie źródła w takim reżimie będzie oznaczało, że zmieni się tradycyjna analiza zasadności ekonomicznej inwestowania w nowe źródła. Dotychczas taka analiza opierała się na założeniu, że źródło będzie produkować maksymalną ilość energii, na jaką pozwolą warunki pogodowe. Przy łączeniu źródeł trzeba będzie natomiast oszacować straty spowodowane ograniczaniem produkcji.

Głównym kosztem wytwarzania energii w elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych jest kapitał zainwestowany w źródło wytwórcze (tzw. CAPEX). Nie ma w tym przypadku potrzeby zakupu paliwa, a koszty operacyjne są niewielkie (tabela 1). Zainwestowany kapitał zwraca się z czasem, dzięki wytwarzanej energii.

Im więcej sprzedawanej energii, tym krótszy okres zwrotu. Ograniczanie produkcji ze względu na moc przyłączeniową będzie przekładać się na wydłużenie okresu zwrotu. Przewymiarowanie źródła, które często będzie musiało być wyłączane, może więc przynieść stratę dla inwestora.

Oznacza to, że potencjał rozwoju OZE na poziomie pojedynczych instalacji i poziomie krajowym, dzięki umożliwieniu łączenia źródeł, będzie wynikał głównie z zasadności inwestycji w nowe źródła. Przedstawiona w tym raporcie analiza ma na celu wskazanie, jak wiele nowych mocy OZE może powstać dzięki *cable pooling*. Należy wziąć przy tym pod uwagę, że nowe inwestycje muszą przynosić zyski. Analiza nie bada ograniczeń przestrzennych.

Na potrzeby tej analizy zbudowano model matematyczny, który umożliwia dobór optymalnych pod względem ekonomicznym wariantów rozbudowy istniejącego już źródła w ramach wskazanej wcześniej mocy przyłączeniowej. W zastosowanym algorytmie obliczeniowym przyjęto następujące założenia:

- Moc przyłączeniowa stanowi górną granicę mocy, którą kombinacja odnawialnych źródeł energii może generować.
- Kryterium optymalizacji jest zysk roczny[28].
- Koszty kapitałowe są obliczane dla mocy dodatkowej jako iloczyn całkowitych nakładów inwestycyjnych i stopy zwrotu kapitału CRF (*Capital Recovery Factor*)[29].
- W modelu nie zostały uwzględniane koszty inwestycyjne ani koszty operacyjne istniejących źródeł.
- Wolumen wyprodukowanej energii elektrycznej (w MWh) w ramach instalacji jest przeliczany na wartości pieniężne.

W tabeli 1 podano dane wejściowe dotyczące m.in. kosztów i sprawności wybranych instalacji.

28 Równoważny zysk roczny rozumiany jest tutaj jako różnica rocznych przychodów i równoważnych kosztów rocznych, w których uwzględniono koszty kapitałowe oraz stałe koszty eksploatacyjne.

29 CRF jest funkcją stopy dyskontowej oraz okresu eksploatacji źródła, magazynu energii lub elektrolizera.

Tabela 1. Parametry techniczno-ekonomiczne wybranych instalacji

Parametr	Jednostka	Wiatr	PV	Magazyn	Elektrolizer
Capex	USD/kW	1 130	600	900	844,2
	zł/kW	5 085	2 700	4 050	3 798,8
Opex	% CAPEX	3	1,7	1,25	1,5
	USD/kW/a	33,90	10,20	11,23	12,67
	zł/kW/a	152,56	45,90	50,63	56,99
Sprawność	%	34	11	80	66
Czas życia, n	lata	25	25	15	15
Stopa dyskonta, p	–	0,08	0,08	0,08	0,08
CRF	–	0,094	0,094	0,117	0,117

Źródła: IEA, IEO, LAZARD, MKiŚ, Forum Energii, A. R. Silva, K. Das i in.

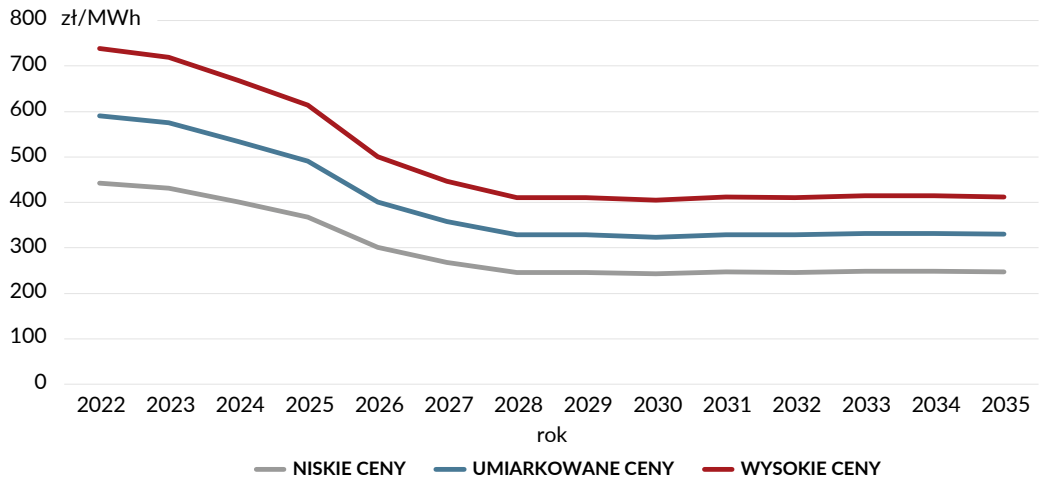
Dodatkowym parametrem, koniecznym do wskazania na etapie wstępnym, jest cena energii elektrycznej sprzedawanej do sieci. Na potrzeby tej analizy przyjęto następujące wartości:

- 298,92 zł/MWh (scenariusz niskich cen),
- 398,56 zł/MWh (scenariusz umiarkowanych cen),
- 498,20 zł/MWh (scenariusz wysokich cen).

Wartość umiarkowana, czyli 398,56 zł/MWh, stanowi średnią arytmetyczną cen prognozowanych przez Aurora Energy Research na lata 2022–2035[30]. Pozostałe wartości (298,82 zł/MWh oraz 498,20 zł/MWh) to odpowiednio zmniejszona i zwiększona o 25% wartość cen umiarkowanych.

Wykres 7 przedstawia ścieżki cenowe, na podstawie których ceny zostały uśrednione do opisanych scenariuszy.

Wykres 7. Trzy scenariusze cen energii



Źródło: opracowanie własne na podstawie prognozy Aurora Energy Research z Q2 2022 r.

30 Prognoza Aurora Energy Research z Q2 2022 r. w ich autorskim scenariuszu centralnym.

Przyjęte scenariusze cenowe wynikają z potrzeby dywersyfikacji założeń do analizy. Powodem tego są dynamicznie zmieniające się warunki na rynku energii i surowców energetycznych.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że przyjęcie średnich cen jest istotnym uproszczeniem analizy – nie jest brany pod uwagę arbitraż cenowy, który mógłby przyczynić się do optymalizacji ekonomicznej przedstawionych wariantów produkcji energii, w szczególności przy wykorzystaniu magazynu energii.

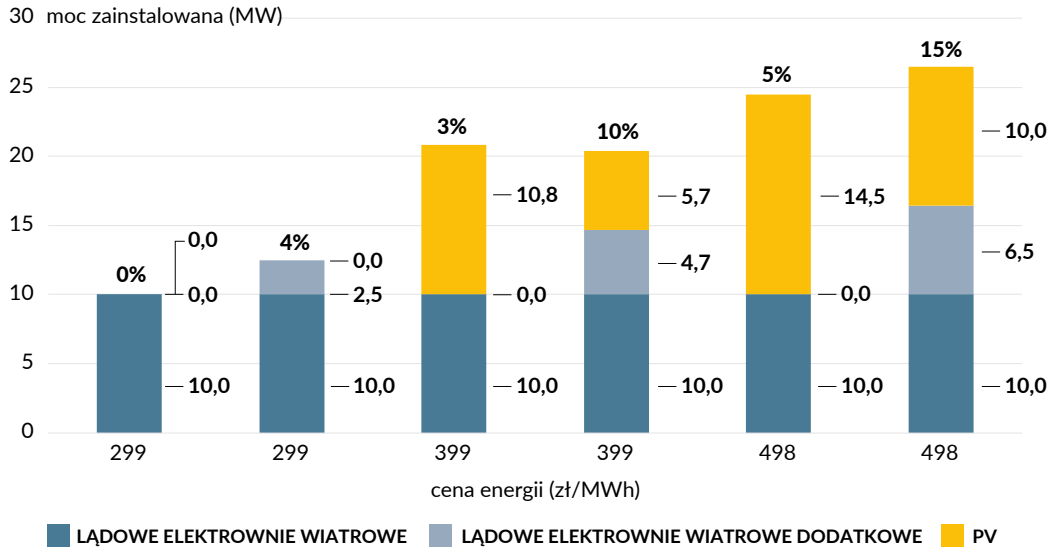
W kolejnych podrozdziałach zestawiono wyniki modelu dla poszczególnych proponowanych wariantów łączenia źródeł OZE.

6.1. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe oraz fotowoltaiczne

W analizowanym przypadku zakłada się, iż do istniejącego źródła lądowej elektrowni wiatrowej o mocy 10 MW oraz przy zastanej mocy przyłączeniowej wynoszącej także 10 MW, inwestor może dołączyć:

- dodatkowe źródła fotowoltaiczne o mocy nieprzekraczającej 20 MW,
- dodatkowe źródła fotowoltaiczne i wiatrowe, z których każde nie przekracza 10 MW.

Wykres 8. Kombinacja mocy OZE (MW) oraz ograniczona produkcja dodatkowego źródła (%)



Źródło: opracowanie własne.

Wykres 8 pokazuje, że w scenariuszu niskich cen istnieje zasadność ekonomiczna dodania 2,5 MW źródeł wiatrowych do istniejących 10 MW. Ograniczenia generacji dodatkowego źródła wynoszą 4% w skali rocznej. Przy wyższych cenach istnieje zasadność połączenia istniejącego źródła zarówno z nowymi mocami fotowoltaicznymi, jak i wiatrowymi.

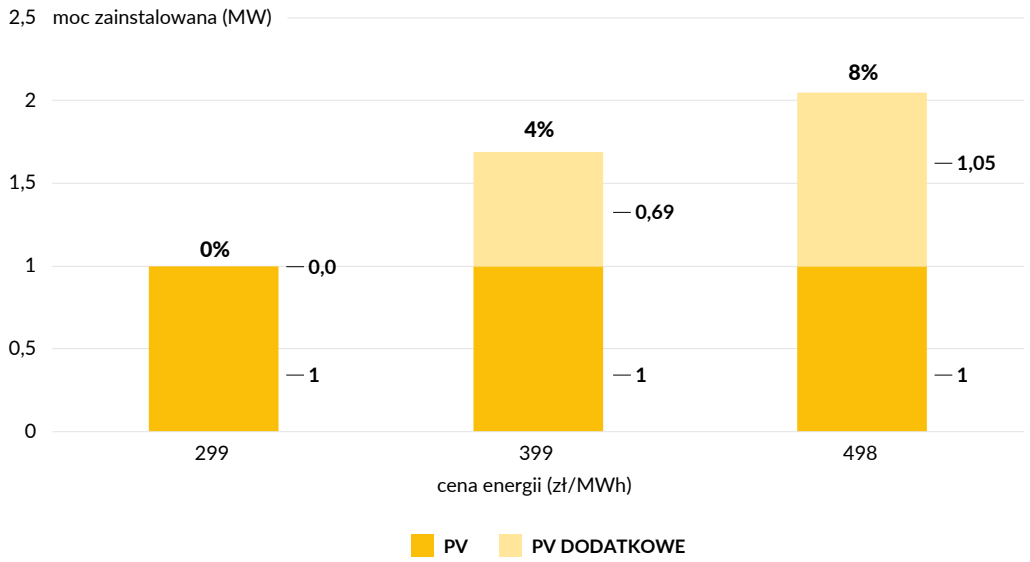
Wyniki analizy wskazują, że łączenie źródeł:

- umożliwia zwiększenie przyłączonych mocy OZE o ponad 150% (przy cenach na poziomie 498 zł/MWh i możliwości inwestycji zarówno w dodatkową elektrownie wiatrową, jak i fotowoltaiczną),
- jest uzasadnione nawet przy dużych stratach potencjału produkcji energii (15%) przy wysokich cenach energii,
- wiatrowych i fotowoltaicznych jest najbardziej efektywne pod względem wykorzystania mocy zainstalowanej (najmniejszy % ograniczania produkcji).

Alternatywnie, można dołączać dodatkowe źródła do istniejących instalacji fotowoltaicznych. Wykres 9 przedstawia wynik analizy łączenia różnych źródeł PV.

Analiza zakłada, że do instalacji o mocy 1 MW można przyłączać kolejne moce fotowoltaiczne. Dla uproszczenia, model nie umożliwia dodawania mocy wiatrowych ze względu na ograniczoną przestrzeń. Nie oznacza to, że w praktyce nie będą występować przypadki łączenia nowego źródła wiatrowego z istniejącym fotowoltaicznym.

Wykres 9. Kombinacja mocy PV (MW) oraz ograniczona produkcja dodatkowego źródła (%)



Źródło: opracowanie własne.

Wynik analizy wskazuje na to, że w scenariuszu niskich cen *cable pooling* nie zachęci do inwestowania w dodatkowe źródła fotowoltaiczne. Natomiast w kolejnych scenariuszach cenowych:

- łączenie źródeł umożliwia zwiększenie mocy PV o ponad 100%,
- nawet podwojenie mocy zainstalowanych wymaga ograniczenia produkcji zaledwie o 8%.

Straty wynikające z konieczności ograniczania produkcji można zmniejszać dzięki zastosowaniu magazynu energii lub elektrolizera. Kolejne części analizy pokazują wyniki zastosowania obu tych technologii.

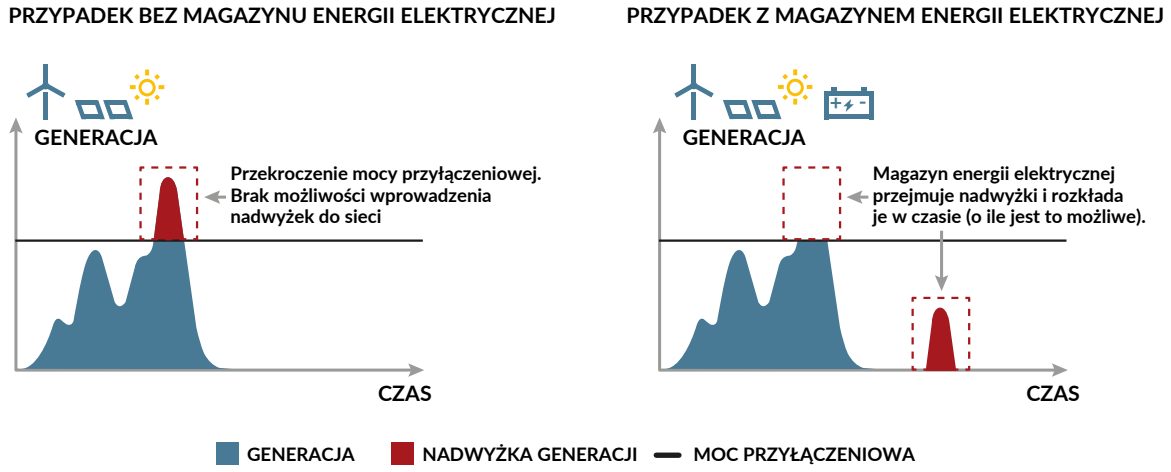
6.2. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe, fotowoltaiczne oraz magazyn energii elektrycznej

W przypadku funkcjonowania przy instalacji OZE magazynu energii elektrycznej ewentualne nadwyżki generacji w godzinach, w których panują wyjątkowo dobre warunki (słońce, wiatr), mogą zostać przynajmniej częściowo zagospodarowane.

Istotne jest przy tym to, że magazyn energii jest dobierany, podobnie jak w przypadku źródeł, w oparciu o kryterium ekonomiczne. Zysk z funkcjonowania instalacji musi zrekompensować koszty inwestycyjne i operacyjne.

W pewnym sensie magazyn energii zachowuje się jak dodatkowe źródło. Różnica polega na tym, że nie tyle produkuje on energię, co przechowuje jej ewentualne nadwyżki w godzinach, w których ich uwolnienie byłoby niemożliwe lub niebezpieczne dla sieci. Wykres 10 przedstawia schemat oddawania zgromadzonej energii w godzinach, kiedy generacja z OZE jest dużo niższa.

Wykres 10. Magazyny energii zwiększają efektywność wykorzystania mocy przyłączeniowej



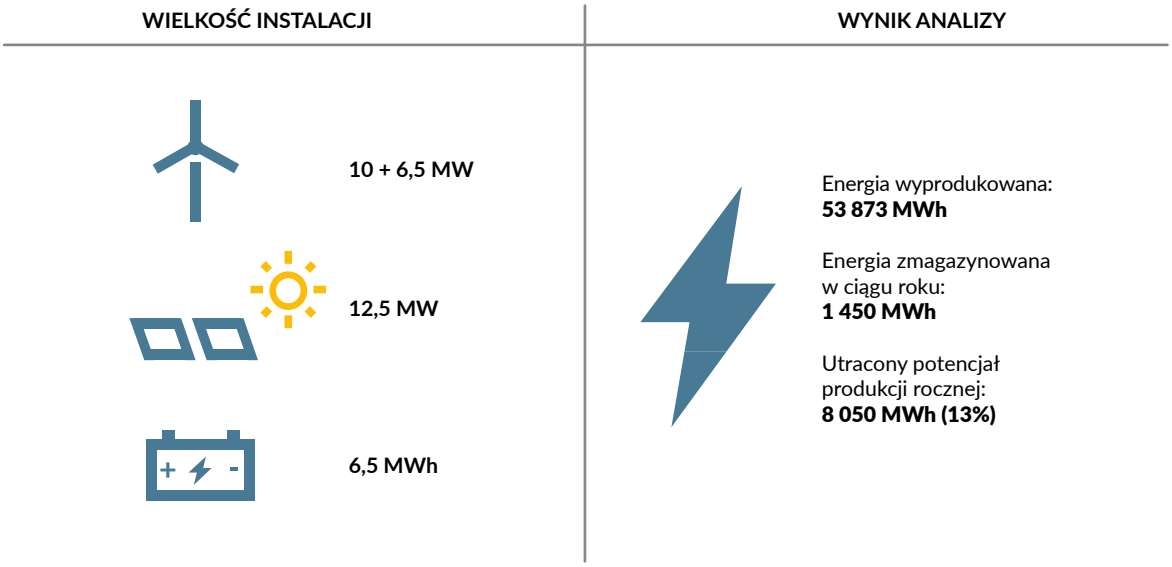
Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przedstawionego na wykresie 10 schematu łączenia źródeł OZE z magazynem energii, została przeprowadzona analiza ekonomiczna. Ze względu na wysokie koszty magazynu energii (tabela 1) łączenie źródeł OZE z magazynem jest uzasadnione wyłącznie w przypadku, gdy:

- ceny sprzedaży energii są wysokie,
- istnieje możliwość pozyskania dotacji dla magazynu energii.

Rysunek 3 pokazuje wynik modelowania, gdzie korzystanie z magazynu energii przy łączeniu źródeł OZE jest uzasadnione ekonomicznie. Do istniejącej instalacji lądowej elektrowni wiatrowej zostało dodane kolejne 6,5 MW mocy wiatrowych, 12,5 MW mocy fotowoltaicznych i baterie o pojemności 6,5 MWh. Przyjęta cena energii wynosi 498,02 zł/MWh, a dotacja do magazynu wynosi 50% jego kosztu.

Rysunek 3. Założenia i wynik analizy optymalizacji wykorzystania magazynu energii przy łączeniu źródeł



Źródło: opracowanie własne.

Wynik analizy wskazuje, że:

- Korzystanie z magazynu energii bez dodatkowego systemu wsparcia / zachęt nie jest uzasadnione. Należy zaznaczyć, że analiza nie bierze pod uwagę arbitrażu cenowego i przyjmuje stałe ceny wcześniej wymienionych scenariuszy, co zmniejsza opłacalność takiej inwestycji.
- Korzystanie z magazynu energii nie eliminuje strat wynikających z konieczności ograniczania produkcji. W tym przypadku nadal ok. 13% produkcji energii z nowych źródeł jest ograniczone.
- Magazyn zwiększa potencjał wykorzystania mocy przyłączeniowej o 190% w analizowanym przypadku.

Magazyny energii będą pełnić ważną funkcję w systemie elektroenergetycznym opartym głównie o źródła odnawialne. Ich zasadność ekonomiczna będzie wynikała jednak z większej liczby zadań niż tylko kumulowanie energii, która inaczej byłaby utracona ze względu na ograniczenia mocy przyłączeniowej. Przykładem takich działań może być świadczenie dedykowanych usług systemowych czy maksymalizacja zysku poprzez sprzedaż energii w godzinach, w których jest ona najdroższa.

6.3. Optymalizacja uwzględniająca źródła wiatrowe, fotowoltaiczne oraz elektrolizer

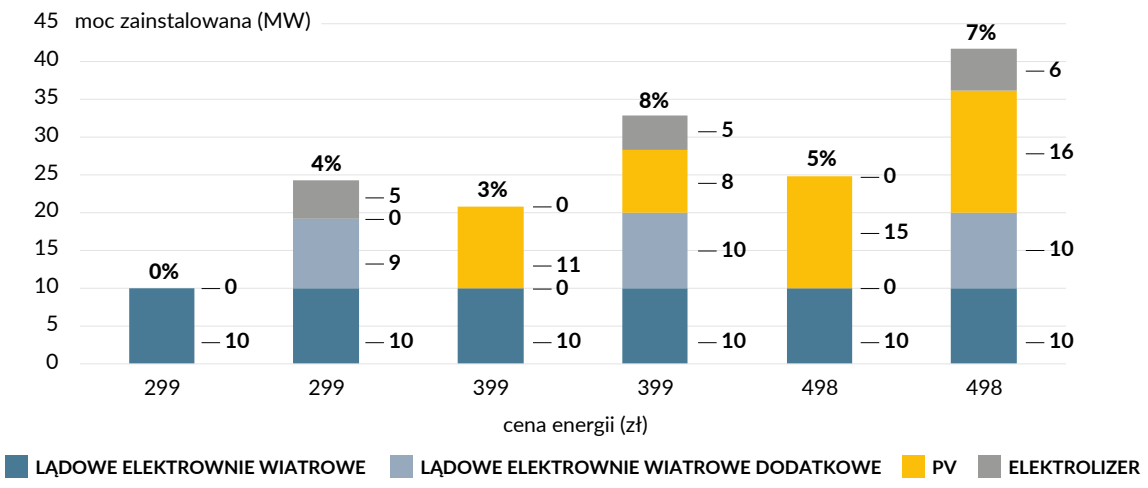
Innym sposobem ograniczania strat przy łączeniu źródeł jest wytwarzanie wodoru w procesie elektrolizy.

Zamiast wyłączać źródła w obawie przed przekroczeniami mocy, analizujemy przypadek wykorzystania tej energii do produkcji wodoru. Powstały z nadwyżek produkcji energii elektrycznej wodór jest sprzedawany do podmiotów trzecich po wcześniej ustalonej cenie. W modelu nie uwzględniono kosztów magazynowania i transportu wodoru. Na potrzeby tej analizy zostały przyjęte następujące założenia:

- Wartość pozyskanego wodoru wynosi 520 zł/MWh.
- Maksymalna moc elektrolizera, która może powstać, jest równa mocy przyłączeniowej, tj. 10 MW.
- Maksymalna moc źródła PV, które może powstać, wynosi 20 MW, zaś nowego źródła wiatrowego 10 MW.

Wykres 11 pokazuje wynik analizy optymalizacyjnej łączenia źródeł OZE z elektrolizerem.

Wykres 11. Kombinacja mocy OZE i elektrolizera (MW) oraz ograniczona produkcja mocy dodatkowych (%)



Źródło: opracowanie własne.

Optymalizator wskazuje na zasadność ekonomiczną funkcjonowania elektrolizera w przypadku możliwości budowy dodatkowych źródeł wiatrowych. Gdy z obecnym źródłem wiatrowym łączymy tylko źródło fotowoltaiczne, elektrolizer nie jest inwestycją przynoszącą zysk.

Takie połączenie źródeł oraz elektrolizera wyraźnie zmniejsza skalę ograniczanej produkcji energii. **Co więcej, w scenariuszu wysokich cen zwiększa potencjał mocy przyłączeniowej nawet o 290%.**

Zastosowanie elektrolizera, jak i magazynu energii, zwiększa więc potencjał wykorzystania mocy przyłączeniowych. Zasadność ich wykorzystania będzie zależeć od cen energii i systemów wsparcia oraz wartości zielonego wodoru.

Na bazie wyników poszczególnych scenariuszy i rozwiązań technologicznych w kolejnym rozdziale został przedstawiony potencjał lepszego wykorzystania mocy przyłączeniowych w Polsce dzięki umożliwieniu łączenia źródeł OZE.

7. Potencjał zwiększenia dostępnych mocy przyłączeniowych w Polsce dzięki zastosowaniu koncepcji łączenia źródeł OZE

Analiza przedstawiona w poprzednim rozdziale pozwoliła wykazać potencjał rozwoju energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej przy możliwości rozbudowy i łączenia źródeł – w zależności od przyjętych cen energii. Wyniki tych analiz zostały przełożone na wszystkie moce przyłączeniowe, które będą udostępnione do 2030 r.

Na przykład, skoro do instalacji 10 MW w cenach umiarkowanych można dołączyć 5,7 MW PV i 4,7 MW energetyki wiatrowej (wykres 8), to proporcjonalnie takie moce zostały dodane do mocy w lądowej energetyce wiatrowej prognozowanych do 2030 r. Podobnie, do źródeł fotowoltaicznych, przy umiarkowanych cenach, dodano 0,69 MW do każdego zainstalowanego megawata.

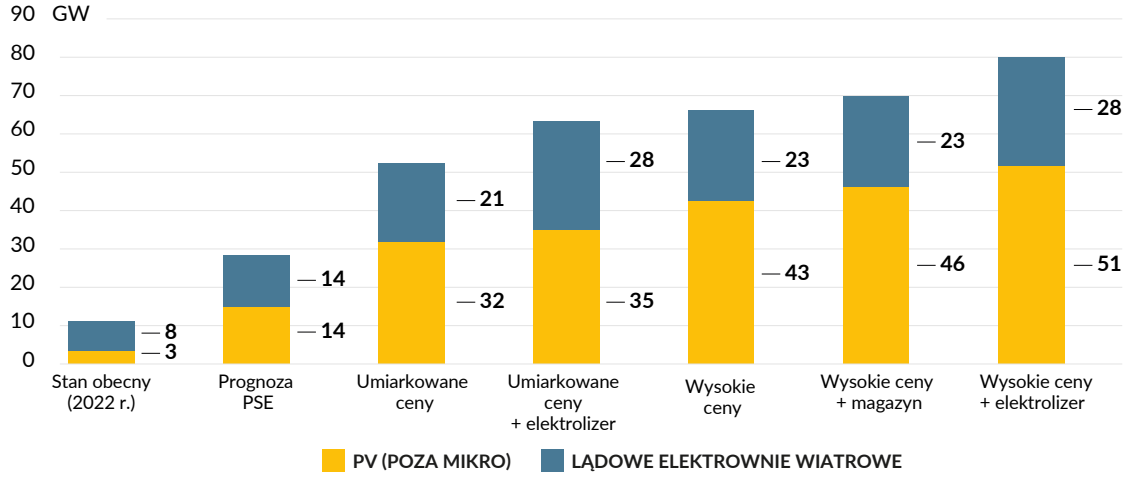
Przy analizie potencjału zostały przyjęte następujące założenia:

- Operatorzy systemu dystrybucyjnego i systemu przesyłowego będą inwestować w rozwój sieci, pozwalający na przyłączenie źródeł, które już mają warunki i umowy przyłączeniowe. Nie będą więc korzystać z *cable pooling*, by wypełnić dotychczasowe zobowiązania. **Na podstawie wydanych warunków i umów przyłączeniowych do 2030 r. ma powstać 14 GW w lądowych elektrowniach wiatrowych i 14 GW w elektrowniach fotowoltaicznych (nie licząc mikroinstalacji, które nie wymagają warunków przyłączeniowych)**[31].
- Instalacje, które dostały warunki przyłączenia i sporządzono dla nich umowy, nie będą podlegały łączeniu źródeł. Tym samym, zostaną potencjalnymi koordynatorami mocy (o czym piszemy w rozdziale 4).

Wykres 12 wskazuje potencjał rozwoju OZE, biorąc pod uwagę, że do 2030 r. do łączenia źródeł będzie dostępnych 14 GW mocy przyłączeniowych w lądowych elektrowniach wiatrowych i 14 GW w PV.

31 Polskie Sieci Elektroenergetyczne, *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2023–2032*, 2022, https://www.pse.pl/documents/20182/291785a3-7832-4cb6-a5ae-971d29024b82.

Wykres 12. Potencjał rozwoju OZE w Polsce do 2030 r. dzięki możliwości łączenia źródeł (GW)

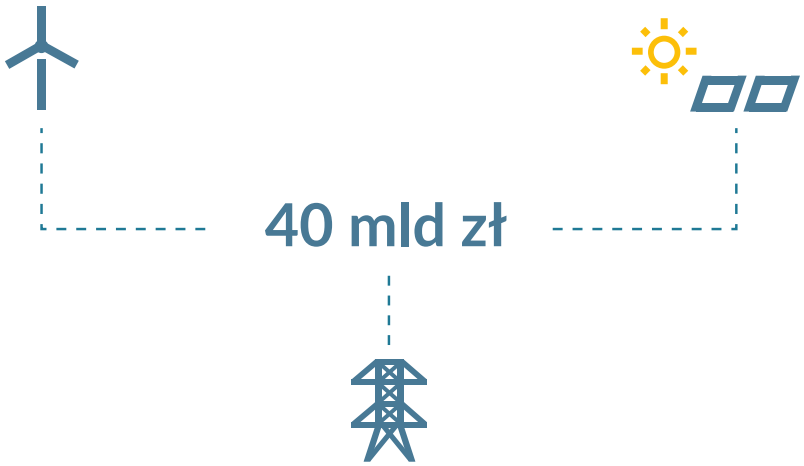


Źródło: opracowanie własne.

Przy umiarkowanych cenach potencjał wykorzystania mocy przyłączeniowych rośnie o 25 GW. Jest to znacznie więcej niż dodatkowe 16 GW potrzebne do wymaganych mocy OZE według scenariusza Forum Energii (patrz rozdział 2).

Wyniki analizy należy traktować z pewną dozą ostrożności, ponieważ nie zawierają ograniczeń przestrzennych. Jest to główne uwarunkowanie zmniejszające potencjał *cable pooling*. Niemniej, nawet przy konserwatywnym założeniu umiarkowanych cen bez zastosowania elektrolizerów, można wnioskować, że łączenie źródeł znacznie ułatwi rozwój OZE w Polsce.

Co więcej, każdy MW przyłączony dzięki *cable pooling* ma swoją wartość. Według *Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030* (KPEiK), koszt przyłączenia 1 MW źródeł OZE do sieci to ok. 1,6 mln zł[32]. **To znaczy, że uwolnienie 25 GW mocy przyłączeniowych (w scenariuszu umiarkowanych cen) miałoby wartość niemal 40 mld złotych.**



32 Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030, Scenariusz odniesienia (ODN)*, 2019, https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu.

8. Posumowanie i rekomendacje

Obecny problem z odmowami wydawania warunków przyłączenia można rozwiązać m.in. poprzez odblokowanie możliwości łączenia źródeł OZE wraz z magazynami energii i elektrolizerami. Bez tego rozwiązania infrastruktura sieciowa będzie wykorzystywana w sposób nieefektywny. Dotychczasowe wydawanie warunków przyłączeniowych wyłącznie do mocy instalacji wytwórczej jest przestarzałe i nie bierze pod uwagę charakterystyki i potencjału rozwoju OZE. Z drugiej strony, rozwój ten jest niezbędny, by nadążyć za rosnącym popytem na energię elektryczną w elektryfikujących się sektorach polskiej gospodarki.

Możliwość łączenia źródeł może zachęcić do inwestycji w dodatkowe 25 GW źródeł OZE. Taki potencjał może pokryć zapotrzebowanie na nowe moce odnawialne do roku 2030 i później. Jednocześnie, możliwość łączenia tak wielu mocy miałaby wartość ok. 40 mld zł, których nie trzeba będzie wydawać na rozwój sieci, przyczyniając się dzięki temu do ograniczania rachunków za prąd u odbiorców końcowych.

Żeby *cable pooling* mogło przynieść oczekiwany skutek, powinny zostać wprowadzone poniższe zasady:

- Spółki mające warunki i umowy przyłączeniowe powinny być zobowiązane do wykorzystania potencjału mocy przyłączeniowej poprzez:
  - inwestowanie w nowe źródła w terminie maksymalnie trzech lat,
  - umożliwienie innym inwestorom skorzystania z mocy przyłączeniowej,
  - zawieranie umów między wytwórcami w celu ustalenia obowiązków ograniczania mocy.
- Analiza pracy źródeł OZE wskazuje na to, że powinny się one uzupełniać, a nie konkurować ze sobą. Koszyki aukcyjne OZE powinny więc być osobne dla energetyki wiatrowej i PV.
- Ceny referencyjne dla aukcji OZE powinny uwzględniać wyższe koszty wytwarzania instalacji korzystających z *cable pooling* (wynikające z konieczności ograniczania produkcji).
- Potrzebne są systemy wsparcia dla magazynów energii oraz elektrolizerów, które zwiększają potencjał OZE, gdy są łączone w jednym punkcie przyłączenia do sieci.

Bibliografia

1. Adamczewski T., Jędra M., *Zielone gazy. Biometan i wodór w Polsce*, 2021, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/zielone-gazy.
2. Client Earth, *Sieci – wąskie gardło polskiej transformacji energetycznej*, 2022, https://www.clientearth.pl/najnowsze-dzialania/artykuly/nowy-raport-sieci-waskie-gardlo-transformacji-energetycznej/.
3. CMS Law-Now, *Netherlands raises solutions for current grid-capacity shortages*, 2019, https://cms-lawnow.com/en/ealerts/2019/07/netherlands-raises-solutions-for-current-grid-capacity-shortages.
4. ComCam Energy Portfolio Management, *Maximaal profiteren van wind én zon met de beschikbare netcapaciteit door cable pooling*, https://www.comcamenergy.com/blog/maximaal-profiteren-van-wind-en-zon-met-de-beschikbare-netcapaciteit-door-cable-pooling/.
5. Das K. et al., *Component sizing of an utility-scale hybrid power plant*, 2022, Paper presented at 6th international Hybrid Power Systems Workshop, Madeira, Portugal.
6. Firan, *Slimme combinaties van zon- en windenergie*, 2020, https://www.firan.nl/wp-content/uploads/2021/01/Firan-Whitepaper-Renewable-Energy-Matching-Tool_13102020_DEF.pdf.
7. Forum Energii, *Przyspieszyć rozwój OZE*, 2023, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/przyspieszyc-rozwoj-oze.
8. Forum Energii, *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2023*, 2023, https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/transformacja-2023.
9. Gawlikowska-Fyk A., *Po 2025 r. węgiel będzie wychodził z polskiego systemu energetycznego falami*, Forum Energii, 2021, https://www.forum-energii.eu/pl/blog/luka-weglowa-2025.
10. Golroodbari S. Z. M. et al., *Pooling the cable: A techno-economic feasibility study of integrating offshore floating photovoltaic solar technology within an offshore wind park*. "Solar Energy" March 2021, vol. 219, p. 65–74, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20313219.
11. Hanas I., Brudzyński D., *Cable pooling jako sposób na brak przyłączeń i efektywniejsze wykorzystanie infrastruktury energetycznej?* 2022, https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/cable-pooling-jako-sposob-na-brak-przylaczen-i-efektywniejsze-wykorzystanie-infrastruktury-energetycznej.
12. Instytut Energii Odnawialnej, *Rynek Fotowoltaiki w Polsce 2022*, 2022, https://ieo.pl/pl/aktualnosci/1591-raport-rynek-fotowoltaiki-w-polsce-2022.
13. International Energy Agency, *Technology Roadmap – Hydrogen and Fuel Cells*, 2015, https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells.
14. Invest-NL, *Model Cable Pooling Overeenkomst Brownfield*, 2022, https://www.invest-nl.nl/business-development/publicaties/cable-pooling-overeenkomst-met-opslag?lang=en.
15. Jacyszyn J., *Hybrydowe instalacje OZE, czyli cable pooling w polskim wydaniu*, Komentarz IPE 3/2022, Instytut Polityki Energetycznej, 2022, https://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2015/09/Hybrydowe_instalacje_OZE_JakubJacyszyn.pdf.
16. Lazard, *Lazard's levelized cost of energy analysis – version 15.0*, 2021, https://www.lazard.com/media/sptlfats/lazards-levelized-cost-of-energy-version-150-vf.pdf.
17. Lazard, *Lazard's levelized cost of hydrogen analysis – version 2.0*, 2021, https://www.lazard.com/media/erzb5rkv/lazards-levelized-cost-of-hydrogen-analysis-version-20-vf.pdf.
18. Lazard, *Lazard's levelized cost of storage analysis – version* 7.0, 2021, https://www.lazard.com/media/42dnsswd/lazards-levelized-cost-of-storage-version-70-vf.pdf.

19. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030*, *Scenariusz odniesienia (ODN)*, 2019, https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu.

20. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Polityka Energetyczna Polski do 2040 r.*, 2021, https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski.

21. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Projekt KPEiK na lata 2021–2030 – przed konsultacjami*, 2020, https://www.gov.pl/web/klimat/projekt-krajowego-planu-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030.

22. Minister Klimatu i Środowiska, *Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej za okres od dnia 1 stycznia 2019 r. do dnia 31 grudnia 2020 r.*, 2021, https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/Energetyka/Sprawozdania_z_wynikow_monitorowania_bezpieczenstwa_dostaw_energii_elektrycznej/Sprawozdanie_MKiS_z_monitorowania_bezpieczenstwa_dostaw_energii_elektrycznej_za_okres_2019-2020_tekst_ostateczny.pdf.

23. Netbeheer Nederland, *Cable pooling. Update factsheet & verdieping*, 2020, https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_5de4ca08ea.pdf.

24. Overheid Wettenbank, *Netcode elektriciteit*, 2023, https://wetten.overheid.nl/BWBR0037940/2023-03-11.

25. Polskie Sieci Elektroenergetyczne, *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2023–2032*, 2022, https://www.pse.pl/documents/20182/291785a3-7832-4cb6-a5ae-971d29024b82.

26. Priogen, *Cable Pooling for Solar* https://priogen.com/cable-pooling-for-solar/.

27. Silva A. R., Estanqueiro A., *From Wind to Hybrid: A Contribution to the Optimal Design of Utility-Scale Hybrid Power Plants*. Energies 2022, 15(7), https://doi.org/10.3390/en15072560.

28. Ventolines, *New agreement makes sharing grid connection for wind, solar and storage legally possible*, 2022, https://www.ventolines.nl/en/ventolines-en/new-agreement-makes-sharing-grid-connection-for-wind-solar-and-storage-legally-possible/.

29. Urząd Regulacji Energetyki, *Karta Efektywnej Transformacji Sieci Dystrybucyjnych Polskiej Elektroenergetyki. Raport zbiorczy z prac Zespołu Projektowego*, 2022, https://www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/aktualnosci/10630,Rynek-energii-elektrycznej-historyczne-porozumienie-sektorowe-regulatora-i-opera.html.

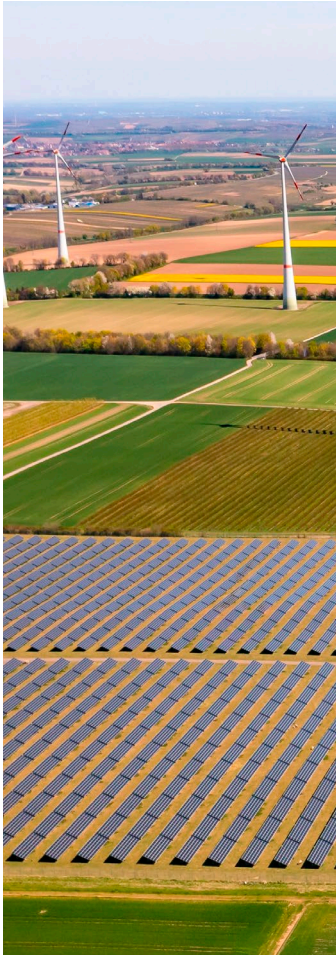
30. Urząd Regulacji Energetyki, *Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2021*, 2022, s. 123, https://www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/edukacja-i-komunikacja/publikacje/sprawozdania-z-dzialaln/2916,Sprawozdania-z-dzialalnosci-Prezesa-URE.html.

31. *Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych* (tj. Dz.U. z 2021 poz. 724).

Notatki

Notatki

Łączenie źródeł OZE
Potencjał *cable pooling* w Polsce



FORUM ENERGII
ul. Wspólna 35/10, 00-519 Warszawa
NIP: 7010592388, KRS: 0000625996, REGON: 364867487

www.forum-energii.eu