

# Propozycja usługi autobilansowania (UAB)

**Abstrakt:** Energetyka rozproszona rozwija się w szybkim tempie i potrzebuje rozwiązań legislacyjnych, które wesprą jej działanie i jednocześnie nie obciążą kosztowo reszty społeczeństwa. Niniejszy artykuł przedstawia i opisuje rozwiązanie, które pozwoli osiągnąć te cele. Usługa autobilansowania promuje pożądane zjawiska sieciowe w obszarze przesyłu i dystrybucji energii. Zjawiska te wynikają z jednoczesności występowania popytu i podaży na energię w określonym, lokalnym obrębie sieci nazwanym obszarem autobilansowania. Proponuje się, by rekompensata za usługę autobilansowania była uznana za koszt uzasadniony ponoszony przez OSD, ponieważ jej realizacja prowadzi do wykonania zadań ustawowych OSD. Usługa autobilansowania składa się z dwóch niezależnych elementów: autokonsumpcja godzinowa generuje pożądane efekty w obszarze energii, redukując starty przesyłowe, zaś bilansowanie fizyczne prowadzi do redukcji mocy szczytowych, co przekłada się na oszczędności w obszarze inwestycji sieciowych. Usługa autobilansowania zachęca do inwestycji w elastyczne źródła energii oraz sterowania elastycznymi jednostkami w sposób najbardziej korzystny z punktu widzenia sieci, czyli poprzez niwelację szczytów własnego zapotrzebowania. Przeprowadzono badanie symulacyjne, na podstawie szczegółowego modelu klastra energii, wskazujące na efekty ekonomiczne i technologiczne wprowadzenia proponowanej regulacji. Wyniki badania pokazują, że w przypadku wprowadzenia usługi klastry uzyskują istotną zachętę do inwestycji w magazyny energii i inne źródła elastyczności.

**Słowa kluczowe:** usługa autobilansowania, UAB, OZE, klastry energii, energetyka rozproszona

Proponowana usługa autobilansowania (UAB) ma na celu stworzenie dodatkowego źródła przychodu dla energetyki lokalnej, w tym klastrów energii, jednocześnie nie obciążając kosztowo społeczeństwa. Innymi słowami: usługa autobilansowania nie jest projektowana jako system wsparcia. Filozofią proponowanej usługi jest znalezienie korzyści systemowych i społecznych, stworzonych przez energetykę lokalną, a następnie wynagrodzenie usługodawcy, w tym przypadku klastra energii, w stopniu odpowiednim do przyniesionej korzyści. W tym celu proponuje się, by rekompensata za usługę autobilansowania była równa oszczędnościom OSD uzyskanym na kosztach uzasadnionych wskutek realizacji usługi. Możliwość świadczenia usługi autobilansowania na danym obszarze nie wyklucza z góry funkcjonowania innych rozwiązań regulacyjnych na tym samym obszarze – współpraca różnych rozwiązań będzie prawdopodobnie możliwa na podstawie analizy proponowanych rozwiązań.

Usługa autobilansowania została zaprojektowana w celu wniesienia następujących korzyści systemowych:

- a) zwiększenie liczby źródeł rozproszonych, w tym odnawialnych w KSE,
- b) zwiększenie samowystarczalności energetycznej obszarów,
- c) poprawa krajowego bezpieczeństwa energetycznego,
- d) ograniczenie nakładów inwestycyjnych OSD poprzez zwiększenie lokalnej elastyczności popytu i podaży,
- e) zmniejszenie kosztów bilansowania systemu, poprzez:
  - zmniejszenie zapotrzebowania na rezerwy systemowe poprzez obniżenie szczytu zapotrzebowania,
  - obniżenie strat przesyłowych w wyniku pokrycia zapotrzebowania lokalnymi sieciami źródłami,
- f) tworzenie lokalnych miejsc pracy, w tym aktywizacja lokalnych społeczności w obszarach energetycznych, środowiskowych i klimatycznych,
- g) zwiększenie współpracy lokalnej poprzez wykreowanie zapotrzebowania na usługi dla lokalnych firm,
- h) pobudzenie potencjału innowacyjności poprzez kreowanie rozwiązań do bilansowania popytu i podaży na energię/moc w czasie rzeczywistym.

## Mechanizm działania usługi

Niniejszy rozdział przedstawia kluczowe założenia dla usługi autobilansowania. W pierwszym kroku opisane zostały dwie funkcje usługi autobilansowania, czyli konkretne zachowania np. klastra energii w obszarze generacji i zużycia energii, są to: autokonsumpcja

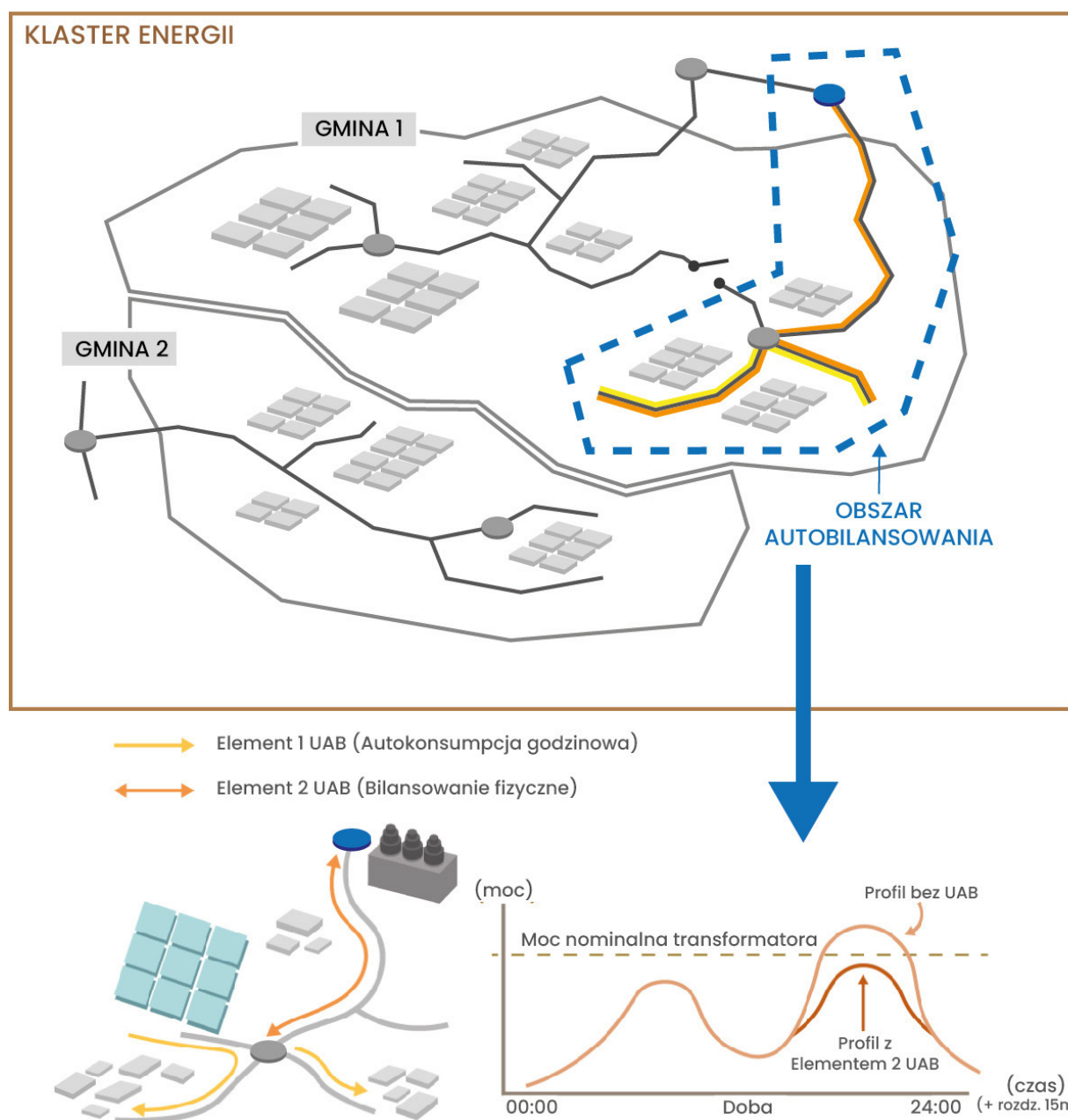
godzinowa i bilansowanie fizyczne. Dla obu funkcji przedstawione są korzyści czerpane przez OSD w wyniku wykonywania tych funkcji przez klastry energii. W dalszej części znajduje się propozycja zmiany rozporządzenia taryfowego, która umożliwi OSD wynagrodzenie klastra za świadczenie usługi autobilansowania. W kolejnej sekcji przedstawiona jest niezależność usługi autobilansowania od regulacji dotyczących obrotu energią. Dalej opisane zostały wymagania w obszarze trwałości i stabilności rocznej i sezonowej zachowań klastra konieczne do wytworzenia trwałych oszczędności po stronie OSD.

Usługa autobilansowania gratyfikuje, i tym samym motywuje do powstawania, pożądane zjawiska sieciowe w obszarze przesyłu i dystrybucji energii. Zjawiska te wynikają z jednoczesności występowania popytu i podaży na energię na określonym lokalnym obszarze sieci. Obszar ten został nazwany **obszarem autobilansowania** i jest zdefiniowany jako lista punktów poboru energii (PPE) zasilanych w typowym układzie przez jeden i ten sam transformator WN/SN lub SN/nN. Nie jest wymagane, by w skład obszaru autobilansowania wchodziły wszystkie PPE zasilane z danego transformatora. Wynagrodzenie za usługę jest zróżnicowane w zależności od tego, czy jest ona świadczona na obszarze WN/SN lub SN/nN. Usługa autobilansowania wprowadza dwa niezależne elementy gratyfikacji związane z pełnieniem dwóch różnych funkcji systemowych, tj. **autokonsumpcji godzinowej** oraz **bilansowania fizycznego**. Dwie proponowane funkcje są niezależnymi zjawiskami fizycznymi, autokonsumpcja godzinowa generuje pożądane efekty w obszarze strat i jakości energii, zaś bilansowanie fizyczne widoczne jest w wymiarze mocy i prowadzi do redukcji mocy szczytowych, co przekłada się na zmniejszenie wykorzystania infrastruktury i redukuje konieczność nowych inwestycji. Ze względu na niezależność zachodzenia tych dwóch zjawisk oraz niezależność wynikających z nich korzyści systemowych proponuje się, aby klastry energii mogły pełnić te dwie funkcje również niezależnie i addytywnie. W konsekwencji umożliwiałoby się powstawanie klastrów pełniących jedynie funkcję autokonsumpcji godzinowej lub

klastrów pełniących zarazem funkcję autokonsumpcji oraz bilansowania fizycznego. Ponieważ dla wykonywania autokonsumpcji godzinowej nie jest niezbędne, aby klastry posiadały źródła elastyczności, zakłada się, że będzie ona stanowiła podstawę działania w początkowym etapie rozwoju klastra. Gdy klastry będą wykształcały kolejne źródła i kompetencje, uzyska możliwość pełnienia kolejnej funkcji – bilansowania fizycznego – oraz uzyskania wynikającej z niej dodatkowej gratyfikacji finansowej.

Rys. 1 przedstawia przykładowy klastry, który zadeklarował obszar autobilansowania pod jednym z transformatorów WN/SN. Odbiorcy energii w obszarze autobilansowania dostają gratyfikację za autokonsumpcję godzinową (element 1) spowodowaną przepływem energii od źródła (w danym przypadku PV) do odbiorców (przepływ został na obrazku zaznaczony żółtą strzałką). Pomarańczowa strzałka zaznacza przepływ przez transformator, który jest związany z bilansowaniem fizycznym (element 2) w obszarze autobilansowania. Prawy dolny rysunek pokazuje 15-minutowy bilans mocy dla obszaru autobilansowania oraz przykład zmiany profilu obciążenia transformatora wskutek świadczenia elementu 2 usługi autobilansowania. Oba elementy usługi mogą być świadczone jedynie przez odbiorców i wytwórców zlokalizowanych na tym samym obszarze autobilansowania.

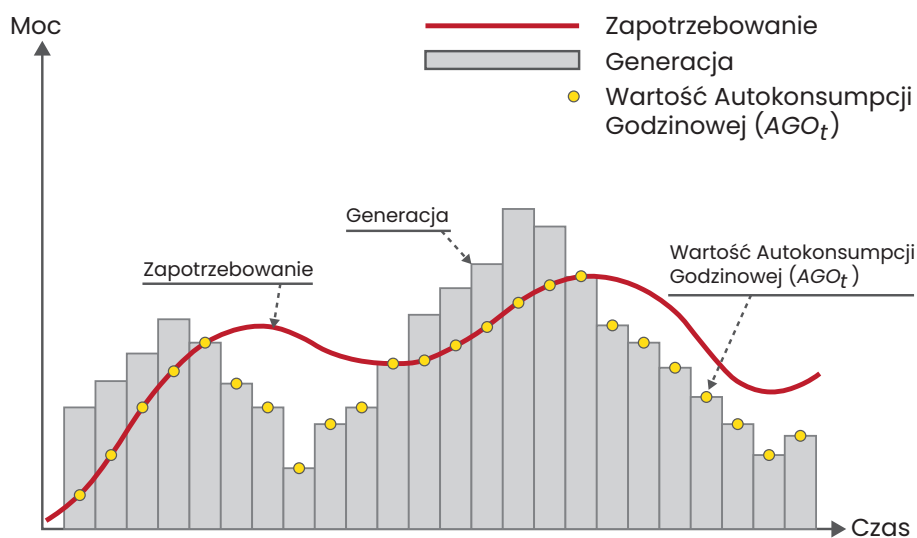
Przykładowe mechanizmy zrzeszenia i powstawania klastrów energii powinny wpisywać się w wymagania dyrektyw Unii Europejskiej RED II oraz EMD (społeczności działające w zakresie OZE, obywatelskie społeczności energetyczne itp.). Nie ma obowiązku, żeby wszystkie podmioty przyłączone do sieci w danym obszarze były członkami klastra energii lub obszaru autobilansowania, a co za tym idzie, by świadczyły usługę autobilansowania. Innymi słowy, w ramach jednego klastra energii oraz jednego obszaru bilansowania, zlokalizowanego przykładowo poniżej stacji GPZ (Główny Punkt Zasilania), najprawdopodobniej będą działały podmioty zrzeszone w celu świadczenia usługi autobilansowania, jak również inni pasywni oraz aktywni odbiorcy energii lub producenci.



Rys. 1. Schemat klastra energii. Klaster energii zawiera jeden lub więcej obszarów autobilansowania zdefiniowanych na podstawie topologii sieci. W ramach obszarów autobilansowania wykonywana jest usługa autobilansowania składająca się z dwóch elementów: autokonsumpcji godzinowej i bilansowania fizycznego

**Autokonsumpcja godzinowa** to funkcja pełniona potencjalnie przez wszystkich członków obszaru autobilansowania. Gratyfikacja za tę funkcję należy się każdemu członkowi obszaru, którego profil zapotrzebowania przynajmniej częściowo pokrywany jest przez źródła członkowskie na sieciowym obszarze autobilansowania. Funkcja ta jest skierowana do nowych i rozwijających się klastrów energii, i stanowi niezbędny impuls nadający kierunek rozwojowi energetyce rozproszonej.

Autokonsumpcja godzinowa jest zdefiniowana jako minimum z sumarycznego zapotrzebowania oraz sumarycznej generacji w danej godzinie. Autokonsumpcja jest wyrażona w jednostkach energii [kilowatogodzinach]. Autokonsumpcję godzinową wyznacza się na podstawie wzoru, który został podany w dalszej części artykułu (wzór nr 4). Przykładowy poziom autokonsumpcji został zaznaczony żółtymi punktami na Rys. 2.



Rys. 2. Metoda wyznaczania wartości autokonsumpcji godzinowej (AGO<sub>t</sub>) w obszarze autobilansowania na podstawie profili zapotrzebowania (czerwona krzywa) i generacji (szary wykres barowy). Wartości autokonsumpcji godzinowej (żółte punkty), oznaczone jako (AGO<sub>t</sub>), są zdefiniowane we wzorze nr 4. Wartość (AGO<sub>t</sub>) jest wyznaczana co godzinę lub co 15 minut, jako minimum wartości sumarycznej z generacji i sumarycznego zapotrzebowania klastra w danym przedziale czasowym na podstawie odczytów inteligentnych liczników. Wartość autokonsumpcji godzinowej służy do obliczenia rekompensaty za element 1 UAB

Z punktu widzenia sieci autokonsumpcja przynosi następujące korzyści: oszczędności na stratach technicznych w sieci OSD, oszczędności na stratach technicznych w sieci OSP, obniżenie kosztu zakupu usług regulacyjnych. W Tab. 1 zostały przedstawione dane oszczędności i ich przykładowe wartości liczbowe w przeliczeniu na MWh energii auto-konsumowanej.

Metoda wyznaczenia wysokości rekompensaty opłaty sieciowej dla poszczególnych członków klastra energii realizujących element 1 usługi autobilansowania została opisana w dalszej części artykułu.

**Bilansowanie fizyczne** jest skutkiem chwilowego zsumowania profili zapotrzebowania i generacji dla PPE w obszarze autobilansowania. Suma ta jest widoczna jako profil obciążenia transformatora zasilającego dany obszar. Bilansowanie fizyczne polega

na odpowiednim wysterowaniu odbiorów, jednostek wytwórczych oraz magazynów znajdujących się na obszarze w celu ograniczenia przepływów przez dany transformator lub inne kluczowe elementy infrastruktury sieciowej. Zasadnicza różnica pomiędzy korzyściami wynikającymi z elementu nr 1 (autokonsumpcji) oraz elementu nr 2 (bilansowania fizycznego) polega na tym, że w drugim przypadku dochodzi do stałego i przewidywalnego obniżenia szczytowego obciążenia elementów sieciowych. Wynika to z faktu, że wynagrodzenie za bilansowanie fizyczne liczone jest nie dla każdej godziny osobno, tylko w skali całego okresu rozliczeniowego stanowiącego jeden rok lub inny okres istotny z punktu widzenia operatora (np. sezon letni). Metoda wyliczenia poziomu bilansowania fizycznego przedstawiona została w dalszej części artykułu.

Tab. 1. Korzyści systemowe będące rezultatem autokonsumpcji godzinowej

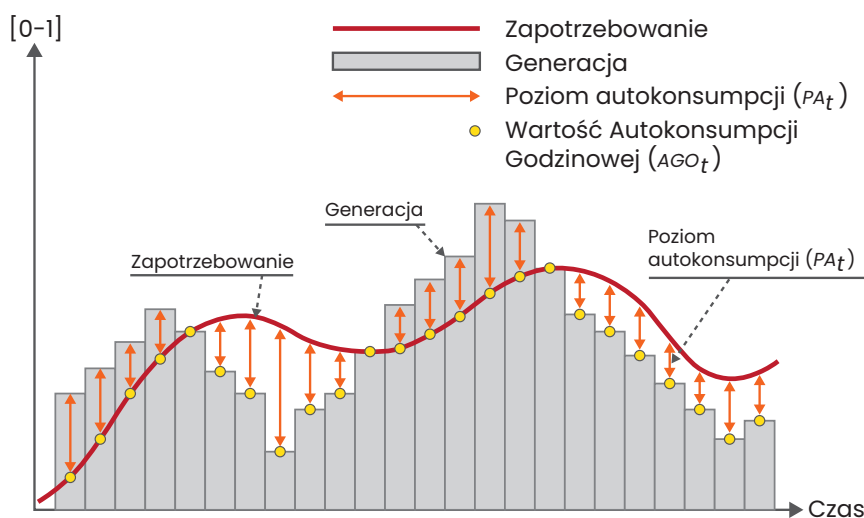
Czynność	Korzyści systemowe/społecznościowe	Element taryfy lub inne opłaty	Proponowana wartość wynagrodzenia [zł/MWh]
Autokonsumpcja godzinowa	oszczędności na stratach technicznych w sieci OSD	stawka sieciowa stała i zmienna	15,70
	oszczędności na stratach technicznych w sieci OSP	stawka sieciowa stała i zmienna	4,10
	obniżenie kosztów zakupu regulacyjnych usług systemowych	stawka jakościowa	10,20

W efekcie bilansowania fizycznego maleje konieczność rozwoju infrastruktury sieciowej na i wokół stacji transformatorowej definiującej dany obszar, co potencjalnie ogranicza kosztowne inwestycje sieciowe. Uniknięte koszty inwestycyjne są rozłożone na zmienną opłatę sieciową w analogiczny sposób jak zrealizowane koszty inwestycyjne. Uwzględnienie kosztów unikniętych jako kosztów uzasadnionych wymaga zmiany rozporządzenia taryfowego, co jest proponowane po to, by wykreować podstawę funkcjonowania klastrów energii, nie generując jednocześnie dodatkowych kosztów po stronie operatora systemu dystrybucyjnego. Wysokość unikniętych kosztów inwestycyjnych stanowi jednocześnie maksymalny poziom rekompensaty za wykonaną usługę dla klastra energii – w przeciwnym wypadku bardziej opłacalne byłyby inwestycje sieciowe. Metoda wyznaczania wysokości wynagrodzenia za bilansowanie fizyczne przedstawiona jest w dalszej

części artykułu. Wskutek realizacji elementu 2 UAB, bilansowania fizycznego, generowany jest szereg korzystnych zjawisk ekonomiczno-społecznych – zmniejszane są koszty uzasadnione funkcjonowania systemu (pokrywane w taryfach przez społeczeństwo).

Koszty te są niezbędne do dostosowania sieci energetycznej do warunków pracy z wysokim udziałem źródeł OZE, zwiększane jest bezpieczeństwo energetyczne obszaru oraz wspierany jest lokalny rozwój gospodarczy. Przykładowe bilansowanie odbiorców i wytwórców w obszarze autobilansowania zostało przedstawione na Rys. 3.

Element 2 usługi autobilansowania, bilansowanie fizyczne, przekłada się na zmniejszenie poziomu maksymalnych przepływów w punkcie styku (stacja transformatorowa) obszaru bilansowania z pozostałą częścią sieci OSD. Korzyści wynikające z takiego zmniejszenia przedstawione są w Tab. 2.



Rys. 3. Metoda wyznaczania poziomu autokonsumpcji ( $PA_t$ ) obszaru autobilansowania. Poziom autokonsumpcji to bezwymiarowa liczba z przedziału od 0 do 1, wyznaczana jako stosunek wartości chwilowej generacji i zapotrzebowania w danym przedziale czasowym (pomarańczowe strzałki, oznaczone jako  $PA_t$ ) we wzorach nr 8 i 9). 0 oznacza brak zbilansowania, a 1 oznacza 100% zbilansowania fizycznego obszaru. Wartość ta reprezentuje stopień wykorzystania i obciążenia infrastruktury przesyłowej i stanowi element wyceny elementu 2 UAB: bilansowania fizycznego

Tab. 2. Korzyści systemowe wynikające ze zwiększenia poziomu zbilansowania

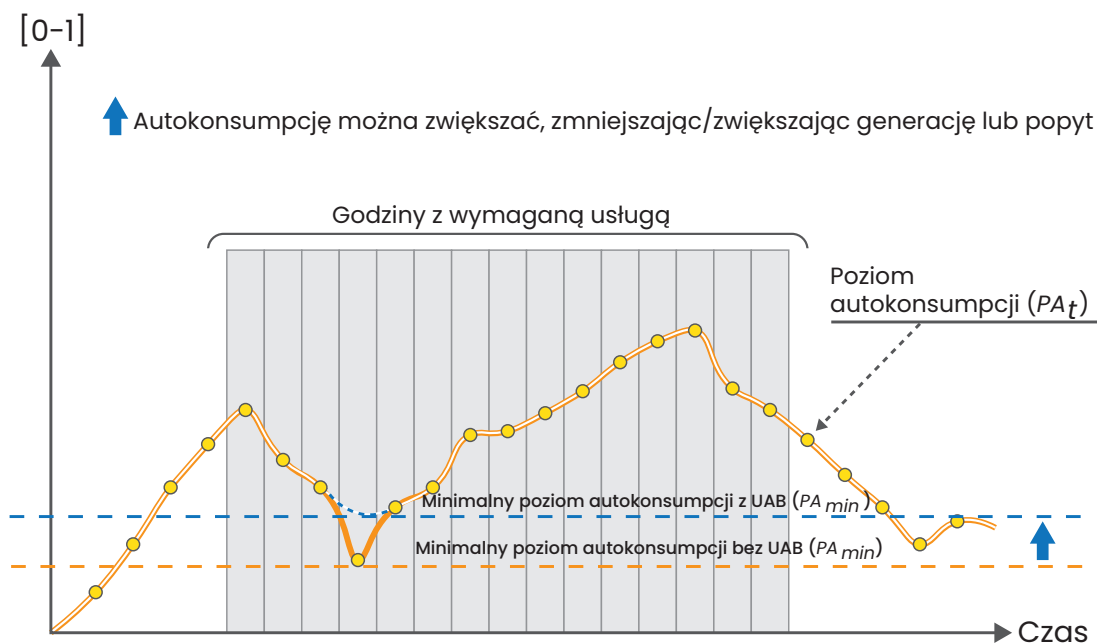
Czynność	Korzyści systemowe/społecznościowe	Element taryfy lub inne opłaty	Proponowana wartość wynagrodzenia [zł/MW/rok]
Bilansowanie fizyczne	ograniczenie = nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	stawka sieciowa stała i zmienna	108 000
	oszczędności na podatkach od nieruchomości w związku z ograniczeniem nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	stawka sieciowa stała i zmienna	54 000

Podstawą do wyliczenia wynagrodzenia w danym przypadku jest najmniejszy poziom autokonsumpcji zarejestrowany w obszarze autobilansowania w danym okresie rozliczeniowym. Innymi słowy, w celu wyliczenia korzyści brany jest pod uwagę poziom autokonsumpcji w godzinie z najmniejszą autokonsumpcją. Proponuje się, aby tylko wybrane okresy doby, potencjalnie problematyczne w wymiarze obciążenia sieci (np. godziny szczytu dziennego z wysokim zapotrzebowaniem obszaru), były brane pod uwagę przy wyliczeniu minimalnego poziomu autokonsumpcji. Rozważanie tylko niektórych godzin pozwoli otrzymać systemowe korzyści z istnienia obszaru autobilansowania, ponieważ największa potrzeba w zwiększeniu przepustowości systemu następuje obecnie właśnie w tych godzinach. Ograniczenie godzin stanowiących podstawę wyliczeń pozwoli jednocześnie uniknąć sytuacji, przy której niski poziom generacji w którejś godzinie w nocy spowoduje zniwelowanie wynagrodzenia za usługę. Szczegółowa metoda wyliczenia poziomu bilansowania fizycznego i wynikającego z niego poziomu

wynagrodzenia dla członków obszaru autobilansowania przedstawiona jest w dalszej części artykułu.

Rys. 4 przedstawia przykładowy dzień i wyliczony dla niego przykładowy minimalny poziom autokonsumpcji. Zaznacza się, że minimalny poziom autokonsumpcji wyznaczany jest jako jedna wartość dla całego okresu rozliczeniowego dla elementu 2 UAB stanowiącego rok lub inny długoterminowy okres.

Usługa autobilansowania stanowi alternatywny sposób realizacji części obowiązków OSD określonych w ustawie Prawo energetyczne. Obecnie OSD, aby wywiązać się z obowiązków ustawowych, planuje i prowadzi rozbudowę sieci, dokonuje zakupu energii na pokrycie strat przesyłowych oraz dokonuje zakupu usług systemowych w celu zapewnienia jakości energii. Sposób pokrywania kosztów działalności OSD jest uregulowany na podstawie Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 6 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną, zwane dalej „rozporządzeniem taryfowym”.



Rys. 4. Ilustracja metody wyznaczenia minimalnego poziomu autokonsumpcji ( $PA_{min}$ ). Minimalny poziom autokonsumpcji to jedna wartość dla całego okresu rozliczeniowego (minimum z wartości  $PA_t$ ), która służy do wyliczenia rekompensaty za element 2 UAB: bilansowanie fizyczne. Poziom autokonsumpcji i jego minimalna wartość w okresie rozliczeniowym ( $PA_{min}$ ) wyrażane są w bezwymiarowych jednostkach z przedziału od 0 do 1, gdzie 0 oznacza brak zbilansowania, a 1 oznacza 100% zbilansowania fizycznego odbiorców i wytwórców. Element 2 UAB stanowi zachętę do zwiększenia minimalnego poziomu autokonsumpcji, co przekłada się na zmniejszenie mocy szczytowych (*peak shaving*) w kierunku zarówno importu, jak i eksportu energii, obciążających infrastrukturę przesyłową i wymuszających kosztowne inwestycje



Zgodnie z nim za koszty uzasadnione uznaje się koszty rozbudowy sieci, pokrycia strat sieciowych i zakupu usług systemowych. W obecnej sytuacji prawnej, kiedy w wyniku działania konkretnego podmiotu (np. klastra energii) maleją starty sieciowe oraz unikana jest konieczność prowadzenia inwestycji, obniżają się koszty uzasadnione OSD, a co za tym idzie – opłaty sieciowe maleją po równo dla wszystkich odbiorców danego OSD. Obniżka opłat sieciowych zachodzi w równej wysokości tak dla odbiorców bezpośrednio generujących tę obniżkę, jak i dla odbiorców, którzy nie mieli na nią wpływu. W konsekwencji takiej konstrukcji rozporządzenia taryfowego nie występują ekonomiczne bodźce zachęcające strony trzecie (np. klastry energii) do działań prowadzących do powstawania oszczędności po stronie OSD, ponieważ te oszczędności zostaną rozdyskrebowane na wszystkich odbiorców, również tych poza klastrem. W efekcie klastrowania energii, który przeprowadził inwestycje przynoszące z punktu widzenia OSD istotne oszczędności, nie uzyska znaczącej obniżki na opłatach sieciowych odprowadzanych do OSD. Również z punktu widzenia OSD, który chciałby zachęcać strony trzecie (np. klastry energii) do inwestycji wpływających na koszt funkcjonowania OSD, sytuacja ta jest nieoptymalna – **OSD nie posiada narzędzi, aby zachęcać odbiorców do obniżania kosztów uzasadnionych**. Proponuje się, aby wliczyć do kosztów uzasadnionych rekompensatę wypłaconą w wyniku świadczenia usługi autobilansowania, ponieważ usługa ta realizuje obowiązki ustawowe OSD określone w ustawie Prawo energetyczne. Usługa autobilansowania ma na celu przekierowanie oszczędności (unikniętych kosztów inwestycyjnych i innych) uzyskanych przez OSD, a wynikających z działania klastra, bezpośrednio do klastra, i tym samym stworzenie zachęty do powstawania zintegrowanych i korzystnych systemowo klastrów energii. Bez usługi autobilansowania klastry nie będą miały ani powodu, ani wystarczająco atrakcyjnych warunków ekonomicznych do wykonania inwestycji i działań generujących oszczędności po stronie OSD. Bez usługi autobilansowania OSD tak czy inaczej będzie musiało wykonać alternatywne inwestycje sieciowe, których koszt pokryty zostanie przez

społeczeństwo w postaci opłat sieciowych. Opłaty te trafią do podmiotów realizujących inwestycje sieciowe na zlecenie OSD. Proponuje się, aby ten koszt i opłaty mogły trafić do klastrów energii w formie rekompensaty za usługę autobilansowania uznanej jako koszt uzasadniony w art. 45 ust. 1 ustawy Prawo energetyczne.

Zaznacza się, że transakcje kupna i sprzedaży energii nie są niezbędne pomiędzy aktorami w klastrze, aby dochodziło do fizycznej synchronizacji (zbilansowania) profili popytu i podaży. Przykładowo, lokalny odbiorca energii może dostosować swój profil odbiorczy i podażać za generacją sąsiadującej farmy fotowoltaicznej bez jednoczesnego kupowania energii z danej farmy. Farma nie musi zawierać umowy i sprzedawać energii do tego odbiorcy, aby energia fizycznie została skonsumowana lokalnie – wynika to z fizyki rozptyłów energii w sieci drzewiastej. Dlatego proponuje się, by rekompensata za usługę autobilansowania była niezależna od handlowego wymiaru obrotu energią i wynikała jedynie z fizycznego bilansu wytwarzania i poboru energii pomiędzy członkami obszaru autobilansowania. Konsekwencją przedstawionej propozycji jest zjawisko, w którym przykładowo farma fotowoltaiczna może być jednocześnie członkiem klastra energii oraz sprzedawać energię w systemie aukcyjnym na giełdę energii. Jako że opłaty sieciowe, których dotyczy rekompensata usługi autobilansowania, ponoszone są przez odbiorców energii, zakłada się, że odbiorcy ci będą dzielić się oszczędnościami na opłacie sieciowej ze źródłami wytwórczymi wchodzącymi w skład klastra. Proponuje się, by zasady podziału rekompensaty za wykonaną usługę autobilansowania pomiędzy wytwórców a odbiorców w klastrze określone były indywidualnie na podstawie umowy pomiędzy członkami klastra.

Podmiot realizujący UAB może w zależności od wariantu realizować wyłącznie funkcję autokonsumpcji godzinowej, której celem jest redukcja zapotrzebowania na energię, lub też autokonsumpcję godzinową wraz z bilansowaniem fizycznym, której celem jest **redukcja zapotrzebowania zarówno na moc, jak i energię** (Tab. 3). Realizacja wyłącznie bilansowania fizycznego nie jest możliwa, gdyż w takim przypadku zawsze występuje autokonsumpcja godzinowa.

Tab. 3. Różnice pomiędzy autokonsumpcją godzinową a bilansowaniem fizycznym

Funkcja systemowa	Redukcja zapotrzebowania na energię	Redukcja zapotrzebowania na moc	Obszar świadczenia usługi
Autokonsumpcja godzinowa	TAK (z zobowiązaniem lub bez niego)	NIE	wszystkie PPE w klastrze
Bilansowanie fizyczne	TAK jako rezultat redukcji zapotrzebowania na moc	TAK (z zobowiązaniem lub bez niego)	jedynie PPE znajdujące się w klastrze i jednocześnie w tym samym obszarze autobilansowania

Implementacja do porządku prawnego każdej z tych funkcji może w zależności od wariantu wymagać/nie wymagać podjęcia przez podmiot zobowiązania do utrzymania zadanego poziomu autokonsumpcji oraz bilansowania fizycznego. W przypadku obowiązkowej autokonsumpcji oznacza to, że klastr ma np. zadany minimalny procentowy poziom autokonsumowanej energii w stosunku do energii pobieranej. Brak wywiązania się z tego zobowiązania skutkuje brakiem benefitów lub nawet karami. W przypadku obowiązkowego bilansowania fizycznego gratyfikacja jest udzielana tylko w przypadku, kiedy bilansowanie następowało w trybie ciągłym, tzn. pewien minimalny poziom autokonsumpcji był utrzymany przez cały okres rozliczeniowy. Brak dotrzymania zobowiązania skutkuje ponownie brakiem benefitów lub także karą. W wariantcie ze zobowiązaniem do utrzymania minimalnego poziomu autokonsumpcji może dodatkowo zostać wprowadzony tzw. strażnik mocy pozwalający w automatyczny sposób odłączyć część odbiorców w momentach, w których dotrzymanie poziomu autokonsumpcji jest zagrożone i stanowi ryzyko dla operatora.

Długofalowo wariant ze zobowiązaniem jest wariantem preferowanym, gdyż tylko on pozawala

*de facto* na uniknięcie ponoszenia kosztów inwestycyjnych przez OSD. Biorąc jednak pod uwagę niezbędny okres przejściowy, w którym społeczności/klastry dostają przestrzeń do zaadaptowania swoich systemów zarządzania do potrzeb regulacji, sugeruje się wpięrow wprowadzenie na okres 5 lat regulacji w wariantcie bez kar. W rezultacie w okresie przejściowym klastr może, ale nie musi, wpisywać się w funkcję bilansowania fizycznego, nie składa deklaracji o minimalnym poziomie autokonsumpcji, i tym samym nie ponosi żadnych konsekwencji. Po okresie przejściowym rekomendowana jest implementacja wariantu z obowiązkową deklaracją minimalnego poziomu autokonsumpcji w wyznaczonych przedziałach doby.

W Tab. 4 przedstawiono listę korzyści będących wynikiem świadczenia usługi autobilansowania, zidentyfikowanych na bazie wstępnego rozpoznania dokonanego w projekcie KlastER (realizowanym w ramach programu GOSPOSTRATEG). Dodatkowo przedstawiono elementy na rachunkach dla odbiorców końcowych energii, które obecnie służą do pokrycia kosztów uzasadnionych operatora systemu dystrybucyjnego częściowo pomniejszanych w wyniku działania usługi autobilansowania.

Tab. 4. Korzyści systemowe z lokalnego bilansowania oraz obecny sposób finansowania tych funkcji

Czynność	Korzyści systemowe/społecznościowe	Element taryfy lub inne opłaty
Stałe zwiększenie minimalnego poziomu autokonsumpcji (zmniejszenie przepływów na styku z siecią)	ograniczenie nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	stawka sieciowa stała i zmienna
Stałe zwiększenie minimalnego poziomu autokonsumpcji (zmniejszenie przepływów na styku z siecią)	oszczędności na podatkach od nieruchomości w związku z ograniczeniem nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	stawka sieciowa stała i zmienna
Jednoczesna produkcja i zużycie energii w ramach obszaru autobilansowania (autokonsumpcja)	oszczędności na stratach technicznych w sieci OSD	stawka sieciowa stała i zmienna
Jednoczesna produkcja i zużycie energii w ramach obszaru autobilansowania	oszczędności na stratach technicznych w sieci OSP	stawka sieciowa stała i zmienna
Jednoczesna produkcja i zużycie energii w ramach obszaru autobilansowania	obniżenie kosztów zakupu regulacyjnych usług systemowych	stawka jakościowa



## Wstępna wycena wartości usługi

Wstępna wycena wartości usługi ma na celu spełnienie dwóch zadań: tworzenie propozycji metodologii wyceny usługi oraz określenie, czy istnieje prawdopodobieństwo ekonomicznej zasadności usługi. Przedstawione poniżej wartości stanowią jedynie próbę oszacowania korzyści z funkcjonowania obszaru autobilansowania i nie są wartościami końcowymi. Końcowe i obowiązujące wartości proponuje się ustalić w wyniku współpracy szerszego grona interesariuszy, w tym operatorów systemu, regulatorów oraz samych klastrów energii. Kluczowym założeniem jest takie zaprojektowanie usługi, aby nie obciążać reszty społeczeństwa dodatkowymi kosztami, a jednocześnie wspierać lokalne inicjatywy energetyczne. W tym celu proponuje się, by rekompensata za usługę autobilansowania była równa oszczędnościom OSD uzyskanym na kosztach uzasadnionych unikniętych wskutek pozyskania usługi. Proponuje się, aby wycena rekompensaty za świadczenie usługi i dobranie parametrów wyceny odzwierciedlały średni oczekiwany efekt, jaki wniosą klastry energii świadczące usługę. Niezależnie od sytuacji sieciowej na danym obszarze, wszystkim klastrum powinna przysługiwać ta sama średnia wycena. Takie rozwiązanie spowoduje, że na obszarach o wysokim zapotrzebowaniu na rozbudowę infrastruktury klastry energii dostaną mniejsze wynagrodzenie niż faktyczna wartość wniesiona dla OSD. Z kolei na obszarach niewymagających inwestycji klastry zostaną wynagrodzone w stopniu przewyższającym wniesione przez nie oszczędności.

Pomysł opiera się na założeniu, że przy średniej wycenie zniwelują się wydatki niedoszacowane i przeszacowane, więc OSD wyjdzie na zero. Rozwiązanie to jest proponowane w celu stworzenia prostego, szybkiego i ogólnie dostępnego modelu biznesowego dla sektora energetyki rozproszonej, który nie obciąży kosztowo społeczeństwa ani OSD.

W Tab. 5 przedstawione zostały wstępne wartości współczynników zdefiniowane dla usługi autobilansowania w ramach szeregu wywiadów z OSD oraz posiadanej wiedzy eksperckiej.

Rekompensata opłaty za świadczenie usługi dystrybucji z uwzględnieniem elementu 1 UAB, czyli poziomu autokonsumpcji obszaru autobilansowania, jest naliczana w każdym okresie rozliczeniowym, indywidualnie na rachunku każdego odbiorcy będącego członkiem danego obszaru autobilansowania. Rekompensata obniża zmienną opłatę sieciową odbiorcy o wartość:

$$\sum_t \text{Koszty uniknięte}_{\text{straty}} \cdot PU_t \quad (1)$$

oraz opłatę jakościową odbiorcy o wartość:

$$\sum_t \text{Koszty uniknięte}_{\text{jakościowe}} \cdot PU_t \quad (2)$$

Niżej podano objaśnienia wzorów (1) i (2).

$t$  – jest indeksem godzinowym, reprezentującym wszystkie godziny w danym okresie rozliczeniowym. Dla każdej godziny dostępne są dane z liczników energii. Suma po godzinach  $t$  liczona jest dla wszystkich godzin w okresie rozliczeniowym.

Tab. 5. Przykładowe współczynniki kosztowe usługi autobilansowania. Powtarzające się element ze wzoru są sumowane do wyliczenia rekompensaty za świadczenie usługi autobilansowania

Korzyści	Stawka	Współczynnik we wzorach (1), (2) i (5)
Zmniejszenie amortyzacji w związku z ograniczeniem nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	108 000 zł/MW/rok	$\text{Koszty uniknięte}_{\text{inwestycyjne}}$
Oszczędności na podatkach od nieruchomości w związku z ograniczeniem nakładów inwestycyjnych na rozbudowę sieci SN i WN	54 000 zł/MW/rok	$\text{Koszty uniknięte}_{\text{inwestycyjne}}$
Oszczędności na stratach technicznych z sieci OSD	15,70 zł/MWh	$\text{Koszty uniknięte}_{\text{straty}}$
Oszczędności na stratach technicznych z sieci OSP	4,10 zł/MWh	$\text{Koszty uniknięte}_{\text{straty}}$
Obniżenie kosztów zakupu regulacyjnych usług systemowych	10,20 zł/MWh	$\text{Koszty uniknięte}_{\text{jakościowe}}$

*Koszty uniknięte<sub>straty</sub>* – oszczędności na stratach technicznych zachodzących na poziomach dystrybucji i przesyłu energii, jakie operator uzyskuje w efekcie lokalnej autokonsumpcji energii. Koszty strat technicznych są opłacane przez odbiorców energii poprzez zmienną opłatę sieciową pobieraną przez operatora. Stawka ta wyrażona jest w złotych za kilowatogodzinę [zł/kWh].

*Koszty uniknięte<sub>jakościowe</sub>* – oszczędności operatora systemu dystrybucyjnego uzyskiwane wskutek zmniejszenia konieczności zakupu usług regulacyjnych na potrzeby obszaru autobilansowania. Koszty zakupu usług regulacyjnych są opłacane przez odbiorców energii i przekazywane do operatora w ramach opłaty jakościowej. Stawka ta jest wyrażona w złotych za kilowatogodzinę [zł/kWh].

$PU_t$  – proporcjonalny udział członka obszaru autobilansowania w autokonsumpcji energii zachodzącej na poziomie całego obszaru. Wartość ta wyznaczana jest według wzoru (3) i (4).

$$PU_t = AGO_t \cdot \frac{Ep_t}{Esp_t} \quad (3)$$

$$AGO_t = \min(Esp_t, Esw_t) \quad (4)$$

Zmienne z wzorów (3) i (4) objaśniono poniżej.

$AGO_t$  – autokonsumpcja godzinowa obszaru autobilansowania, wyrażana w kilowatogodzinach. Zmienna ta oznacza ilość energii jednocześnie (tzn. w tej samej godzinie) wytwarzanej i konsumowanej lokalnie na obszarze autobilansowania.

$Ep_t$  – energia pobrana w ramach jednego PPE w danej godzinie.

$Esp_t = \sum_{i=1}^N Ep_t$  – suma energii pobranej w danej godzinie przez wszystkie PPE wchodzące w skład obszaru autobilansowania.

$Ew_t$  – energia wytworzona lub zredukowana przez jeden punkt poboru energii w danej godzinie w ramach jednego PPE. Metodę wyznaczania poziomu redukcji zapotrzebowania na energię proponuje się wyznaczać na podstawie analogicznej metody stosowanej w usłudze Demand Side Response (DSR).

$Esw_t = \sum_{i=1}^N Ew_t$  – suma energii wytworzonej w danej godzinie przez wszystkie PPE wchodzące w skład obszaru autobilansowania.

$N$  – liczba punktów poboru energii (PPE) w danym obszarze.

Proponuje się, aby rozliczenia klastra energii dokonywane były w dwóch etapach:

- Etap 1: Rozliczenie indywidualne pomiędzy odbiorcami obszaru autobilansowania a OSD. Rozliczenie to uwzględnia obniżkę na opłatach sieciowych wynikającą z zasad świadczonej usługi opisanych we wzorach (1), (2), (3) i (4), rozliczaną proporcjonalnie do zużycia każdego odbiorcy  $PU_t$ . Przykładowe rozliczenie za element 1 usługi autobilansowania (godzinowa autokonsumpcja) pomiędzy odbiorcami w klastrze a OSD przedstawione jest w Tab. 6.
- Etap 2: Wewnętrzne rozliczenie pomiędzy odbiorcami a wytwórcami klastra. Etap ten jest opcjonalny, aczkolwiek wydaje się praktycznie niezbędny. Wynika on z tego, że całość wynagrodzenia za świadczoną usługę autobilansowania przez członków klastra trafia do odbiorców w postaci obniżek na opłatach dystrybucyjnych. Zatem wytwórcy energii nie odniosą korzyści finansowych z uczestnictwa w klastrze energii, o ile nie dojdzie do podziału korzyści uzyskanych na etapie 1 przez odbiorców. Proponuje się, aby umożliwić dodatkowy etap wewnętrznych rozliczeń pomiędzy członkami klastra, według zasad zdefiniowanych w umowie klastra, indywidualnie negocjowanych podczas powoływania klastra.

Proponowany sposób wyceny funkcji bilansowania fizycznego wynika z następującego rozumowania: w teoretycznym przypadku całkowitego fizycznego zbilansowania obszaru w trybie ciągłym (we wszystkich godzinach okresu rozliczeniowego) poziom autokonsumpcji wynosiłby 100% dla każdej godziny, co oznacza, że minimalny poziom autokonsumpcji też jest równy 100%. W rezultacie, o ile klastry wzięłyby na siebie odpowiedzialność za swoje bezpieczeństwo w kontekście np. rezerw, można zredukować istotnie potrzebną infrastrukturę dystrybucyjną.

Tab. 6. Przykładowe rozliczenie za element 1 UAB: autokonsumpcja godzinowa dla obszaru składającego się z dwóch odbiorców energii oraz źródła wytwarzania. Autokonsumpcja zachodzi na poziomie całego obszaru autobilansowania i liczona jest w każdej godzinie niezależnie. W sytuacji, gdy obszar równoważy swój popyt generacją na własnym obszarze w stu procentach w danej godzinie, członkom obszaru przysługuje maksymalna obniżka na zmiennej opłacie sieciowej w wysokości 30 zł/MWh. W godzinach, kiedy poziom zbilansowania obszaru spada, proporcjonalnie pomniejsza się poziom wynagrodzenia, osiągając zero, gdy kłaster nie wytwarza lub nie pobiera energii. Wynagrodzenie za autokonsumpcję godzinową przydzielane jest członkom obszaru bilansowania w zależności od proporcji ich własnego zużycia energii w stosunku do zużycia całego obszaru w godzinach, w których występowała autokonsumpcja. Przykład obejmuje jedną jednostkę wytwórczą oraz dwa odbiory

Godzina t	Sumaryczne wytwarzanie w klastrze [kWh]	Pobór przez odbiorcę 1 [kWh]	Obniżka na opłatach dystrybucyjnych odbiorcy 1 [zł]	Pobór przez odbiorcę 2 [kWh]	Obniżka na opłatach dystrybucyjnych odbiorcy 2 [zł]
t = 1	0	0	0	15	0
t = 2	10	10	0,30	0	0
t = 3	10	5	0,15	5	0,15
t = 4	10	10	0,20	5	0,10
Suma na koniec okresu rozliczeniowego	30	25	0,65	25	0,25

Niemniej jednak zasadne wydaje się utrzymanie pewnego poziomu opłat sieciowych, np. części opłaty dystrybucyjnej zmiennej, gdyż uczestnicy klastra wykorzystują do dystrybucji energii wewnątrz klastra sieć OSD oraz korzystają np. z usług regulacyjnych. Załóżmy, że koszty te są równe  $a_i$  całkowitych kosztów zmiennych, gdzie  $a_i$  przyjmuje wartości z przedziału [0–1], np. 0,5. Przy takim rozumowaniu rekompensatę z uwzględnieniem elementu 2 UAB, czyli bilansowania fizycznego, można wyznaczyć w poniższy sposób. Rekompensata ta pomniejsza zmienną opłatę sieciową odbiorcy o wartość:

$$\sum_t \text{Koszty uniknięte}_{\text{inwestycyjne}} \cdot Ep_t \quad (5)$$

$$\text{Koszty uniknięte}_{\text{inwestycyjne}} = PA_{\min} \cdot a_i \cdot \text{stawka zmienna dystrybucyjna odbiorcy} \quad (6)$$

Objaśnienia zmiennych wzorów (5) i (6) podano poniżej:

$\text{Koszty uniknięte}_{\text{inwestycyjne}}$  – wartość unikniętych inwestycji powstała wskutek fizycznego i stałego w czasie zbilansowania obszaru, prowadzącego do obniżenia szczytowych mocy obciążających infrastrukturę sieciową. Wyrażana jest w złotych za megawatogodzinę [zł/MWh]

$Ep_t$  – energia pobrana przez indywidualnego członka obszaru autobilansowania w godzinie t.

$a_i$  – współczynnik korygujący, odzwierciedlający zjawisko, że nawet w sytuacji osiągnięcia stuprocentowej minimalnej autokonsumpcji na danym obszarze autobilansowania część infrastruktury sieciowej będzie

niezbędna dla funkcjonowania działających w jej ramach podmiotów i w rezultacie OSD wciąż będzie ponosił koszty amortyzacji tej infrastruktury. Współczynnik jest bezwymiarową liczbą z zakresu [0–1]. Wartość współczynnika może się różnić zarówno dla poszczególnych grup taryfowych, jaki i dla obszarów przyłączonych na średnim lub niskim napięciu. Wskazane jest analityczne wyznaczenie wartości współczynnika korygującego na bazie analizy danych OSD.

$PA_{\min}$  – minimalny poziom autokonsumpcji reprezentujący godzinę w okresie rozliczeniowym, w której obszar autobilansowania w największym stopniu obciążał infrastrukturę sieciową OSD. Reprezentuje poziom autokonsumpcji obszaru autobilansowania w godzinie o najniższej autokonsumpcji.  $PA_{\min}$  jest bezwymiarową liczbą z przedziału [0–1], np. 0,5. Wyznaczany dla danego okresu rozliczeniowego według następującego wzoru:

$$PA_{\min} = \min \{PA_t\} \text{ spośród } t \text{ należących do zbioru godzin } T \quad (7)$$

We wzorze (7)  $PA_t$  oznacza poziom autokonsumpcji całego obszaru autobilansowania w godzinie t, w bezwymiarowych jednostkach pomiędzy wartościami 0 a 1. Wartość 0 zmiennej  $PA_t$  oznacza, iż w danej godzinie obszar autobilansowania nie bilansował swojej produkcji i zużycia energii w jakimkolwiek stopniu. Wartość 1 oznacza, że zapotrzebowanie i wytwarzanie energii na obszarze bilansowania były sobie równe. Wartości pomiędzy 0 a 1, np. 0,5, oznaczają proporcję, w jakiej obszar autobilansowania bilansował się,

opierając się na własnych źródłach, a w jakim stopniu wymagał dostaw energii i utrzymania mocy w KSE.

We wzorze (7)  $T$  oznacza zbiór godzin pomiędzy 9:00 a 22:00 w zadanym okresie rozliczeniowym, dla których zapotrzebowanie na energię elektryczną obszaru ( $E_{sp_t}$ ) lub wytwarzanie energii na danym obszarze autobalansowania ( $E_{sw_t}$ ) jest wyższe niż wartość progowa wynosząca 25% sumy mocy umownych wszystkich odbiorców klastra. Zmienne  $E_{sp_t}$  i  $E_{sw_t}$  są zdefiniowane we wcześniejszej części artykułu.

Dla tych  $t$ , dla których  $E_{sp_t} > E_{sw_t}$ , czyli dla godzin, w których w ramach klastra występuje przewaga popytu nad podażą:

$$PA_t = E_{sw_t} / E_{sp_t} \quad (8)$$

Dla tych  $t$ , dla których  $E_{sp_t} \leq E_{sw_t}$ , czyli dla godzin, w których w ramach klastra występuje przewaga podaży nad popytem:

$$PA_t = E_{sp_t} / E_{sw_t} \quad (9)$$

Powyższe rozróżnienie okresów na te, w których przeważa popyt, i te, w których przeważa podaż, jest niezbędne, aby osiągnąć efekt stabilizacji przepływu mocy przez infrastrukturę OSD w obu kierunkach, czyli z klastra i od klastra.

Proponuje się, żeby rekompensata za świadczenie elementu 2 usługi była naliczana osobno dla każdego PPE znajdującego się w ramach danego obszaru autobalansowania i dla całości energii pobranej przez PPE w danym okresie rozliczeniowym. Takie rozwiązanie nie wyklucza możliwości dzielenia się benefitami przez członków klastra w sposób wewnętrznie przez nich ustalony. Przykładowy sposób rozliczenia elementu 2, ilustrujący mechanizm działania wzorów (5) i (6), znajduje się w Tab. 7. Dla przykładu przyjęto następujące założenia: stawka zmienna dystrybucyjna wynosi 140 zł/kWh,  $a_i$  wynosi 0,5. Przykład ilustruje sytuację, gdy minimalny poziom autokonsumpcji  $PA_{min}$  wynosi 0,1.

Znajdująca się poniżej Tab. 8 podsumowuje proponowaną wycenę korzyści przypisanych do elementu 1 oraz 2.

Tab. 7. Przykładowe rozliczenie za element 2 UAB: bilansowanie fizyczne. Liczone jest według wzoru: minimalny poziom autokonsumpcji w okresie rozliczeniowym (0,1) \* współczynnik korygujący (0,5) \* stawka zmienna dystrybucyjna odbiorcy (140 zł/MWh) \* sumaryczne zużycie energii w okresie rozliczeniowym. Maksymalna rekompensata za bilansowanie fizyczne wynosi 70 zł/MWh w sytuacji pełnego zbilansowania obszaru w każdej godzinie w okresie rozliczeniowym. Przykład obejmuje jedną jednostkę wytwórczą oraz dwa odbiory

Godzina $t$	Sumaryczne wytwarzanie w klastrze [kWh]	Pobór odbiorcy 1 (grupa taryfowa G 11) [kWh]	Pobór odbiorcy 2 (grupa taryfowa G 11) [kWh]	Poziom autokonsumpcji [zł]	Wynagrodzenie za element 2 UAB dla odbiorcy 1 [zł]	Wynagrodzenie za element 2 UAB dla odbiorcy 2 [zł]
$t = 1$	2	10	0	0,2	$0,1 * 0,5 * 0,14 \text{ zł/kWh} * 10 \text{ kWh} = 0,07$	0
$t = 2$	10	2	0	0,2	0,014	0
$t = 3$	10	1	1	0,2	0,007	0,007
$t = 3$	2	10	10	0,1 (minimalny)	0,07	0,07
Suma na koniec okresu rozliczeniowego	22	23	12	0,1	0,287	0,077

Tab. 8. Porównanie cech dla dwóch elementów usługi autobalansowania: autokonsumpcji godzinowej i bilansowania fizycznego

Element	Domyślny klucz podziału	Możliwość stosowania innego klucza podziału	Maksymalna wartość wynagrodzenia
Element 1: autokonsumpcja godzinowa	proporcjonalnie do udziału w autokonsumpcji godzinowej obszaru dla danego odbiorcy	TAK (w ramach umowy pomiędzy członkami klastra)	30 zł/MWh
Element 2: bilansowanie fizyczne	proporcjonalnie do ilości zużytej energii dla danego odbiorcy w okresie rozliczeniowym	TAK (w ramach umowy pomiędzy członkami klastra)	50% obniżki na opłacie sieciowej przy 100% autokonsumpcji w każdej godzinie roku (ok. 70 zł/MWh); estymowana prawdopodobna wartość – ok. 15 zł/MWh

## Wyniki studium przypadku

Celem przeprowadzonego badania symulacyjnego jest ocena skutków wprowadzenia usługi autobilansowania według propozycji przedstawionych w niniejszym dokumencie. Badanie odpowiada na pytanie, czy proponowana usługa autobilansowania, sparametryzowana i wyceniona w sposób przedstawiony powyżej, stanowi wystarczający bodziec ekonomiczny i potencjalny model biznesowy dla rozwijającej się energetyki rozproszonej w Polsce. W tym celu przeprowadzono eksperyment symulacyjny w dwóch scenariuszach: gdy występuje oraz gdy nie występuje możliwość świadczenia usługi autobilansowania w klastrach energii. W obu scenariuszach postawiono **zadanie optymalizacji miks energetycznego** możliwego do wykształcenia w klastrze energii. Następnie, na bazie analizy wyników, starano się odpowiedzieć na następujące pytania: Czy świadczenie usługi jest ekonomicznie opłacalne? Jakie inwestycje są potrzebne do jej realizacji? W jaki sposób sterować elastycznymi jednostkami w przypadku świadczenia usługi autobilansowania?

Narzędziem wykorzystanym do badania symulacyjnego jest autorski system ARA (Automated Regulatory Assistant). Zadaniem systemu ARA jest analiza ekonomiczna skutków wprowadzania nowych regulacji w obszarze energetyki rozproszonej. System ARA uwzględnia szczegółowe uwarunkowania techniczne, ekonomiczne i regulacyjne istniejące w obszarze energetyki rozproszonej. Dla przedstawionej analizy założono strukturę odbiorców w klastrze oraz zamodelowano możliwość inwestycji w źródła PV oraz magazyny energii. Wyniki analizy wskazują na różnice

w optymalnym ekonomicznie miksie wytwórczym i w elastyczności klastra, w różniących się uwarunkowaniach (scenariuszach) legislacyjnych.

Schemat przeprowadzonego badania symulacyjnego znajduje się na Rys. 5.

W dalszej części artykułu szczegółowo przedstawiono założenia i parametry użyte do wygenerowania wyników w przedstawionym studium przypadku. Zaznacza się, że minimalny poziom autokonsumpcji oraz poziom wykonania elementów usługi autobilansowania nie jest narzucony odgórnie, ale stanowi wyniki optymalizacji ekonomicznej.

Klaster w stanie początkowym składa się z samych odbiorów energii – bez istniejących źródeł wytwarzania. Określone są dostępne inwestycje w nowe źródła wytwarzania. Wynikiem badania jest identyfikacja najbardziej opłacalnych źródeł dla klastra, co potencjalnie wskazuje, w jaki sposób będą rozwijały się klastry energii w badanych scenariuszach regulacyjnych. Początkową strukturę klastra energii przyjętą w obecnym badaniu przedstawiono w Tab. 9.

Dodatkowe, istotne dla badania parametry wyglądają następująco:

- współczynnik korygujący  $a_i$  wynosi 0,5;
- rzeczywista jednoczesna moc odbiorców klastra, wynikająca z dynamiki i jednoczesności profili godzinowych poszczególnych symulowanych odbiorców, wynosi 3,24 MW;
- wartość progowa wynosi 2,86 MW (25% od sumy mocy umownych [11,44 MW]).

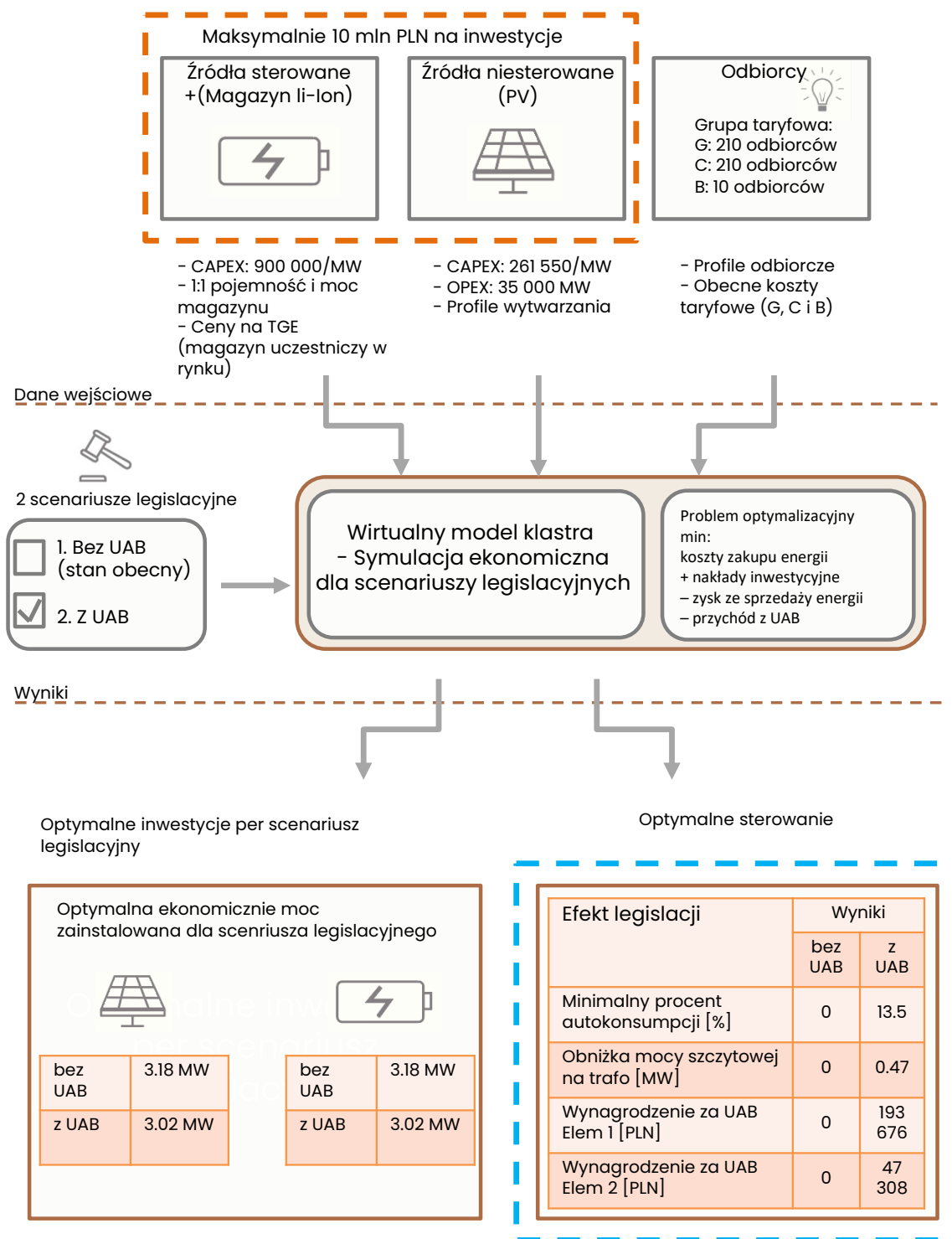
W dalszej części tekstu przedstawione zostaną dostępne źródła wytwarzania i elastyczności dla symulowanego klastra oraz ich parametry ekonomiczne.

Tab. 9. Struktura popytu w klastrze referencyjnym

Rodzaj odbiorców (grupy taryfowe)	Liczba odbiorców	Indywidualne roczne zapotrzebowanie na energię [MWh]	Średnie szczytowe zapotrzebowanie na moc dla odbiorców w danej grupie [MW]	Sumaryczne zapotrzebowanie na energię [MWh]
G	210	2,4	0,02	500
C	210	2,4	0,019	500
B	10	1300	0,8	13 000
Zagregowany	430	-	4,47	14 000



## Badanie symulacyjne efektów legislacji



Rys. 5. Schemat studium przypadku wykonanego z wykorzystaniem systemu Automated Regulatory Assistant (ARA) w celu oszacowania efektów regulacji usługi autobalansowania na modelowym klastrze energii. Bez usługi autobalansowania przewiduje się, że klastry energii nie będą miały wystarczających bodźców ekonomicznych do inwestycji w źródła elastyczności, takich jak magazyny energii. Wyniki studium przypadku pokazują, że proponowana usługa autobalansowania stanowi wystarczający bodziec ekonomiczny do inwestycji w magazyny energii dla przedstawionego studium przypadku. W scenariuszu bez usługi model dobrał inwestycję PV o mocy 3,18 MWp oraz brak inwestycji w magazyny energii. W scenariuszu z usługą powstało 3,08 MWp PV oraz 308 kW mocy w magazynach energii

Dla ustalenia uwagi i łatwości interpretacji wyników założono, że klastr może składać się z jednej farmy PV oraz wielu rozproszonych magazynów energii. Wielkość, czyli innymi słowy moc zainstalowaną w dostępnych źródłach, dobiera optymalizator – nie są to wielkości narzucone odgórnie. **Maksymalny budżet na inwestycje, jakim w badaniu dysponował klastr, określono na 10 mln zł.**

Poniżej zostały przedstawione dodatkowe założenia, w szczególności w obszarze modelowanych transakcji obrotu energią, przyjęte do wygenerowania liczbowych wyników z symulacji (Tab. 10 i Tab. 11).

Rys. 6 przedstawia optymalne inwestycje dla modelowego klastra energii w dwóch scenariuszach legislacyjnych: z usługą autobilansowania oraz bez niej.

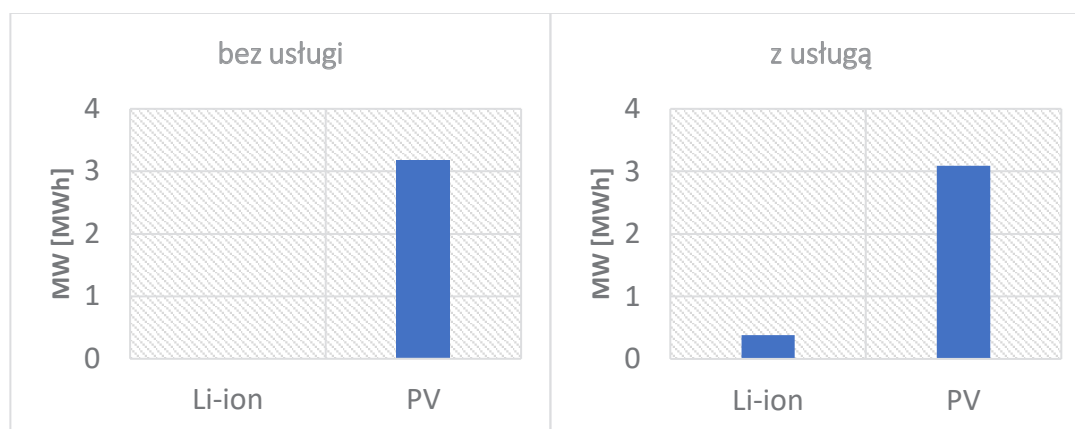
W obu scenariuszach regulacyjnych (z usługą autobilansowania oraz bez niej) opłacalna okazuje się inwestycja w źródła PV. W scenariuszu bez usługi model dobierał inwestycję PV o mocy 3,18 MWp. Bez możliwości świadczenia usługi autobilansowania nie występują obecnie wystarczające bodźce inwestycyjne i legislacyjne do inwestowania w przydomowe magazyny energii, co potwierdzają otrzymane wyniki. Z kolei w scenariuszu z usługą powstało 3,08 MWp instalacji PV i opłacalne okazały się magazyny energii o łącznej pojemności 380 kWh oraz łącznej mocy wynoszącej 308 kW. W scenariuszu regulacyjnym z usługą autobilansowania optymalizator zdecydował, że największe korzyści ekonomiczne uzyskane zostaną w przypadku utrzymania minimalnego poziomu autokonsumpcji na poziomie 0,106.

Tab. 10. Struktura generacji w klastrze referencyjnym

	CAPEX [zł/MW]	OPEX [zł/MW]	Var Cost [zł/MWh]
Farma PV	2 615 500	35 000	0
Magazyny przydomowe (dofinansowanie na poziomie ~50%)	900 000	0	0

Tab. 11. Opis i źródła danych wykorzystanych do przeprowadzenia studium przypadku

	Dozwolone mechanizmy obrotu energią	Założony profil
Odbiorcy	energia kupowana po cenach taryfowych	profil standardowy (ENEA) + szum
Wytwórcy	PV – energia sprzedawana po cenach systemu aukcyjnego	reprezentatywny dla Polski profil PV
Magazyny	<ul style="list-style-type: none"> <li>energia sprzedawana po cenach TGE,</li> <li>możliwość magazynowania energii w celu świadczenia usługi autobilansowania</li> </ul>	profil działania magazynu jest wynikiem przeprowadzonej optymalizacji



Rys. 6. Wyniki symulacji ARA. Optymalne kosztowo inwestycje, w dwóch scenariuszach legislacyjnych: z usługą autobilansowania oraz bez niej. W scenariuszu z usługą autobilansowania inwestycja w magazyny energii jest opłacalna ekonomicznie z punktu widzenia klastra energii. W scenariuszu bez usługi optymalizator ekonomiczny wskazuje na inwestycje jedynie w instalacje fotowoltaiczne, bez inwestycji w źródła elastyczności

Poziom ten przekłada się na obniżenie szczytu zapotrzebowania obszaru o 308 kW, czyli moc zainstalowaną magazynów działającą w celu obcinania szczytów. Minimalny poziom autokonsumpcji w scenariuszu bez usługi autobilansowania nie jest gwarantowany, ponieważ odbiory i źródła elastyczności mogą znajdować się w różnych miejscach w sieci, nie istnieją również zachęty do chwilowego zbilansowania. W związku z tym założony minimalny poziom autokonsumpcji dla scenariusza bez usługi wynosi 0.

Szczegółowe wyniki przedstawione są zbiorczo w Tab. 12.

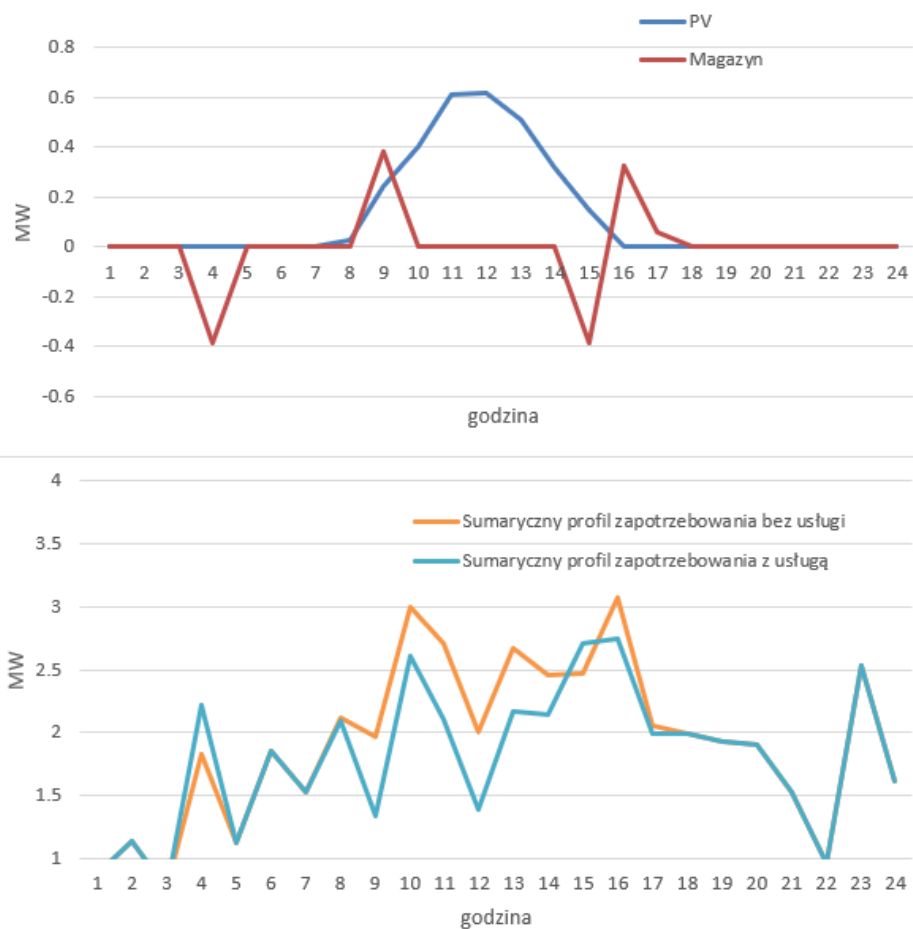
Przykładowa realizacja usługi autobilansowania widoczna jest na wykresie godzinowego bilansu energetycznego klastra przedstawiającym profile wytwórców, odbiorców oraz magazynów energii.

Rys. 7 przedstawia godzinowe profile zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców (sumaryczny profil dla wszystkich odbiorców w klastrze), jednostek wytwórczych oraz magazynów energii (również profil sumaryczny) dla przykładowego dnia zimowego w scenariuszu z usługą autobilansowania. Na rysunku przedstawiono profil całkowitego zapotrzebowania na moc obszaru autobilansowania (linia pomarańczowa) oraz tego samego zapotrzebowania na moc zredukowanego wskutek świadczenia usługi autobilansowania (linia niebieska). Wykres w pierwszym rzędzie ilustruje

godzinową generację fotowoltaiki oraz magazynów energii odpowiedzialnych za zwiększenie poziomu minimalnej autokonsumpcji w ramach świadczonej usługi autobilansowania. Ujemne wartości profilu magazynu reprezentują ładowanie się, zaś dodatnie – rozładowywanie się magazynu. Wykres w drugim rzędzie pokazuje, iż szczyty zapotrzebowania na moc ulegają obniżeniu wskutek świadczenia usługi autobilansowania. Można zaobserwować, że gdy zapotrzebowanie zbliża się do szczytowego zapotrzebowania obszaru, w scenariuszu z usługą (np. godziny o numerach 8, 13 i 37) magazyn zaczyna działać w sposób niwelujący szczyty (*peak shaving*). Praca magazynu energii pozwala zwiększyć minimalny poziom autokonsumpcji i tym samym uzyskać dodatkowe przychody w ramach wynagrodzenia za świadczoną usługę autobilansowania. W godzinie 32 zapotrzebowanie również było bliskie szczytowemu, natomiast występowała wtedy wystarczająca generacja ze źródeł PV, co spowodowało, że w tej godzinie magazyn energii nie był potrzebny do zbilansowania obszaru. Przewidujemy, iż w sytuacji obniżania cen na magazyny energii oraz rozwoju technologii IT pozwalających na integrację rozproszonych zasobów elastyczności w celu świadczenia usług systemowych, krzywa przepływu przez transformator będzie obniżać się w większym stopniu, generując dodatkowe zyski oraz przynosząc dodatkowe korzyści dla KSE.

Tab. 12. Wyniki aplikacji ARA dla dwóch scenariuszy regulacyjnych (bez usługi i z usługą)

	Bez usługi	Z usługą
Moc PV [MW]	3,18	3,09
Moc magazynu [MW]	0	0,38
Wartość inwestycji [zł]	10 mln	10 mln
Minimalny procent autokonsumpcji [%]	0	10,6
Obniżka mocy szczytowej na stacji transformatorowej [MW]	0	<b>0,38</b>
Wynagrodzenie za UAB element 1 [zł]	0	87 900 (~6,8% opłat dystrybucyjnych)
Wynagrodzenie za UAB element 2 [zł]	0	37 200 (~2,8% opłat dystrybucyjnych)
Szacunkowe całkowite opłaty dystrybucyjne odbiorców klastra [zł]	<b>1 300 000</b>	1 300 000 – 87 900 – 37 200 = <b>1 174 900</b>
Szacunkowy całkowity koszt zakupu energii z sieci [zł]	<b>7 700 000</b>	7 700 000
Szacunkowy całkowity koszt operacyjny klastra (pomniejszony o przychody ze sprzedaży energii oraz świadczenia usług) [zł]	<b>6 570 000</b>	6 470 000
Okres zwrotu z inwestycji [lata]	<b>9,03</b>	8,32



Rys. 7. Wynik symulacji ARA, profile godzinowe pracy magazynów energii (czerwona krzywa), generacji PV (niebieska krzywa), profilu sumarycznego zapotrzebowania obszaru autobilansowania w scenariuszu bez usługi (pomarańczowa krzywa) oraz w scenariuszu z usługą (błękitna krzywa). W scenariuszu legislacyjnym z usługą dochodzi do obniżenia szczytów zapotrzebowania

Świadczenie usługi autobilansowania stanowi nowy bodziec do inwestowania w źródła elastyczności. Usługa autobilansowania zachęca lokalne społeczności energetyczne do inwestycji w **elastyczne źródła** energii oraz **sterowania** elastycznymi jednostkami w sposób **ekonomicznie korzystny z punktu widzenia sieci**, czyli poprzez niwelację szczytów własnego zapotrzebowania, potencjalnie wymuszających kosztowne inwestycje po stronie OSD.

Równie istotne jest to, że proponowana legislacja dla usługi autobilansowania stanowi zachętę do rozwoju innowacyjnych technologii i form współpracy w obszarach IT i energetyki odnawialnej. Promocja innowacyjnych rozwiązań odbywa się nie poprzez bezwarunkowe dofinansowanie wybranych technologii, a przez postawienie wymagających warunków przed usługodawcami i klastrami energii. Konieczna jest synchronizacja

i niwelacja profili wytwórczych i odbiorczych na danym obszarze – czyli właśnie realizacja usługi lokalnego autobilansowania w wymiarze fizycznych rozptyłów mocy. Przedstawiona legislacja stanowi zatem istotny krok w kierunku tworzenia zdecentralizowanego systemu energetycznego opartego o lokalne społeczności oraz innowacyjne – na dzień dzisiejszy – technologie.

Przedstawione powyżej wyniki badania prowadzą do następujących wniosków:

- Świadczenie usługi autobilansowania stanowi nowy bodziec do inwestowania w źródła elastyczności. Usługa autobilansowania zachęca obszar do inwestycji w **elastyczne źródła** energii oraz do **sterowania** elastycznymi jednostkami w sposób **najbardziej korzystny z punktu widzenia sieci**, czyli poprzez niwelację szczytów własnego zapotrzebowania.

- Bez nowych bodźców inwestycyjnych nowe źródła elastyczności nie będą posiadały wystarczającej zachęty finansowej do powstawania. Istnieje istotne prawdopodobieństwo, iż bez usługi autobilansowania klastry wytworzą nieelastyczne źródła OZE i nie wniosą oczekiwanych korzyści systemowych pozwalających na integrację systemową rosnącej liczby źródeł OZE. Rozwój klastrów energii bez usługi autobilansowania może prowadzić do wzrostu całkowitych kosztów społecznych poprzez zwiększenie zapotrzebowania na inwestycje w infrastrukturę sieciową.

## Autobilansowanie a regulacje europejskie

W zależności od woli legislatora podmiot realizujący usługę autobilansowania może być wpisany w kontekst społeczności energetycznej (Dyrektywa IMD 2019/944) lub w kontekst społeczności energetycznej działającej w zakresie energii odnawialnej (Dyrektywa RED II 2018/2001). Różnice oraz elementy wspólne obu społeczności prezentuje Tab. 13.

W świetle implementacji usługi kluczowa różnica pomiędzy wyżej wymienionymi wariantami dotyczy źródła energii możliwej do rozliczenia w ramach autokonsumpcji. W przypadku gdy autokonsumpcja dotyczy tylko konsumpcji energii wytworzonej w jednostkach OZE, usługa ta wpisuje się w ramy społeczności energetycznej działającej w zakresie energii odnawialnej Dyrektywy RED II. Natomiast w przypadku, gdy autokonsumpcja dotyczy energii wytworzonej dowolnej technologii, wpisuje się w regulację społeczności energetycznej (SE) z Dyrektywy IMD.

Bez względu na wariant, który wybierze ustawodawca, należy zwrócić uwagę na konieczność posiadania osobowości prawnej, zarówno przez obywatelskie społeczności energetyczne, jak i społeczności energetyczne działające w zakresie energii odnawialnej. W obecnym kształcie klastry nie posiada takiej osobowości.

## Zidentyfikowane ryzyka i środki zaradcze

Wskutek rozmów i konsultacji z przedstawicielami interesariuszy w obszarze planowanej regulacji, w szczególności z reprezentantami OSD, zidentyfikowano wymienione poniżej ryzyka i zaproponowano opisane rozwiązania.

**Czy koszty pokrycia UAB po stronie OSD powodują przeniesienie ich skutków na pozostałe podmioty przyłączone do sieci OSD?**

Jest to kwestia odpowiedniej parametryzacji/wyceny usługi. Proponowana jest statystyczna i średnia wycena UAB: część klastrów będzie dostawała mniej niż faktycznie przynoszą oszczędności dla OSD, a część więcej. Parametryzacja powinna być dobrana tak, by OSD mogły wyjść na zero, a inni uczestnicy systemu nie byli obciążani dodatkowymi kosztami.

**Czy oferowanie w każdym obszarze tej samej wyceny dla UAB będzie generowało powstawanie klastrów „zbędnych” z punktu widzenia OSD?**

Takiej możliwości nie można wykluczyć, natomiast istnieje równie istotne ryzyko, że wyznaczanie obszarów przez OSD mogłoby generalnie spowolnić rozwój energetyki rozproszonej na poziomie krajowym. Proponujemy, by wynagrodzenie dla danego obszaru reprezentowało średnią wartość unikniętych kosztów inwestycyjnych, tak żeby przepłacone obszary niewymagające inwestycji równoważyły niedopłacone obszary, gdzie faktycznie zachodzi potrzeba inwestycji. Dzięki temu cały proces będzie uproszczony, OSD nie będzie ponosił negatywnych skutków finansowych, a energetyka rozproszona w Polsce uzyska istotny impuls do rozwoju oraz rozpocznie się niezbędny proces transformacji krajowego systemu energetycznego.

**Czy z uwagi na strukturę sieci dystrybucyjnej i wzajemne powiązanie jej części, uzyskanie wskazanych efektów będzie dużo bardziej prawdopodobne na obszarach poniżej stacji SN/nN niż na obszarach poniżej stacji WN/SN?**



Tab. 13. Różnice w wymaganiach dyrektyw RED II oraz IMD w kontekście podmiotów energetyki rozproszonej

	Obywatelska społeczność energetyczna (SE) Dyrektywa IMD 2019/944, art. 16	Społeczność energetyczna działająca w zakresie energii odnawialnej (SOZE) Dyrektywa RED II 2018/2001, art. 22
Cel istnienia	główny cel to zapewnienie nie tyle zysków finansowych, co raczej środowiskowych, gospodarczych lub społecznych korzyści dla swoich członków lub udziałowców, a także obszarów lokalnych, na których społeczność prowadzi działalność	podstawowym celem – zamiast przyniesienia zysków finansowych – jest przyniesienie korzyści środowiskowych, ekonomicznych lub społecznych jej udziałowcom, członkom lub lokalnym obszarom, na których ona działa
Członkostwo	otwarte i dobrowolne	otwarte i dobrowolne
Uprawnienia decyzyjne	wyłącznie dla tych członków lub udziałowców, którzy nie prowadzą działalności komercyjnej na dużą skalę i dla których sektor energetyczny nie jest obszarem podstawowej działalności gospodarczej	brak wytycznych
Dostęp do systemów wsparcia	brak wytycznych	zapewnione uczestnictwo w dostępnych systemach wsparcia na równych warunkach z dużymi uczestnikami
Podmiotowość prawna	zależna od implementacji krajowej, np. forma stowarzyszenia, spółdzielni, spółki osobowej, organizacji nienastawionej na zysk albo małego lub średniego przedsiębiorstwa, pod warunkiem że podmiot ten, działając we własnym imieniu, może wykonywać prawa i podlegać obowiązkom	<ul style="list-style-type: none"> <li>zależna od implementacji krajowej; podmiot prawny którego udziałowcy lub członkowie są osobami fizycznymi, MŚP lub organami lokalnymi, w tym gminnymi;</li> <li>wymaganie, aby podmiot prawny był niezależny i skutecznie kontrolowany przez udziałowców lub członków zlokalizowanych w niewielkiej odległości od projektów dotyczących energii odnawialnej będących własnością tego podmiotu prawnego i przez niego rozwijanych</li> </ul>
Współpraca z OSD	tak, w celu ułatwienia przesyłu energii elektrycznej w obrębie obywatelskich społeczności energetycznych, za sprawiedliwą rekompensatą, którą ocenia organ regulacyjny	tak, konieczność współpracy OSD ze SOZE w celu ułatwienia transferów energii w ramach społeczności
Opłaty i procedury	niedyskryminacyjne, sprawiedliwe, proporcjonalne i przejrzyste	niedyskryminacyjne, sprawiedliwe, proporcjonalne i przejrzyste
Struktury transgraniczne	możliwe, zależne od sposobu wprowadzenia regulacji krajowych	możliwe, zależne od sposobu wprowadzenia regulacji krajowych
Dostęp do rynków energii	bez dyskryminacji – wszystkie rynki energii elektrycznej, bezpośrednio lub za pośrednictwem agregacji	bez dyskryminacji – wszystkie rynki energii elektrycznej, bezpośrednio lub za pośrednictwem agregacji
Bilansowanie	ponoszą odpowiedzialność finansową za niezbilansowanie, muszą być podmiotami odpowiedzialnymi za bilansowanie lub oddelegować odpowiedzialność za bilansowanie zgodnie z art. 5 rozporządzenia (UE) 2019/943	ponoszą odpowiedzialność finansową za niezbilansowanie, muszą być podmiotami odpowiedzialnymi za bilansowanie lub oddelegować odpowiedzialność za bilansowanie zgodnie z art. 5 rozporządzenia (UE) 2019/943
Opłaty sieciowe	ponosi opłaty sieciowe odzwierciedlające koszty, przejrzyste i wolne od dyskryminacji, z osobnym rozliczeniem energii elektrycznej wprowadzanej do sieci oraz energii elektrycznej zużywanej z sieci	SOZE powinny mieć możliwość wymiany między sobą energii, która jest produkowana przez instalacje należące do ich społeczności; członkowie społeczności nie powinni jednak być zwolnieni z odpowiednich kosztów, opłat i podatków, które byłyby w podobnej sytuacji ponoszone przez odbiorców końcowych niebędących członkami społeczności lub producentów albo kiedy do tych transferów wykorzystuje się infrastrukturę sieci publicznej
Podział energii oraz rozliczenia	uprawnienie do ustalenia wewnątrz obywatelskiej społeczności energetycznej podziału energii elektrycznej, która jest wytwarzana przez jednostki wytwórcze będące własnością społeczności	uprawnienie do podziału, w ramach danej SOZE, energii odnawialnej wyprodukowanej przez jednostki produkcyjne będące własnością tej społeczności energetycznej działającej w zakresie energii odnawialnej
Prawo do zarządzania sieciami dystrybucyjnymi	możliwe, zależne od sposobu wprowadzenia regulacji krajowych	brak wytycznych; w rezultacie możliwe, zależne od sposobu wprowadzenia regulacji krajowych
Inne prawa członków	członkowie nie tracą praw i obowiązków jako odbiorcy będący gospodarstwami domowymi lub odbiorcy aktywni	konsumenci/prosumenci powinni zachować swoje prawa jako konsumenci, w tym prawo do zawarcia umowy z wybranym dostawcą i zmiany dostawcy

Należy zaznaczyć, że sieć SN ma strukturę promieniastą, ale domyślnie rozpiętą, czyli w stanie normalnym drzewiastą. Dlatego wydaje się, że również dla obszaru zdefiniowanego względem stacji WN/SN możliwe będzie określenie rozptyłów mocy wynikających z działania klastra oraz ich wpływu na elementy infrastruktury OSD.

Istotne jest również to, że infrastruktura OSD jest utrzymywana nie tylko na stanie w pełni sprawnej sieci, ale również na stanach awaryjnych, tzw. N-1. Obszary autobilansowania mogą być korzystne zarówno w standardowym układzie pracy sieci, jak i w stanach awaryjnych. Proponowana jest także podwójna parametryzacja: większe wynagrodzenia dla obszarów SN/nN niż dla obszarów WN/SN.

Czy zjawisko, kiedy na danym obszarze sieciowym nie wszystkie podmioty przyłączone do sieci OSD są członkami klastra, niweluje korzyści wnoszone przez podmioty świadczące usługę autobilansowania?

Dostrzeżone jest ryzyko, że zachowanie odbiorców poza klastrem energii będzie głównym powodem, dla którego OSD będzie prowadził niezbędne inwestycje. Gratyfikacja za świadczenie usługi autobilansowania stanowi zachętę dla podmiotów w sieci OSD pozostających poza klastrem, by do klastra dołączać i tym samym niwelować konieczność inwestycji. Proponowany mechanizm UAB jest skierowany w głównej mierze właśnie do tych podmiotów, które jeszcze w klastrze nie funkcjonują, ale z sieciowego punktu widzenia wskazane jest, aby do niego przystąpiły.

Dodatkowo należy zauważyć, że nawet częściowe ograniczenie na danym obszarze wynikające z zachowania członków klastra energii może (choć nie musi) dać pozytywny efekt z punktu widzenia OSD.

Czy przy braku dopełnienia warunków lub zaprzestaniu świadczenia usługi autobilansowania przez klastr, OSD pozostanie z niewykonanymi inwestycjami i poniesie z tego powodu negatywne konsekwencje? Z tego powodu proponuje się, aby UAB wprowadzany był w pięcioletnim okresie przejściowym. Podczas pierwszych pięciu lat od wprowadzenia możliwości świadczenia usługi klastry nie muszą deklarować do

OSD minimalnego poziomu autokonsumpcji planowanego na następny rok. Jest to okres, w którym klastry szukają sposobu na zwiększanie tego poziomu oraz wykonują niezbędne inwestycje. W tym okresie weryfikowana jest również wartość wnoszona przez klastry energii z punktu widzenia OSD oraz odpowiednio dobierany parametr  $a_i$  – współczynnik korygujący. W kolejnym okresie, czyli po pierwszych pięciu latach funkcjonowania UAB, wprowadzane są dodatkowe wymagania w stosunku do klastrów energii. Deklarują one swój minimalny poziom autokonsumpcji i w kolejnych latach muszą go utrzymać. W przeciwnym wypadku klastry zgadzają się na niedostarczenie mocy (klastry będą posiadały strażników mocy) oraz poniesienie kar umownych, co niweluje negatywne konsekwencje niedotrzymania umowy przez klastry.

## Podsumowanie

W przedstawionym artykule została zarysowana i przeanalizowana propozycja wdrożenia usługi autobilansowania. Z wykonanych badań wynika, że świadczenie proponowanej usługi będzie stanowić potencjalnie wystarczającą zachętę do inwestowania w źródła elastyczności energii oraz do lokalnego bilansowania popytu i podaży. Zjawiska motywowane przez usługę autobilansowania są szczególnie istotne w kontekście planu osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku, co będzie wymagało istotnego wzrostu poziomu elastyczności systemu opartego o OZE. Ponadto usługa autobilansowania jest bodźcem finansowym do rozwoju innowacyjnych rozwiązań polegających na lokalnym bilansowaniu w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem inteligentnych sieci. Usługa autobilansowania definiuje rolę klastrów energii w KSE jako dostawców elastyczności składającej się z lokalnych, rozproszonych i społecznych zasobów. Podkreśla się, że zasadniczym mechanizmem usługi autobilansowania jest wykonanie przez operatora alternatywnych działań w stosunku do obecnie podejmowanych, w celu wywiązania się z zobowiązań ustawowych.

Tab. 14. Ilościowy szacunek wpływu wprowadzenia proponowanej regulacji na stawkę zmienną sieciową. Maksymalny negatywny wpływ został oszacowany w oparciu o maksymalną wartość rekompensaty dla klastra energii podzieloną przez wolumen energii dystrybuowanej w analogiczny sposób, w jaki amortyzowane są inne koszty uzasadnione funkcjonowania OSD. Zaznacza się, iż przewidywany wpływ wprowadzenia usługi na stawkę zmienną sieciową wynosi 0 zł/MWh

Suma opłat za usługę autobalansowania dla przykładowego klastra energii (zł)	Liczba klastrów energii	Wolumen energii dystrybuowanej OSD	Przewidywany wpływ na stawkę zmienną opłaty sieciowej	Maksymalny negatywny wpływ na stawkę zmienną opłaty sieciowej
240 984 zł	1	51.7 TWh	0 zł/MWh	0.005 zł/MWh
240 984 zł	100	51.7 TWh	0 zł/MWh	0.466 zł/MWh

Innymi słowy, kwota, którą operator przeznaczy na rekompensatę klastrów energii w zamian za usługę bilansowania, i tak zostałaby opłaconą przez odbiorców energii, z tą różnicą, że płaciliby oni za rozwój infrastruktury sieciowej, a nie rozwój lokalnych rozproszonych społeczności energetycznych. Usługa autobalansowania pomniejsza koszt inwestycji sieciowych, zakupu energii na pokrycie strat przesyłowych i zakupu usług systemowych, a w efekcie obniża opłaty ponoszone przez całe społeczeństwo. Pomniejszenie części kosztów funkcjonowania OSD jest równe rekompensacie dla klastra energii za wykonanie usługi autobalansowania, dlatego opłata sieciowa nie powinna rosnać wskutek powstawania klastrów energii. Realną zmianę w stawce zmiennej opłaty sieciowej wskutek wprowadzenia usługi autobalansowania do kosztów regulowanych OSD szacuje się na 0 zł. Jedynie w mało prawdopodobnej sytuacji, gdyby usługa autobalansowania nie wносиła przewidywanych korzyści dla OSD, opłata sieciowa mogłaby wzrosnąć. Tab. 14 prezentuje ten negatywny scenariusz, w którym wzrost opłaty sieciowej oszacowano na około 0,46 zł/MWh. Maksymalny negatywny wpływ został oszacowany na podstawie maksymalnej wartości rekompensaty dla klastra energii podzieloną przez wolumen energii dystrybuowanej w analogiczny sposób, w jaki amortyzowane są inne koszty uzasadnione funkcjonowania OSD. Zaznacza się, iż przewidywany wpływ wprowadzenia usługi na stawkę zmienną sieciową wynosi 0 zł/MWh

Projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG, umowa nr Gospostateg1/385085/21/NCBR/19.

## Proposal of autobalancing service

**Abstract:** Distributed energy is developing at a high pace and needs new legislative solutions that will support it, while at the same time not place a big financial burden on the rest of society. This article presents and describes a potential solution that aims to address these goals. Autobalancing service rewards and incentivizes certain behavior of participants that is desirable from the point of view of the network. The types of actions that are incentivized by autobalancing service are described in detail in this article and are based on simultaneous occurrence of electricity demand and generation in a well defined area of distribution grid. Two independent types of elements of the autobalancing service are postulated: (i) balancing of energy, and (ii) balancing of power. These two elements are responsible for different system functions. Autobalancing service is incentivizing service providers to invest in flexible energy resources as well as operating them in such a manner that is most useful from the point of view of electrical grid. Simulations that took into account technical and economical aspects of operation of energy clusters were conducted. Results indicate that introduction of the autobalancing service would be a sufficient incentive for clusters to invest in energy storage and provide flexibility resources to the grid operator.

**Keywords:** autobalancing service, UAB, RES, microgrids, distributed energy resources

### Ryszard CETNARSKI

specjalista ds. analizy danych  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
Interdyscyplinarny Zakład Analiz  
Energetycznych (IDEA)  
ryszard.cetnarski@idea.edu.pl



### Serhiy PENSKYY

Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
Interdyscyplinarny Zakład Analiz  
Energetycznych (IDEA)  
serhiy.pensky@idea.edu.pl



### Dr inż. Karol WAWRZYŃIAK

kierownik zakładu  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
Interdyscyplinarny Zakład Analiz  
Energetycznych (IDEA)  
karol.wawrzyniak@ncbj.gov.pl



## Energetyka Rozproszona

Czasopismo redagowane przez zespół projektu Rozwój energetyki rozproszonej w klastrach energii (KlastER) ([www.er.agh.edu.pl](http://www.er.agh.edu.pl)) w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG.



**KlastER**

Redaktor naczelny:  
Sławomir Kopec

Sekretarz redakcji:  
Katarzyna Faryj

Członkowie redakcji:  
Zbigniew Hanzelka  
Andrzej Kaźmierski  
Marek Kisiel-Dorohinicki  
Ryszard Sroka  
Wojciech Suwała  
Tomasz Szmuc  
Karol Wawrzyniak

Redakcja i korekta językowa:  
Malwina Mus-Frosik

Skład:  
MUNDA Maciej Torz

Projekt okładki i layoutu:  
Tomasz Budzyń

Strona internetowa:  
Sebastian Medoń  
Jakub Mirek

Wydawca:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kontakt:

Energetyka Rozproszona  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
Paw. H-A2, III piętro  
tel. 12 888 55 29  
e-mail: [klaster\\_er@agh.edu.pl](mailto:klaster_er@agh.edu.pl)  
[www.er.agh.edu.pl](http://www.er.agh.edu.pl)

© Autorzy

Creative Commons CC-BY 4.0



Ministerstwo Rozwoju,  
Pracy i Technologii

