Od analizy profili na osłonach kontrolnych systemu(WSE) do wskazówek projektowania struktury miksu energetycznego – studium przypadków

Krzysztof Bodzek

Transformacja polskiej energetyki wymaga zmiany sposobu dostarczania energii elektrycznej w której niezwykle istotne jest wykorzystanie synergii wynikającej z zastosowania wielu technologii wytwórczych a także magazynowania energii elektrycznej oraz kształtowania profilu zapotrzebowania. W artykule rozpatruje się cztery charakterystyczne obszary bilansowania od obszarów wiejskich do Warszawy. Każdy z charakterystyczną strukturą źródeł wytwórczych dopasowaną do profilu zapotrzebowania. Każdy analizowany za pomocą symulacji wykorzystującej profile zapotrzebowania i produkcji, charakterystyczne dla elektroprosumeryzmu.

Słowa kluczowe: elektroprosumeryzm, symulacyjna weryfikacja, jednostki samorządu terytorialnego.

1. Wstęp

Wykorzystanie zasobów własnych prowadzi do maksymalizacji efektywności, dlatego tak istotne jest tworzenie wirtualnych systemów elektrycznych (WSE) [1] pozwalających osiągnąć nową jakość użytkowania energii elektrycznej. W szczególności w pierwszym etapie wdrażania rozwiązań potrzebny jest operator(WSE) [2], którego głównym zadaniem będzie koordynowanie działania systemu(WSE). Operator ten powinien charakteryzować się znajomością lokalnych uwarunkowań, mieć doświadczenie w prowadzeniu i koordynowaniu inwestycji. Jednak nie mniej ważny w elektroprosumeryzmie jest kapitał społeczny. Dlatego, proponuje się tworzenie osłon kontrolnych wokół jednostek samorządu terytorialnego (JST), które mają wszystkie wymienione cechy. Jako przykład można wyróżnić co najmniej dwa klastry mianowicie Ostrowski Rynek Energetyczny (ORE) [3] zrzeszony wokół grupy kapitałowej Centrum Rozwoju Komunalnego (miejskich spółek komunalnych) oraz klaster energii Zielona Energia Konin, którego koordynatorem jest Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji. Klastry te stawiają sobie za cel osiągnięcie samowystarczalności w pierwszej kolejności spółek komunalnych, a docelowo całego miasta [4,5]. Tworzenie lokalnych obszarów, które będą mogły się bilansować, odwraca perspektywę transformacji energetycznej z decyzji makroekonomicznych do mikroekonomicznych, gdzie zbiór zbilansowanych (w horyzoncie 2050) systemów(WSE) tworzy krajowy system elektroenergetyczny (KSE).

Rozwój systemów(WSE) wymaga usystematyzowania charakterystycznych, pod względem dostępności technologii wytwórczych oraz kształtu profilu zapotrzebowania osłon kontrolnych powiązanych z JST mianowicie [9]:

- OK(JST1) - wieś zasilana ze stacji transformatorowej SN/nN
- OK(JST2) - gmina (wiejska, miejsko-wiejska), miasto 20-50 tys. mieszkańców
- OK(JST3) - miasto 50-100 tys. wraz z powiatem (jeśli jest)
- OK(JST4) - miasto 100-500 tys. mieszkańców
- OK(JST5) - metropolia 0,5-1 mln mieszkańców

- OK(JST6) - Warszawa, GZM
- OK(JST7) - powiat („samodzielny”)
- OK(JST8) - województwo

W artykule ograniczono się do czterech osłon kontrolnych charakterystycznych dla obszarów wiejsko-miejskich: OK(JST1), OK(JST2), OK(JST3), o małej gęstości zapotrzebowania i dużych zasobach własnych (źródła PV, elektrownie wiatrowe) oraz jako uzupełnienie osłonę OK(JST6) dla Warszawy o bardzo dużej gęstości zapotrzebowania i ograniczonych zasobach własnych.

2. Założenia modelowania

Niezależnie od wielkości osłony, struktura miksu wytwórczego może być dobrana za pomocą jednego modelu kaskadowego, w którym wykorzystuje się 15-minutowe profile zapotrzebowania i produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną, a bilansowanie uwzględnia właściwości poszczególnych technologii. Szczegółowy sposób modelowania został opisany w [2,6]. Różnica w modelowaniu wynika z dostępnych w każdej osłonie kontrolnej technologii.

W ogólnym przypadku, modelowanie za pomocą profili pozwala na uzyskanie wyników tym dokładniejszych im dokładniej opisany jest rzeczywisty obiekt. Celem artykułu jest pokazanie możliwości pokrycia zapotrzebowania wybranych osłon kontrolnych, gdzie istotną rolę odgrywa bilansowanie. Dlatego w analizie wykorzystano 15-minutowe profile, które są wystarczające do analiz rozwojowych a dodatkowo ograniczają konieczność stosowania bardzo wydajnych systemów komputerowych. Założenia wykorzystane w modelowaniu są następujące:

1. Bilansowanie na podstawie 15-minutowych profili zapotrzebowania i produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną.
2. Deficyt energii elektrycznej nie przekracza 1 %.
3. Energia, w celu unifikacji i łatwego skalowania jest przedstawiona w jednostkach względnych, %:

$$E^{\bullet} = \frac{E}{\max(E)|_{\sum E_P=0}} \cdot 100\%. \tag{1}$$

4. Moc znormalizowano według formuły:

$$P^{\bullet} = \frac{P}{\max(P)|_{\sum E_P=0}}. \tag{2}$$

5. Elektrownie i mikroelektrownie biogazowe wyposażone są w zasobniki biogazu.
6. Profile kształtowane są za pomocą sygnału z Rynku Czasu Rzeczywistego (RCR) z podatnością 15 % [7]. Dodatkowym założeniem jest ograniczenie przesuwania obciążenia w horyzoncie 24 godzin, tzn. pobór energii można przesunąć, ale nie dłużej niż o 24 godziny.
7. Zakłada się, że uczestnictwo w RCR nie jest dodatkowo wynagradzane. Zysk uczestnika rynku wynika z różnicy cen.
8. Pojemność akumulatorów dobrano zgodnie z zależnością: 1 kW w źródłach PV odpowiada 1 kWh pojemności akumulatora.

9. Koszt energii akumulatora uwzględnia tylko rzeczywiste wykorzystanie (wynikające z bilansu energii) i uwzględnia sprawność magazynowania [8].

Wybrane do analizy cztery osłony kontrolne charakteryzują się różnym czasem wykorzystania mocy szczytowej (tab. 1.) mianowicie: 1° OK(JST1) – 2500 h; 2° OK(JST2) – 3000 h; 3° OK(JST3) – 3500 h; 4° OK(JST6) – 6500 h. Czasy te wyznaczono na podstawie rzeczywistych profili wybranych obszarów i mogą być się one różnić w określonych przypadkach, w szczególności, jeżeli na obszarach wiejskich istnieje zdecydowanie inna struktura odbiorców niż wynikałoby to z opisywanego regionu (np. duży zakład przemysłowy). Takie przypadki należy potraktować indywidualnie, wykorzystując rzeczywiste profile, na podstawie których możliwy będzie dobór struktury miksu wytwórczego.

Punktem startowych analizy osłon kontrolnych przedstawionych w artykule, była struktura miksu wytwórczego obejmująca sześć technologii mianowicie: 1° − gospodarkę obiegu zamkniętego (GOZ), 2° − mikroelektrownie biogazowe, 3° − elektrownie biogazowe, 4° − elektrownie wiatrowe lądowe, 5° − źródła PV oraz 6° − elektrownie wiatrowe offshore, antycypowana na podstawie heurystyk potrzeb i rozwoju energii odnawialnej. W strukturze tej wyróżniono cztery charakterystyczne obszary w tym obszary wiejskie i miasto powiat (75 tys. mieszkańców) [9].

Tab. 1. Technologie dla czterech osłon kontrolnych JST oraz czas wykorzystania mocy szczytowej

	Osłona Kontrolna			
	OK(JST1)	OK(JST2)	OK(JST3)	OK(JST6)
źródła PV	✔	✔	✔	✔
mikroelektrownie wiatrowe	✔	✔	✔	✔
elektrownie wiatrowe	ⓘ	✔	✔	✔
mikroelektrownie biogazowe	✔	✔	ⓘ	ⓘ
elektrownie biogazowe	✕	✔	✔	✔
mineralizacja (GOZ)	✕	ⓘ	✔	✔
elektrownie wiatrowe offshore	✕	✕	✕	✔
gazowe źródła kogeneracyjne	ⓘ	ⓘ	ⓘ	✔
agregaty prądotwórcze (UGZ)	✕	✕	ⓘ	ⓘ
Czas wykorzystania mocy szczytowej, h	2500	3000	3500	6500

Rozwinięciem analizy jest obliczony bilans rozszerzony o trzy technologie wytwórcze (tab. 1), akumulatory i rynek czasu rzeczywistego pod wpływem którego następuje zmiana sposobu użytkowania energii elektrycznej. Na podstawie wyników heurystyk opracowano tabelę 1 w której zamieszczono spis technologii oraz możliwość wykorzystania ich w analizowanych osłonach kontrolnych. Powiązanie technologii z osłoną kontrolną zostało zaznaczone za pomocą trzech znaczników: ✔ - oznacza, że technologia jest wykorzystywana

w danej osłonie kontrolnej i uwzględniono ją w analizie struktury wytwórczej; ⓘ - oznacza, że technologia może być wykorzystane, ale jest to technologia właściwa dla innej osłony kontrolnej; ✕- oznacza, że jest to technologia, którą ze względu na właściwości nie należy stosować w osłonie kontrolnej. Dla przykładu elektrownie wiatrowe offshore, są właściwe jedynie dla obszarów o dużej gęstości zapotrzebowania (np. Warszawa). Technologię uwzględniono jedynie w osłonie OK(JST6).

Ze względu na stosowane technologie osłony kontrolne scharakteryzowano następująco (tab. 1):

- OK(JST1) – podstawowymi źródłami wytwórczymi są źródła PV i mikroelektrownie biogazowe.
- OK(JST2) – oprócz źródeł PV i mikroelektrowni biogazowych, wykorzystuje się również pojedyncze elektrownie wiatrowe (o mocy rzędu 3 MW) oraz elektrownie biogazowe rolniczo-utylizacyjne klasy 1 MW.
- OK(JST3) – ze względu na większe zapotrzebowanie, w strukturze duży udział mają elektrownie wiatrowe. Możliwe jest wykorzystanie technologii mineralizacji odpadów [10], ze względu na wystarczającą ilość ścieków i odpadów.
- OK(JST6) – bardzo duża gęstość zapotrzebowania nie pozwala na pokrycie potrzeb energetycznych jedynie za pomocą zasobów własnych. Dlatego konieczne staje się wykorzystanie zasobów zewnętrznych, w tym przypadku energii pochodzącej z elektrowni wiatrowych offshore.

Wynikiem analizy są również koszty krańcowe dostaw energii elektrycznej uwzględniające koszty wytwarzania oraz opłatę sieciową oszacowaną na podstawie średnich opłat sieciowych poszczególnych operatorów sieci dystrybucyjnych [11]. Uzyskane wyniki uwzględniają medianę cen osiąganych w skończonych projektach w latach od 2017 do 2019 [12,13,14] oraz ceny z aukcji energii w roku 2019 [15].

Tab. 2. Koszty krańcowe dostaw energii elektrycznej w OK(JST) (wytwarzanie + opłaty sieciowe)

	Koszt jednostkowy, PLN/MWh
źródła PV	250
mikroelektrownie wiatrowe	550
elektrownie wiatrowe	350
mikroelektrownie biogazowe	650
elektrownie biogazowe	700
mineralizacja (GOZ)	500
elektrownie wiatrowe offshore	350
gazowe źródła kogeneracyjne	400
agregaty prądotwórcze (UGZ)	1500
akumulatory	2000

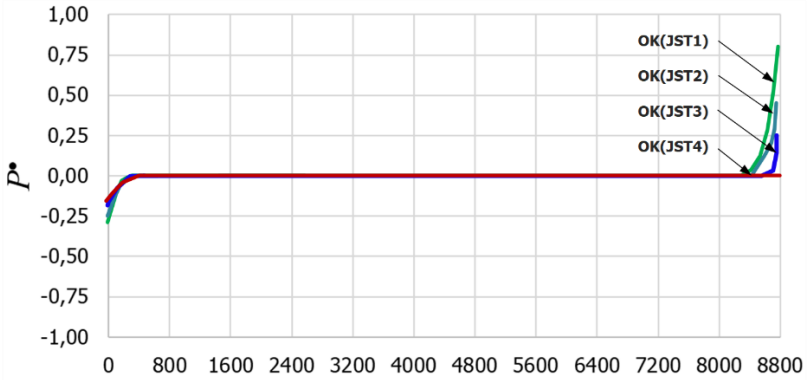
3. Wskazówki projektowania struktury źródeł wytwórczych

Wykorzystanie modelowania pozwala na obliczenie struktury miksu wytwórczego (dla przyjętych założeń), na podstawie którego mogą zostać sformułowane wskazówki do projektowania systemów(WSE) dla poszczególnych osłon kontrolnych w ogólnym przypadku, tu jako studium przypadku czterech wybranych, powiązanych z JST. Uzyskane wyniki zebrano w tab. 3. Przedstawione w sposób syntetyczny wyniki pozwalają porównać struktury miksu wytwórczego w każdej osłonie, wykorzystanie magazynów energii, a także roczny bilans energii elektrycznej.

Tab. 3. Struktura źródeł wytwórczych dla wybranych osłon OK(JST)

	Osłona Kontrolna			
	OK(JST1)	OK(JST2)	OK(JST3)	OK(JST6)
	Względna produkcja energii $\dot{E}$, %			
źródła PV	40	40	32	20
mikroelektrownie wiatrowe	5	5	0	2
elektrownie wiatrowe	0	25	38	18
mikroelektrownie biogazowe	55	10	5	0
elektrownie biogazowe	0	20	25	5
mineralizacja (GOZ)	0	0	0	5
elektrownie wiatrowe offshore	0	0	0	38
gazowe źródła kogeneracyjne	0	0	0	9
agregaty prądotwórcze (UGZ)	0	0	0	4
Kształtowanie profili				
rynek RCR, %	15	15	15	15
akumulatory, %	8	8	6	4
Roczny bilans energii elektrycznej				
Saldo, %	5	2	0	-1
Nadwyżka, %	6	3	1	0
Deficyt, %	1	1	1	1

Na podstawie 15-minutowych profili niezbilansowania osłon kontrolnych obliczono względny profil niezbilansowania wybranych osłon kontrolnych JST (rys. 1). Deficyt w każdym przypadku nie przekracza 1 % zapotrzebowania, ale inna jest maksymalna moc deficytu, oraz czas jego występowania. Jednak w żadnym przypadku moc deficytu nie przekracza 30 % (zawsze dostępne jest co najmniej 70 % mocy zapotrzebowania) a łączny czas deficytu jest poniżej 200 godzin. Występują również nadwyżki tym większe im miks wytwórczy obejmuje mniejszą liczbę technologii.

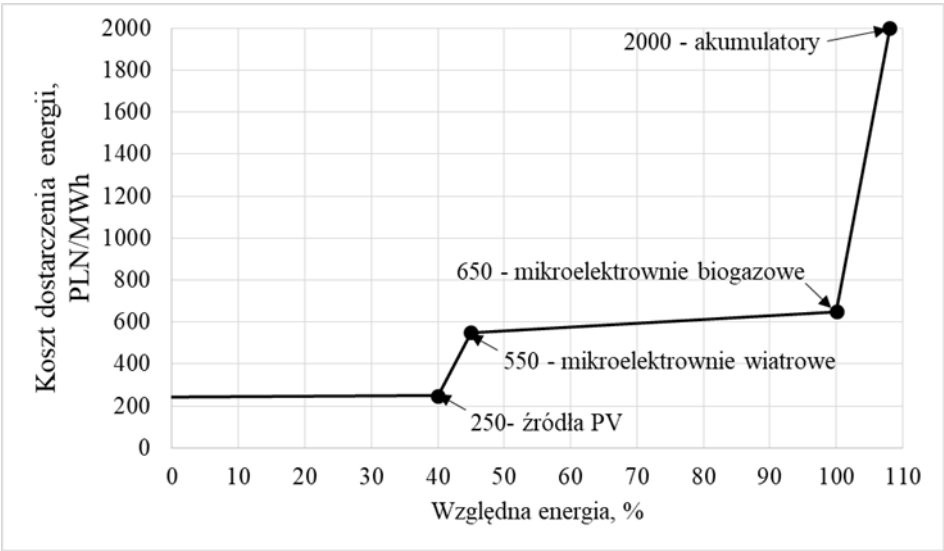


Rys. 1. Względny profil niezbilansowania wybranych osłon kontrolnych JST

Dla każdej osłony kontrolnej, oprócz struktury miksu wytwórczego, obliczono koszty krańcowe dostarczania energii elektrycznej oraz średnioroczny koszt (bez podatków i marży).

OK(JST1) - wieś zasilana ze stacji transformatorowej SN/nN

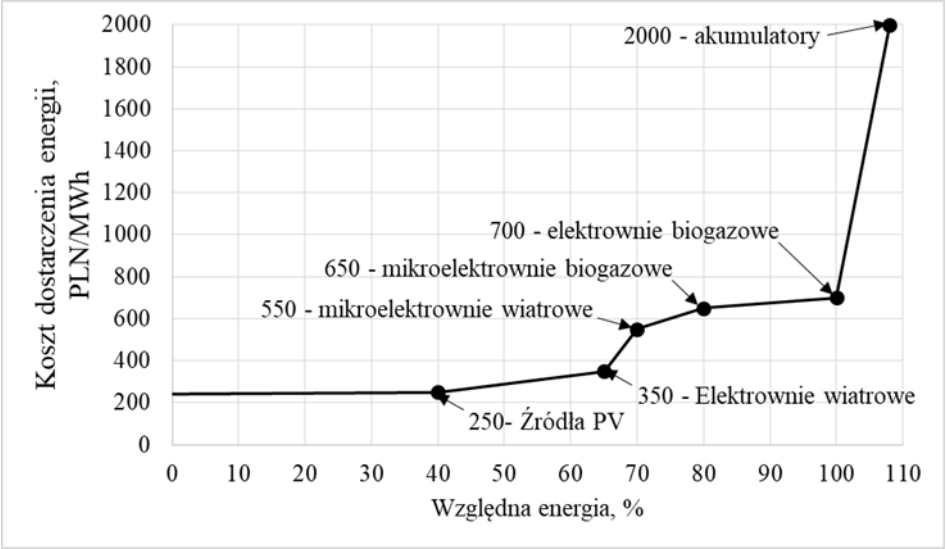
Zbilansowanie obszaru wiejskiego zasilanego ze stacji transformatorowej SN/nN realizowane jest za pomocą jedynie czterech technologii OZE a mianowicie: źródeł PV, mikroelektrowni wiatrowych, mikroelektrowni biogazowych klasy 10 kW – 40 kW, które pełnią rolę źródeł regulacyjno-bilansujących wspomaganych przez akumulatory oraz rynek RCR. Mała liczba technologii wymusiła przewymiarowanie źródeł PV, co spowodowało występowanie nadwyżki energii około 6 % ($P^{\bullet} < 0{,}8$). Konieczne jest magazynowanie około 8 % energii co przekłada się, na najwyższy średnioroczny koszt energii elektrycznej (najwyższy koszt to energia z akumulatorów) wynoszący 485 PLN/MWh. Osiągnięcie deficytu poniżej 1 % wymaga dużego udziału produkcji w mikroelektrowni biogazowej (55 %). Najwyższa jest również produkcja energii w źródłach PV (40 %). Jednak uzyskane wyniki pokazują, że dobre zbilansowanie jest osiągalne dla osłony OK(JST1). Koszty krańcowe zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. OK(JST1) średnioroczny koszt: 485 PLN/MWh

OK(JST2) - gmina (wiejska, miejsko-wiejska), miasto 20-50 tys. mieszkańców

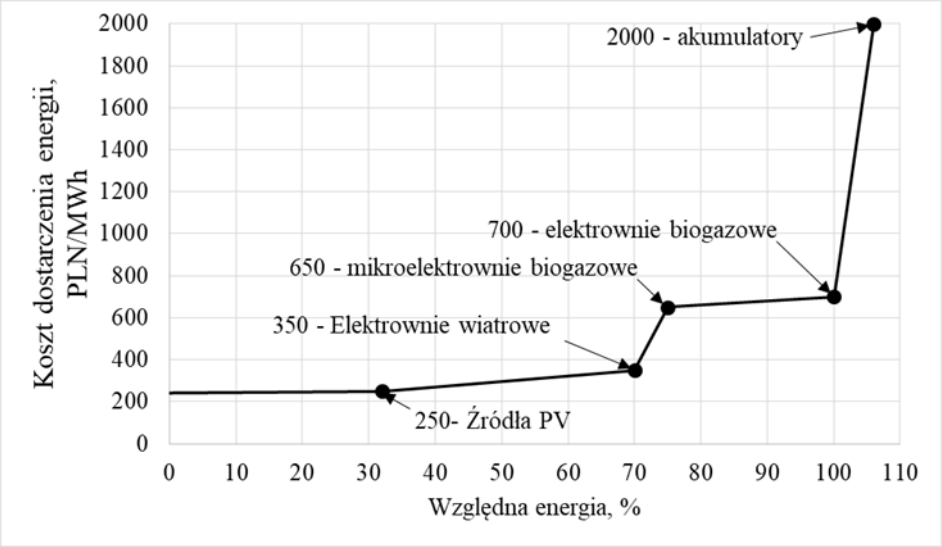
Zapotrzebowanie gminy pozwala na uzupełnienie miksu energetycznego typowego dla OK(JST1) o elektrownie wiatrowe lądowe. W proponowanej strukturze, odpowiadają one za produkcję około 25 % energii elektrycznej. Ponieważ profil produkcji w elektrowniach wiatrowych uzupełnia profil produkcji źródeł PV, możliwe było ograniczenie mocy źródeł regulacyjno-bilansujących. Większa dostępność ścieków i odpadów organicznych pozwala ponadto zastosować elektrownie biogazowe klasy 1 MW. Udział energii pochodzącej ze źródeł PV wynosi 40 % i konieczne jest jej magazynowanie w akumulatorach. Średnioroczne koszty dostarczania energii wynoszą około 420 PLN/MWh i zostały obniżone, w porównaniu do OK(JST1), ze względu na zmniejszenie produkcji w źródłach regulacyjno-bilansujących. Ponad 65 % energii (rys. 3) pochodzi z tanich źródeł z produkcją wymuszoną (źródła PV, elektrownie wiatrowe)



Rys. 3. OK(JST2) średnioroczny koszt: 420 PLN/MWh

OK(JST3) - miasto 50-100 tys. wraz z powiatem

Czas wykorzystania mocy szczytowej w osłonie OK(JST3) wynosi około 3500 h. Duża moc zapotrzebowania pozwala na wykorzystanie najnowocześniejszych elektrowni wiatrowych o mocach sięgających 6 MW [16] i rocznym czasie wykorzystania mocy zainstalowanej przekraczającym nawet 3500 h. Wpływa to na ograniczenie mocy źródeł regulacyjno-bilansujących, ale również zmniejsza udział produkcji w źródłach PV. Powodując, że w mniejszym stopniu wykorzystywane są magazyny energii.



Rys. 4. OK(JST3) średnioroczny koszt: 421 PLN/MWh

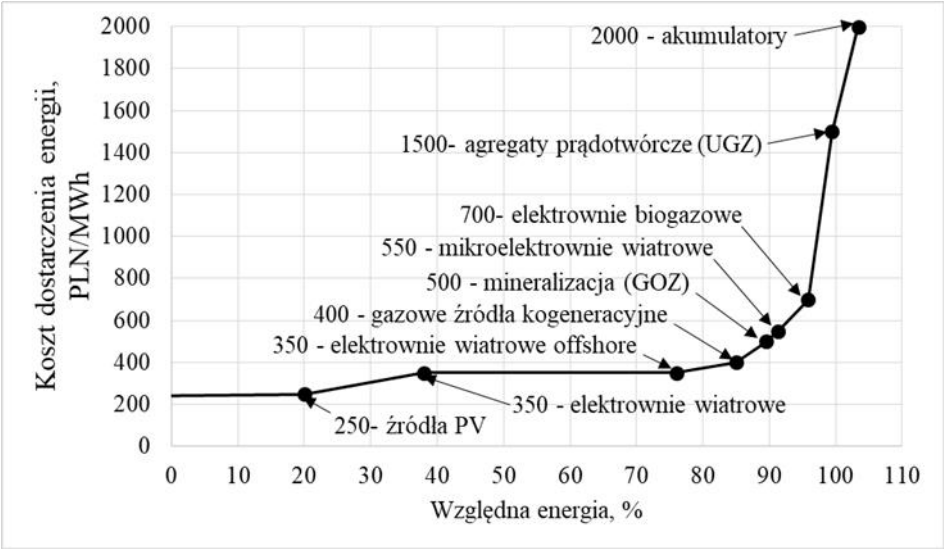
Również mikroelektrownie wiatrowe, ze względu na wysoką cenę i dostępność energii nie są uwzględnione w miksie wytwórczym. Została ograniczona względna moc deficytu do wartości $P^{\bullet} > -0{,}15$, czyli prawie dwukrotnie w porównaniu z OK(JST1) i OK(JST2). Wykorzystanie najnowocześniejszych technologii zmniejszyło niezbilansowanie, a średnioroczny koszt energii elektrycznej nie zmienił się w porównaniu z tym uzyskanym dla OK(JST2) i wynosi 421 PLN/MWh.

W analizie nie uwzględniono mineralizacji odpadów, która może uzupełnić strukturę miksu wytwórczego.

OK(JST6) - Warszawa

Uzupełnieniem osłon kontrolnych jest osłona OK(JST6), w której wykorzystuje się dostępne technologie łącznie z gazowymi źródłami kogeneracyjnymi i agregatami prądotwórczymi. Warszawa charakteryzuje się bardzo dużą gęstością zapotrzebowania, stosunkowo małą dostępną powierzchnią do wykorzystania przez źródła OZE i czasem wykorzystania mocy szczytowej prawie dwukrotnie wyższym od osłon OK(JST1) do OK(JST3). Bilans energetyczny musi zostać uzupełniony o energię pochodzącą z elektrowni wiatrowych offshore, ale należy podkreślić, że będą one konkurować z największymi (najnowocześniejszymi) elektrowniami wiatrowymi lądowymi. Z przeprowadzonej analizy wynika, że cena energii pochodzącej z tych technologii jest porównywalna, jednak ze względu na odległość, różnią się profilami produkcji, co pozwala wykorzystać efekt synergii w pokrywaniu zapotrzebowania. Wykorzystanie wielu technologii, prowadzi do najlepszego zbilansowania osłony OK(JST6) i uzyskaniu najniższego średniorocznego kosztu wynoszącego 400 PLN/MWh.

Należy pokreślić, że osłona ta ma zupełnie inne właściwości, ale sposób obliczenia struktury wytwórczej nie zmienił się. Jest to niewątpliwa zaleta wykorzystania modelowania za pomocą profili.



Rys. 5. OK(JST6) średnioroczny koszt: 400 PLN/MWh

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wybrane struktury miksów wytwórczych mogą być wykorzystane do wstępnej analizy możliwości pokrycia zapotrzebowania w elektroprosumeryzmie. Uzyskane wyniki pozwoliły na opracowanie wskazówek projektowania struktury wytwórczej systemów(WSE), które zostały syntetycznie zebrane w tabeli 3 i opisane w rozdziale 3. Wyniki te pozwoliły również na sformułowanie ogólnych wniosków dotyczących wszystkich osłon kontrolnych.

Komentarza wymagają uzyskane wyniki średniorocznych kosztów dostaw energii elektrycznej uzyskanych w ramach przeprowadzonej analizy (tab. 4). Dla osłony kontrolnej OK(JST1), w której odbiorcy to głównie gospodarstwa domowe z taryfą G, uzyskany koszt 485 PLN/MWh jest niższy od uśrednionego kosztu dostaw energii dla gospodarstw domowych (średnia ważona dla wszystkich taryf G), który wyniósł w 2019 r. 536 PLN/MWh [15]. W osłonie OK(JST2), uśredniony koszt może być niższy ze względu na możliwość negocjacji cen np. przez obiekty gminne, przy czym niższy jest również obliczony koszt dostaw. Średnie ceny energii w osłonach OK(JST3) a szczególnie w OK(JST6), ze względu na odbiorców w taryfie B i A będą natomiast porównywalne z cenami dostaw energii uzyskanymi w analizie. Podsumowując analizę, można sformułować wniosek, że uzyskane koszty dostaw energii nie będą wyższe od obecnych.

Tab. 4. Średnioroczny koszt dostaw energii elektrycznej

	Osłona Kontrolna			
	OK(JST1)	OK(JST2)	OK(JST3)	OK(JST6)
Koszt energii, PLN/MWh	**485**	**420**	**421**	**400**

Należy podkreślić, że obliczone ceny uwzględniają wdrożenie mechanizmów kształtowania profilu (RCR) i w pilotażowych osłonach ceny mogą być wyższe. Z drugiej strony wzrost kosztów wytwarzania energii w źródłach konwencjonalnych oraz spadek nakładów

inwestycyjnych źródeł OZE prowadzi do sytuacji, w której wdrożone na masową skale rozwiązania spowodują spadek cen dostaw energii w elektroprosumeryzmie (efekt skali zostanie zstąpiony efektem fabrycznym).

Wykorzystanie różnych technologii potęguje efekt synergii, dlatego osłony kontrolne w których do wytwarzania energii stosuje się wiele technologii charakteryzują się niższą ceną i lepszym zbilansowaniem.

W analizie nie uwzględnia się możliwości produkcji energii w osłonach OK(JST1) do OK(JST3) w źródłach kogeneracyjnych, chociaż w tabeli 1 dopuszczono taką możliwość. Dla obecnych cen gazu i uprawnień za emisję, kogeneracja gazowa jest technologią, która przejściowo może pełnić rolę źródła bilansująco-regulacyjnego (w pewnych przypadkach jest konkurencyjna nawet ze źródłami PV) jednak, nie może być ona traktowana jako technologia docelowa.

PIŚMIENNICTWO

[1] Popczyk J., Bodzek K., Fice M.: *Wirtualny minisystem elektroenergetyczny*. https://www.cire.pl, http://ppte2050.pl/

[2] Bodzek K.: *Wirtualny System Elektryczny*. Energetyka 2020 nr 5

[3] Popczyk J., Bodzek K., Grześkowiak J..: *Wirtualny minisystem elektroenergetyczny. Wielkopolska Południowa*. https://www.cire.pl, http://ppte2050.pl/

[4] Strona internetowa Klastra ORE: *http://www.crkenergia.pl/p/ore.html* - dostęp 31.06.2020

[5] Strona internetowa Klastra Zielona Energia Konin: *http://www.pwik-konin.com.pl/pl/1/108/klaster-energii* - dostęp 31.06.2020

[6] Bodzek K.: Bilans energetyczny klastra w kontekście aktualnej sytuacji polskiej elektroenergetyki i gwałtownego rozwoju źródeł OZE, Śląskie Wiadomości Elektryczne, nr 5(127), 2019 r.

[7] Popczyk J., Bodzek K., Fice M., Pilsniak A., Sztymelski K., Wojcicki R.: *Cenotwórstwo 2*. https://www.cire.pl, http://ppte2050.pl/

[8] Popczyk J, Bodzek K.: *Alternatywa dla planowanej elektrowni wodnej w Siarzewie w kontekście bezpieczeństwa energetycznego*. Raport WWF, Warszawa 2020.

[9] Popczyk J.: *Trzy fale elektroprosumeryzmu*. Energetyka 2020 nr. 7

[10] Bąk T.: *Mineralizacja niskotemperaturowa – GOZ –elektroprosumeryzm: technologie i ekonomia*. http://ppte2050.pl/

[11] Popczyk J., Bodzek K., Dębowski K., Fice M., Wójcicki R: *Cenotwórstwo 1*. https://www.cire.pl, http://ppte2050.pl/

[12] *Renewable Power Generation Costs in 2019*: International Renewable Energy Agency IRENA. www.irena.org

[13] *EU energy trends and macroeconomic performance*. Cambridge Econometrics, 2017

[14] *The state of renewables energies in Europe 2019*, https://www.eurobserv-er.org/

[15] Strona Urzędu Regulacji Energetyki: https://www.ure.gov.pl

[16] Strona internetowa firmy Siemens Gamesa.: https://www.siemensgamesa.com

wersja alpha artykułu.
Końcowa wersja zostanie opublikowana w czasopiśmie Energetyka 7/2020