

Informatyzacja zwirtualizowanego KSE

J. Popczyk, R. Wójcicki, K. Bodzek, M. Fice,

Nie tylko energetyka jądrowa jest energetyką paramilitarną. Taką jest cała pozostała energetyka WEK: górnictwo, elektroenergetyka, gazownictwo, sektor naftowy. Ten model „biznesowy” jest główną przyczyną ograniczającą dyfuzję postępu technologicznego do energetyki WEK, którego głównym nośnikiem są technologie informatyczne i okołoinformatyczne. Zmiana sytuacji jest możliwa tylko w trybie innowacji przełomowej, oznaczającej całkowitą zmianę funkcjonowania rynku energii elektrycznej, który wśród wszystkich rynków infrastrukturalnych (bardzo odpornych na zmiany) jest najtrudniej zmienić ze względu na trzy przyczyny.

Pierwszą jest status, który posiada usługa dostarczania energii elektrycznej. Mianowicie, przez ponad 100 lat ukształtowała się ona jako usługa użyteczności publicznej, którą realizują przedsiębiorstwa użyteczności publicznej (w USA były to *utilities*). Czyli usługa uznana za: powszechną, niezbędną i, z natury, realizowaną w środowisku monopolu technicznego (sieciowego). Wprawdzie przez ostatnie 30 lat, od brytyjskiej reformy prywatyzacyjno-liberalizacyjnej, status elektroenergetyki jako sektora użyteczności publicznej uległ poważnemu osłabieniu, ale nie na tyle, aby przestał on hamować przebudowę rynków końcowych energii elektrycznej. Mianowicie, decentralizacja tych rynków jest ciągle jeszcze skutecznie blokowana przez powszechną socjalizację taryf energii elektrycznej dla ludności oraz przez systemy różnorodnego subsydiowania dla innych grup obiorców, zwłaszcza w obszarze przemysłów elektrochłonnych (także przez mechanizmy cen transferowych wewnątrz grup energetycznych obejmujących wytwarzanie, przesył i obrót energią elektryczną).

Drugą przyczyną jest współczesna infrastruktura techniczna rynku energii elektrycznej, mająca zawsze postać rozległych (aż do kontynentalnych) i bardzo skomplikowanych w aspekcie technicznym systemów elektroenergetycznych. Postać ukształtowaną w długim historycznym procesie, w Polsce trwającym ponad 60 lat. W środowisku „ponadczasowego” sojuszu korporacyjno-politycznego (czyli wspólnych interesów) w tym okresie, z krótką przerwą przypadającą na reformę ustrojową elektroenergetyki w latach 1990-1995. Postać, która nie poddawała się dotychczas, w swojej istocie, przełomowi technologicznemu i fundamentalnym zmianom w środowisku społeczno-ekonomicznym, którym poddany jest współczesny świat.

Przyczyna trzecia, to ekonomika. Rynkiem energii elektrycznej charakterystycznym dla elektroenergetyki WEK rządzi zasada: od makroekonomii do mikro-ekonomii. To oznacza, że fundamentalne znaczenie dla tego rynku mają decyzje makroekonomiczne (podejmowane przez państwo oraz przez wielkie przedsiębiorstwa korporacyjne; w tym kontekście ważne jest, że cztery największe polskie grupy elektroenergetyczne lokują się wśród dwudziestu

największych przedsiębiorstw na GPW). Na rynku wschodzącym (1) energii elektrycznej (piąty Raport BŻEP [1], trzeci Raport BPEP [2]) fundamentalne znaczenie mają natomiast decyzje mikroekonomiczne, w tym prosumentów z segmentu ludnościowego (energetyka EP) oraz niezależnych inwestorów z segmentu MSP (energetyka NI). Jest zatem zrozumiałe, że ceny energii elektrycznej na rynku schodzącym (rynek WEK) są wynikiem ekonomii korporacyjnej. Decyzje prosumenckie, także decyzje niezależnych inwestorów w energetyce NI, są natomiast wynikiem zupełnie innych zasad, innej ekonomii. W szczególności prosumenci podejmują decyzje charakterystyczne dla ekonomii behawioralnej. Zatem w behawioralizacji rynku energii elektrycznej trzeba upatrywać istoty przełomu w elektroenergetyce. Ta hipoteza prowadzi wprost do hipotezy o tym, że informatyzacja ma potencjał siły sprawczej wywołania przełomu w całej energetyce, poprzez przełom na rynku energii elektrycznej. Dlatego, bo podatność rozproszonej-prosumenckiej-behawioralnej energetyki na efektywną informatyzację jest nieporównanie większa niż w wypadku energetyki WEK. I zagrożeń związanych z informatyzacją w pierwszym wypadku jest mniej niż w drugim. Bo po pierwsze, zagrożenia cyberatakami jest mniejsze (to dlatego elektrownie jądrowe muszą mieć redundantne analogowe systemy zabezpieczeń i sterowania). Po drugie, informatyzacja energetyki WEK „odczłowiecza” ją (pozbawia klientów prawa do interaktywnej informacji, mianowicie odcina od informacji istotnych rynkowo, skazuje na nachalną jednokierunkową informację marketingową; uniemożliwia współuczestnictwo). Informatyzacja energetyki prosumenckiej zwiększa natomiast za pomocą informatyzacji szanse człowieka w jego wznoszeniu się na poziom człowieka produktywnego (który ma cztery potrzeby: zakorzenienia, twórczości, tożsamości, relacji).

INFORMATYZACJA RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ A ENERGETYKA

Dostępne opisy globalnej transformacji energetyki, mimo rozległości i wielkiej dynamiki zmian (tworzących nowe uwarunkowania do życia dla ponad siedmiu miliardów mieszkańców obecnie, i ponad 9 miliardów w horyzoncie 2050), cierpią ciągle jeszcze (i powszechnie) na bardzo splotoną, fragmentaryczną analizę jej (transformacji) istoty. Dotyczy to zarówno istoty po stronie przyczyn jak również tego, co będzie skutkiem transformacji. W tym kontekście przez Raport przewija się robocza hipoteza, że wirtualizacja KSE, możliwa dzięki informatyzacji, prowadzi do całkowicie nowego rynku energii elektrycznej, który przyspieszy dyfuzję źródeł wytwórczych energii elektrycznej OZE do energetyki prosumenckiej, a ta łącznie z nową energetyką NI (segment niezależnych inwestorów) „wchłonie” w horyzoncie 2050 cały obszar rynkowy odpowiadający współczesnej energetyce WEK.

Transformacja energetyki: gra o demokratyczny mono rynek energii elektrycznej OZE

Siła i rozległość transformacji energetyki są związane z kumulacją przyczyn, które transformację zapoczątkowały i obecnie ją napędzają. Z tego punktu widzenia demokratyczny rynek energii powstaje w dialektycznym procesie jako przeciwieństwo energetyki paramilitarnej. Ze względu na siłę tej ostatniej musiało jednak wcześniej dojść do wielkiej

kumulacji patologii energetyki WEK z jednej strony i do konsolidacji fundamentalnych czynników rozwojowych tworzących środowisko pro-transformacyjne. W rezultacie trajektoria od energetyki paramilitarnej do demokratycznej nie jest wynikiem abdykacji tej pierwszej, jest natomiast zdeterminowana siłą efektu rozwojowego PST (**Przyroda chroniona przez dojrzałe Społeczeństwo, dysponujące społeczną wydajnością pracy napędzaną przez rozwój Technologiczny**).

Efekt rozwojowy PST prowadzi (w krajach bloku OECD) do mono rynków energii elektrycznej OZE (w OECD powstających w trybie reelektryfikacji) – zaspakajającego, z częściowym udziałem energetyki NI, prosumenckie potrzeby energetyczne – poprzez prosumencką: reelektryfikację OZE, pasywizację budownictwa, elektryfikację ciepłownictwa i elektryfikację transportu (def. efektu – J. Popczyk). To oznacza, że efekt PST jest pierwotną przyczyną dokonującej się transformacji energetyki, i powoduje jej realizację w trybie innowacji przełomowej. Skutkiem jest całkowicie nowa rzeczywistość, w stosunku do energetyki WEK, drugi Raport BŻEP [1].

W rzeczywistości tej bierny odbiorca na dotychczasowym rynku energii elektrycznej staje się prosumentem wnoszącym do nowej rzeczywistości wkład w postaci partycypacji prosumenckiej. Nie jest to jednak wkład prosumencki ukierunkowany na model energetyki WEK, czyli kształtowany pod dyktando energetyki WEK. Przeciwnie, jest to wkład ukierunkowany na zaspokojenie własnych potrzeb za pomocą energii elektrycznej (charakteryzującej się najwyższą, obok energii kinetycznej, egzergią) ze źródeł OZE, o właściwościach (kształtowanych masowo przez przekształtniki energoelektroniczne) coraz bardziej różniących się od dotychczasowych.

Rola informatyki (i technologii okołoinformatycznych), jako siły sprawczej przełomu na rynku energii elektrycznej, polega na dostarczeniu narzędzi do *self dispatchingu* w osłonach kontrolnych OK (osłonach prosumenckich i osłonach platform wirtualnych), piąty Raport BŻEP [1]. I narzędzi do szybkiego „asynchronicznego” handlu (maszynowego) między osłonami (technologie *blockchain*, dwunasty Raport BŻEP [1]. Handlu, którego przedmiotem są niezestandaryzowane mikrowolumeny energii elektrycznej będące rozłącznymi „pakietami” nadprodukcji (potencjału nadprodukcji) lub deficytu w poszczególnych osłonach kontrolnych na rynku energii elektrycznej (1).

Rola państwa (obecnie kreatora i zarazem egzekutora polityki energetycznej) redukuje się w nowej rzeczywistości do realizacji zasady subsydiarności (pomocniczości). W szczególności w stosunku do odbiorców „wrażliwych”, czyli najsłabszych. Jednak nie poprzez subsydiowanie skrócone na rynku energii elektrycznej (zwłaszcza socjalizację taryf końcowych), a poprzez mechanizmy polityki społecznej, powiązane z budżetem.

Rola elektroenergetyki WEK polega na wystawianiu swojej oferty na rynku schodzącym dla rynków wschodzących energii elektrycznej, trzeci Raport BPEP [2]. Oferty sprzedażowej energii elektrycznej, oraz oferty dostępu do sieci według zasady TPA+. W kolejnych latach – zwłaszcza w kolejnej dekadzie (po wejściu w życie głównych rozwiązań unijnego Pakietu Zimowego) – przede wszystkim dla rynków (1), funkcjonujących na infrastrukturze sieciowej nN-SN. W dalszej perspektywie – horyzonty 2040 i 2050 – będą to oferty głównie dla rynku

wschodzącego (2). Na rynkach wschodzących (1) nie będzie praktycznie już miejsca dla energii elektrycznej z rynku schodzącego, będzie jeszcze miejsce na oferty dostępu do sieci nN-SN (otwartą sprawą są oczywiście ich przysze modele operatorskie, biznesowe i własnościowe).

Rynek wschodzący energii elektrycznej (1): innowacja przełomowa

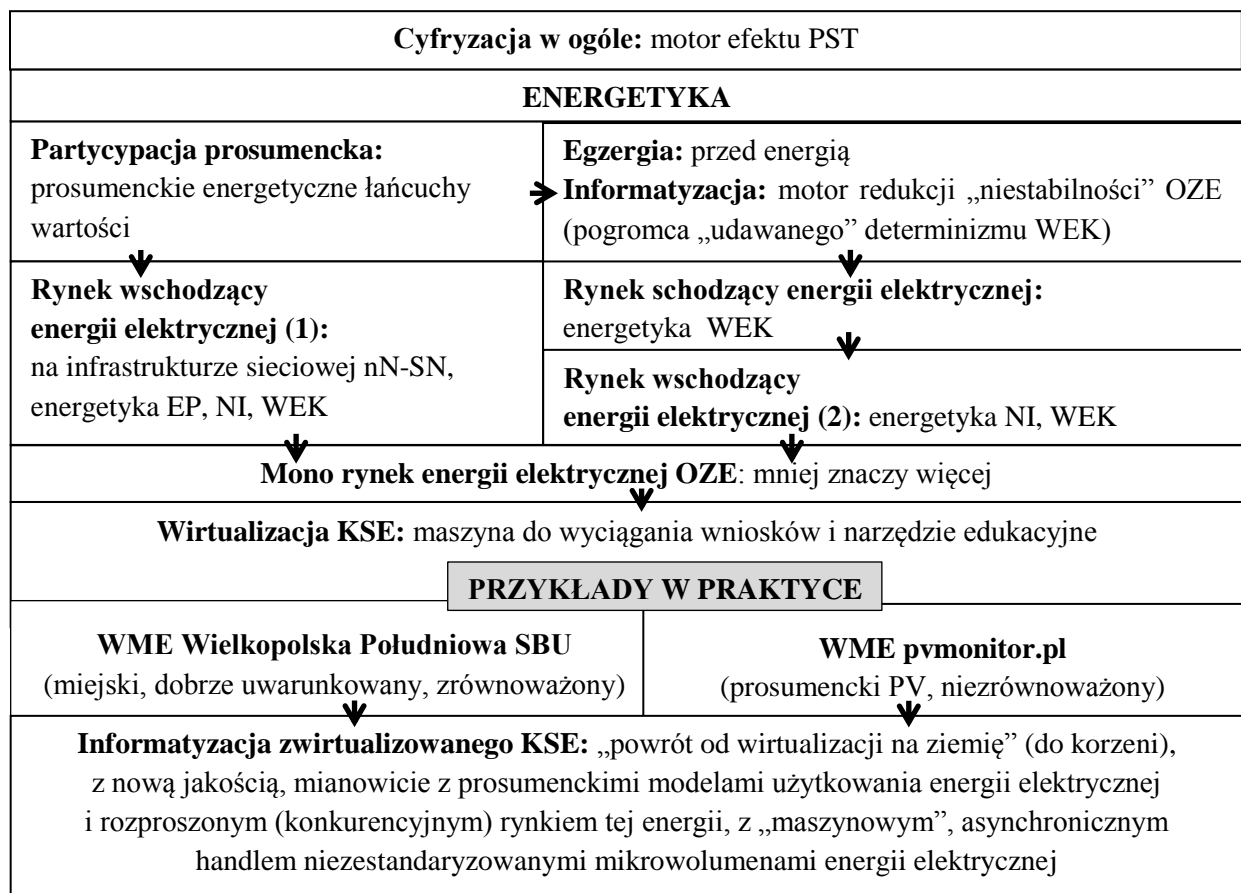
Innowacją przełomową jest (ogólnie) innowacją, która prowadzi do fundamentalnej zmiany funkcjonowania wielkiego (powszechnego) rynku. Najtrudniej, bez wątplenia, jest zmienić rynek energii elektrycznej. Mnogość oferowanych rozwiązań technologicznych w obszarze teleinformatyki, które zmieniły dwa inne wielkie rynki (bankowości i usług telekomunikacyjnych) dotychczas nie zmieniły rynków końcowych energii elektrycznej, w szczególności nie wytworzyły zmiany postaw konsumenckich (klienckich), co pociągnęłoby za sobą jeszcze dynamiczniejszą dyfuzję innowacyjności do przemysłu AGD i do innych przemysłów produkujących odbiorniki i urządzenia (aparaty) elektryczne, ogólnie dobra konsumpcyjne i produkcyjne (w postaci odbiorników/odbiorów/aparatów/urządzeń elektrycznych). Zaniechanie działań, które pobudziłyby dyfuzję innowacyjności do przemysłów produkujących dobra konsumpcyjne i produkcyjne na konkurencyjny rynek energii elektrycznej należy zresztą uznać w Polsce za największą dotychczasową stratę, w kategoriach makroekonomicznych, wynikającą z blokowania transformacji energetycznej.

Informatyzacja rynku energii elektrycznej (rozpatrywana w trybie innowacji przełomowej) wymaga, jako zagadnienie wielowątkowe, działań w całym, rozległym środowisku efektu PST, ze szczególnym uwzględnieniem systemu prawno-regulacyjnego. Podkreśla się jednak w tym miejscu, że na obecnym etapie w Polsce znacznie ważniejsze niż system prawno-regulacyjny jest budowanie wiedzy i kształtowanie opinii publicznej odnośnie tego, czym jest i jakie ma znaczenie informatyzacja rynku energii elektrycznej realizowana w trybie innowacji przełomowej, w szerokim otoczeniu, rys. 1.

Szczególnie ważne z tego punktu widzenia jest wyselekcjonowanie (i następnie inwestowanie) w te trendy i technologie, które mają szansę zostać spopularyzowane i wykorzystane na rynku wschodzącym energii elektrycznej (1), czyli funkcjonującym na infrastrukturze sieciowej nN-SN. Chodzi zatem o trendy i technologie, które wytworzą na tym rynku orientację prosumencką oraz orientację segmentu przedsiębiorców MSP na inwestycje w energetyce NI. Z drugiej strony jest zrozumiałe, że CEO (szczebel zarządzający) w energetyce WEK obawia się dynamiki zmian technologicznych, bo nie posiada dostatecznych kompetencji. Ponadto, i to jest główna sprawa, nie jest zainteresowany radykalną przebudową rynku energii elektrycznej, bo jest to wbrew interesom energetyki WEK. Z dużym prawdopodobieństwem występuje też w wypadku CEO syndrom grupowego myślenia (syndrom GM), blokujący otwarcie się na nową sytuację. Z dużym prawdopodobieństwem występuje także syndrom sztokholmski po stronie odbiorców energii elektrycznej.

Efekt PST, deficyt kompetencji, obrona własnych interesów i syndrom GM w wypadku CEO, a także syndrom sztokholmski po stronie odbiorców energii elektrycznej to czynniki, które trzeba przezwyciężyć aby wywołać za pomocą informatyzacji przełom na rynku energii

elektrycznej. Świadczy o tym dobitnie przebieg dotychczasowej informatyzacji realizowanej na zamówienie elektroenergetyki WEK, z całkowitym zaniechaniem kreacji roli sprawczej (podmiotowej) informatyki na rzecz przełomu na rynku energii elektrycznej.



Rys. 1. Mapa informatyzacji zwirtualizowanego KSE, z uwzględnieniem szerokiego otoczenia

Informatyzacja elektroenergetyki – realizowana dotychczas jedynie w trybie innowacji przyrostowej. Rozpatrując energetykę w całości należy pamiętać, że elektroenergetyka, mimo obaw związanych z fundamentalną przebudową rynku końcowego energii elektrycznej naruszającą jej interesy, jest od czasu reformy ustrojowej 1990-1995 w awangardzie wykorzystania informatyzacji do optymalizacji swojej działalności wewnętrznej (tylko w trybie innowacji przyrostowej).

W szczególności elektroenergetyka WEK jako pierwsza stworzyła (już w ramach reformy ustrojowej) światłowodową sieć szkieletową (na infrastrukturze sieciowej NN, a częściowo także 110 kV), początkowo tylko do procesów technologicznych, następnie włączoną w obszar wielkiego rynku telekomunikacyjnego. Elektroenergetyka WEK bez opóźnień wykorzystwała technologie elektroniczne (mikroprocesorowe) w specyficznym, bardzo wymagającym, obszarze zabezpieczeń i automatyki elektroenergetycznej KSE.

Bardzo dynamicznie wykorzystywała technologie mikroprocesorowe i komputerowe ogólnie w bardzo rozległym obszarze eksploatacji, zarówno w sieciach elektroenergetycznych, jak i w elektrowniach. W sieciowych systemach operatorskich oprócz specyficznych systemów zabezpieczeń i automatyki elektroenergetycznej nastąpił rozwój systemów SCADA (najbardziej zaawansowanych wśród wszystkich sektorów infrastrukturalnych). Nastąpił też rozwój systemów dla potrzeb rynkowych, stanowiących nową kategorię technologiczną (łączyącą elektronikę, telekomunikację i informatykę), praktycznie całkowicie rozdzielnych w stosunku do systemów technologicznych (obsługujących procesy technologiczne KSE). Mianowicie, systemów pomiarowych (w ramach reformy ustrojowej elektroenergetyki zrealizowano wielki program opomiarowania przepływów energii elektrycznej między siecią przesyłową 750-400-220 kV oraz sieciami 110 kV), systemów wspomagających procesy rynkowe, takich jak system WIRE (wymiany informacji rynku energii) oraz SOWE (system operatywnej współpracy z elektrowniami), systemów billingowych energii elektrycznej i wiele innych. Z kolei w zarządzaniu majątkiem sieciowym informatyzacja objęła procesy eksploatacji/utrzymania linii elektroenergetycznych i stacji transformatorowo-rozdzielczych). W procesach eksploatacji w elektrowniach najszybciej zastosowanie znajdowały technologie mikroprocesorowe i informatyczne: do systemów zarządzania pracą bloków wytwórczych (kontrola obciążeń termicznych i elektrodynamicznych w procesach rozruchowych i regulacyjnych, kontrola emisji, optymalizacja sprawności i zarządzanie wieloma innymi procesami), także do celów diagnostycznych. W zastosowaniach do celów rynkowych były to liczne systemy wspomagające procesy rynkowe, w tym system SOWE.

Skomputeryzowane zostało planowanie strategiczne w elektroenergetyce WEK (takie obszary jak: tworzenie polityki energetycznej, tworzenie zintegrowanego planu rozwoju KSE, tworzenie strategii średnio- i długo-okresowych przedsięwzięć, realizacja innych zadań strategicznych).

Bardzo dynamicznie elektroenergetyka WEK skomputeryzowała w ostatnich 25 latach swoje zarządzanie biznesowe (księgowość, billing, systemy *contact center*, serwisy dedykowane klientom).

W ostatnich 20 latach dynamicznie wykorzystywała Internet. W szczególności zbudowała całą infrastrukturę rynku technicznego (rynek bilansujący) oraz rynku hurtowego (giełdowego) energii elektrycznej.

Powstały liczne informacyjne portale internetowe dedykowane energetyce w ogóle, elektroenergetyce w szczególności. W tym obszarze elektroenergetyka z takimi portalami jak CIRE, Wysokie Napięcie i wieloma innymi została jednym z liderów.

Nie nastąpił natomiast postęp (nie został odnotowany przełom) w zakresie rynku końcowego energii elektrycznej. W szczególności nie nastąpił rozwój, choćby tylko zbliżony, do bankowości elektronicznej, do internetowych usług telekomunikacyjnych. Nie nastąpił też postęp (przełom) po upowszechnieniu smartfonów, które zapoczątkowały np. bankowość mobilną (oderwanie bankowości elektronicznej od biurka, komputera, klawiatury i myszki), i ogólnie „uberyzację” dużego segmentu usług dnia codziennego.

Zasadniczą cechą informatyzacji rynku energii elektrycznej realizowanej w trybie innowacji przyrostowej (zachowawczej) jest (była) „informatyzacja” istniejącej rzeczywistości, pod którą tu podkłada się: istniejące systemy techniczne (infrastruktura elektroenergetyczna, KSE) oraz istniejące modele funkcjonowania elektroenergetyki (biznesowe, ekonomiczne, rynkowe). Uosabiają ten rodzaj informatyzacji globalne hasła marketingowe typu: *smart metering*, *smart grid*, *smart city*, ostatnio *self dispatching*, i inne, podobne.

Uosabia ten rodzaj informatyzacji elektroenergetyki także metajęzyk zastosowań informatyki na meta poziomie w całej energetyce. W metajęzyku i na meta poziomie informatyzacja w energetyce, to wielki obszar obejmujący wykorzystanie takich technologii informatycznych jak (ang.): *Internet of Things / Internet of Everything*, *Fog Computing / Fog Networking*, *Cloud Computing*, *Data Warehouse*, *Big Data*, *Artificial Intelligence*.

Hasła marketingowe, metajęzyk, meta poziomy są puste zawsze, gdy są używane bez wskazania tych zagadnień w obszarze koncepcji transformacji energetycznej, do rozwiązania których mają być wykorzystane. Także bez propozycji narzędzi informatycznych, które mogłyby następnie być przetworzone w produkty rynkowe. Są puste, jeśli nie idą za nimi radykalne zmiany w koncepcji rynku energii elektrycznej.

Pod tym względem sytuacja w Polsce jest bardzo złożona. Mimo działań podejmowanych przez PSE (w ślad za unijnymi inicjatywami) na rzecz budowy nowych kompetencji rynkowych, na poziomie politycznym nie ma na razie koncepcji nowego rynku energii elektrycznej. Więcej, nie dopuszcza się na razie restrukturyzacji energetyki WEK. Wręcz przeciwnie, konsoliduje się jej model – w kontekście cech fundamentalnych – do postaci modelu obowiązującego w gospodarce socjalistycznej, z „rynkiem” inwestycyjnym centralnie zarządzanym mechanizmami rynku mocy, z opłatą systemowo-sieciową realizującą mechanizmy subsydiowania skrośnego, z socjalnymi taryfami końcowymi.

W takim środowisku, zwłaszcza przy pełnej rozdzielności informatyzacji względem systemów technicznych i rynkowych ani hasła marketingowe, ani metajęzyk, ani meta poziomy nie powodują (same w sobie), że informatyzacja starej elektroenergetyki może się stać siłą sprawczą przełomu na rynku energii elektrycznej. Przeciwnie, taka informatyzacja opóźnia przełom, tym samym kumuluje patologie, i w konsekwencji prowadzi do radykalizacji nowych koncepcji na rynku energii elektrycznej. Zarówno w środowisku naukowo-badawczym jak i w szybko rosnącym w siłę środowisku klastrów energii.

Praktycznym przykładem uwiarygodniającym sformułowaną hipotezę roboczą, że hasła marketingowe, metajęzyk i meta poziomy nie przyniosą dobrych rezultatów, dopóki nie przejdzie się na poziom architektury nowego rynku energii elektrycznej i właściwych dla niego produktów rynkowych jest hasło *smart metering*. Sposób (i skutki) wdrażania tego hasła w Polsce obrazują dobitnie patologię polegającą na wykorzystaniu hasła do zbudowania sieci interesów biznesowych związanych z instalacją 17 mln „inteligentnych” liczników. Liczników, które po pierwsze nie mają nic wspólnego z inteligencją. Po drugie, nie są wykorzystywane nawet w zakresie posiadanego potencjału funkcjonalności programowych (np. do zastąpienia rozliczeń za prognozowane zapotrzebowanie energii elektrycznej rozliczeniami *ex post*, za energię zużytą). Po trzecie, kosztują parę mld PLN.

Systemy teleinformatyczne zmieniające rynki usług dnia codziennego – „uberyzacja” usług.

Poszukując sposobu na wykorzystanie technologii informatycznych (łącznie z technologiami okołoinformatycznymi) jako siły sprawczej przełomu na rynku energii elektrycznej trzeba bez wątpienia badać anatomię sukcesu tych technologii w kreowaniu (w trybie innowacji przełomowej) coraz liczniejszych rynków usług dnia codziennego. Z tego punktu widzenia pożyteczna jest koncentracja na pytaniu czym jest innowacja przełomowa w ogóle, nie tylko wtedy gdy przełom ma przyczynę w informatyce. Również wtedy, gdy za przyczyną innej technologii (innowacji przełomowej) następowała w przeszłości destabilizacja powszechnych usług zakorzenionych na rynkach funkcjonujących przez dziesiątki lat.

Przełom powodowały: maszyna parowa, elektryczność, samochód, fotografia cyfrowa, lodówka i wiele innych wynalazków. Wynalazki te zaburzały lub wręcz uniemożliwiały funkcjonowanie firm (nawet tych, które były gigantami) na wcześniejszych zasadach; stare firmy w środowisku wytworzonym przez przełomowe wynalazki stawały się nieefektywne, ekonomicznie nieakceptowalne i przestawały zaspokajać potrzeby użytkowników.

Przykładem może być potentat w branży produkcji, dystrybucji i przechowywania lodu służącego do przedłużania trwałości żywności. Pojawienie się lodówki całkowicie zmieniło biznes. Analogicznie, fotografia cyfrowa drastycznie zmieniła rynek fotograficznych materiałów światłoczułych, co silnie odczuł potentat na tym rynku Eastman Kodak, który musiał to zaakceptować, i wejść na nowy rynek fotografii cyfrowej. Innym charakterystycznym przykładem jest Encyklopedia *Britannica*, która po 244 latach, w 2012 r., zaprzestała wydawania papierowych wersji encyklopedii, i ograniczyła się, stosownie do rozwoju technologii informatycznych i siły Internetu, do wersji elektronicznych.

Generalnie, technologie ICT umożliwiły łatwe tworzenie interaktywnych aplikacji oraz usług dla obu stron, kojarzących podaż z popytem. Z drugiej strony zakłócających jednak mocno istniejące rynki i często eliminujących racjonalność istnienia usługodawców funkcjonujących na wcześniejszych zasadach. Zwłaszcza, że pojawianie się nowych usług zmienia również podejście do korzystania z usług tradycyjnych, a nawet zmienia styl życia (system wartości). Na przykład: zmienia formułę korzystania z usług do formuły P2P (*peer-to-peer*), tzn. bez pośredników. Może też wywoływać głębsze zmiany, polegające na zmianie preferencji, przejściu od filozofii posiadania do współdzielenia, i inne.

Podstawą nowych rynków usług jest szybka i bezpośrednia wymiana informacji pomiędzy zainteresowanymi stronami, możliwa dzięki zaawansowanym systemom teleinformatycznym i bezpośredniemu dostępowi do Internetu. Łatwość tworzenia platform internetowych warunkujących rozwój nowych usług wzmacnia konkurencję, sprzyjając tym samym obniżaniu cen, wzrostowi jakości usług, zwiększaniu efektywności alokacji zasobów. Nowi gracze rynkowi oferują usługi tańsze, lepszej jakości, zbliżone do klienta, przełamujące wcześniejsze monopole i godzące w zastane grupy interesów. Zjawisko to można zaobserwować w wielu obszarach życia codziennego

W kontekście potrzeb związanych z kształtowaniem całkowicie nowych mechanizmów rynku końcowego energii elektrycznej pouczającym przykładem przełomu rynkowego pod

wpływem technologii informatycznych w Polsce jest rynek usług turystycznych. Z punktu widzenia potrzeb rozproszonych transakcji (asynchronicznych) niezestandaryzowanymi wolumenami energii elektrycznej pożyteczna może się okazać w szczególności analiza rozwiązań w segmencie ofertowym *last minute* na rynku usług biur podróży. Z analizy takiej mogą wynikać ważne wnioski w wielu obszarach. W szczególności w obszarze (dynamicznego) cenotwórstwa. Także w obszarze radzenia sobie z ograniczeniami infrastrukturalnymi (w szczególności takimi jak dostępność miejsc w samolotach w ruchu rozkładowym, dostępność tras przelotowych w ruchu czarterowym, i wielu innych).

Bardzo ważnym przykładem przełomu rynkowego, który dokonuje się pod wpływem technologii informatycznych jest rynek pasażerskich usług przewozowych samochodowych, gdzie tradycyjne usługi przewozów pasażerskich wypierane są dynamicznie przez nowe usługi, których istotą jest rozproszone kojarzenie właścicieli pojazdów z podróżnymi. Można do nich zaliczyć konkurencję dla dotychczasowych usług taxi ze strony takich platform internetowych jak: Uber, BlaBla Car, jedziemyrazem.pl, 4Mobility, Taxify i wiele innych. Ich przewaga tkwi zarówno w większej elastyczności, ergonomii użytkowania, interaktywnym funkcjonowaniu, możliwości recenzowania stron zawierających usługi, lecz również w efektywniejszej alokacji zasobów inwestycyjnych i czasu. Na przykład jadąc w zaplanowaną podróż czy dojeżdżając do pracy można zabrać współpasażerów, w wolnej chwili można dodatkowo dorobić wożąc pasażerów – dzięki czemu efektywniej zostanie wykorzystany pojazd właściciela i czas pracy człowieka – w tym wypadku kierowcy.

Z kolei kojarzenie podróżnych z oferentami usług noclegowych umożliwiają między innymi takie platformy internetowe, jak airbnb.com, homestay.com, booking.com, agoda.com itd. Platformy te pozwalają na wygodny i szybki dostęp do usług noclegowych, stanowiących substytut dla usług hotelowych, zarówno w segmencie ruchu turystycznego jak i podróży służbowych. Naturalnie, powstanie nowego rynku usług noclegowych zwiększa efektywność alokacji zasobów poprzez współdzielenie nieruchomości.

Dalej, tradycyjną usługę telewizji naziemnej, satelitarnej, kablowej wypierają różnego rodzaju platformy internetowe świadczące usługi VOD (ang. *video on demand*). Na przykład takie jak: Netflix, Showmax i inne. Udostępnianie treści muzycznych również przenosi się do sieci Internet wypierając płyty CD, które przecież dopiero niedawno wyparły taśmy magnetofonowe i płyty winylowe.

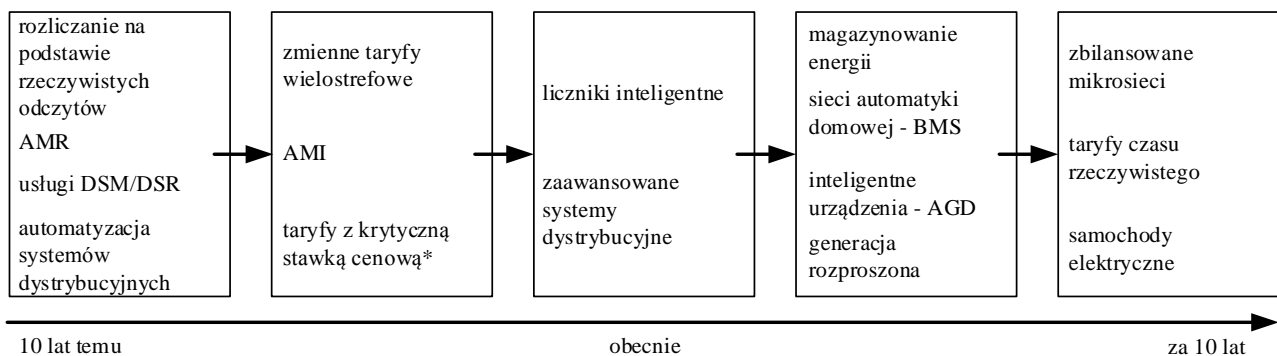
Coraz większą popularnością cieszy się handel na portalach internetowych, powstają różnego rodzaju grupy zakupowe. Coraz częściej wiedza potrzebna do funkcjonowania na rynku pracy, a także do prowadzenia własnej działalności gospodarczej jest zdobywana na tańszych, i wygodniejszych pod względem logistycznym, szkoleniach online.

Przykłady można mnożyć w każdej dziedzinie życia. Ekonomia współpracy i współdzielenia staje się nową twarzą gospodarki napędzaną przez powszechny dostęp do technologii informacyjnych, bez których nowe usługi nie mogłyby istnieć.

Analizując rozwijające się lawinowo, za przyczyną Internetu, nowe rynki usług dnia codziennego trzeba uwzględnić, że infrastruktura w postaci platform internetowych ma wielkie znaczenie

w procesie tworzenia tych rynków. Jednak sprawą zasadniczą jest potencjał dyfuzji usług (i produktów) do ich nabywców. Jest jasne, że wszystkie internetowe (masowe) rynki rządzą się mikroekonomią behawioralną, i ogólnie są to rynki behawioralne. Stąd wynika, że jeśli informatyzacja zapewni behawioryzację rynku wschodzącego energii elektrycznej (1), to zapewni przełom w elektroenergetyce (i ogólnie w energetyce).

Kiedy informatyzacja spowoduje przełom na rynku energii elektrycznej? To, jak szybkie zmiany technologii informatycznych i okołoinformatycznych, w tym powszechny dostęp do Internetu spowodują przełom w funkcjonowaniu rynku energii elektrycznej będzie zależało w najbliższych latach od zdolności przekształcenia hasła marketingowych, metajęzyka i meta poziomów w tym obszarze (technologii informatycznych i okołoinformatycznych) w narzędzia rynkowe. W takim kontekście pożyteczna jest analiza ewolucji koncepcji *smart grid* według firmy Oracle, rys. 2. Koncepcja, w zaprezentowanej postaci, potraktowana (odbierana) płytko jest tylko hasłem marketingowym, nie spełnia warunków jakie narzuca kategoria przełomu na rynku energii elektrycznej.



* Taryfy umożliwiające zastępowanie w pewnych okresach stawek umownych cenami giełdowymi (na rynku dnia bieżącego), połączone z obowiązkiem informowanie o tym fakcie odbiorców energii elektrycznej.

Rys. 2. Ewolucja systemu Smart Grid [3]

Jednak potraktowana głęboko, może ona prowadzić do spełnienia wymagań przełomu. W szczególności wówczas, jeśli przyjmie się, że termin „zbilansowane mikrosieci” występujący na rys. 2 oznacza to samo, co „powrót od wirtualizacji na ziemię” – określenie użyte na rys. 1. Czyli mikrosieci ukształtowane docelowo przez mechanizmy (narzędzia) rynkowe, które w procesie transformacyjnym „wepchnęły” (tylko w stopniu racjonalnym) fizyczne źródła wytwórcze (rozproszone) w prosumenckie (fizyczne) osłony kontrolne.

Skuteczne tworzenie takich narzędzi rynkowych wymaga uzgodnienia architektury nowego rynku energii elektrycznej. Architektura zaproponowana w szczególności w piątym Raporcie BŻEP [1] oraz cenotwórczość energii elektrycznej w trzecim Raporcie BPEP [2] mają u podstaw interakcje między trzema głównymi ścieżkami trajektorii transformacyjnej. Po pierwsze, ścieżką prosumencką (prosumenckich usług energetycznych realizowanych w ramach

partycypacji prosumenckiej). Po drugie, ścieżką innowacji rozproszonych w przemyśлах AGD i ogólnie w przemyśлах aparatów i urządzeń elektrycznych (korzystających z innowacji przemysłu ICT). Po trzecie, ścieżką przekształcania (przez rząd, za pomocą działań prawno-regulacyjnych) opłat sieciowych na wschodzącym rynku energii elektrycznej (1).

To te interakcje zadecydują w kolejnych latach o tym w jaki sposób szybkie zmiany technologii informatycznych i okołoinformatycznych, w tym powszechny dostęp do Internetu spowodują przełom w funkcjonowaniu rynku energii elektrycznej. W tym kontekście podkreśla się, że po stronie prosumentów (wszystkich, od Kowalskiego do KGHM) decydujący będzie naturalnie cały wielki potencjał dyfuzji innowacji informatycznych i okołoinformatycznych (ICT); czyli w tym wypadku decydujący wpływ na głębokość i szybkość zmian będzie miał proces budowania prosumenckich kompetencji.

Z kolei po stronie rządu występuje (hipotetycznie) wielki potencjał stworzenia mechanizmów prawno-regulacyjnych. Szczególne znaczenie ma w tym kontekście modernizacja zasady TPA (dostępu stron trzecich do sieci) do postaci TPA+. W zasadzie tej (tu postulat) chodzi przede wszystkim o dostęp prosumentów i niezależnych wytwórców NI do sieci energetyki WEK poprzez certyfikowane inteligentne terminale dostępowe (STD), *hardwarowo-sofwarowe*. I tym terminalom, sprzężonym (powiązanym) z osłonami kontrolnymi OK, do których alokowane zostaną opłaty sieciowe (po ich całkowicie nowym skalibrowaniu) powinien być poświęcony w kolejnych latach główny nurt badawczo rozwojowy w całym rozległym obszarze badań rynkowych. Badań dotyczących rynku energii elektrycznej jako siły sprawczej transformacji współczesnej energetyki WEK (w całości) w mono rynek energii elektrycznej OZE i zelektryfikowanych (w całości) prosumenckich usług energetycznych.

W perspektywie badawczej, która jest charakterystyczna dla Raportu, wirtualizację KSE traktuje się jako „poligon” do wykazania potencjału informatyki jako siły sprawczej przełomowych zmian na rynku energii elektrycznej. Mianowicie przedstawia się wyniki wybranych badań, na razie bardzo ograniczonych pod względem zakresu, ale bardzo istotnych pod względem poznawczym, dla dwóch minisystemów WME nazwanych, odpowiednio: WME Wielkopolska Południowa SBU oraz WME pvmonitor.pl. Pierwszy z nich stanowi przedmiot szóstego Raport BPEP [2]. Drugi jest funkcjonującym portalem (w jego tworzeniu współuczestniczył R. Wójcicki, współautor Raportu) [4].

Celem Raportu, odwołującego się do dwóch charakterystycznych minisystemów WME jest zapoczątkowanie odwrotu od „standardów” opisowych zastosowań informatyki w transformacji elektroenergetyki takich jak przedstawione przykładowo w „ramkach” (opisy 1 do 5 są związane z rys. 2). I stopniowe przechodzenie do opisów zawierających propozycje rozwiązań rynkowych uwzględniających wyniki badań. Stawia się hipotezę, że te pierwsze są już przestarzałe (jest ich nadmiar w Internecie, i powinny one odchodzić do przeszłości). Prawdopodobieństwo, że te drugie przyczynią się do przełomu jest znacznie większe. Wstępne wyniki badań, które zostały dotychczas zgromadzone w bibliotekach BŻEP i BPEP, zwłaszcza

w cyklach raportów [1,2] potwierdzają taką hipotezę, ale jedynie na poziomie koncepcyjnym. Jest zrozumiałe, że najlepiej sprawie przełomu na rynku energii elektrycznej za pomocą platformy wirtualnej WME (i innych platform wirtualnych) przysłużyłyby się oficjalne kierunkowe stanowiska Ministerstwa Energii, URE oraz PSE.

Opis 1. Smart Grid (jako hasło marketingowe, powszechny standard opisowy w Internecie) łączy szereg współpracujących ze sobą technologii. Są to w szczególności:

- 1.** Technologie decydujące o transformacji odbiorców energii elektrycznej w prosumentów, takie jak: fotowoltaiczne i wiatrowe rozproszone mikroźródła, lokalne magazyny energii, inteligentne urządzenia powszechnego użytku, podłączane do sieci samochody hybrydowe i elektryczne.
- 2.** Technologie wykorzystywane przez operatorów OSD, takie jak: systemy SCADA, sieci telekomunikacyjne, sieci sensorowe, technologie sterowania, pomiarowe, zarządzania elementami sieci dystrybucyjnej.
- 3.** Inteligentne urządzenia pomiarowe: liczniki energii elektrycznej umożliwiające zdalne odczyty energii elektrycznej, ale także pomiary i rejestrację wielu innych wielkości (profilu zapotrzebowania oraz produkcji i bilansów energii elektrycznej, parametrów jakościowych energii elektrycznej), zdarzeń krytycznych (operatorskich i rynkowych).
- 4.** Technologie informacyjne (w tym przetwarzanie danych) związane z optymalizacją i zarządzaniem produkcją i zużyciem energii elektrycznej, ale również usługami analitycznymi dla operatorów sieci sieciowych wykorzystujących hurtownie danych i wielkie centra obliczeniowe.

Opis 2. Wpływ technologii informatycznych na rozwój koncepcji Smart Grid trzeba obserwować przede wszystkim na przykładzie sieci elektroenergetycznych w USA. Wraz z rozwojem teletransmisji i upowszechnieniu sieci Internet, w początkowej fazie rozwoju Smart Grid, wprowadzono tam zautomatyzowane systemy rozliczeniowe, ułatwiające prowadzenie rozliczeń pomiędzy dostawcą a odbiorcą energii elektrycznej. Prace nad zdalnym odczytem wskazań czujników i liczników energii elektrycznej rozpoczęły się w latach 1970'. Ograniczona wydajność ówczesnych systemów telekomunikacyjnych nie pozwalała jednak na wprowadzenie takich usług na szeroką skalę. Dopiero rozpowszechnienie się transmisji cyfrowej i sieci Internet pozwoliło wprowadzić na masową skalę pierwsze systemy zdalnego odczytu AMR (*Automated Meter Reading*). Technologia AMR pozwala na zautomatyzowanie odczytów zużycia mediów i prowadzenie zdalnej diagnostyki urządzeń pomiarowych takich mediów jak energia elektryczna, ale również woda, czy gaz. Główną zaletą takiego systemu jest ograniczenie kosztów odczytów urządzeń pomiarowych przez operatora oraz rozliczanie odbiorców na podstawie danych zbliżonych do rzeczywistych. Wiele urządzeń AMR pozwala na rejestrowanie danych okresowych umożliwiających profilowanie zużycia mediów, prognozowanie bieżącego i szczytowego zapotrzebowania. Część urządzeń AMR pozwala również na wprowadzenie prostych mechanizmów DSR. W tym modelu sieci elektroenergetycznej sektor IT pełnił tylko rolę dostawcy usług przesyłu danych i systemu teleinformatycznego.

Opisy w ramach mają charakter „bierny”. Jest zrozumiałe, że opisy te nie przyspieszą istotnie pogłębionej edukacji w zakresie energetyki prosumenckiej w szerokim otoczeniu. Prędko nie pobudzą rozwoju sieci (relacji sieciowych) społeczności prosumeckich. Nie zapewnią bardzo pożądanej interakcji ze strony przemysłu ICT (przemysłów dóbr inwestycyjnych dla energetyki prosumenckiej) oraz przemysłu AGD. Nie zapewnią też interakcji ze strony energetyki WEK (nie uchronią jej od wykluczenia technologicznego). Wreszcie nie zmuszą rządu do inicjatyw prawno-regulacyjnych na rzecz rozwoju energetyki prosumenckiej EP i niezależnych inwestorów NI.

Opis 3. Systemy AMR przekształciły się szybko w systemy AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) wykorzystujące tzw. liczniki inteligentne (*smart meters*). Tego rodzaju liczniki umożliwiają nie tylko rejestrację zużycia mediów w zadanych interwałach czasowych, np. godzinowych i krótszych, rejestrację wielu zdarzeń (np. związanych z serwisowaniem liczników), lecz również wyliczanie różnego rodzaju statystyk czy wykonywanie obliczeń na podstawie zaimplementowanej w liczniku logiki, a następnie przesyłanie informacji do operatora sieci w zadanych, stosunkowo krótkich okresach czasu (np. dobowych lub krótszych). Zasadniczą różnicą pomiędzy urządzeniami AMR i AMI jest możliwość dwustronnej komunikacji pomiędzy operatorem i urządzeniem licznikowym, a także większa częstotliwość komunikacji pomiędzy licznikiem, a bazą danych operatora sieci. Infrastruktura AMI pozwoliła na poprawę jakości rozliczania odbiorców energii elektrycznej i zmniejszenie liczby błędów rozliczeniowych. Umożliwiła również wprowadzenie nowego rodzaju usług korzystnych zarówno dla odbiorców, jak i sprzedawców energii elektrycznej. Można do nich zaliczyć m. in. rozliczenia w oparciu o rzeczywiste a nie szacunkowe dane, uelastycznienie okresów rozliczeniowych, wprowadzenie przedpłat za energię elektryczną, umożliwienie odbiorcom śledzenia swoich profili zużycia energii elektrycznej w celu optymalizacji kosztów jej zakupu, wprowadzenie nowych usług DSR, planów taryfowych z krytyczną stawką cenową, elastycznych taryf wielostrefowych. Oprócz korzyści dla odbiorców energii elektrycznej, infrastruktura AMI pozwala również na wprowadzenie zaawansowanych mechanizmów sterujących systemem dystrybucyjnym, gdyż nie ogranicza się ona tylko do odbiorców końcowych, lecz umożliwia bieżące monitorowanie poszczególnych komponentów sieci dystrybucyjnej, jak np. stacji SN/nN i innych.

Opis 4. Rozwój systemu AMI możliwy był dzięki rozwojowi systemów teletransmisyjnych i przetwarzania danych, których wzrastająca wydajność pozwoliła na szybkie przesyłanie i przetwarzanie dużo większych ilości informacji. Wraz ze zwiększaniem częstotliwości odczytów gwałtownie rośnie ilość informacji, które muszą zostać przesłane, zweryfikowane, zapisane, przeanalizowane, czy też przetransformowane do postaci zbliżonej do danych rzeczywistych w celu umożliwienia podejmowania decyzji i zarządzania siecią w czasie rzeczywistym. Spowodowało to rozwój systemów baz oraz hurtowni danych, wykorzystanie wielkich centrów składowania i przetwarzania informacji, w których rozwoju biorą udział największe korporacje sektora IT, takie jak Google, Oracle i inne (ich rola w elektroenergetyce znacząco wzrosła w ostatnich latach).

Opis 5. Systemy AMR i AMI wprowadziły wprawdzie szereg udogodnień zarówno dla operatorów jak i odbiorców, lecz nie zmieniły struktury sieci, która wciąż mogła być scentralizowana i oparta na modelu wielkich wytwórców energii elektrycznej oraz pasywnych lub częściowo pasywnych - korzystających z programów DSR, konsumentów. Zasadnicze zmiany w strukturze sieci rozpoczęły się dopiero wraz z rozwojem rozproszonej generacji OZE. Pojawienie się na rynku energii pochodzącej ze źródeł i mikroźródeł korzystających z zasobów odnawialnych (słońce, wiatr, biomasa) stało się możliwe dzięki spadkowi cen technologii półprzewodnikowych, mikroprocesorowych, przekształtnikowych, a masowa produkcja pozwoliła na dodatkowe, znaczące i systematyczne obniżanie ich cen, zwiększając dostępność technologii OZE dla przemysłu, usług i szerokich mas społecznych. Tendencja ta powoduje masowe pojawianie się w systemie elektroenergetycznym heterogenicznej generacji rozproszonej, przekształcając dotychczasowe scentralizowane systemy elektroenergetyczne w sieć mikrosieci, które muszą współpracować z całym systemem. Lokalna generacja pochodząca z wymuszonych źródeł (fotowoltaicznych, wiatrowych) cechuje się zwiększoną dynamiką zmian i generuje potrzebę modyfikacji sposobów bilansowania aktywnych zasobów i zarządzania siecią, co powoduje zastosowanie nowych, coraz bardziej zaawansowanych technologii i przemodelowania dotychczasowej struktury sieci. Dotychczasowy odbiorca pełnił tylko rolę odbiorcy pasywnego, który konsumował energię elektryczną nie współpracując z siecią elektroenergetyczną. Pojawienie się heterogenicznych sieci z udziałem rozproszonej generacji wyzwało potrzebę zmiany roli pasywnego odbiorcy w aktywnego prosumenta, który reaguje na zewnętrzne bodźce pochodzące z systemu elektroenergetycznego, optymalizując wykorzystanie zasobów zarówno swoich jak i sieciowych. Prosumenta wspierają dynamicznie rozwijające się technologie magazynowania energii elektrycznej, zarówno w magazynach stacjonarnych (np. Tesla Powerwall), jak i w pojawiających się coraz szerzej samochodach elektrycznych. Współpracę z systemem elektroenergetycznym umożliwiają technologie informatyczne, łączące Smart Grid z systemami automatyki domowej/biurowej zarządzającej inteligentnymi urządzeniami odbiorczymi (w tym urządzeniami gospodarstwa domowego), sensorami, prowadząc prosumentów indywidualnych, instytucjonalnych i przemysłowych w stronę częściowej lub pełnej autonomizacji. Struktury mikrosieci, wysp, wysp wirtualnych integrujących lokalne zasoby wytwórcze z lokalnym zapotrzebowaniem, magazynami energii, samochodami elektrycznymi, połączone ze sobą więzami sieci teleinformatycznych będą w perspektywie 10-ciu lat dążyły w stronę systemów samobilansujących się, a tym samym rynek dla tradycyjnych dostawców energii będzie się kurczył. Zmiany topologii sieci, struktury generacji, zużycia energii elektrycznej, integracja systemu elektroenergetycznego z siecią teleinformatyczną, powodują wprowadzenie taryf czasu rzeczywistego, reagujących na dynamiczne zmiany popytu, podaży oraz miksów energii elektrycznej. Wielką rolę w przekształcaniu systemu elektroenergetycznego zaczynają pełnić firmy sektora IT, a kluczowe technologie, które umożliwią zmiany, to technologie sieci teleinformatycznych, Internet Rzeczy (*Internet of Things*, IoT), Internet Wszechrzeczy (*Internet of Everything*, IoE), *Fog Networking*, *Cloud Computing*, *Fog Computing*, hurtownie danych, wielkie centra przetwarzania danych (*Big Data*), sztuczna inteligencja.

Biegunowo odmiennie wygląda sytuacja, gdy informatykę (łącznie z technologiami okołoinformatycznymi) wykorzystuje się „czynnie” do opisu, i „wydobycia” jej potencjału w zakresie przebudowy rynku energii elektrycznej, w części dotyczącej rynku wschodzącego

(1). **Informatyzacja rynku energii elektrycznej w trybie innowacji przełomowej.** Różnice pozwalają pokazać opisy minisystemów WME Wielkopolska Południowa SBU oraz WME pvmonitor.pl przedstawione w dalszej części Raportu (część: Przykłady). Są to opisy (zapotrzebowania, produkcji, bilansów, ...) realizowane z dokładnością do profili 5-minutowych, dostępnych już (dzięki technologiom informatycznym i okołoinformatycznym) w środowiskach: samorządowym (przedsiębiorstw samorządowych), prosumentów z segmentu ludnościowego, prosumentów i inwestorów NI z segmentu MSP, operatorów OSDn.

Wykorzystane do zaprezentowania minisystemy są minisystemami skrajnie różnymi. Taki ich dobór umożliwia znaczne poszerzenie pola wnioskowania, w różnorodnych aspektach, dotyczącego potencjału energetyki EP-NI. Pierwszy minisystem pokazuje przewagę wykorzystania czynnego informatyki do aktywizacji energetyki EP-NI w przestrzeni miejskiej (Ostrów Wielkopolski), z uwzględnieniem bliskiego otoczenia w postaci gmin wiejskich. Drugi minisystem reprezentuje całkowicie inną strukturę przedmiotową i podmiotową, mianowicie społeczność prosumencką rozproszoną na całym obszarze Polski, ale „jednorodną” technologicznie (dachowe źródła PV).

Osiągnięty w krótkim czasie stopień konsolidacji prezentowanych w Raporcie minisystemów WME jest ewenementem otwierającym nowy rozdział badań i aktywności publicznej w zakresie transformacji energetyki. Mianowicie, przełamuje zaporową barierę dostępu do informacji („zjawisko” energetyki WEK kryjącej się za ścianami *firewall*, nawet wówczas, gdy wykorzystanie informacji wiąże się tylko z celami badawczymi). Osiągnięty stopień konsolidacji pokazuje jak wielki jest potencjał, możliwy do wykorzystania na rzecz rozwoju rynku wschodzącego (1) energii elektrycznej. W szczególności jest to potencjał edukacyjny, który może być łatwo wykorzystany w szerokim otoczeniu. Jednak przede wszystkim jest to wielki potencjał aktywizacji społeczności prosumenckiej, który może (powinien) się rozwijać w nieskrępowanym internetowym środowisku sieciowym.

Aby sprostać wyzwaniom informatyzacji i współczesnego świata rynek wschodzący energii elektrycznej (1) musi być, przede wszystkim, obszarem umiejętnego wykorzystania trendów technologicznych. W szczególności musi być obszarem podejmowania właściwych decyzji w zakresie wyboru narzędzi informatycznych i technologii okołoinformatycznych na rzecz maksymalizacji efektów rynkowych w ramach podejścia *end-to-end* (od końca do końca, na całej drodze, w modelu prosumenckim). Dlatego kluczowa jest zmiana architektury rynku, przearanżowanie całości procesów. Decyzja o zastosowaniu konkretnego rozwiązania w tej architekturze powinna wynikać przede wszystkim z jego użyteczności – trzeba odpowiedzieć pilnie na pytanie jakie rozwiązania wywołają pożądaną (racjonalną) alokację zasobów z rynku schodzącego na rynek wschodzący (1). I na czym ta racjonalna alokacja ma polegać, jakie cele mają być osiągnięte, przez kogo?

To zadanie jest znacznie trudniejsze niż było na początku stulecia. Dlatego, że polska energetyka w tym okresie, najważniejszym z punktu widzenia budowania nowych kompetencji, wykluczyła się z uczestnictwa w energetycznej transformacji. Z tego powodu nie jest na razie zdolna do wyhamowania, w sferze propagandowej, rozmachu inwestycyjnego w technologie

schyłkowe, a także nie jest zdolna do zejścia z kursu anty-klimatycznego (pro-węglowego). I do skorzystania z rogu obfitości, który w tym czasie świat wytworzył w zakresie technologii informatycznych (i okołoinformatycznych), ale także energetycznych.

To powoduje, że podjęcie właściwej decyzji technologicznej wymaga analizy coraz większej liczby czynników i tym samym staje się coraz bardziej skomplikowane. Jednak sprawą, która powoduje główną trudność w kontekście decyzyjnym, jest całkowicie nowy profil ryzyka wyborów w sferze rozwojowej. W tym zakresie najgorszą sprawą jest to, że Polska nie nabyła kompetencji potrzebnych do szacowania ryzyka stranded costs, związanego z gwałtownie przyspieszającym ryzykiem starzenia moralnego technologii energetycznych.

Niezależnie od trudności, w perspektywie najbliższych kilku lat można wskazać – to jest hipoteza – trzy główne technologie informatyczne, które mogą mieć przełomowe znaczenie dla funkcjonowania wschodzącego rynku energii elektrycznej (1). Są to: technologie mobilne, technologie *blockchain* oraz sztuczna inteligencja. Przyjęta kolejność nie jest przypadkowa. Wynika ona z dojrzałości technologii (dostępnego już poziomu ich rozwoju i komercjalizacji) oraz z poziomu przygotowania szerokiego otoczenia rynkowego (energetyka EP-NI) do absorpcji tych technologii.

Informatyzacja i behawioralna ekonomia: dwie siły rozwojowe rynku wschodzącego energii elektrycznej (1)

Ponieważ ekonomia behawioralna jest istotą energetyki EP, zwłaszcza w segmencie ludnościowym, ale także w dużym stopniu w segmencie MSP, to warunkiem jej rozwoju jest informatyzacja rynku energii elektrycznej (1). Przy tym w analizie informatyzacji jako siły sprawczej przełomu na rynku energii elektrycznej trzeba uwzględnić szereg czynników. Tu omawia się trzy najbardziej istotne, a z drugiej strony zupełnie jeszcze niedostrzegane, albo praktycznie niedostrzegane.

Pierwszym czynnikiem, zupełnie jeszcze niedostrzeganym, jest efekt synergiczny między informatyzacją rynku energii elektrycznej (1) oraz egzergią energii elektrycznej pozyskiwanej ze źródeł OZE. Rozumie się to w następujący sposób (charakterystyczny dla podejścia *end-to-end*). Produkcja energii elektrycznej w mikroźródłach OZE oraz użytkowanie energii elektrycznej są najbardziej podatne, w sensie efektywności) na informatyzację (bardziej niż inne systemy zaopatrywania w energię, bazujące na paliwach kopalnych). Z kolei najwyższa egzergia energii elektrycznej zapewnia efektywność prosumenckiej elektryfikacji ciepłownictwa i transportu.

Drugim czynnikiem jest nieadekwatność modelu rynku energii elektrycznej WEK (rynku schodzącego) względem kompetencji „informatycznych” prosumentów w segmencie ludnościowym. Mianowicie, występuje luka technologiczna i mentalna między ofertą energetyki WEK na rynku schodzącym i poziomem „technologicznym” z informatyzowanego społeczeństwa prosumenckiego.

Najdrastyczniejszym przykładem jest brak ze strony energetyki WEK jakiegokolwiek oferty na urządzenia mobilne, i w ogóle w Internecie, dotyczącej wykorzystania zasobów sieciowych operatorów OSD, skierowanej do energetyki EP-NI. Choćby takiej jak oferta „nadmiarowych” sieciowych zasobów przyłączeniowych, ale również „zasobów” w postaci deficytu zdolności przyłączeniowych; na rynku wschodzącym (1) deficyt ten jest zasobem, bo może być zaoferowany podmiotom energetyki EP-NI (i oczywiście dlatego, że operator OSD jest na mocy koncesji zobowiązany do zapewnienia dostępu do sieci, według zasady TPA). Oferta, jedna i druga, byłaby przecież rozwiązaniem rynkowym najbardziej adekwatnym do poziomu technologicznego prosumentów i niezależnych inwestorów, ale także najbardziej efektywnym, z punktu widzenia alokacji zasobów między rynkami: schodzącym i wschodzącym (1).

Luka technologiczna i mentalna, o której jest mowa, obrazuje bardzo niekorzystny proces szybkiego samowykluczania się energetyki WEK z nurtu postępu technologicznego prowadzącego do prosumeryzacji społeczeństwa rozumianego w kategoriach ustroju społecznego, a zatem szerzej nawet niżby to wynikało tylko z prosumeryzacji energetyki.

Trzecim czynnikiem, który tu się akcentuje, jest efekt posiadania możliwy do realizacji w modelu energetyki prosumenckiej. Ogólnie jest to efekt związany z odmiennymi krzywymi ryzyka w zagadnieniu oczekiwanej użyteczności. Mianowicie, z awersją do wysokiego ryzyka w wypadku wielkości zdefiniowanej w kategoriach zysku. I ze skłonnością do ryzyka, kiedy skutkiem decyzji jest strata.

W energetyce EP efekt ten w najprostszym wypadku ma np. postać związaną ze zmianą wartości domu po wyposażeniu go w źródło OZE. Czyli polega na „przekształceniu” kosztu zakupów energii elektrycznej w nakład inwestycyjny. Należy oczekiwać, że ten czynnik będzie bardzo silnie wzmacniany w procesie transformacji całej energetyki do postaci mono rynku energii elektrycznej OZE poprzez pasywizację budownictwa, elektryfikację ciepłownictwa (pompa ciepła) i elektryfikację transportu (samochód elektryczny); każde z tych działań powoduje przekształcenie kosztów zakupu paliw kopalnych w inwestycję własną prosumenta).

Jednak trzeba uwzględnić bardzo złożony sposób, w jaki działa efekt posiadania. Mianowicie, wynik decyzji o zmianie kosztu na inwestycję jest niewątpliwie przez prosumenta kwalifikowany (odczuwany) jako zysk; jest to przypadek, w którym decydent (ogólnie) wykazuje awersję do ryzyka. Zatem „progowy” zysk powodujący transformację odbiorcy energii elektrycznej w prosumenta jest wyższy niż progowa strata powodowana pozostaniem odbiorcy przy tradycyjnym modelu realizacji swoich potrzeb energetycznych („trzymaniem” się odbiorcy tradycyjnych dostawców energii elektrycznej, ciepła, paliw transportowych). To zjawisko behawioralne ma znamiona syndromu sztokholmskiego (ma potwierdzenie w tym syndromie). Oczywiście, jeśli bariera zostanie pokonana (a to się dzieje już masowo na świecie), to nie ma przyszłości („ratunku”) dla energetyki WEK.

INFORMATYZACJA KONCEPCJI RYNKU WSCHODZĄCEGO (1)

To, że rynek wschodzący energii elektrycznej (1) – energetyka EP-NI – jest (konceptyjnie) rynkiem konkurencyjnym, jest tożsame w Raporcie z tym, że jest to rynek cenotwórstwa

jednoskładnikowego CCR (cenotwórstwo czasu rzeczywistego), z konkurencją rozgrywającą się na poziomie odbiorcy. To zdanie kryje w sobie fundamentalną konsekwencję: odrzucenie zasady gwarantowanego zwrotu kosztów składowych energii elektrycznej, każdego osobno, na rynku schodzącym WEK wówczas, gdy rynek ten wchodzi w interakcję z rynkiem wschodzącym (1). W szczególności, w najbardziej jaskrawym wypadku, chodzi o oddzielny gwarantowany zwrot kosztów: zmiennych paliwa i kosztów CAPEX u wytwórców (w konsekwencji kosztów rynku mocy), a ponadto kosztów systemowo-sieciowych operatorów. To oznacza również odrzucenie rynku cen przeciętnych (stawek taryfowych), i przejście do optymalnych cen krańcowych, czyli spełniających postulat racjonalnej/optimalnej transformacji energetycznej. Inaczej, są to ceny zrównujące ceny krańcowe krótkoterminowe (CCR, na rynku bieżącym) z długoterminowymi (na rynku inwestycyjnym).

Fundamentalne pytanie w kontekście tytułu Raportu brzmi zatem: w jaki sposób informatyzacja zvirtualizowanego KSE może się stać siłą sprawczą przełomu? Przełomu polegającego na tym, że każda interakcja między rynkami schodzącym (WEK) oraz wschodzącym (1) będzie wywoływać proces dostosowawczy (mający źródło w wielkim potencjale informatyzacji), w którym rynek pierwszy dostosowuje się do drugiego, a nie odwrotnie, jak to jest obecnie. Czyli pytanie jest w gruncie rzeczy o to, jak informatyzacja doprowadzi do sytuacji, w której rynek schodzący będzie wystawiał oferty dla rynku wschodzącego (1), w standardach obowiązujących na tym ostatnim.

Cenotwórstwo jednoskładnikowe

(opłatę sieciową pokrywają wytwórcy, i/lub odbiorcy, i/lub prosumenci)

To, że restrukturyzacja opłaty sieciowej jest wstępnym warunkiem pobudzenia konkurencji na rynku energii elektrycznej (1), i tym samym w ogóle na rynku energii elektrycznej, jest hipotezą wokół której istnieje już daleko idący konsensus. Nie ma też wątpliwości, że restrukturyzacja opłaty sieciowej musi iść w kierunku jej uzmiennienia. Po to, aby można ją było sprząc z jednoskładnikowym kosztem produkcji i uzmiennić tym samym cały jednoskładnikowy koszt dostawy energii elektrycznej na rynek końcowy, łącznie z kosztami CAPEX. Więcej, aby można się było odciąć od kosztów, i przejść do cen. I jeszcze więcej, aby źródła konkurowały o sprzedaż energii elektrycznej do odbiorców, a nie do „sieci”, co w kontekście sieci oznacza ogólną zasadę wytwórcy „płaci” (ponosi koszt opłaty sieciowej).

W tym miejscu ujawnia się oczywiście sprzeczność wewnętrzna między rynkiem wschodzącym (1) oraz rynkiem mocy. To ta sprzeczność (łącznie z innymi przyczynami) powoduje, że każda interakcja między rynkami schodzącym oraz wschodzącym (1) wywołuje proces dostosowawczy, w którym rynek pierwszy dostosowuje się do drugiego: np. źródło zbudowane za pomocą mechanizmów rynku mocy musi za pomocą ceny konkurować w czasie rzeczywistym z innymi źródłami, bez możliwości korzystania z mechanizmu *priority dispatch*.

Dalej przedstawia się zarys krytycznej analizy związanej z uzmiennianiem opłaty sieciowej. Dlatego, bo na obecnym etapie kryzysu w polskiej elektroenergetyce WEK, wywołanego między innymi błędną polityką inwestycyjną (i bardziej generalnie, niedostosowaniem się do

megatrendu, którym jest dokonująca się transformacja energetyczna) dobry model uzmienniania opłaty sieciowej ma potencjał, w powiązaniu z szeroko rozumianą informatyzacją, umożliwiającą stworzenie silnych podstaw pod cenotwórstwo CCR energii elektrycznej na rynku wschodzącym (1).

W środowisku biblioteki BŻEP pierwsze propozycje dynamicznego uzmienniania opłaty sieciowej (z zejściem do 5-minutowego okresu transakcyjnego) zostały sformułowane na początku 2015 r. [5], a następnie w połowie 2016 r. [6]. Były to propozycje ukierunkowane na poszukiwanie takich sposobów dynamicznego uzmienniania opłaty sieciowej, które zapewniałyby równowagę między potencjalnymi efektami w obszarze konkurencji na rynku energii elektrycznej oraz wydajnością systemów informatycznych i sieci teleinformatycznych. Druga ścieżka – ósmy Raport BŻEP [1], a także trzeci Raport BPEP – to uzmiennianie opłaty sieciowej w trybie *net meteringu*; rozwiązanie wprowadzone do praktyki przez ustawę OZE, obowiązujące od połowy 2015 r.

Fakt, że jedno rozwiązanie ma podstawy prawne i jest stosowane w praktyce (na razie jako jedyne) nie dyskredytuje drugiego rozwiązania; istnieje nawet konieczność, aby przydatność każdego z nich dla przyszłych potrzeb uznać za sprawę otwartą. Dlatego, bo każde z nich ma inne właściwości i musi być analizowane w różnych kontekstach (na różnych płaszczyznach). W szczególności ważne są aspekty praktyczne: użyteczność rozwiązań do realizacji celów transformacyjnych za pomocą mechanizmów rynku wschodzącego (1). Ważne są także względy metodyczne, w tym adekwatność względem technologii informatycznych (przykład potencjalnego zastosowania technologii transakcyjnych *blockchain* jest pod tym względem bardzo znamienne).

Mimo bardzo słabego na razie rozpoznania właściwości dwóch zasygnalizowanych sposobów uzmienniania opłaty sieciowej można obecnie postawić w szczególności hipotezę badawczą, że dynamiczne uzmiennianie opłaty sieciowej, zaproponowane w trzecim Raporcie BPEP, jest bezpośrednio powiązane z obecną praktyką dotyczącą opłat sieciowych (zwłaszcza z praktyką opracowywania taryf przez operatorów OSD i ich zatwierdzania przez Prezesa URE). Tym samym może być łatwiej (w trybie *ex ante*) wykorzystane na potrzeby ochrony (racjonalnej) przychodów operatorów w przyszłości.

Drugie z kolei rozwiązanie, mające właściwość wirtualnego magazynu sieciowego (systemowego) czynią je zdecydowanym ukierunkowanym (pod względem metodycznym) na pobudzanie rozwoju segmentu prosumenckiego. Mianowicie, rozwiązanie to określa generalnie bardzo dobrze środowisko konkurencji dla źródeł wytwórczych i magazynów rzeczywistych w segmencie energetyki EP, także środowisko konkurencji dla źródeł wytwórczych w segmencie energetyki NI. Przy tym badanie wpływu *net meteringu* na przychody operatorów będzie możliwe głównie w trybie *ex post* (czyli zgodnym z nowymi trendami regulacyjnymi na rynku energii elektrycznej: przechodzeniem od regulacji *ex ante* do regulacji *ex post*).

Zasygnalizowane powyżej wybrane aspekty analizy porównawczej dynamicznego uzmienniania opłaty sieciowej oraz *net meteringu* otwierają – w powiązaniu z istniejącymi już wynikami badań, dostępnymi w Cyklach Raportów [1,2] – drogę do ważnych badań o wymiarze praktycznym, mianowicie badań na rzecz kalibrowania mechanizmów rynkowych na rynku wschodzącym (1) energii elektrycznej. Na początek chodzi w szczególności (jest to

propozycja badawcza) o pogłębioną analizę porównawczą mającą za podstawę: wartości współczynnika *net meteringu* według ustawy OZE (0,8 dla źródeł do 10 kW oraz 0,7 dla źródeł 10-40 kW) z jednej strony, a z drugiej jednostkowe opłaty sieciowe równe 40, 60, 100 PLN/MWh w obszarach sieciowych obejmujących sieci: 400-220-110 kV, ŚN, nN, odpowiednio (piąty Raport BPEP [2]). Wyniki takich badań są potrzebne do budowania szerokiego konsensusu na rzecz nowej architektury rynku energii elektrycznej.

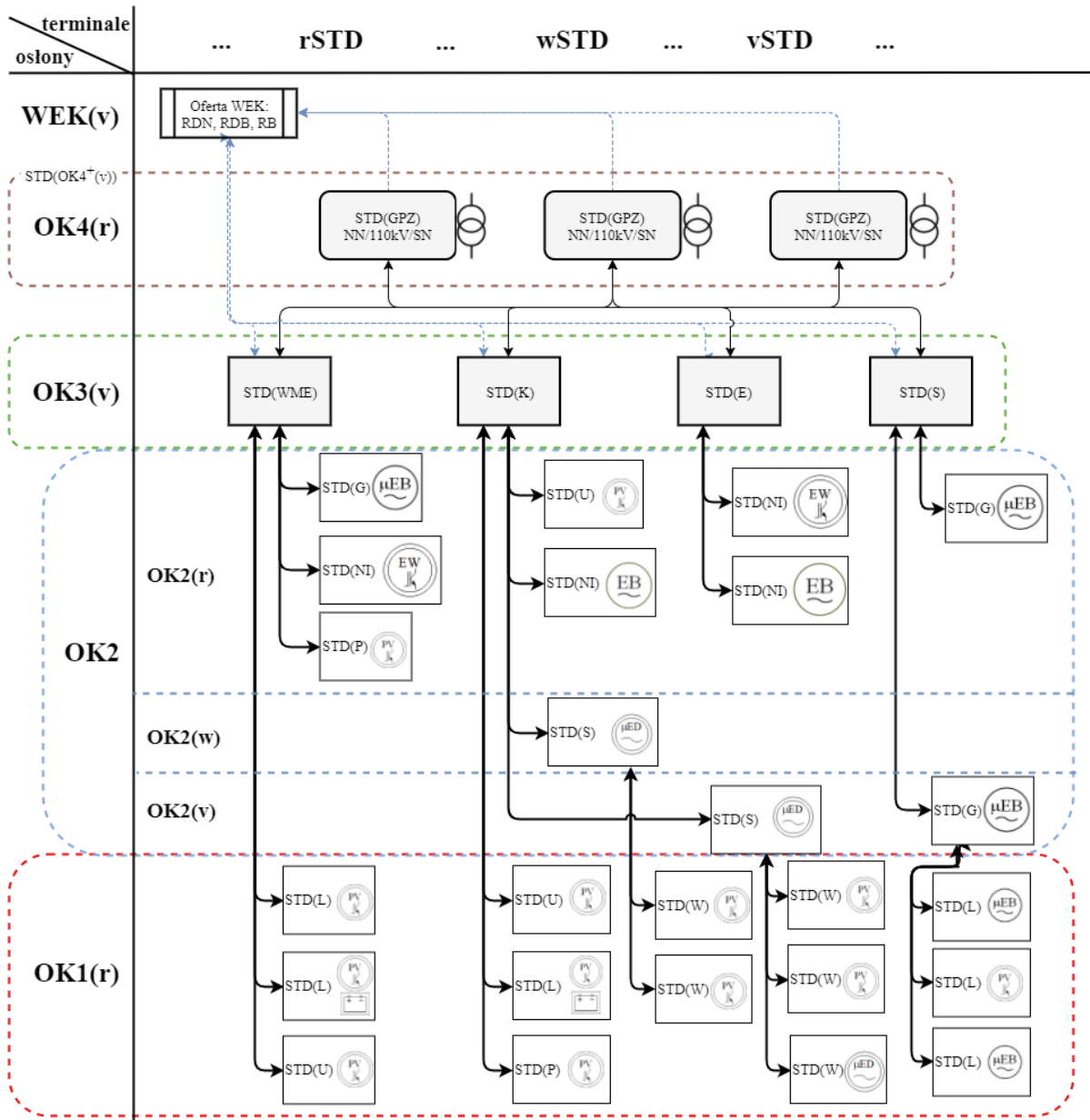
Cenotwórstwo osłonowe (na osłonach OK)

Cenotwórstwo na rynku wschodzącym (1) jest ściśle powiązane z osłonami OK (osłonę OK rozumie się tu zgodnie z definicją zamieszczoną w jedenastym Raporcie BŻEP [1]; zmiana redakcyjna opisu osłony, którą się wprowadza poniżej ma na celu precyzyjniejsze dostosowanie się do wymagań związanych z tytułem Raportu. W tym kontekście podkreśla się, że osłona kontrolna jest kategorią pozwalającą w zorganizowany sposób powiązać rzeczywistą infrastrukturę techniczną KSE (podlegającą prawom fizycznym, w szczególności prawom elektrotechniki) ze strukturą rynkową (podlegającą zasadom ekonomii, w szczególności finansowym). Zbiór osłon kontrolnych (OK1 do OK5), które są ściśle powiązane z infrastrukturą techniczną KSE pozwala w jednoznaczny sposób lokalizować (w osłonach) zorganizowane fragmenty rzeczywistej infrastruktury KSE – w szczególności źródła wytwórcze i sieci elektroenergetyczne – będące nośnikami kosztów na rynku. Ponadto osłony pozwalają sporządzać jednoznaczne bilanse mocy elektrycznej będącej parametrem technicznym oraz energii elektrycznej będącej wielkością fizyczną i rynkową. Wreszcie osłony pozwalają określać jednoznacznie ceny jednostkowe energii elektrycznej i przepływy finansowe będące wielkościami rynkowymi.

Każda osłona kontrolna, ściśle uwarunkowana infrastrukturą techniczną KSE (rozplywami mocy w KSE), jest sprzężona na rynku wschodzącym (1) z sieciowym terminalem dostępowym (STD), zapewniającym na rynku realizowalność transakcji (mechanizmów rynkowych), a w warstwie infrastruktury technicznej respektowanie praw elektrotechniki. Zatem zbiór (sieć) terminali STD jest (jako całość) interfejsem infrastrukturalnym (infrastrukturą koordynacyjną) między rynkiem wschodzącym (1) i infrastrukturą techniczną KSE. Jest to infrastruktura *softwarowo-hardwarowa*, wykorzystująca technologie informatyczne i okołoinformatyczne (sensory, liczniki, sterowniki, przekształtniki). Sieć terminali STD (sprzężonych z osłonami kontrolnymi), traktowana jako infrastruktura koordynacyjna, tworzy przestrzeń „wolności” na rynku (wolności w zakresie stosowania mechanizmów rynkowych). Z drugiej strony zapewnia bezpieczeństwo infrastruktury technicznej KSE. Mianowicie, zapewnia dotrzymanie ograniczeń sieciowych i wytwórczych w KSE, a także dostateczną podaż zasobów regulacyjno-bilansujących w poszczególnych osłonach OK.

Bardzo uproszczona typologia osłon kontrolnych na rynku wschodzącym (1) została zaproponowana w piątym Raporcie BPEP [2]. W nawiązaniu do tej typologii podkreśla się podział osłon na rzeczywiste (węzłowe) i wirtualne (w postaci platform prawno-regulacyjnych). Rzeczywistymi są (w pierwszym uproszczeniu) osłony węzłowe OK1 (ogólnie powiązane z przyłączami nN), OK2 (przyłącza powiązane z transformatorami SN/nN), OK3

(przyłącza powiązane z przyłączami SN) oraz OK4⁺ (przyłącza powiązane z GPZ-tami). Każda z osłon rzeczywistych musi być spójna topologicznie. Cenotwórstwo w tych osłonach jest spójne z rzeczywistymi rozptyłami sieciowymi i procesami regulacyjno-bilansującymi w takim sensie, że zasoby infrastrukturalne wytwórcze, sieciowe i regulacyjno-bilansowe są bezpośrednio czynnikami kosztotwórczymi w osłonach.



Rys. 3. Poziomy komunikacyjne struktury sieciowej osłon OK i terminali STD na rynku wschodzącym (1)

Podstawowymi osłonami wirtualnymi są trzy osłony OK3: klastrowa, w postaci elektrowni wirtualnej oraz w postaci mnisystemu WME. Specyficzną osłoną wirtualną może być osłona spółdzielcza OK2(G) na obszarach wiejskich, która obejmuje źródła mikrobiogazowe μEB klasy 10-40 kW (moc elektryczna) w średniotowarowych gospodarstwach rolnych

przyłączonych do stacji transformatorowych SN/nN oraz prosumenckie socjalne gospodarstwa rolne wyposażone w źródła PV przyłączone do linii nN. Specyficzną osłoną wirtualną (mianowicie bez sieci nN) może być także osłona OK2(S) spółdzielni energetycznej powiązanej ze spółdzielnią mieszkaniową w mieście (specyfika tej sytuacji polega na tym, iż duże bloki mieszkalne, przyłączone bezpośrednio do stacji transformatorowych SN/nN mają własne instalacje wewnętrzne nN). W osłonach wirtualnych (na platformach wirtualnych) podmioty energetyki EP-NI mają dostęp do sieci elektroenergetycznych nN-SN należących do energetyki WEK w trybie zasady TPA+ (korzystają z tych sieci, niespójnych topologicznie, w trybie współużytkowania). W warstwie rynkowej czynnikami kosztotwórczymi dla danej osłony wirtualnej są sieci w odpowiedni (związany z osłoną) otoczeniu sieciowym.

Rysunek 3 jest, na obecnym etapie, syntezą przedstawioną w „symboliczny” sposób, porządkującą typologię osłon OK i terminali STD w środowisku bibliotek BŻEP i BPEP. Symbolika rysunku polega na jego „wpisaniu” w format macierzy, w której wiersze przyporządkowuje się osłonom, kolumny terminalom. Taka struktura pozwoli w kolejnych próbach ulepszać typologię, w szczególności dostosowywać ją łatwo do różnych propozycji struktury interfejsu infrastrukturalnego (infrastruktury koordynacyjnej) między rynkiem wschodzącym (1) i infrastrukturą techniczną KSE; nie ma wątpliwości, że wiele takich propozycji pojawi się w procesie dalszego konsolidowania koncepcji rynku wschodzącego (1).

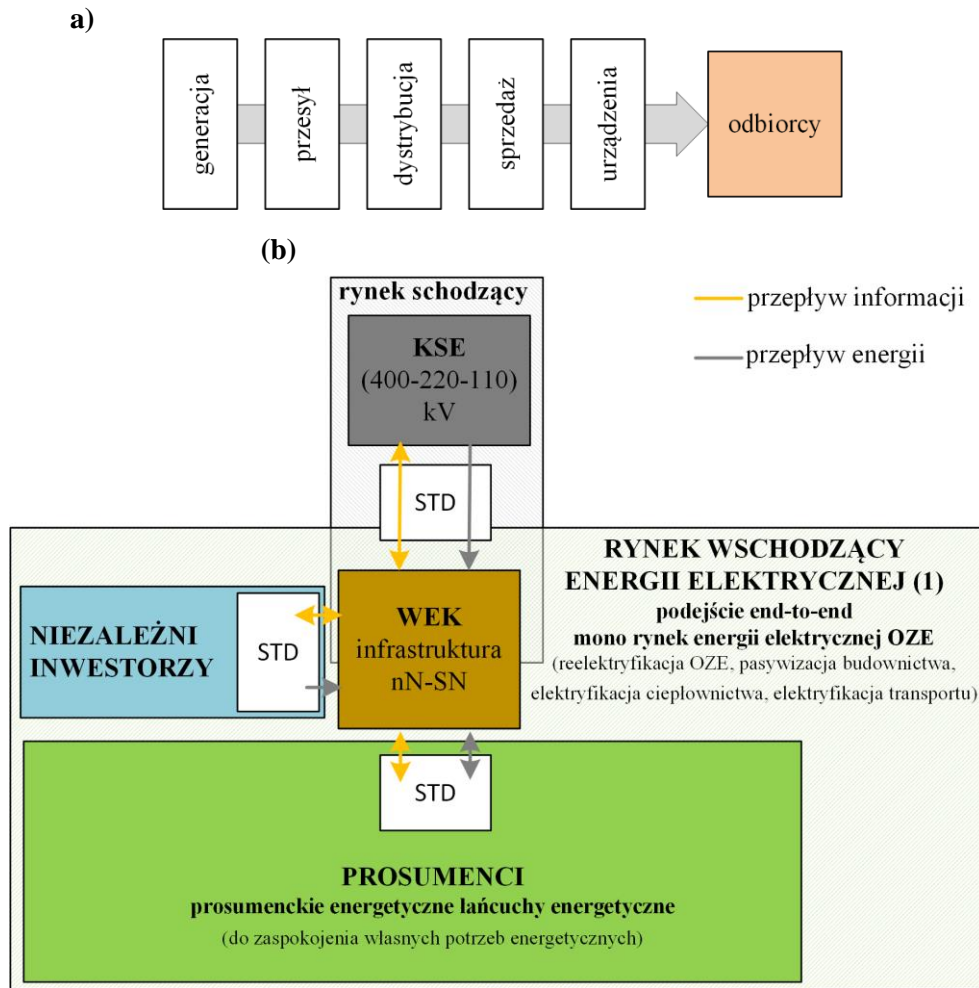
Akronimy użyte na rys. 3 w wypadku osłon OK oznaczają: (v) – osłonę wirtualną; (r) – osłonę „rzeczywistą”; (w) – osłonę węzłową. W odniesieniu do terminali STD przyjęto konwencję stosowania akronimów wg typologii osłon kontrolnych z Raportu BPEP [5], mianowicie: (L) – domy jednorodzinne, gospodarstwa rolne socjalne; (P) – przedsiębiorstwa; (W) – budynek mieszkalny wielorodzinny; (U) budynek użyteczności publicznej; (G) – gospodarstwo rolne średniotowarowe; (S) – spółdzielnia, (K) – klaster; (E) – elektrownia wirtualna, (WME) – wirtualny minisystem elektroenergetyczny, (NI) – niezależny inwestor.

Przedstawiona na rys. 3 sieć komunikacyjna pomiędzy terminalami dostępowymi i osłonami kontrolnymi, tworzy szkielet wymiany informacji na rynku wschodzącym (1). Znaczenie sieci wynika z faktu, że osłony kontrolne precyzyjnie definiują miejsca tworzenia ceny energii elektrycznej. Sieć komunikacyjna w określonej (przykładowej postaci, pokazanej na rys. 3) w zasadniczy sposób porządkuje wymianę informacji zapewniając im jednoznaczność, nie dopuszczając do nadmiarowości.

Cenotwórstwo wielotowarowe (usługi vs energia elektryczna)

Cenotwórstwo wielotowarowe sygnalizuje się w Raporcie jedynie jako problem całkowicie zaniedbany na rynku energii elektrycznej, a z drugiej strony o wielkiej wadze, wymagający poważnych badań. W szczególności jest zrozumiałe, że problem ten wygląda zupełnie inaczej w strukturze technologiczno-biznesowej elektroenergetyki WEK, rys. 4(a), a inaczej w łańcuchu wartości (usług energetycznych) w środowisku energetyki EP-NI, rys. 4(b). Fundamentalna różnica polega na tym, że w pierwszym wypadku ogólnie dominuje cenotwórstwo kosztowe. Czyli dominuje zasada: cena odwzorowuje koszt (obowiązuje gwarancja zwrotu kosztów składowych, których łańcuchy niebezpiecznie

wydłużają się). W drugim wypadku akcent przenosi się na cenotwórstwo, u podstaw którego jest zasada: cena odzworowuje wartość usługi.



Rys. 4. Struktura technologiczno-biznesowa elektroenergetyki WEK (a) i łańcuchy wartości (usługi energetyczne) w środowisku energetyki EP-NI (b)

W pierwszy wypadku (energetyka WEK) cenotwórstwo wielotowarowe to: koszt (zmienny) wytworzenia energii elektrycznej i koszt (stały) mocy u wytwórców, to opłaty sieciowe odrębne na każdym poziomie napięciowym, to odrębne opłaty za liczne usługi systemowe, to odrębne koszty licznych systemów wsparcia, i wiele innych. W tym cenotwórstwie nie ma natomiast „zbyt dużo miejsca” na takie np. usługi jak ubezpieczenia na rynku końcowym energii elektrycznej.

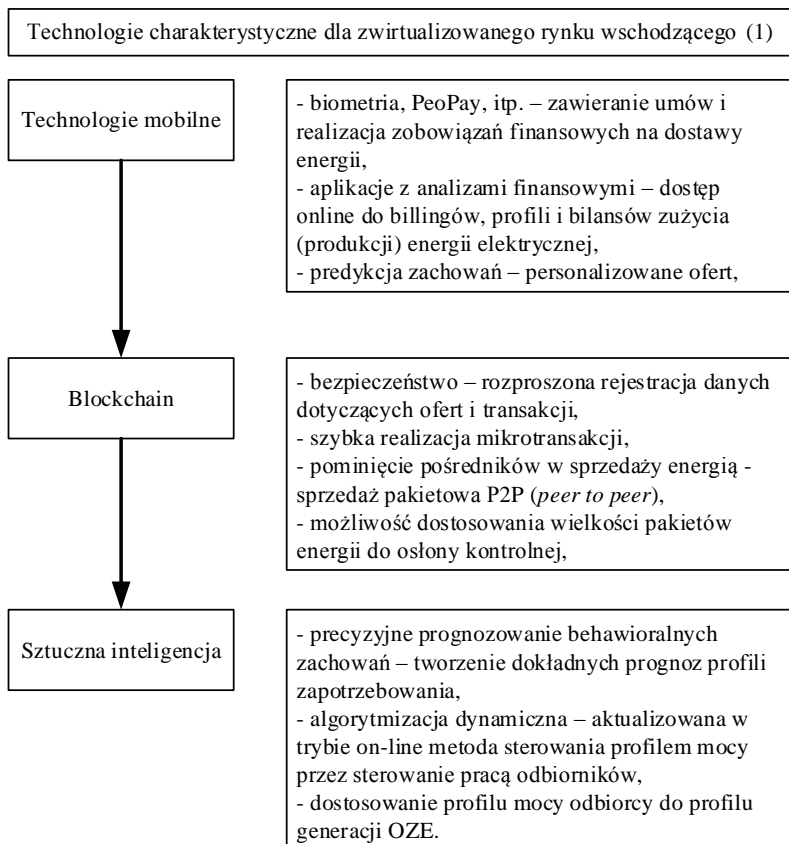
W drugim wypadku cenotwórstwo w naturalny sposób łączy się podejściem *end-to-end* (podejściem holistycznym). W tym podejściu cena wiąże się z wartością usługi, którą w wypadku prosumenta jest użytkowanie energii elektrycznej: bez ograniczeń, z ograniczeniami powodującymi niedogodności, użytkowanie na minimalnym poziomie (takim, który gwarantuje bezpieczeństwo ludzi i majątku). Innymi usługami są: komfort cieplny, produkcja ciepłej wody

użytkowej i wiele innych. W wypadku tych ostatnich usług energia elektryczna jest tylko jednym z czynników kosztotwórczych.

W obszarze prosumenckich łańcuchów energetycznych (łańcuchów wartości), które powstają w ramach prosumenckiej reelektryfikacji OZE, pasywizacji budownictwa, elektryfikacji gospodarki ciepłowniczej oraz elektryfikacji transportu wytwarzają się już bardzo zróżnicowane i bardzo rozproszone usługi, które będą substytutem dla tradycyjnych usług systemowych, będących obecnie domeną operatora OSP. Wpłynie to już bardzo mocno na rynek bilansujący, który będzie obowiązywał od początku 2021 r. Pompa ciepła (ze wszystkimi peryferiami) stanie się poważnym zasobem w obszarze usług systemowych. Jest zrozumiałe, że samochód elektryczny stanie się bardzo poważnym zasobem usług systemowych (w jeden sposób, kiedy będzie to samochód na baterię akumulatorów, a w inny kiedy będzie to samochód z wodorowym ogniwem paliwowym).

Technologie mobilne, *blockchain*, sztuczna inteligencja

Wirtualizacja rynku wschodzącego (1) wymaga stosowania zupełnie nowych w obszarze energetyki technologii, głównie informatycznych, ale mocno związanych z warstwą sprzętową. Technologie te, znane głównie z bankowości, finansów oraz społecznościowych technologii internetowych, zostaną wykorzystane w energetyce, jako kolejny krok innowacji przełomowej.



Rys. 5. Wirtualizacja rynku wschodzącego (1) z wykorzystaniem technologii informatycznych

Technologie mobilne. Technologie mobilne to temat, który musi być obecny w rozważaniach na temat: wschodzącego rynku energii elektrycznej (1). Mimo, że bankowość mobilna i płatności mobilne są już integralnymi produktami w ofercie banków, i dynamika rozwoju tego segmentu rynkowego jest ogromna (w IV kwartale 2017 r. było ponad 2 mln więcej klientów na rynku polskim niż rok wcześniej), to w elektroenergetyce WEK ten temat jest praktycznie zupełnie nieobecny. Przyczyna tkwi w braku cenotwórstwa CCR, ale przede wszystkim w braku możliwości zmiany dostawcy w czasie rzeczywistym, w braku możliwości realizacji asynchronicznych transakcji niezestandaryzowanymi pakietami energii elektrycznej.

Usunięcie powyższych barier w zvirtualizowanym KSE otworzy dostęp do mobilnego rynku wschodzącego (1). Z punktu widzenia wygody i szybkości wykorzystywania rozwiązań mobilnych dużych możliwości należy upatrywać w szerszym zastosowaniu biometrii. Firma Deloitte podaje, że 31% osób w wieku 18-24 lata już posługuje się odciskiem palca korzystając ze swojego telefonu, a z końcem 2017 r. w użyciu było już miliard telefonów z czytnikami linii papilarnych. Należy zatem spodziewać się rozpowszechnienia biometrii już nie tylko jako prostej metody logowania (np. odciskiem palca), ale również w formie potwierdzania transakcji finansowych, jak np. w aplikacji PeoPay Banku Pekao S.A. W niedalekiej przyszłości w bankowości mobilnej z pewnością możliwe będzie także wykorzystanie biometrii do otwierania rachunków czy korzystania z ofert produktowych (np. kredytu gotówkowego) poprzez akceptację odciskiem palca, FaceID czy skanem siatkówki oka.

Innym interesującym kierunkiem rozwoju w *mobile* są rozwiązania, które wykraczają poza zwyczajowe Top 3 aktywności klientów w kanale mobilnym (sprawdzenie salda, historii i przelew). Banki coraz częściej wprowadzają do kanału mobilnego funkcje umożliwiające zawieranie umów na odległość na jedno „tapnięcie” (np. oferty Klik Gotówka czy Klik Karta w bankowości mobilnej Banku Pekao). Obecnie są to głównie oferty prekalkulowane, ale z biegiem czasu możemy spodziewać się także ofert standardowych. Coraz popularniejsze są także zintegrowane z rachunkiem narzędzia do zarządzania kontem (Analiza finansowa w bankowości mobilnej Banku Pekao). Możemy zatem spodziewać się, że kolejnym krokiem będzie szersze wykorzystanie tych narzędzi do predykcji i podpowiadania klientom nie tylko nadchodzących płatności, ale także udzielanie porad związanych z finansami (np. propozycja założenia lokaty z wolnych środków, które pozostaną do dyspozycji przy prognozowanej dynamice wpływów i wydatków). Najbliższe lata mogą także przynieść popularyzację rozwiązań opartych o geolokalizację, takich jak spersonalizowane powiadomienia o ofertach, np. podczas pobytu za granicą propozycja skorzystania z ubezpieczenia turystycznego czy podczas płatności w sklepie informacja o dostępnejniżce. Zwiększy się także zapotrzebowanie na przelewy w czasie rzeczywistym. Klienci przyzwyczajeni do dostępności usług banku "tu i teraz" będą także oczekiwać natychmiastowej realizacji przelewu (analogicznie jak dzisiaj transfery na telefon).

Mechanizmy wykorzystywane w bankowości mobilnej (internetowej) mogą zostać (z bardzo dużym prawdopodobieństwem zostaną) wykorzystane na rynku wschodzącym (1) energii elektrycznej. Już teraz popularne są aplikacje informujące o chwilowym zużyciu energii elektrycznej w budynku, a także pozwalające sterować zdalnie (z telefonu) odbiornikami (IoT).

Tak jak i dostęp do danych billingowych (rachunków), profili i bilansów zużycia (produkcji) udostępnianych przez operatorów OSD. Dalszym krokiem jest zaimplementowanie mechanizmów prognozowania behawioralnych zachowań związanych z korzystaniem z energii elektrycznej docelowo stosowanych w algorytmach zarządczych.

Blockchain (inteligentne transakcje, infrastruktura transakcyjna). Wykorzystanie technologii blockchain zostało szeroko opisane w dwunastym Raporcie BŻEP [1]. Natomiast w sektorze finansów i bankowości stosowanie tej technologii wygląda następująco. W ostatnich latach szereg branż, w tym finansowa, z coraz większym zainteresowaniem przyglądają się technologii rozproszonego rejestru (DLT – *Distributed Ledger Technology*), a w szczególności blockchain (łańcuch bloków) czyli tzw. rozproszonemu rejestrowi. Technologia ta kojarzona jest głównie z kryptowalutami takimi jak bitcoin, jednak jej zastosowanie jest dużo szersze. Blockchain to sposób kodowania informacji, który zapewnia najwyższy poziom bezpieczeństwa: raz zakodowany wpis pozostaje w rejestrze na zawsze, a zapis nie może być usunięty ani sfalszowany. Dzieje się tak dlatego, że w systemie łańcucha bloków te same informacje zapisywane są u wszystkich uczestników. Potencjał blockchain potwierdza fakt, że na świecie prowadzone są liczne prace nad możliwościami jego wykorzystania zarówno w sektorze prywatnym, jak i przez państwa (np. w Dubaju rozważane jest wprowadzenie rejestru gruntów w technologii blockchain). Zastosowania DLT są szerokie: od rejestrów, w których ważny jest nie tylko stan bieżący, ale historia zmian (np. rejestry gruntów i nieruchomości, księgi wieczyste, księgi rachunkowe) po tzw. inteligentne kontrakty (*smart contracts*). Te ostatnie oznaczają informatyczny protokół, który automatycznie uruchamia zdefiniowane z góry procesy bez udziału „trzeciej strony”. Także wiele banków i innych firm rozliczających transakcje jest zainteresowanych DLT i prowadzi szereg badań nad możliwością implementacji tej technologii. Przykładem może być konsorcjum R3CEV – innowacyjnej firmy koncentrującej się na budowaniu i wzmacnianiu nowej generacji globalnej technologii usług finansowych. Członkowie założyciele to: Barclays, BBVA, Commonwealth Bank of Australia, Credit Suisse, Goldman Sachs, J.P. Morgan, Royal Bank of Scotland, State Street oraz UBS, co powoduje, że jest to jedno z największych konsorcjów blockchain. W Polsce zainteresowanie potencjalnym wykorzystaniem rozproszonego rejestru wyraża m.in. Bank Pekao S.A.

Zastosowanie DLT w bankowości rozpatruje się w kilku aspektach. Przede wszystkim celem obniżenia kosztów rozliczeń dokonywanych w ramach istniejącej infrastruktury rozliczeniowej, poszukując sposobów przyspieszenia rozliczeń i obniżenia ich kosztów. W rozproszonych rejestrach pokłada się także nadzieję na obniżenie kosztów związanych z procesami obiegu dokumentacji, rozliczeń na rynku kapitałowym, transakcji wewnątrz międzynarodowych grup itp. Blockchain potencjalnie pozwoli instytucjom finansowym przede wszystkim na znaczną poprawę efektywności w obszarach, gdzie występuje wiele etapów kontrolnych wymagających potwierdzenia i weryfikacji danych. Ewentualne zastosowanie w bankowości obejmuje także transakcje wymiany walut i przelewy międzynarodowe (eliminacja banków pośredniczących). Patrząc szerzej i dalej technologia ta może zmienić sposób funkcjonowania giełd papierów wartościowych i instrumentów pochodnych,

zmniejszając potrzebę istnienia ogniw pośrednich (maklerzy, back-office) w ramach rozliczania transakcji.

Sztuczna inteligencja. Obecnie sztuczna inteligencja, to głównie technologie zdolne wykonać konkretne zadania używając zaawansowanych algorytmów typu *deep learning*, jak i innych technik zależnych od scenariusza użycia. Taką SI określamy mianem Artificial Narrow Intelligence (ANI, inaczej nazywane Weak AI / Słabym SI) i to właśnie ona jest dzisiaj najmocniej osadzona w naszym codziennym życiu. ANI to chociażby chatboty na Facebook’u czy wirtualni asystenci, np. w aplikacji Google Allo, które co prawda w rozmowie do złudzenia przypominają człowieka, ale nie są zdolne do wykonania zadań poza zakresem, do którego zostały powołane. W bankowości można je głównie spotkać w obsłudze klienta na stronach korporacyjnych – portalach banków (np. wirtualny asystent w Swedbank).

Największych nadziei w rozwoju SI, a tym samym w powszechnym jej zastosowaniu upatruje się w związku z tzw. machine learning, którego celem jest stworzenie automatycznego systemu potrafiącego doskonalić się przy pomocy zgromadzonego doświadczenia (czyli danych) i nabywania na tej podstawie nowej wiedzy. Zaawansowane systemy SI wymagają dużej ilości danych, aby mogły się uczyć, dlatego też chociaż sama koncepcja sztucznej inteligencji ma już ok. 60 lat to dopiero Big Data umożliwiło przełom w tej technologii. Dzięki konwergencji zaawansowanej analityki z dostępem do ogromnej ilości danych przy bardzo niskich kosztach przechowywania i zastosowaniu uczenia maszynowego możemy dzisiaj mówić o istotnym potencjale SI.

W środowisku bankowym nadzieje związane z SI są wysokie. Banki chcą wykorzystać dane i analizy, aby stać się doradcą i partnerem dla klientów, dzięki budowaniu interakcji, które wykraczają poza proste transakcje. Celem jest stworzenie doświadczenia, które zwiększa wartość i pomaga osiągnąć sukces finansowy. Dlatego też banki dostrzegają w SI duży potencjał w tym obszarze i aż 77% ich dyrektorów spodziewa się, że SI będzie znaczącą zmianą lub całkowitą transformacją dla bankowości w ciągu najbliższych trzech lat.^[6] SI pozwoli bowiem zrozumieć nie tylko to, czego klient chce i co komunikuje, ale też pozwoli zidentyfikować to, czego jeszcze nawet klient sam nie wie. Dzięki ulepszonym, zindywidualizowanym interakcjom z klientami spodziewana jest większa generacja przychodów. Im więcej potrzeb możemy przewidzieć, tym więcej możemy zaoferować klientom. Dla instytucji finansowych SI jest także szansą na drastyczną poprawę efektywności, zarządzania ryzykiem, detekcji fraudów a także obsługi klienta. Potencjału SI upatruje się także w tzw. Investment Predictions – era robo-doradztwa w doradztwie finansowym – w tym obszarze SI daje możliwość sięgnięcia po środki małych i średnich inwestorów, którzy to chcą inwestować w bezpieczne instrumenty.

Rynek wschodzący (1) energii elektrycznej zdominowany jest przez transakcje pakietowe, które znów wymagają precyzyjnej predykcji zachowań odbiorców i przeniesienie jej na prognozy bilansów i profili energetycznych. W tym obszarze niezbędne jest wykorzystanie technologii sztucznej inteligencji pozwalającej na przetwarzanie bardzo dużej ilości danych, nie tylko liczbowych (np. opisowe prognozy pogody).

TERMINALE DOSTĘPOWE

Terminale STD są potencjalnie przeznaczone dla wszystkich aktywnych współużytkowników sieci elektroenergetycznych rynku wschodzącego (1), tj. aktywnych odbiorców, prosumentów, spółdzielni energetycznych, klastrów, a także WME i inwestorów NI. W zależności od typu użytkownika sieci, różne mogą być lokalizacje i rodzaje terminali dostępowych.

Dla aktywnego odbiorcy objętego rzeczywistą osłoną OK terminal dostępowy będzie zainstalowany w punkcie PPE (punkt poboru energii), w którym prowadzone są pomiary zużycia energii elektrycznej i w którym styka się inteligentna infrastruktura odbiorcy z siecią publiczną. Oprócz pomiarów i komunikacji, terminal taki będzie mógł przykładowo pełnić funkcje terminalu prepaid, dostarczać odbiorcy informacji dotyczących bieżących cen energii elektrycznej, zalecanych ograniczeń w poborze mocy odbiorcy (np. ich przekroczenie może skutkować objęciem pobieranej energii innym planem taryfowym) itd. Dla odbiorców objętych wirtualną osłoną OK terminal dostępowy również służy do wymiany informacji, ale również pełni rolę transformacji obszarów niespójnych topologicznie (rozproszonych w strukturze sieciowej) do obowiązujących rozwiązań (regulacji) na rynku energii elektrycznej.

Głównym celem stosowania terminali dostępowych jest „wyjście” inteligentnej infrastruktury osłony kontrolnej na rynek usług i transakcji energii elektrycznej, a także wirtualizacja rynku. Inteligentna infrastruktura funkcjonująca w obszarze osłony OK bez łączności ze „światem” (rynkem usług energetycznych) może jedynie pełnić lokalną funkcję zarządzania energią poprzez zautomatyzowanie pracy urządzeń. Również rynek usług energetycznych bez możliwości dwukierunkowej komunikacji z odbiorcami/prosumentami i inwestorami NI będzie tylko obserwatorem dyktującym ceny. Terminal dostępowy ma zadanie umożliwić realizację wystawiania ofert zakupu i sprzedaży określonych wolumenów energii w bardziej lub mniej, określonym czasie na każdej osłonie kontrolnej.

Lokalizacja terminali dostępowych (w/na osłonach OK)

Terminale dostępne osłon kontrolnych w docelowej postaci stworzą bardzo rozległą sieć urządzeń wysyłających i pobierających informacje. Biorąc pod uwagę, że większość przesyłanych danych to dane typu wrażliwego, a także posiadające wysoki priorytet dostarczenia w określonym czasie, struktura sieci komunikacyjnej powinna być maksymalnie uproszczona. Dlatego też proponuje się na początek strukturę wielopoziomową (rys. 3), w której terminale dostępne nie muszą być widoczne w całej sieci, ale tylko w swojej gałęzi. Agregację danych z rzeczywistych terminali dostępowych (w postaci układów licznikowo-pomiarowych instalowanych w punktach poboru energii) realizują terminale węzłowe i następnie terminale wirtualne.

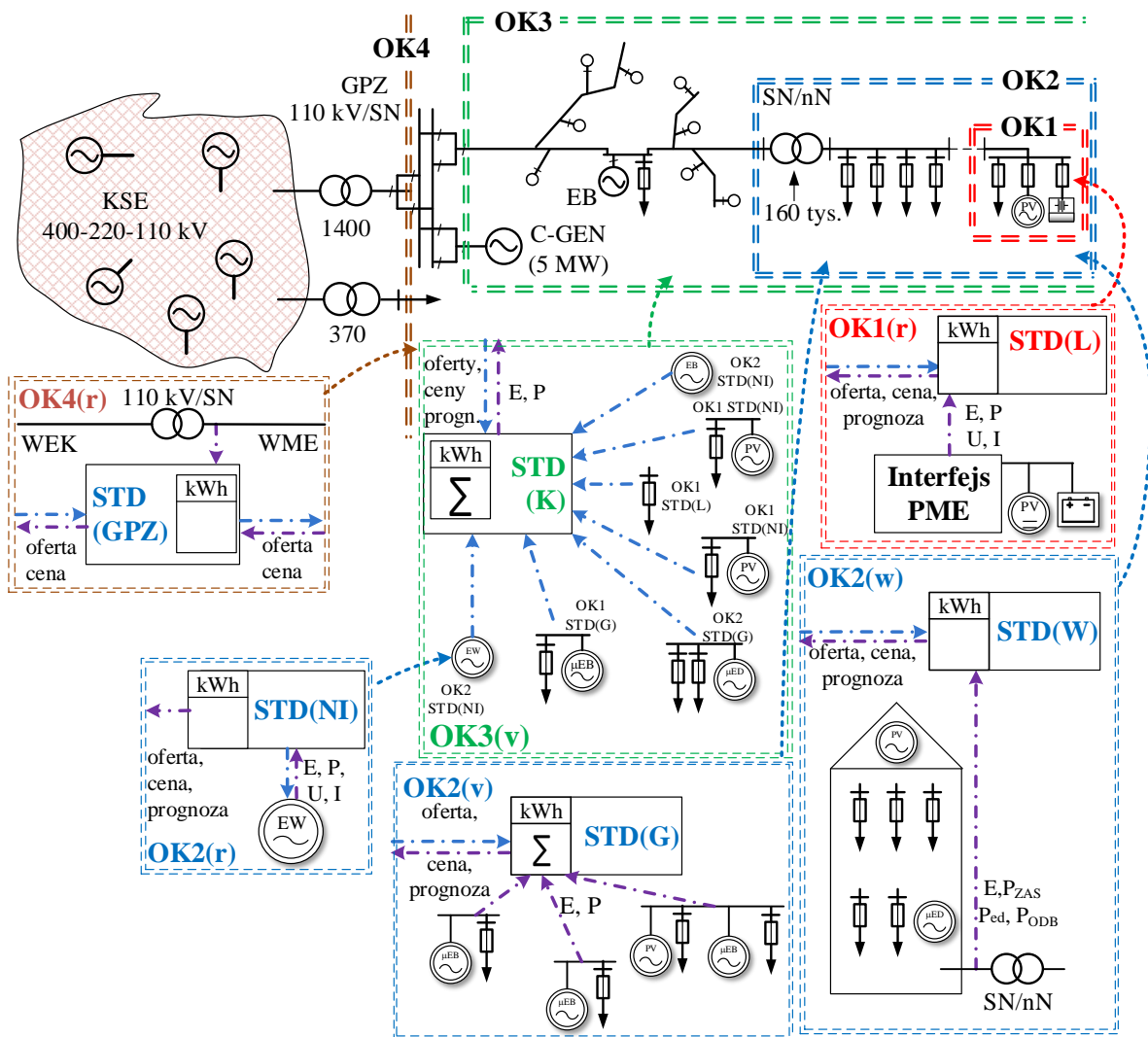
Tab. 1. Przyporządkowanie terminali STD i ich funkcjonalności do osłon OK.

	Funkcjonalności terminali STD (systemy hardwarowo-sofwarowe)	
	ZOK(E, P)	ZOS(I, U)
OK1(r) OK1 (L) OK1 (P) OK1 (W) OK1 (U)	układ pomiarowo-licznikowy w punkcie przyłączenia odbiorcy/ PME do sieci nN, kontrola profilu mocy i bilansu energii, kontrola ceny energii i realizacja ofert kupna i sprzedaży energii elektrycznej, mikrotransakcje pakietowe	kontrola obciążeń długo terminowych i dynamicznych, kontrola parametrów zwarciovych, zabezpieczenie nad i podnapięciowe, zabezpieczenie nadprądowe, kontrola zaniku napięcia i pracy wyspowej,
OK2(r) OK2 (P) OK2 (G) OK2 (U)	układ pomiarowo-licznikowy w punkcie przyłączenia odbiorcy/PME do sieci SN (gospodarstwo rolne, przedsiębiorstwo), kontrola profilu mocy i bilansu energii, kontrola ceny energii i realizacją ofert kupna i sprzedaży energii elektrycznej, mikrotransakcje pakietowe	kontrola obciążeń długo terminowych i dynamicznych, kontrola parametrów zwarciovych, zabezpieczenie nad i podnapięciowe, zabezpieczenie nadprądowe, kontrola zaniku napięcia i pracy wyspowej,
OK2(r) OK2 (NI)	układ pomiarowo-licznikowy w punkcie przyłączenia wytwórcy energii do sieci SN (elektrownia wiatrowa, biogazownia, ...), kontrola nad profilem mocy i bilansem energii, usługi regulacyjne, kontrola nad ceną energii i realizacją ofert sprzedaży energii elektrycznej	kontrola obciążeń długo terminowych i dynamicznych, kontrola parametrów zwarciovych źródeł, zabezpieczenie nad i podnapięciowe, zabezpieczenie nadprądowe, kontrola zaniku napięcia i pracy wyspowej,
OK2(w) OK2 (S)	układ pomiarowo-licznikowy w węźle przyłączenia grupy odbiorców/PME do stacji SN/nN (spółdzielnie mieszkaniowe, zwarta zabudowa miejska), kontrola profilu mocy i bilansu energii, agregacja mikrotransakcji w oferty bilansowe zakupy/sprzedaży	kontrola obciążeń długo terminowych i dynamicznych, kontrola parametrów zwarciovych, zabezpieczenie nad i podnapięciowe, zabezpieczenie nadprądowe, kontrola zaniku napięcia i pracy wyspowej,
OK2(v) OK2 (S) OK2 (G)	programowy (wirtualny) układ pomiarowo-licznikowy będący sumatorem indywidualnych układów pomiarowo-licznikowych (OK1 i OK2) rozproszonych odbiorców/PME (na obszarze Spółdzielni energetycznej), kontrola profilu mocy i bilansu energii, kontrola cen energii, realizacja ofert transakcji spółdzielni	
OK3(v) OK3 (K) OK3 (S) OK3 (E) OK3 (WME)	programowy (wirtualny) układ pomiarowo-licznikowy będący sumatorem indywidualnych układów pomiarowo-licznikowych (OK1 i OK2) rozproszonych odbiorców/PME (na obszarze KE lub WME), kontrola profilu mocy i bilansu energii, kontrola cen energii, realizacja ofert transakcji operatora KE lub WME	
OK4(r) OK4 (GPZ)	układ pomiarowo-licznikowy w GPZ, kontrola profilu mocy i bilansu energii, kontrola cen energii, realizacja transakcji pomiędzy WME, a WEK	kontrola przepływów i obciążalności linii SN, realizacja zabezpieczeń, kontrola parametrów jakościowych energii elektrycznej dla wysp energetycznych

OK4(v)	usługi regulacyjno-bilansujące WEK
OK4 (+)	
OK4 (-)	

Struktury hardwarowe terminali dostępnych

Na rys. 6 została przedstawiona przykładowa (nie wyczerpująca możliwych kombinacji konfiguracji osłon OK i terminali STD) infrastruktura techniczna (terminale STD), w których realizowana jest wymiana informacji. Infrastruktura ta jest związana funkcjonalnościami opisanymi w tab. 1, oraz z warstwą komunikacyjną przedstawioną na rys. 3. Warstwa softwarowa (algorytmy) terminali STD odpowiedzialna jest, poza wymianą informacji pomiędzy osłonami OK, za kontrolę obciążeń, sterownie odbiornikami i źródłami (w reakcji na sygnały) aż do wystawiania ofert na rynku.



Rys. 6. Rzeczywista infrastruktura techniczna w obszarze wymiany informacji rynku wchodzącego (1).

Rodzaje i funkcjonalności wybranych terminali dostępowych

Odnosząc się do danych z tab. 1. i rys. 6 terminale dostępne (STD) powiązane są z trzema typami osłon kontrolnych opisanych wyżej i w zależności od pełnionej funkcji, funkcjonalności będą się różnić w szerokim zakresie.

Terminal dostępowy na rzeczywistej osłonie OK(r) – fizyczne urządzenia instalowane typowo w punktach PPE, które mogą udostępniać swoje usługi odbiorcom, dostawcom energii, agregatorom (spółdzielnie, systemy WME), a także operatorom sieci. Do jego funkcjonalności można zaliczyć:

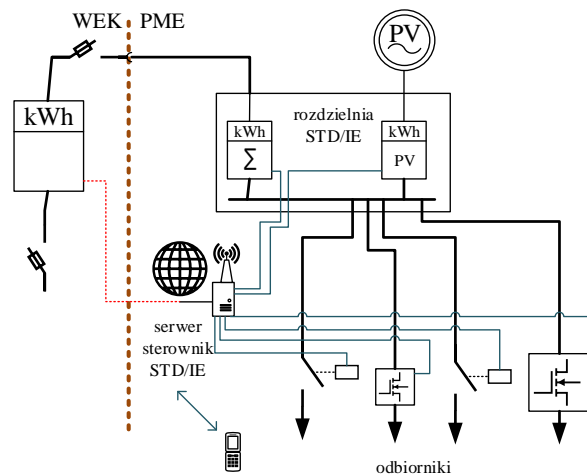
- prowadzenie zdalnych odczytów danych pomiarowych w czasie zbliżonym do rzeczywistego (w celach rozliczeniowych i zarządzania obszarami bilansowania),
- udostępnianie odbiorcom informacji o bieżących i prognozowanych cenach energii elektrycznej,
- udostępnianie użytkownikom sygnałów zarządzania popytem - dla odpowiednich usług sieciowych obejmujących np. możliwość kształtowania lub ograniczania profilu poboru z wykorzystaniem technologii Internetu Rzeczy, przekształtników i zasobników akumulatorowych,
- kontrolę dostępu do sieci (np. dla usług typu prepaid, transakcji pakietowych, usług zarządzania ograniczeniami sieciowymi),
- umożliwienie pakietowego handlu energią.

Terminal dostępowy na węzłowej osłonie kontrolnej OK(w) – fizyczne urządzenia instalowane na styku węzłowej osłony kontrolnej i sieci publicznej. Podstawową funkcjonalnością węzłowych terminali dostępowych jest prowadzenie bieżących odczytów przepływu energii pomiędzy osłoną kontrolną, a siecią publiczną oraz parametrów pracy sieci i udostępnienie ich systemowi informatycznemu zarządzającemu bilansowaniem osłony kontrolnej. Funkcjonalności terminali STD na osłonie OK(w) są podobne do funkcjonalności STD na OK(r), lecz monitorowane parametry obejmują większy fragment sieci elektroenergetycznej (instalację wewnętrzną węzłowej osłony kontrolnej), a docelowym odbiorcą danych jest system zarządzający osłoną kontrolną (np. zarządca spółdzielni mieszkaniowej). Zarządca terminalu na osłonie OK(w) bierze na siebie odpowiedzialność za realizację bilansowania i rozliczeń z podlegającymi mu użytkownikami.

Terminal dostępowy na wirtualnej osłonie kontrolnej OK(v) – interfejs wymiany danych pomiędzy WME, klastrem KE, spółdzielnią, a zewnętrznymi dostawcami i odbiorcami energii, usługa systemu teleinformatycznego zarządzającego wirtualną osłoną kontrolną OK(v) wykorzystującą bieżące dane pomiarowe pobierane z indywidualnych lub węzłowych terminali dostępowych znajdujących się wewnątrz wirtualnej osłony kontrolnej.

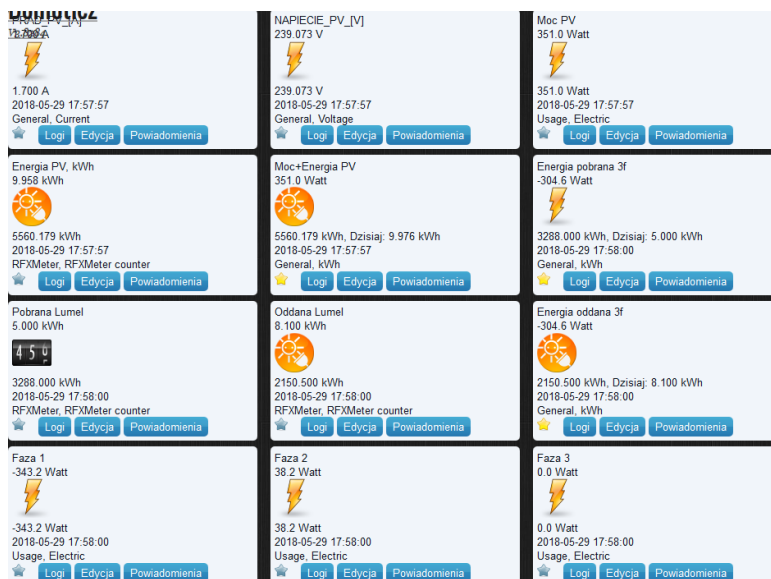
Przykład terminalu STD dla domu jednorodzinnego

Struktura terminalu dostępowego (wyposażenia hardwarowo-sofwarowego) będzie zależała od platformy prawno-regulacyjnej, mianowicie urządzenia oraz oprogramowanie (lokalne jak i sieciowe/chmurowe) będzie musiało spełniać wymagania określonych standardów (będzie podlegać certyfikacji). Jednak na podstawie dotychczas rozwijanych definicji i opisów (dotychczasowe Raporty BPEP i BŻEP) można już przedstawić strukturę terminalu STD. Na rys. 7 pokazano propozycję, istniejącej struktury terminalu STD i sprzężonej z nim inteligentnej infrastruktury dla domu jednorodzinnego wyposażonego w źródło PV. Linia przerywaną brązową zaznaczono podział własności i odpowiedzialności pomiędzy WEK i PME. Czerwoną przerywaną linią pokazano jeszcze nieistniejące (lub istniejące w bardzo ograniczonym zakresie, ograniczonym tylko do monitoringu wskazań układów licznikowych) połączenie z rynkiem ofert WEK. Granice te i połączenia pomiędzy EP-NI i WEK są symboliczne. Jak zaznaczono wcześniej, pokazana propozycja jest strukturą rzeczywistą i spełnia swoje zadanie w zakresie monitoringu i zarządzania energią elektryczną w domu jednorodzinnym, mianowicie algorytm zarządzający opiera się głównie na zmiennej cenie energii źródła OZE uwzględniając obowiązujące regulacje prawne (Ustawa OZE i *net metering*).



Rys. 7. Propozycja struktury terminalu sieciowego i inteligentnej infrastruktury dla domu jednorodzinnego

Docelowe, realizowane przez terminal dostępowy funkcjonalności wydają się bardzo złożone i skomplikowane, jednak z punktu widzenia użytkownika nie powinny być trudniejsze od obsługi współczesnego telefonu komórkowego (smartfonu), którego funkcjonalność daleko wybiegła poza połączenia telekomunikacyjne. I tak w istocie jest, ponieważ dostępne technologie internetowe oraz mobilne pozwalają już realizować wszystkie funkcjonalności niezbędne do utworzenia terminalu dostępowego.



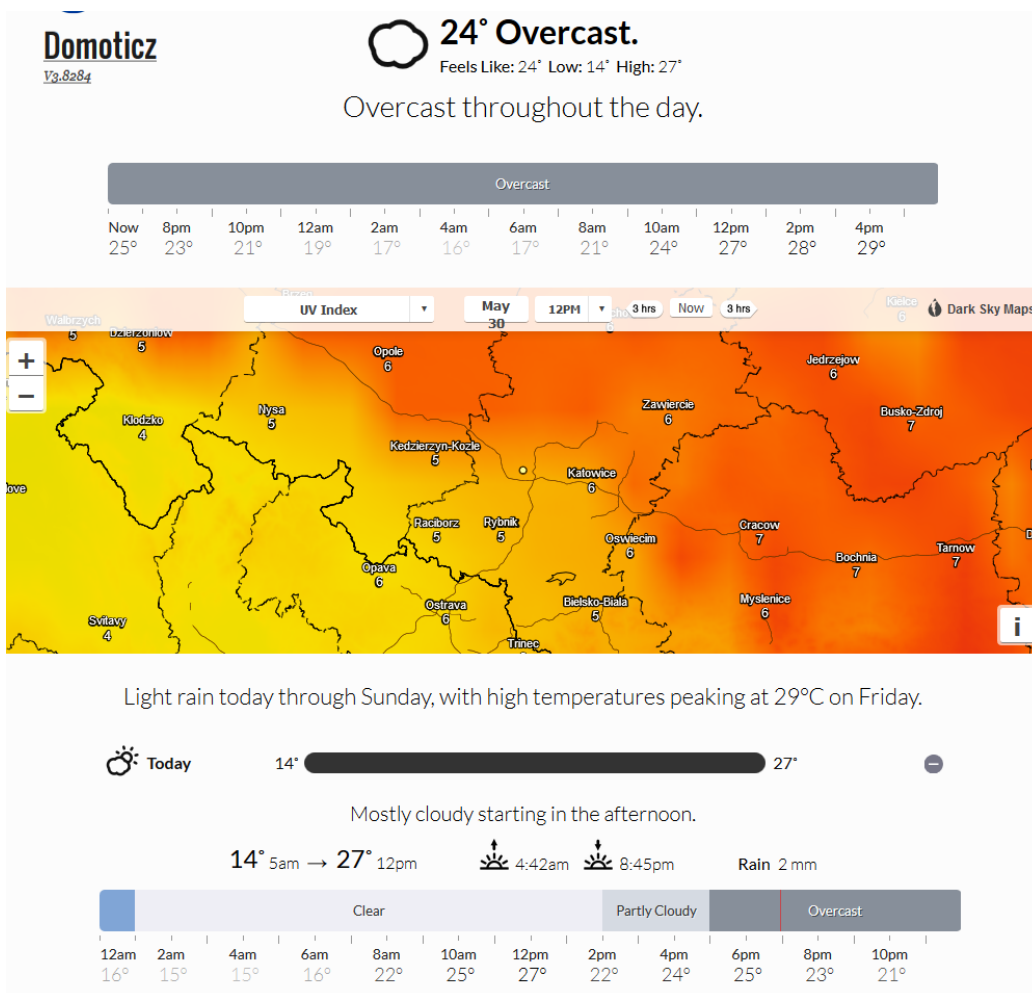
Rys. 8. Panel monitora liczników energii i pomiaru mocy, napięcia i prądu w terminalu STD (system Domoticz)

Pomijając warstwę sprzętową, dostępne są programy/systemy informatyczne, które można wykorzystać do budowy terminalu STD. Przykładem jest system Domoticz (dostępny na zasadzie licencji open source, umożliwiającej dowolne skalowanie systemu i jego wirtualizację), [7]. System ten w obecnej postaci, z punktu widzenia funkcjonalności terminalu STD, umożliwia przede wszystkim obsługę układów licznikowo-pomiarowych, a dostęp do zmierzonych wartości chwilowych (rys. 8) bądź danych zarejestrowanych w formie profili (rys. 9) jest realizowany w usłudze www oraz aplikacji mobilnej. Takie rozwiązanie uniezależnia system informatyczny od warstwy sprzętowej.



Rys. 9. Monitor tygodniowych profili generacji PV i monitor napięcia w sieci (wizualizacja aplikacji www Domoticz)

Pokazane przykładowe możliwości darmowego systemu wskazują, że za pomocą typowego układu licznikowo-pomiarowego można zrealizować nie tylko monitoring i rejestrację parametrów energetycznych, ale również parametrów elektrycznych wchodzących w skład zarządzania ograniczeniami sieciowymi.

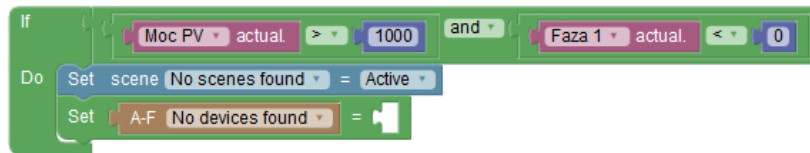


Rys. 10. Prognoza pogody dla lokalizacji geograficznej terminalu dostępowego

Dostępne w obecnej postaci darmowe (lub płatne, dostarczane przez producentów BMS) systemy informatyczne do monitorowania i zarządzania energią muszą zostać dostosowane do realizacji funkcjonalności terminali dostępowych. Jest tak z dwóch powodów, mianowicie rozwiązania te spełniają obecnie warunki techniczne wystarczające dla gadżetów, ponieważ posiadają mnóstwo funkcji, które są zbędne dla terminali dostępowych, a przez to stają się podatne na włamania elektroniczne. Drugi powód wynika z pierwszego, mianowicie rozwiązania te należy w pierwszej kolejności certyfikować w zakresie standardów komunikacyjnych i bezpieczeństwa (które dla terminali STD jeszcze nie istnieją). Niemniej jednak, jak każdy nowy produkt przeznaczony dla szerokiego społeczeństwa internetowego i mobilnego, ma szansę zostać dostosowany dzięki nieograniczonemu dostępowi i możliwości testowania. Na rys. 10 pokazano przykład

funkcjonalności nieprzydatnej, w obecnej postaci, dla terminalu STD. Jest to mianowicie dostęp do prognozy pogody, w tym przypadku prognozy promieniowania słonecznego w postaci indeksu UV. Z punktu widzenia zarządzania osłoną OK niezbędna jest informacja o prognozie generacji ze źródła OZE, czyli konieczne jest zaimplementowanie modelu przekształcającego dostępne dane numeryczne prognozy pogody na prognozę generacji.

Kolejnym etapem rozwoju inteligentnej infrastruktury połączonej z terminalami STD jest oddanie użytkownikowi możliwości programowania i dostosowania systemu informatycznego PME do własnych potrzeb.



Rys. 11. Tworzenie programów sterujących inteligentną infrastrukturą w systemie Domoticz

Może to wydawać się w tej chwili nieracjonalne, ponieważ inteligentna infrastruktura i terminale dostępne mają zadanie „umaszynować” procesy transakcyjne, to jednak pokolenie świata technologii mobilnych tworzy wciąż nowe informatyczne gadżety posiadające coraz to użyteczniejsze funkcje. Na rys. 11 pokazano przykład okna graficznego programowania sterownika automatyki domowej sprzęgniętego z układem licznikowo-pomiarowym. Nie trzeba w tym przypadku znać struktury technicznej sieci ani również skomplikowanego języka programowania, aby dostosować układ sterowania do własnych potrzeb zwiększając efektywność wykorzystania lokalnego źródła OZE.

PRZYKŁADY MINISYSTEMÓW WME

Raport odwołuje się do dwóch bardzo odmiennych minisystemów WME, ilustrujących całkowicie odmienne środowiska podmiotowe (ludzkie/społeczne), technologiczne (źródła wytwórcze, odbiory/zapotrzebowanie).

Konsolidowanie platform wirtualnych

Jeszcze kilka lat temu stan systemów teleinformatycznych nie pozwalał na wdrażanie na masową skalę zdalnych odczytów pracujących w czasie zbliżonym do rzeczywistego. W ostatnich latach znacząco zwiększyły się zarówno pojemności pamięci masowych, jak i poprawiła się infrastruktura oraz przepustowość sieci Internet – duży nacisk kładziony jest na udostępnianie treści multimedialnych, co powoduje potrzebę dalszego zwiększania przepustowości sieci. Tak duży i szybki postęp umożliwia całkowitą zmianę funkcjonowania dotychczasowego rynku energii elektrycznej, pozwalając na odejście od sztywnych taryf i odczytów urządzeń pomiarowych raz lub kilka razy do roku i przejście do odczytów w czasie rzeczywistym z dynamicznym taryfowaniem energii w zależności od zapotrzebowania i bieżącego miksu generacji ze źródeł wytwórczych. Ilość danych pomiarowych przesyłanych na potrzeby rynku

energii elektrycznej dziś już nikogo nie szokuje, gdyż w porównaniu z danymi przesyłanymi przez inne usługi jest to ilość marginalna.

Tab. 2. Objętość danych w zależności od typu, na przykładzie bazy danych MySQL

Typ danych	Rozmiar (bajty)	Zakres wartości
TINYINT	1	0 - 255 lub od -128 do 127
SMALLINT	2	0 – 65535 lub od -32768 do 32767
INT	4	4294967295 lub od -2147483648 do 4294967295
DOUBLE	8	od -1.7976931348623157E+308 do -2.2250738585072014E-308, 0, od 2.2250738585072014E-308 do 1.7976931348623157E+308.
TIMESTAMP	4	od 1970-01-01 00:00:01 do 2038-01-19 03:14:07

Tab. 2 przedstawia objętość danych różnych typów dla przykładowej bazy MySQL. Dla minimalnej struktury danych umożliwiających rejestrację bieżących pomiarów poboru energii elektrycznej:

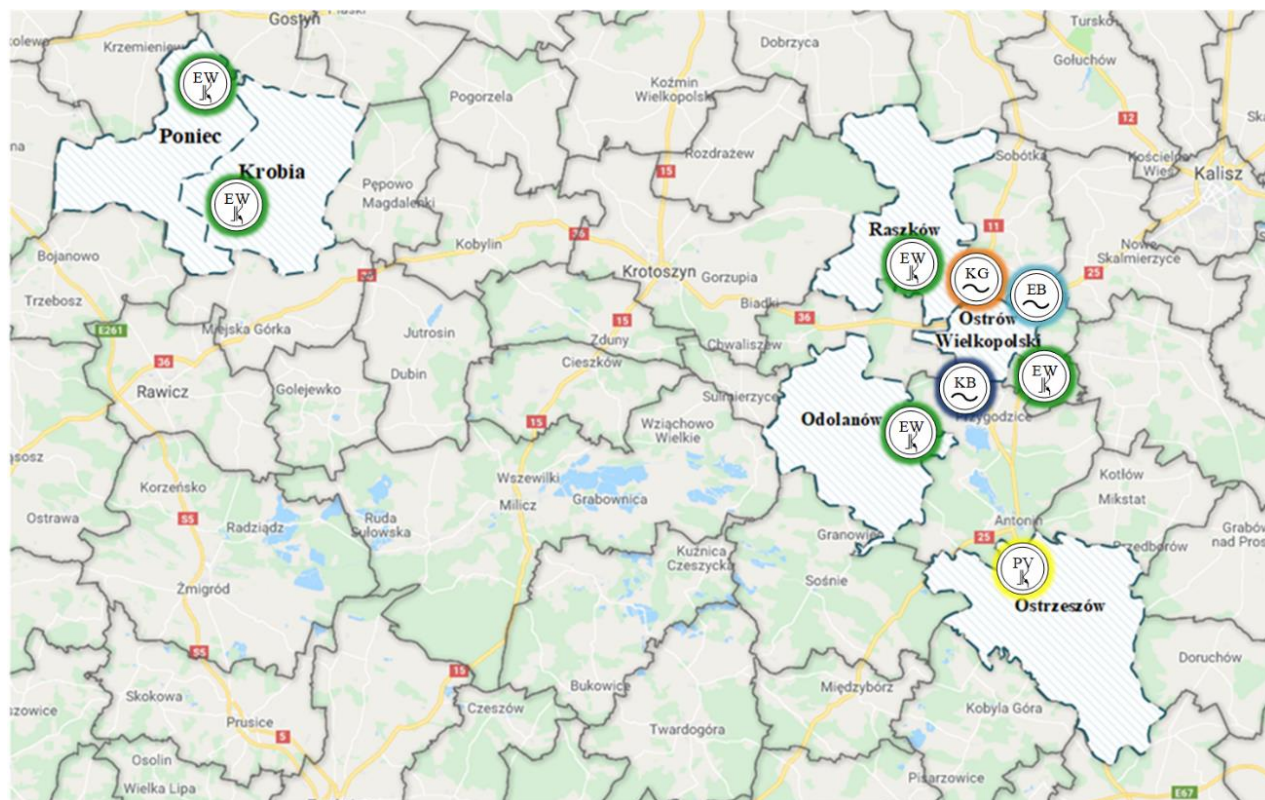
```
odczyty {
    identyfikator_licznika (int),
    czas_pomiaru (timestamp),
    moc_czynna_biezaca (int),
    energia_czynna_narastajaco (int) }
```

można przyjąć, że długość wiersza danych może wynosić około 16 bajtów. Zakładając pomiary w odstępach 1 minutowych (1440 pomiarów na dobę, 525 600 pomiarów rocznie), roczne dane jednego odbiorcy będą zajmować około 10 MB, dla tysiąca odbiorców będzie to około 10 GB, a dla 1 mln odbiorców 10 TB. Obecnie, nawet na rynku konsumenckim, dostępne są pamięci masowe (twarde dyski) o pojemności 10 TB w cenie około 1500 PLN/sztukę (150 PLN/1TB). Zakładając pewne narzuty protokołów transmisji danych, transmisja jednodominutowych danych pomiarowych od jednego odbiorcy będzie wymagała transferów rzędu 100-200kB/dobę (100-200 GB/dobę dla 1 mln odbiorców). Porównując, pojedyncze pobranie strony cire.pl generuje transfer około 850 kB, natomiast pojedyncze odwiedzenie w dniu 2018-05-11 portali wp.pl, gazeta.pl, wnp.pl spowodowało pobranie 1,4 MB, 2,8 MB i 2,9 MB danych odpowiednio.

Niewielkie wymagania dotyczące ilości przesyłanych danych pomiarowych pozwalają na zastosowanie zupełnie innego podejścia do zarządzania energią w systemach rynku wschodzącego, na którym, dzięki rozwiązaniom teleinformatycznym, możliwe jest łatwe i elastyczne tworzenie niezależnych obszarów bilansowania i zarządzania nimi. Na rys. 1 raportu „Wirtualny minisystem elektroenergetyczny” przedstawiono ogólną koncepcję takich obszarów. Możliwe staje się również bieżące monitorowanie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz kompozycja bieżącego profilu wytwarzania na podstawie monitorowania źródeł wytwórczych o pracy wymuszonej i zdalnego zarządzania pozostałymi źródłami. Zarządzanie w czasie rzeczywistym bieżącym miksem energetycznym powinno w tendencji doprowadzić do utworzenia w pełni zbilansowanych obszarów – wysp wirtualnych, niewidocznych z punktu widzenia KDM (raport „Wirtualny minisystem elektroenergetyczny” rys. 2). Projektowanie

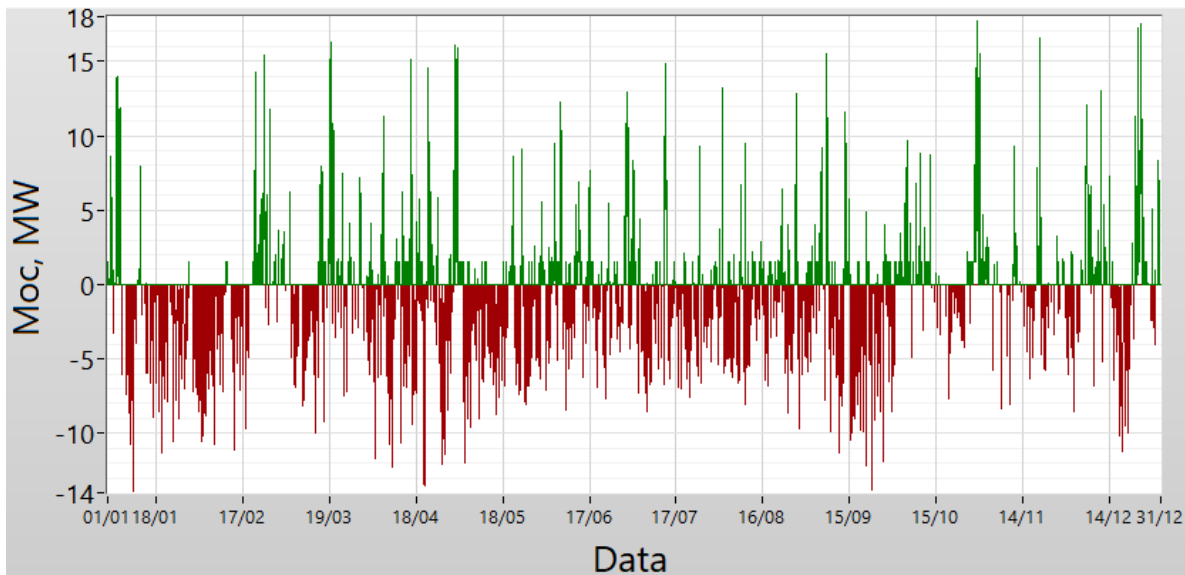
i kompozycja profilu wytwórczego powinna uwzględniać wymagania i możliwości różnego rodzaju technologii wytwórczych – miks energetyczny powinien być zrównoważony, aby w jak najlepszym stopniu wykorzystać zalety różnych technologii wytwarzania. Istotny jest też obszar, w którym znajdują się źródła, szerszy zmniejsza wpływ lokalnych warunków meteorologicznych na profile źródeł o charakterystyce wymuszonej. Możliwość elastycznego tworzenia wirtualnych struktur zademonstrowano na podstawie pracy portalu pvmonitor.pl.

Platforma WME Wielkopolska Południowa SBU. Minisystem WME Wielkopolska Południowa (SBU) obejmuje głównie grupę komunalną (samorządową) CRK, ale również niezależnych inwestorów (NI), sektor MSP, prosumentów (P) oraz gospodarstwa domowe (GD) (szósty Raport BPEP [2]). Na minisystem WME Wielkopolska Południowa (SBU) składają się więc trzy elektrownie wiatrowe (każda o mocy 3 MW) w gminach Krobia i Poniec dalej elektrownie wiatrowe w Ostrowie Wielkopolskim, Raszkowie i Odolanowie, a także źródło PV dużej mocy w Ostrzeszowie. W skład WME wchodzi również istniejące źródła kogeneracyjne gazowe i biogazowe należące do grupy kapitałowej CRK, a dodatkowo źródła, których budowa jest planowana przez grupę CRK (inwestycje będące w fazie projektowej). Skonsolidowany w procesie badawczo-uzgodnieniowym minisystem WME Wielkopolska Południowa (SBU) został przedstawiony na rys. 12.



Rys. 12. WME Wielkopolska Południowa (SBU)
(skonsolidowany w procesie badawczo-uzgodnieniowym w realnym środowisku gospodarczym)

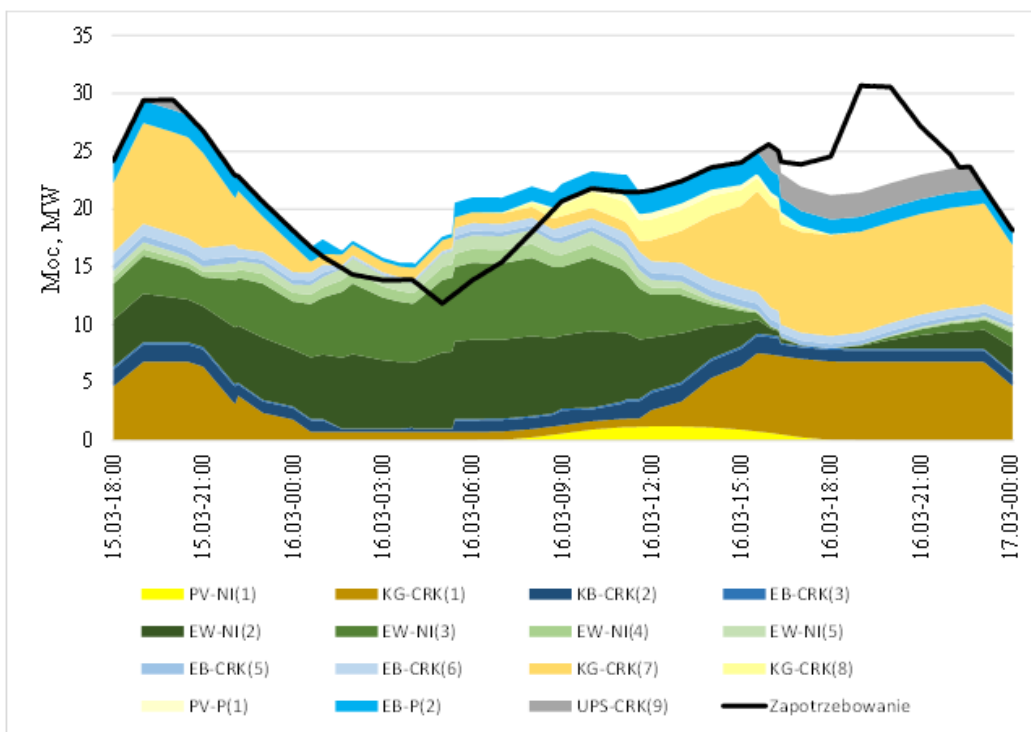
WME Wielkopolska Południowa (SBU) charakteryzuje się rocznym zapotrzebowaniem energii wynoszącym 160 GWh, które w większości jest pokryte za pomocą źródeł wchodzących w skład minisystemu. Na podstawie wyników modelowania (szósty Raport BPEP[2]), wykorzystujących 5-minutowe profile w WME Wielkopolska Południowa (SBU) występuje 6 % deficyt i 5 % nadwyżka o profilu przedstawionym na rys. 13.



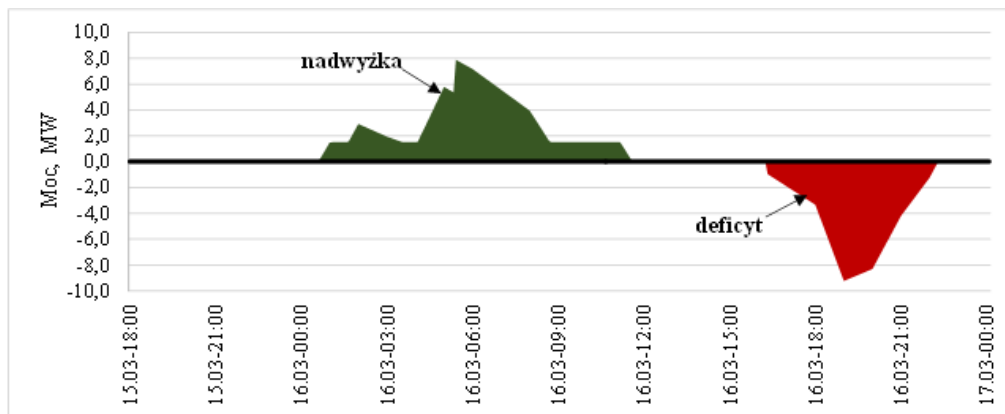
Rys. 13. Roczny bilans mocy dla WME Wielkopolska Południowa (SBU)

W szóstym Raporcie BPEP [2] zamieszczono bilanse energetyczne dla trzech charakterystycznych dni ze względu na produkcję w źródłach wymuszonych (elektrownie wiatrowe), a mianowicie wysoka produkcja (29.01), średnia (11.04) oraz niska (19.07), które zostały obliczone na podstawie rzeczywistych profili i danych podmiotów minisystemu. W niniejszym Raporcie obliczony bilans WME traktowany jest jako prognoza, która została wykorzystana do pokazania tworzenia ofert kupna i sprzedaży energii.

Przykładowe bilanse energetyczne. Prognozowane saldo WME Wielkopolska Południowa (SBU) jest podstawą do wystawienia ofert kupna (deficyt) oraz sprzedaży (nadwyżka) energii. Przykładowym dniem, w którym występuje zarówno nadwyżka (wynikająca z założeń algorytmu sterownia źródłami) jak i deficyt jest 16 marzec. W tym dniu występuje duża zmienność produkcji w elektrowniach wiatrowych, która dodatkowo jest odwrotnie skorelowana w stosunku do zapotrzebowania. Mianowicie, w okresie niskiego zapotrzebowania od północy do godziny 8:00 (rys. 14), produkcja w źródłach wiatrowych jest duża (występuje nadwyżka) natomiast w okresie największego zapotrzebowania w godzinach 18:00 do 21:00 produkcja w elektrowniach wiatrowych jest bliska zeru (występuje deficyt).



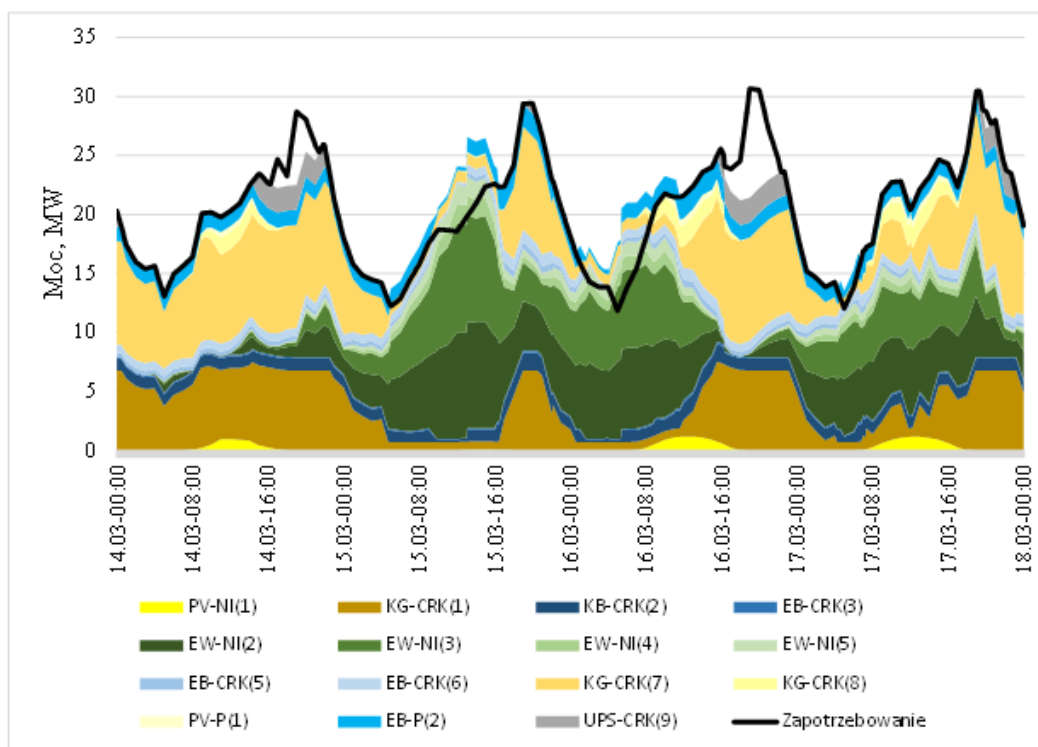
Rys. 14. Struktura wytwórcza w WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 15 i 16 marzec



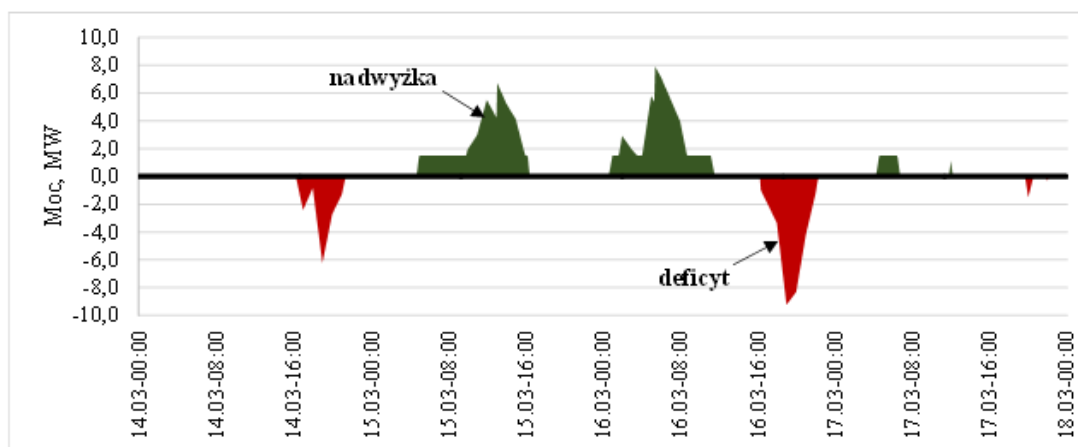
Rys. 15. Bilans energii dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 15 i 16 marzec

Ze względu na to, że nadwyżka w WME zaczyna się od północy, na rys. 14 i 15 pokazano dodatkowo sześć godzin 15 marca (18:00 do 24:00) w tym czasie minisystem jest zbilansowany i możliwe jest wystawienie oferty sprzedaży energii. Wybrany okres (16 marzec) może zostać rozszerzony tak, żeby można było prześledzić bilans energii w dłuższym okresie dla przykładu od 14 do 17 marca (rys. 16, 17). W tym okresie występują zarówno nadwyżki jak i deficyty energii. Okres ten został również wybrany dlatego, żeby zasygnalizować możliwość planowania zapotrzebowania dla WME tj. na podstawie prognozy produkcji a w szczególności prognozowanych deficytów i ograniczyć zapotrzebowanie energii w tym okresie. Przesunięcie obciążenia może być realizowane m. in. za pomocą dwóch mechanizmów, po pierwsze sygnału

cenowego, który obowiązuje w WME i tworzy zachęty dla pobierania energii w okresach niskiej ceny, po drugie wykorzystując mechanizm *net meteringu* dla prosumentów, ale również odbiorców, którzy mogą np. przenieść swoją produkcję, lub ograniczyć zużycie. Należy podkreślić, że w analizowanym okresie, deficyty występują tylko przez kilka godzin (10 h) a ich moc nie przekracza 9 MW, co stanowi około 25 % maksymalnej mocy WME. Nie jest więc zagrożone bezpieczeństwo energetyczne, chociaż deficyt ten może wiązać się z kosztami np. ograniczeniem produkcji w sytuacji kiedy nie można wykorzystać *backupu* z KSE.

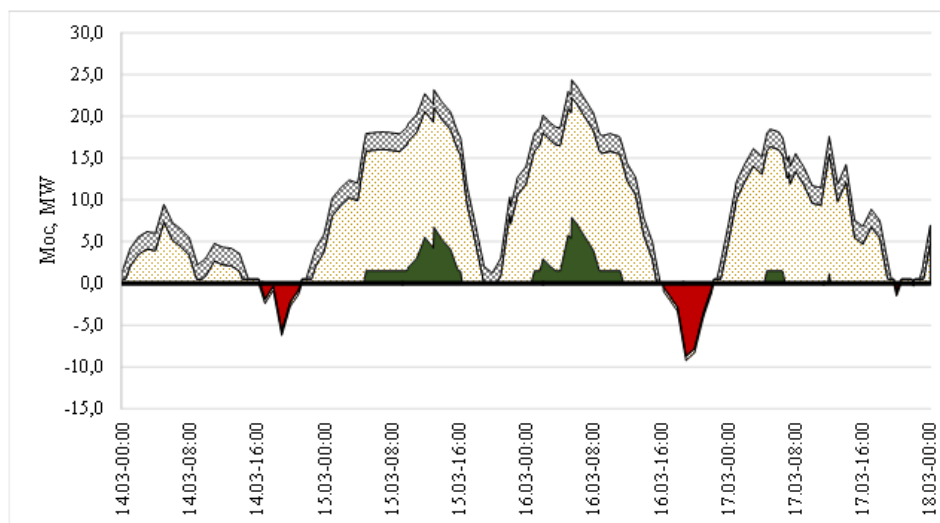


Rys. 16. Struktura wytwórcza w WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 17 marzec



Rys. 17. Bilans energii dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 17 marzec

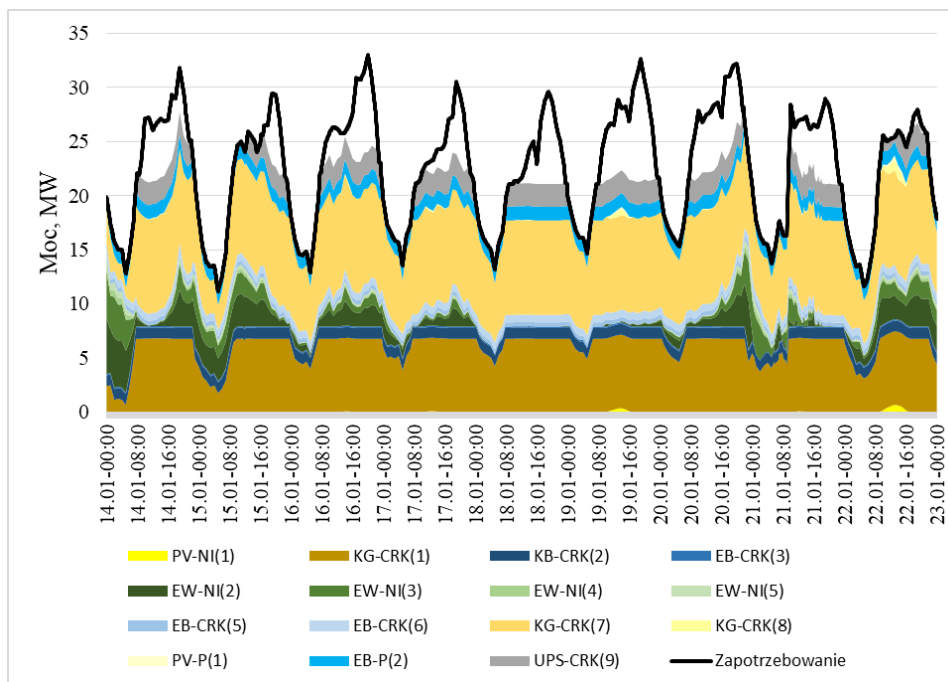
W kontekście deficytów energii dla WME należy jeszcze rozpatrzyć możliwość wykorzystania potencjału produkcji w kogeneracyjnych źródłach gazowych oraz UPS-ach (rys. 18). Moc elektryczna tych źródeł jest powiązana z produkcją ciepła chociaż zastosowany algorytm (szósty Raport BPEP [2]) uwzględnia ich (tych źródeł) możliwości regulacyjno-bilansujące. Związane jest to oczywiście ze zwiększeniem się kosztów wytwarzania energii elektrycznej, ale pozwala na bardziej elastyczne bilansowanie minisystemu WME. Należy podkreślić, że wykorzystanie potencjału produkcji KG pozwala na zdecydowanie łatwiejsze zarządzanie odbiorami, ponieważ odbiorca nie musi czekać na energię pochodzącą ze źródeł wymuszonych. Energia ta jest dostępna właściwie zaraz gdy skończy się deficyt (rys. 18)



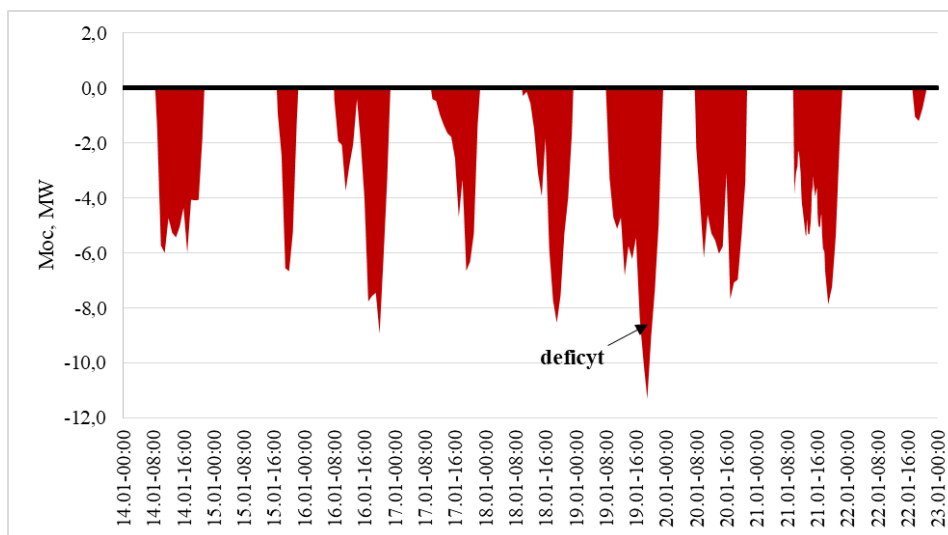
Rys. 18. Bilans energii wraz z potencjałem produkcji w źródłach gazowych i UPS-ach dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 17 marzec

Analiza sytuacji długotrwałej (kilka dni) ograniczonej produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną.

Analizowane dotychczas w piątym i ósmym Raporcie cyklu BŻEP [1] oraz w trzecim i piątym Raporcie cyklu BPEP [2] klastry energetyczne oraz minisystemy WME, w których zapotrzebowanie w całości było pokrywane za pomocą źródeł OZE, charakteryzowały się trudnościami w bilansowaniu w sytuacji, gdy produkcja w źródłach z produkcją wymuszoną była bliska zeru. Inaczej jest w minisystemie WME Wielkopolska Południowa (SBU), w którym istnieją kogeneracyjne źródła gazowe. Dla zilustrowania problemu na rys. 19 pokazano strukturę wytwórczą w okresie gdzie przez siedem dni z rzędu, produkcja w źródłach PV oraz elektrowniach wiatrowych jest bardzo mała (14 do 22 stycznia, rys. 19). W minisystemie WME nie występują nadwyżki, tylko deficyt trwający kilka godzin, każdego dnia (rys. 20)



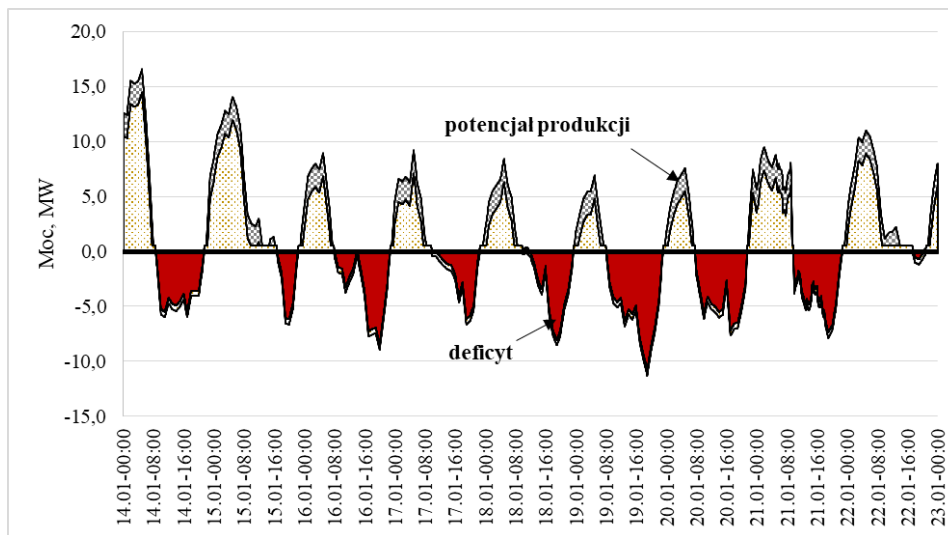
Rys. 19. Struktura wytwórcza w WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 22 styczeń



Rys. 20. Bilans energii dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 22 styczeń

Jeżeli jednak do bilansu energii doloży się możliwość wykorzystania potencjału produkcji źródeł kogeneracyjnych oraz UPS-ów (rys. 21), okazuje się, że WME bilansuje się, pod względem energii w każdym dniu. Stanowi to sygnał o tym, że istnieje duży potencjał kształtowania profilu zapotrzebowania (przenoszenia produkcji). Dodatkowo w analizowanym okresie (14 do 22 stycznia) deficyt wyniósł 450 MWh, a potencjał produkcji 680 MWh, saldo energii jest więc

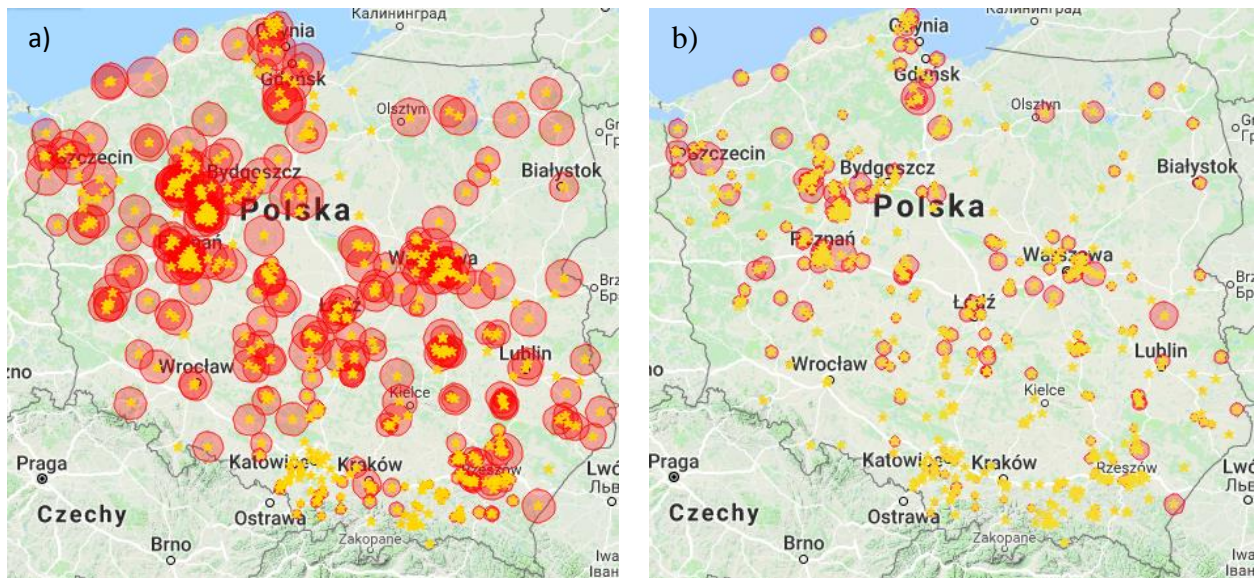
dodatnie. Należy również podkreślić, że maksymalna moc deficytu nie przekroczyła 12 MW, więc w całym okresie dostępne jest 2/3 mocy maksymalnej WME.



Rys. 21. Bilans energii wraz z potencjałem produkcji w źródłach gazowych i UPS-ach dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 14 do 22 styczeń

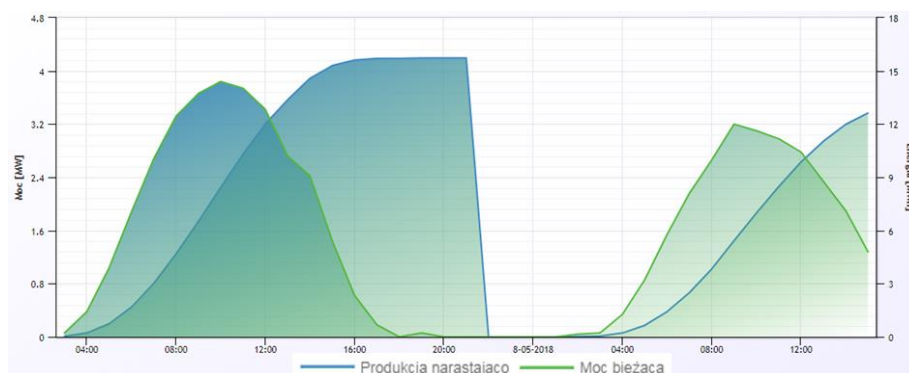
Platforma WME pvmonitor.pl. Platforma pvmonitor.pl powstała w odpowiedzi na potrzeby pojawiającej się w 2014 r. grupy prosumentów indywidualnych na bazie kapitału społecznego, jako oddolna inicjatywa prosumentów wymieniających swoje doświadczenia poprzez społecznościowe portale internetowe (elektroda.pl). Celem funkcjonowania platformy jest umożliwienie wizualizacji pracy różnego rodzaju instalacji w czasie zbliżonym do rzeczywistego, z wykorzystaniem dowolnych technologii pomiarowych z których korzystają prosumenci (inwertery, liczniki, sterowniki specjalizowane, czy też na bazie Raspberry PI, Arduino, itd.), lecz również umożliwienie zastosowanie dedykowanego niskobudżetowego urządzenia. Istotą była integracja dowolnych technologii akwizycji pomiarów na jednej platformie wizualizacyjnej. Do podstawowych rejestrowanych parametrów instalacji PV zaliczono energię, prąd i napięcia AC, DC, temperaturę, czy sprawność inwertera. Na dalszym etapie rozwoju zaimplementowano możliwość rejestracji zużycia energii elektrycznej monitorowanej na styku z siecią publiczną - w punkcie PPE, lecz również zużycia energii przez różne urządzenia, jak np. pompy ciepła, zasobniki c.w.u, bufory itd., co pozwoliło prosumentom, lecz również i tradycyjnym odbiorcom, na raportowanie i kontrolę przepływów energii w ich instalacjach. Umożliwiono również rejestrację generacji z innych źródeł wytwórczych, jak np. wiatrowych, a także rejestrację typowych danych pomiarowych, jak np. parametrów pracy pomp ciepła, rekuperatora, solarów, temperatur zewnętrznej, pomieszczeń, i wiele innych. Dalszy rozwój portalu umożliwił rejestrację dowolnych parametrów pomiarowych, nawet takich jak ciśnienie, czy temperatura w akwarium. Obecnie portal pvmonitor.pl wg. stanu na dzień 2018-05-08 monitorowanych jest 557 aktywnych instalacji PV o łącznej mocy znamionowej przekraczającej 4 MW oraz 176 użytkowników rejestrujących pobór energii elektrycznej. Rys. 22 przedstawia rozproszenie

monitorowanych instalacji PV na terenie kraju. Gwiazdką zostały zaznaczone lokalizacje instalacji, natomiast promień czerwonych okręgów powiązany jest z bieżącą wydajnością generacji źródeł PV.



**Rys. 22. Źródła wytwórcze (577) monitorowane przez system pvmonitor.pl
2018-05-08, a) godz. 13:00, b) godz. 17:50**

Po stronie użytkownika system składa się z urządzeń pomiarowych oraz uproszczonego terminalu dostępowego, który przesyła dane na portal. Niektóre inwertery PV umożliwiają prowadzenie opomiarowania, jak i wysyłki danych na portal pvmonitor.pl, w innych przypadkach konieczne jest zastosowanie dedykowanego lub dowolnego kompatybilnego terminalu STD współpracującego z licznikami energii elektrycznej czy innymi urządzeniami pomiarowymi.

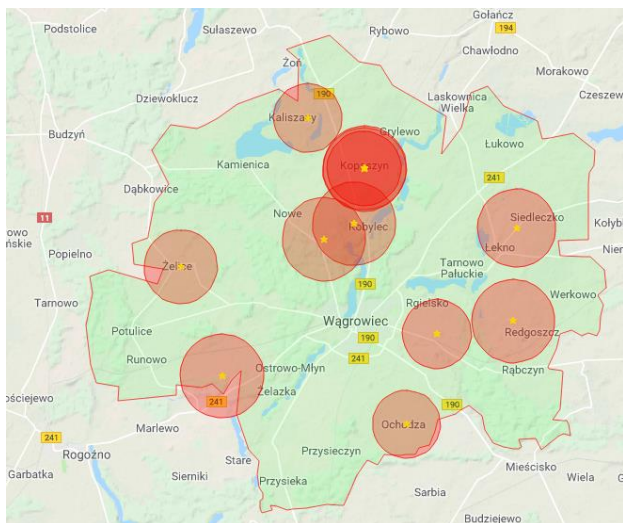


**Rys. 23. Zagregowany profil produkcji monitorowanych instalacji PV
w dniach 2018-05-07 i 2018-05-08**

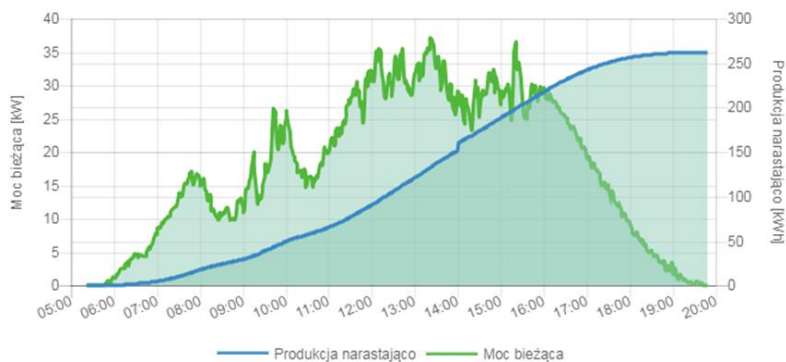
Dedykowany moduł STD, umożliwia prowadzenie odczytów maksymalnie z 3 niezależnych liczników, a ponadto odczyt temperatur oraz sterowanie załączaniem urządzeń np. grzałek lub

pompy ciepła w zależności od bieżącej mocy generacji źródła PV oraz temperatury. Przesyłane dane trafiają do centralnego repozytorium (bazy danych), a następnie prezentowane są na portalu. Rysunek 22 przedstawia zagregowany profil bieżącej mocy źródeł PV wraz z wygenerowaną narastająco energią monitorowanych instalacji w dniach 7-8 maja 2018.

Platforma WME pvmonitor.pl umożliwia elastyczne agregowanie danych zgodnie z preferencjami użytkowników. Przykładowo na rys. 24 przedstawiono źródła wytwórcze monitorowane na terenie gminy Wągrowiec, a rys. 25 przedstawia zagregowany profil generacji energii elektrycznej w tych źródłach w dniu 2018-05-01.

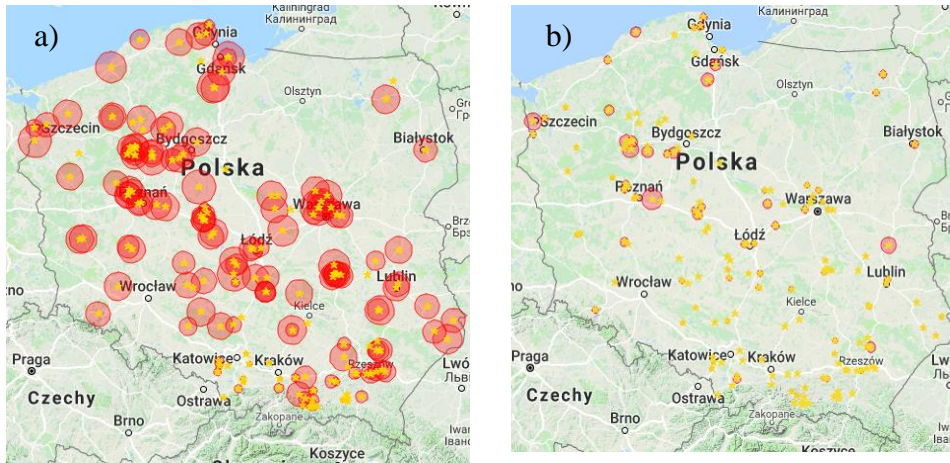


Rys. 24. WME na obszarze gminy Wągrowiec



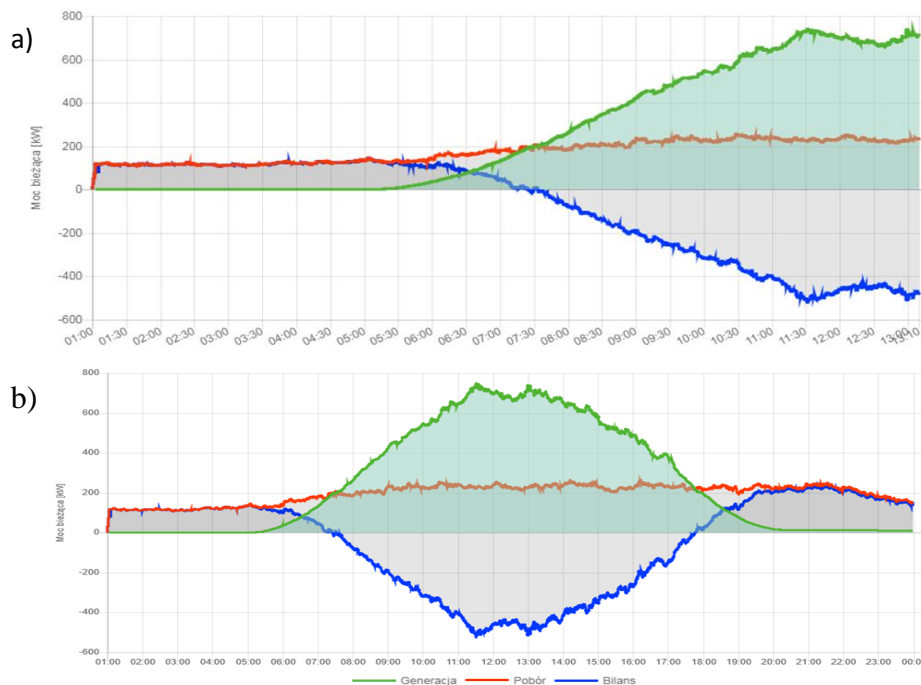
Rys. 25. Zagregowana generacja źródeł gminy Wągrowiec w dniu 2018-05-01

Rejestracja danych o poborze i generacji energii elektrycznej z rozproszonych źródeł wytwórczych umożliwia elastyczne tworzenie systemów WME, w skład których mogą wchodzić wybrani odbiorcy, prosumenci oraz niezależne źródła wytwórcze. Na rys. 26 i 30 pokazano dwa wydzielone mikrosystemy WME pvmonitor.pl: WME(176) składający się ze 176 instalacji prosumenckich rozproszonych na terenie całego kraju oraz WME(26) wydzielony na bazie 26 instalacji prosumenckich zlokalizowanych na południu kraju.

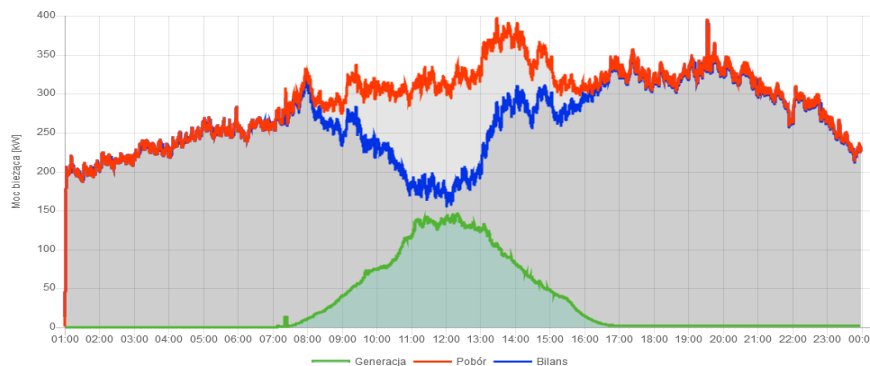


**Rys. 26. Rozproszenie uczestników WME(176) w terenie
2018-05-08 a) godz. 13:06, b) godz. 18:20**

W skład obu mikrosystemów wchodzi instalacje z rejestracją poboru energii oraz fotowoltaiczne źródła wytwórcze. Na rys. 26 przedstawiono generację WME(176) pvmonitor.pl, natomiast rys. 27 przedstawia profil generacji źródeł PV (linia zielona), zapotrzebowanie na energię elektryczną członków wydzielonej grupy WME(176) (kolor czerwony) oraz bieżący bilans (kolor niebieski). Wartości ujemne bilansu oznaczają eksport nadwyżek energii elektrycznej do sieci publicznej. Dane są przetwarzane i zwizualizowane w czasie zbliżonym do rzeczywistego, wykres a) został wykonany o godz. 13:10, wykres b) został wykonany ex post na podstawie danych archiwalnych.

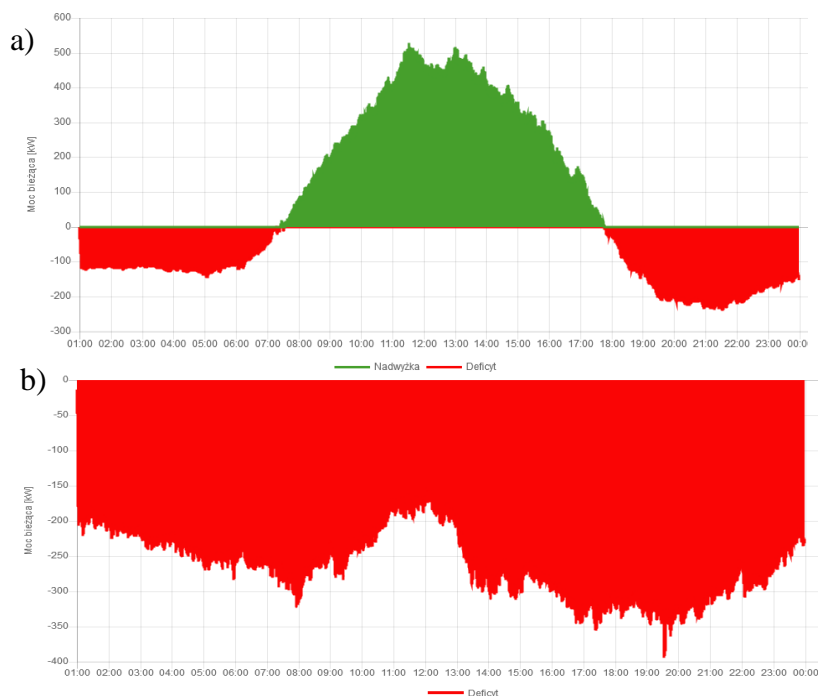


**Rys. 27. Praca WME(176) pvmonitor.pl, dnia 2018-05-08
a) dane zarejestrowane o godz. 13:10, b) cała doba**



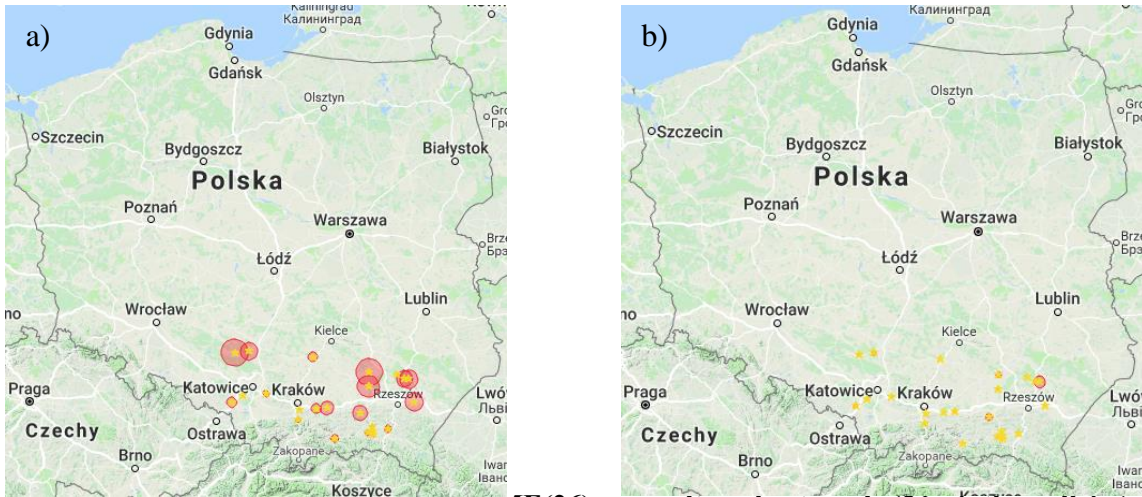
Rys. 28. Profil WME(176) pvmonitor.pl w dniu 2018-02-14

Rysunek 28 przedstawia bilans deficytów i nadwyżek WME(176) pvmonitor.pl występujący w dniach 2018-05-08 oraz 2018-02-14. Na wykresach widać wysokie niebilansowania wynikające z charakterystyki źródeł PV pracujących bez zasobników akumulatorowych.



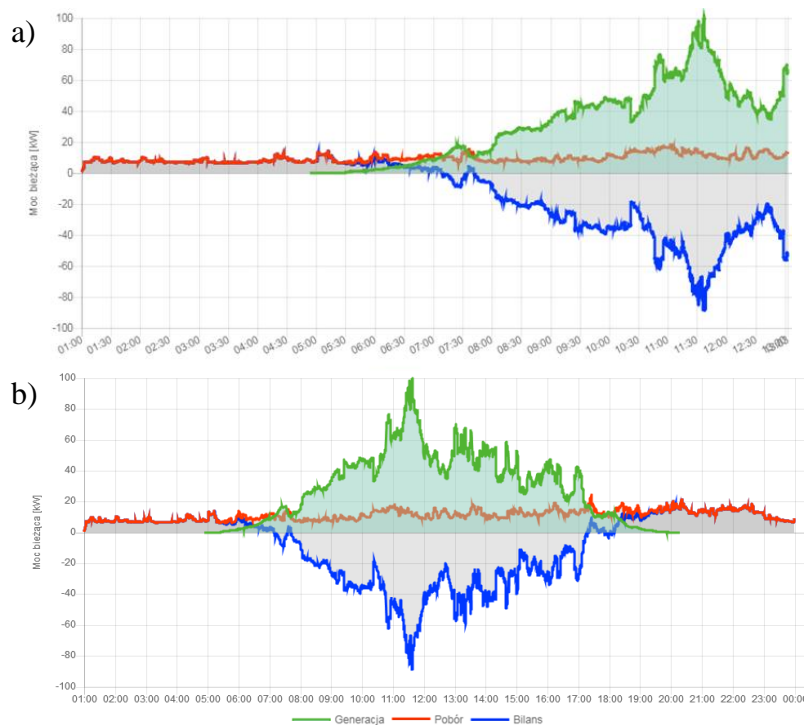
**Rys. 29. Deficyty i nadwyżki energii dla WME(176) pvmonitor.pl (176 użytkowników)
a) w dniu 2018-05-08, b) w dniu 2018-02-14**

Rysunki 29, 30 przedstawiają wydzieloną podgrupę WME(26) użytkowników wraz z ich zagregowanymi profilami. Porównując wykresy generacji źródeł PV znajdujące się na rysunkach 24 i 26 można zaobserwować, że profil generacji instalacji zgrupowanych na mniejszym terytorium powoduje większe wahania mocy generacji związane z lokalnymi warunkami meteorologicznymi.



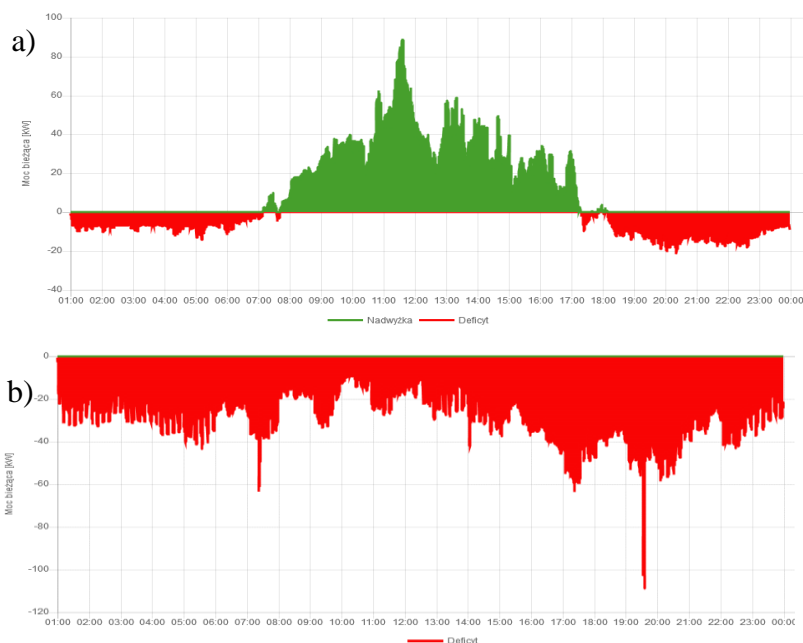
Rys. 30. Rozproszenie uczestników WME(26) pvmonitor.pl w terenie (26 użytkowników) dnia 2018-05-08 a) godz. 12:55, b) godz. 18:25

Rozproszenie źródeł PV na większym obszarze – całego kraju (rys. 25) powoduje to, że wpływ lokalnych warunków meteorologicznych na generację źródeł wytwórczych znacząco się zmniejsza. Zmniejszenie liczebności grupy wchodzącej w skład WME(26) powoduje wzrost wariancji mocy zarówno dla poboru, jak i generacji, natomiast dla grupy WME(176) profil poboru jest wygładzony.



Rys. 31. Praca WME(23) pvmonitor.pl w dniu 2018-05-08 a) dane zarejestrowane o godz. 13:03, b) cała doba

Przedstawione profile nie są zbilansowane, gdyż uwzględniają tylko źródła fotowoltaiczne bez magazynów energii, a pobór odbiorców jest naturalny. Źródła PV są dobrane przez poszczególnych prosumentów z uwzględnieniem net-meteringu, a liczba odbiorców bez własnych źródeł wytwórczych jest niewielka. Można powiedzieć, że przytoczone 3 przykłady grupują prosumentów, źródła i odbiorców w dosyć przypadkowy sposób, lecz celem opracowania nie jest przedstawienie zbilansowanego miksu energetycznego dla WME (ten cel został szeroko opisany w poprzednich Raportach BPEP), lecz łatwości tworzenia takich systemów z wykorzystaniem dostępnych technologii i bardzo ograniczonych środków finansowych.



Rys. 32. Deficyty i nadwyżki energii dla WME(26) pvmonitor.pl (26 użytkowników)
a) w dniu 2018-05-08, b) w dniu 2018-02-14

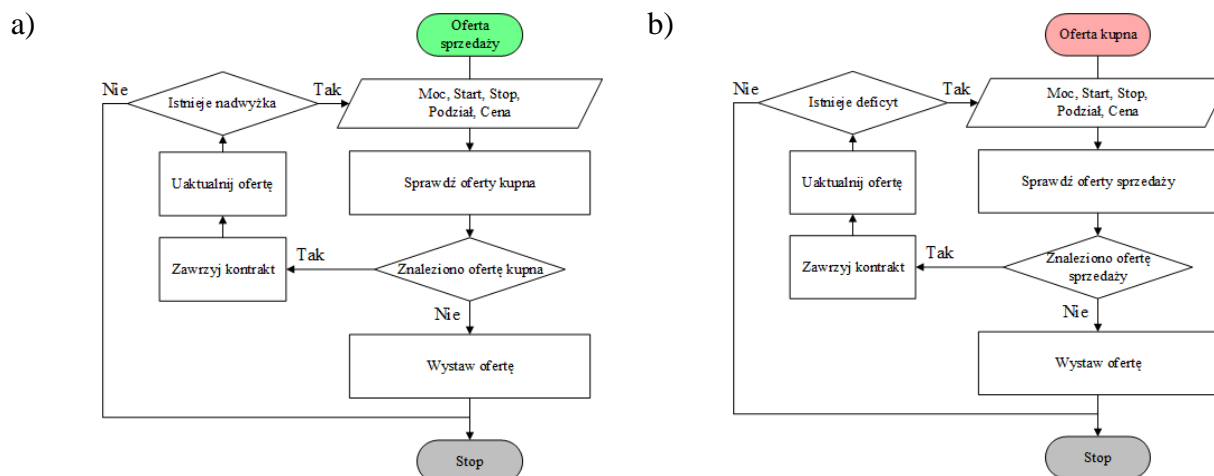
Wystawianie ofert na terminalach STD

Wykorzystując źródła wytwórcze o charakterze wymuszonym (PV, wiatrowych) nie można wykluczyć okresów nadprodukcji energii elektrycznej w obszarach funkcjonowania WME. Taka nadwyżka nie stanowi żadnego problemu, gdyż w każdej chwili można ograniczyć moc źródeł, lecz takie podejście jest nieracjonalne ze względów ekonomicznych. Dużo lepszym rozwiązaniem jest sprzedaż nadwyżek energii, np. za pomocą transakcji pakietowych (co oznacza nowy rodzaj rynku energii). Podstawą takiego rynku są systemy teleinformatyczne umożliwiające szybkie zawieranie transakcji dostawy energii elektrycznej za pośrednictwem sieci Internet z wykorzystaniem rozliczeń np. w technologii Blockchain lub innej, umożliwiającej szybkie i tanie operowanie mikropłatnościami. Postępująca dzięki wsparciu nowych technologii „uberyzacja” sprawi, że tak jak w przypadku towarów innego rodzaju, podobnie na rynku energii elektrycznej będzie powstawało wiele konkurencyjnych platform obrotu energią, a także

działanie usług porównujących i ułatwiających wyszukiwanie ofert na rozproszonym rynku. Sprzyjać temu będzie rozwój przemysłu 4.0, Internetu Rzeczy lecz również zasobników akumulatorowych. W takim środowisku będzie mógł się wykształcić pakietowy obrót energią pozwalający na zaspokojenie różnych potrzeb po jak najniższych cenach, mogą to być potrzeby związane przykładowo z uruchomieniem zautomatyzowanej produkcji na linii produkcyjnej w celu wyprodukowania serii produktów, naładowaniem zasobników akumulatorowych, samochodów elektrycznych, zakumulowaniem pakietu ciepła, czy też z uzupełnieniem planowanych niedoborów energii z innych źródeł (np. gazowych) gdy wskażą na to prognozy generacji ze źródeł wymuszonych w obszarze funkcjonowania WME (alternatywa dla planowanego dziś rynku mocy). Charakterystyczne dla rynku pakietowego będą możliwości zakupu energii w różnych cenach, w różnym czasie, wygenerowanej przez źródła różnego rodzaju - np. PV, czy wiatrowe w okresach sprzyjającej pogody, biogazowe, gazowe w okresach deficytów ze źródeł o charakterystyce wymuszonej. Główną jednostką wymiany energii będą pakiety lub grupy pakietów, a handel nimi będzie uwzględniał nie tylko możliwości źródeł i odbiorców, lecz również fizyczne ograniczenia sieciowe. Transakcje zawierane na rynku dostaw pakietowych mogą być prowadzone w czterech etapach: 1) wyboru lub negocjacji oferty, 2) zawarcia transakcji, 3) dostawy energii, 4) rozliczenia końcowego. Na pierwszym etapie dostawcy (tj. nie osoby fizyczne, czy przedsiębiorcy, lecz STD nadzorujące pracę źródeł wytwórczych u poszczególnych dostawców energii) na podstawie prognoz i własnych ustawień przygotowują oferty dostawy energii elektrycznej, które są publicznie dostępne na platformie handlu elektronicznego. W parametrach ofert oprócz ceny mogą znaleźć się inne parametry oferty, jak np. minimalny i maksymalny rozmiar pakietu energii, maksymalna moc poboru, godziny ważności oferty itp. Odbiorcy (tj. nie osoby fizyczne, lecz urządzenia STD) zgodnie z ustawionymi kryteriami wyszukiwania wybierają oferty lub prowadzą negocjacje (np. poprzez licytację ceny pakietu energii w górę lub w dół). Następnie wybrane oferty przechodzą do etapu realizacji, a po zakończeniu realizacji dostawy następuje rozliczenie końcowe. Operator NOP nadzoruje urządzenia pomiarowe zainstalowane po stronie dostawcy i odbiorcy, tym samym potwierdza dostawę energii. Opłaty sieciowe pozostają po stronie dostawcy. Zaprojektowanie i wdrożenie tego rodzaju środowiska teleinformatycznego przeznaczonego do handlu energią już dziś jest możliwe – istnieją odpowiednie technologie, które to umożliwiają. Istnieją również odbiorcy, którzy chętnie kupią pakiety energii, jeśli będzie to związane z korzystną ceną (lokalny pobór kojarzony z lokalną dostawą) i elastycznością zawierania transakcji – począwszy od odbiorców indywidualnych, którzy będą mogli w ten sposób np. podgrzać zasobnik z ciepłą wodą, lecz również przedsiębiorcy (przemysł 4.0), którzy będą mogli przygotować wcześniej proces produkcyjny i poczekać na dostawę taniej energii, wykorzystując prognozy generacji energii elektrycznej w lokalnych rozproszonych źródłach wytwórczych.

Transakcje pakietowe wystawiane przez terminale dostępne na platformie WME Wielkopolska Południowa (SBU). Transakcje pakietowe pozwalają na handel energią na rynku wschodzącym. Oferty zakupu i sprzedaży energii wystawiane są na podstawie prognozowanego deficytu i nadwyżki energii (np. rys. 17). Zawarcie kontraktu realizowane jest przez terminal

STD i działa asynchronicznie. W Raporcie przykład działania ofertowania pokazano na podstawie bilansu mocy na wirtualnej osłonie kontrolnej OK3 dla WME Wielkopolska Południowa (SBU), ale podobny mechanizm może zostać wykorzystany do wewnętrznych rozliczeń podmiotów wchodzących w skład minisystemu WME.



Rys. 33. Uproszczony algorytm ofert sprzedaży a) i zakupu b) energii

Uproszczony algorytm sprzedaży oraz zakupu energii (rys. 33) uwzględnia parametry pakietu (Moc, Start, Stop, Podział, Cena). W pierwszej kolejności terminal dostępowy szuka, czy istnieje możliwość zawarcia kontraktu, jeżeli nie, to wystawia ofertę. Należy podkreślić, że prezentowane tutaj algorytmy ofertowania mogą być wystawiana np. za pomocą mechanizmu *Blockchain* (jedenasty Raport cyklu BŻEP [1]) lub innych technologii wymiany informacji.

Składanie oferty, wiąże się z koniecznością przesłania pewnych informacji, w sposób jednoznacznie określający zarówno potrzebną moc (energię) jak i czas w którym jest ona dostępna/potrzebna. Jedną z możliwości jest wystawienie profilu nadwyżki czy deficytu, ale wiąże się to z przesłaniem dużej liczby informacji a dodatkowo oczekiwany profil może nie być akceptowalny dla kontrahenta ze względu na istniejące ograniczenia. Dlatego w Raporcie zaproponowano zawarcie umowy na pakiet energii zdefiniowany za pomocą mocy, oraz czasu. Dodatkowo przewidziano możliwość podziału pakietu (jako opcja), co pozwala na wystawienie bardziej elastycznej oferty. Przykład ramki oferty zamieszczono w tab. 3. Ramka zawiera informacje takie jak:

ID – identyfikator terminalu dostępowego,

numer transakcji – numer identyfikujący transakcję,

moc, kW – dodatnia liczba oznacza sprzedaż, ujemna zakup energii,

start – datę i czas rozpoczęcia kontraktu,

stop – datę i czas końca kontraktu,

podział – informacja, czy pakiet jest podzielny, można sprzedać/kupić część energii,

koniec oferty – data i czas końca oferty,

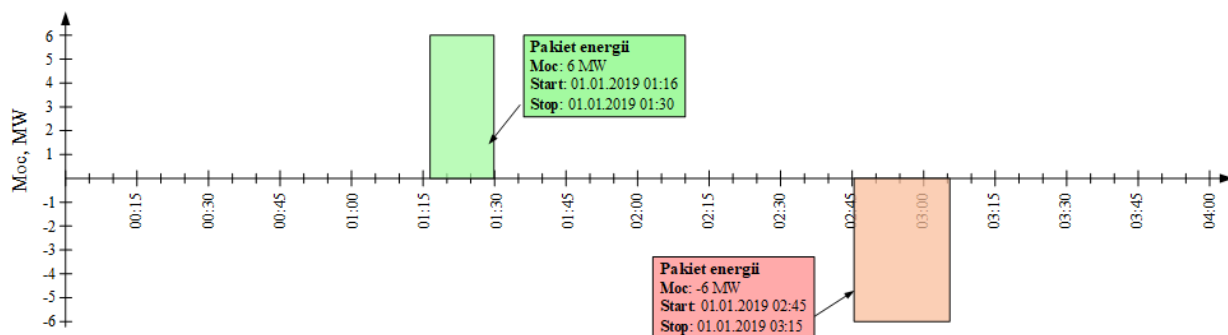
cena, PLN/MWh – cenę zakupu/sprzedaży energii.

Tab. 3. Ramka ofert

ID	Numer transakcji	Moc, kW	Start	Stop	Podział	Koniec oferty	Cena, PLN/MWh
1	1	6	16.03.2017 00:40	16.03.2017 11:16	1	15.03.2017 20:00	250
⋮							

Sposób wystawianie ofert zostanie pokazany na przykładzie oferty sprzedaży i zakupu pakietów energii (rys. 34). W przedstawionych przykładach nie pokazuje się aktu zawarcia kontraktów a jedynie sam mechanizm wystawiania ofert.

W pierwszym przykładzie do sprzedaży dostępna jest nadwyżka energii w pakiecie o parametrach: moc – 6 MW, start – 01.01.2019 godz. 01:16, stop 01.01.2019 godz. 01:30, niepodzielny. Natomiast deficyt, z którym wiąże się oferta zakupowa, występuje w godzinach 02:24 do 03:15 i wynosi -6 MW.



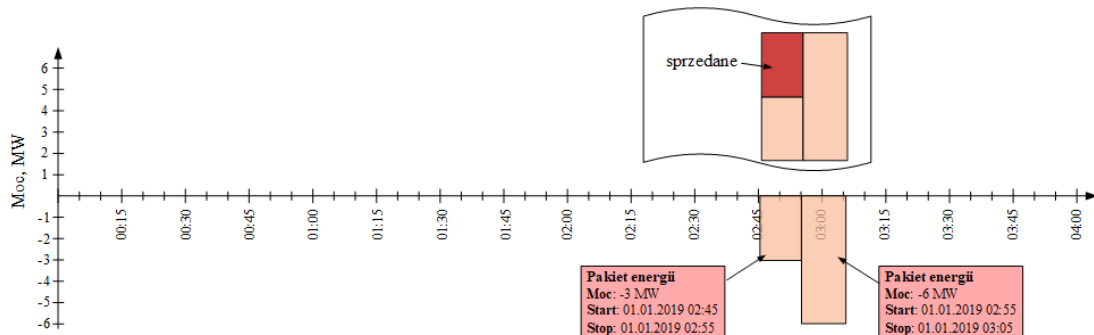
Rys. 34. Przykładowe oferty sprzedaży i zakupu pakietów energii

Oferta sprzedaży pakietu energii ma następującą dynamikę: Oferta została wystawiona o godz. 0:00 z ceną 500 PLN/MWh na 30 minut (tab. 4), a ponieważ nie było zainteresowania ze strony kupujących, cena energii została obniżona do 300 PLN/MWh i ponownie, z niższą ceną, oferta została wystawiona na rynku. Oferta druga znalazła nabywcę. Przykład ten ilustruje uzgadnianie ceny za zakup pakietu.

Tab. 4. Ramka oferty sprzedaży energii

ID	Numer transakcji	Moc, kW	Start	Stop	Podział	Koniec oferty	Cena, PLN/MWh
1	1	6000	01.01.2019 01:16	01.01.2019 01:30	0	01.01.2019 00:30	500
brak oferty ponowne wystawieni z niższą ceną							
1	2	6000	01.01.2019 01:16	01.01.2019 01:30	0	01.01.2019 01:15	300

Oferta zakupu pakietu energii ma z kolei postać: Oferta została wystawiona i znalazł się dostawca który mógł zaoferować tylko część energii. Po otrzymaniu potwierdzenia zawarcia kontraktu na zakup części energii, sieciowy terminal dostępowy wystawił oferty na dwa pozostałe pakiety, które były już niepodzielne (rys. 35). Realizacja wystawiania ofert została zamieszczona w tab. 5.

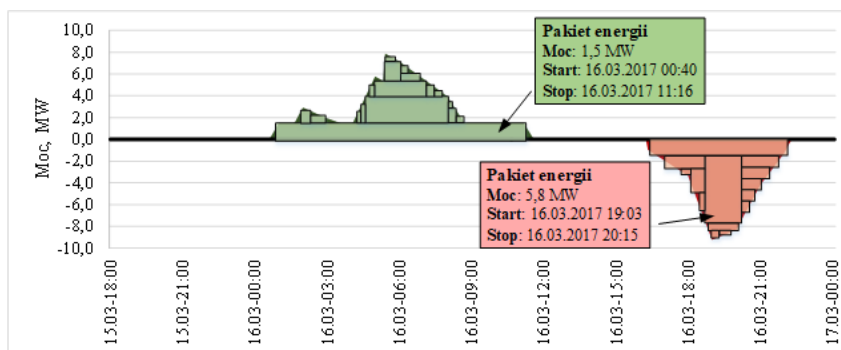


Rys. 35. Przykład ponownego wystawienia pakietów energii po częściowym zakupie

Tab. 5. Ramka oferty zakupu energii

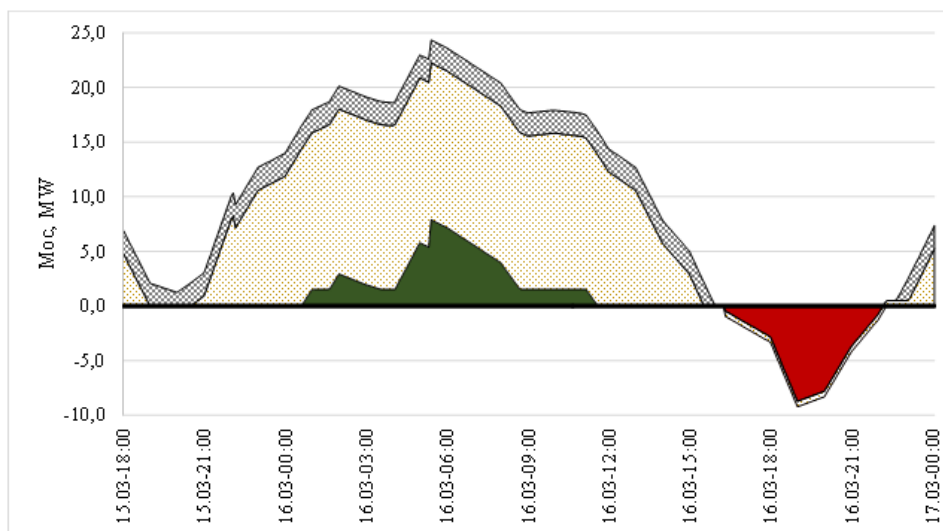
ID	Numer transakcji	Moc, kW	Start	Stop	Podział	Koniec oferty	Cena, PLN/MWh
1	3	-6000	01.01.2019 02:45	01.01.2019 03:05	1	01.01.2019 02:45	450
oferta częściowa (3MW od 2:45 do 2:55), wystawienie dwóch pozostałych pakietów							
1	4	-3000	01.01.2019 02:45	01.01.2019 02:55	0	01.01.2019 02:45	450
1	5	-6000	01.01.2019 02:55	01.01.2019 03:05	0	01.01.2019 02:45	450

Przedstawiony powyżej sposób wystawiania ofert można wykorzystać w minisystemie WME Wielkopolska Południowa (SBU). Jako prognozę nadwyżki i deficytu wykorzystuje się bilans energii zaprezentowany na rys. 17. Bilans ten jest sygnałem wejściowym do sieciowego terminalu dostępowego, który pakietyzuje nadwyżkę i deficyt (rys. 36) a następnie każdy pakiet wystawiany jest na rynku wschodzącym.

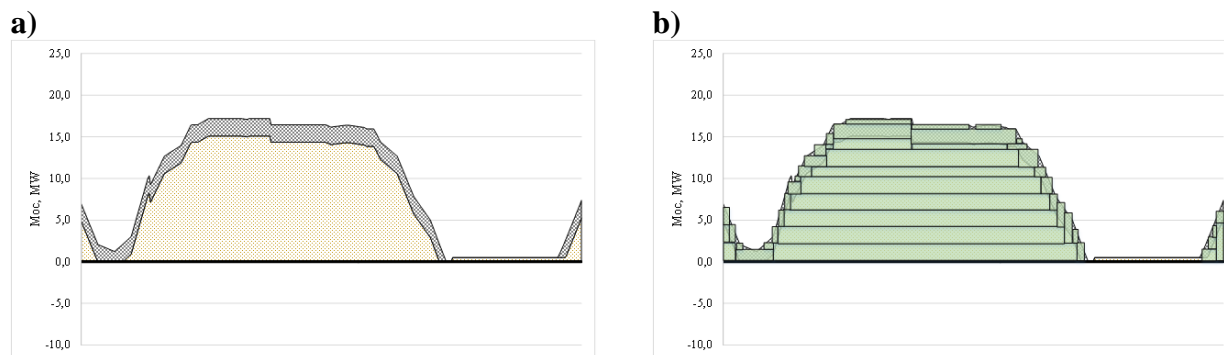


Rys. 36. Pakietyzacja nadwyżki i deficytu energii WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 15 i 16 marzec

Dodatkowo, ponieważ w minisystemach WME występuje jeszcze potencjalna możliwość produkcji energii w kogeneracyjnych źródłach gazowych oraz UPS-ach (rys. 37), również tą energię sieciowy terminal dostępowy wystawia na rynku. Oczywiście koszt produkcji jest wyższy, dlatego jest ona pakietowana (rys. 38) i wystawiana z wyższą ceną. Energia ta dostępna jest w okresach w których WME, klastry i spółdzielnie wykorzystujące tylko źródła OZE (dla obecnej technologii i bez magazynów energii) mają problemy z deficytem mocy. Może więc być ona oferowana z wyższą ceną.



Rys. 37. Bilans energii wraz z potencjałem produkcji dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 15 i 16 marzec

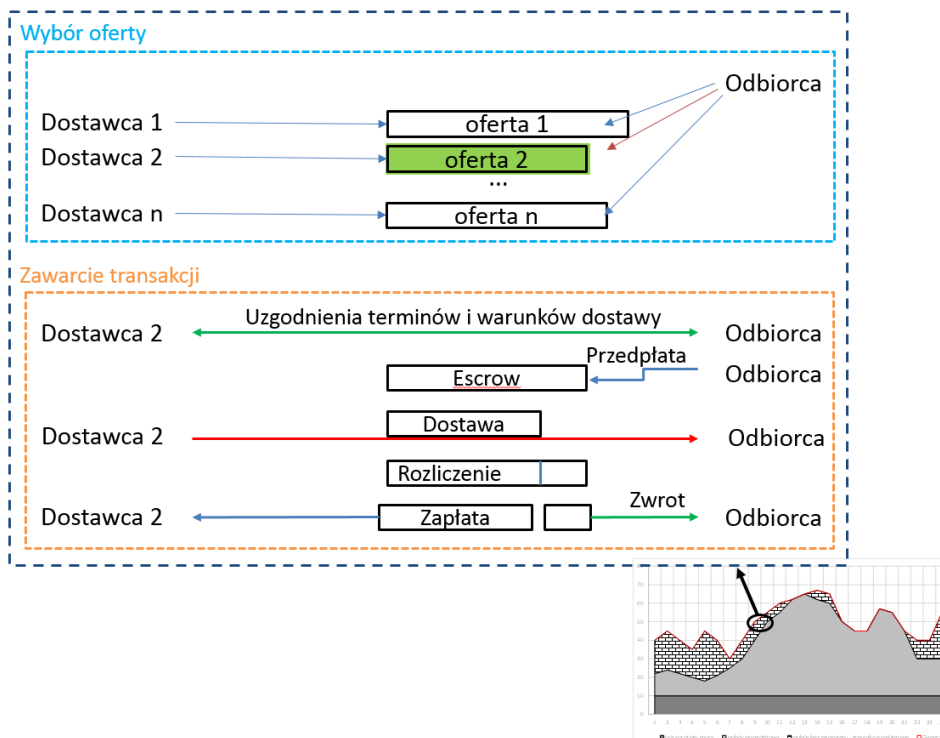


Rys. 38. Potencjał produkcji a) oraz jego pakietyzacja b) dla WME Wielkopolska Południowa (SBU) – 15 i 16 marzec

Transakcje pakietowe wystawiane przez terminale dostępowe na platformie WME pvmonitor.pl. Ze względu na charakterystykę użytkowników portalu pvmonitor.pl, składających się z prosumentów posiadających instalacje PV oraz niewielu odbiorców bez własnych źródeł wytwórczych, na WME pvmonitor.pl w ciągu dnia pojawiają się wysokie nadwyżki generowanej energii elektrycznej. Obecnie, dla indywidualnych prosumentów są one objęte systemem net meteringu, a ze względu na duże rozproszenie prosumenckich źródeł PV, generowana w nich

energia wykorzystywana jest zazwyczaj lokalnie przez pozostałych odbiorców, którzy obecnie za energię pobraną z lokalnych źródeł PV pokrywają pełne opłaty – razem z opłatami systemowo sieciowymi. Wraz ze współczynnikiem net-meteringu równym 0,7 lub 0,8 rekompensuje to operatorom koszty prowadzenia net-meteringu. Na wschodzącym rynku OZE energia pozyskana ze źródeł PV może być również sprzedawana w transakcjach pakietowych. Ze względu na duże rozproszenie i stosunkowo małe moce prosumenckich źródeł PV, rozproszona struktura wytwarzania stwarza możliwości tworzenia agregatorów (typu WME pvmonitor.pl), którzy będą w stanie zagregować produkcję z wielu rozproszonych źródeł i na podstawie prognoz stworzyć odpowiednie oferty na rynku energii. Po stronie popytu, agregatorzy mogą reprezentować grupy zakupowe. Oprócz handlu energią z pośrednictwem agregatorów możliwa jest również sąsiedzka sprzedaż energii elektrycznej z wykorzystaniem informatycznej platformy rozliczeniowej.

Transakcje w WME pvmonitor.pl mogą przebiegać w następujący sposób (rys. 39): na pierwszym etapie dostawcy (tj. STD - sterowniki nadzorujące pracę źródeł wytwórczych u poszczególnych dostawców energii) na podstawie prognoz i własnych ustawień przygotowują oferty dostawy energii elektrycznej, które są publicznie dostępne na platformie handlu elektronicznego. W parametrach ofert oprócz ceny mogą znaleźć się inne parametry oferty, jak np. minimalny i maksymalny rozmiar pakietu energii, maksymalna moc poboru, godziny ważności oferty itp.



Rys. 39. Sprzedaż nadwyżek energii w transakcjach pakietowych

Odbiorcy (terminale STD – urządzenia sterujące odbiornikami) zgodnie z ustawionymi kryteriami wyszukiwania wybierają lub negocjują oferty (np. na zasadzie licytacji w górę lub

w dół), które przechodzą do etapu realizacji. System może być symetryczny, tj. na podobnych zasadach odbiorcy mogą również wystawiać oferty zakupu energii, a wytwórcy mogą ich poszukiwać. Zawarcie transakcji poprzedza końcowe uzgodnienie parametrów transakcji, a następnie odbiorca (sterownik STD z wykorzystaniem systemu mikropłatności) wpłaca przedpłatę na konto typu escrow. Po zaksięgowaniu przedpłaty dostawca ma obowiązek dostarczenia energii w określonym czasie. Operator NOP nadzoruje urządzenia pomiarowe zainstalowane po stronie dostawcy i odbiorcy, tym samym potwierdza dostawę energii. Po zakończeniu dostawy (ilościowe lub czasowe wyczerpanie pakietu, następuje rozliczenie, gdzie dostawca otrzymuje zapłatę za dostarczoną energię, a odbiorca zwrot niewykorzystanej części przedpłaty. Opłaty sieciowe pozostają po stronie dostawcy. Zaprojektowanie i wdrożenie tego rodzaju środowiska teleinformatycznego przeznaczonego do handlu energią już dziś jest możliwe – istnieją odpowiednie technologie, które to umożliwiają. Istnieją również odbiorcy, którzy chętnie kupią pakiety energii, jeśli będzie to związane z korzystną ceną (lokalny pobór kojarzony z lokalną dostawą) i elastycznością zawierania transakcji – począwszy od odbiorców indywidualnych, którzy będą mogli w ten sposób np. podgrzać zasobnik z ciepłą wodą, lecz również przedsiębiorcy (przemysł 4.0), którzy będą mogli przygotować wcześniej proces produkcyjny i poczekać na dostawę taniej energii, wykorzystując prognozy generacji energii elektrycznej w lokalnych rozproszonych źródłach wytwórczych.

Zakończenie

Raport dobitnie pokazuje, że perspektywa informatyzacji zwirtualizowanego KSE jest tożsama z perspektywą rynku wschodzącego (1) energii elektrycznej, który będzie (w tendencji) mobilnym rynkiem maszynowo uczącym się.

Uczenie będzie się odbywać w obszarze infrastruktury softwarowo-hardwarowej, dalej nazywanej infrastrukturalnym terminalem zarządczo-sterowniczym rynku wschodzącego (1).

Infrastrukturalny terminal zarządczo-sterowniczy jest siecią osłon kontrolnych (OK.) wyposażonych w sieciowe terminale dostępne (STD). Sprzęga on rynek maszynowych transakcji (z obowiązującymi na nim prawami finansowo-ekonomicznymi) z infrastrukturą technologiczną KSE (w której obowiązują prawa elektrotechniki, i która musi mieć zapewnione bezpieczeństwo techniczne).

Infrastrukturalny terminal zarządczo-sterowniczy realizuje, na rzecz energetyki EP-NI, zasadę TPA+ dostępu inwestycyjnego do sieci elektroenergetycznej (przynależnej obecnie energetyce WEK). Zasadę warunkującą wirtualizację KSE (fizyczne współużytkowanie sieci, oderwanie opłaty sieciowej w transakcjach rynkowych od rozpływów fizycznych w KSE, jej ekwiwalentowanie jako czynnika kosztotwórczego w trybie arbitrażu prawno-regulacyjnego, i uzmiennienie dla potrzeb cenotwórstwa CCR).

Mobilny, maszynowo uczący się, wschodzący rynek (1) będzie realizował paradygmat egzergetyczny transformacji energetycznej, polegający w praktyce na prosumenckiej reelektryfikacji OZE (wspomaganej przez elektryfikację OZE ze strony energetyki NI oraz

reelektryfikację OZE ze strony energetyki WEK), a dalej na: pasywizacji budownictwa, elektryfikacji ciepłownictwa, elektryfikacji transportu.

Księga Szkoła (skierowana do szerokiego otoczenia),

czyli sformułowanie dwóch zadań do wykonania na zakończenie pracy nad Raportem, polegających na uwiarygodnieniu, poprzez zbudowanie modelu symulacyjnego transformacji energetycznej i wykonanie analiz testowych, dwóch hipotez. Pierwszej, o tym, że cenotwórczość na obecnym rynku energii elektrycznej jest bardziej zwirowizowana (oddalona od rozpiętości fizycznych w KSE) niż to, które będzie po transformacji. Oras drugiej, o tym, że możliwa jest realizacja przez Polskę celów klimatycznych nawet przy szybkim zaniku systemów wsparcia (ich wyeliminowaniu w horyzoncie 2025).

Źródła

Dwa Cykle Raportów nt. *Transformacja energetyki w rynki energii użytecznej OZE – perspektywa 2050*. <https://www.cire.pl>, <http://klaster3x20.pl>

- [1] Popczyk J., Bodzek K., Fice M., Kiluk S., Michalak J., Wójcicki R.: Cykl Raportów BŻEP: Dwanaście Raportów Biblioteki Źródłowej Energetyki Prosumenckiej, datowanych: październik 2017 – styczeń 2018.
- [2] Popczyk J., Bodzek K., Fice M., Dębowski K., Piłśniak A., Sztymelski K., Wójcicki R.: Cykl Raportów BPEP: Zaplanowanych dwanaście Raportów Biblioteki Powszechnej Energetyki Prosumenckiej, datowanie pierwszych sześciu: luty 2018 – maj 2018.

Ponadto:

- [3] Oracle, Solutions for smart grid, <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/solutions-smart-grid-br-194388.pdf>
- [4] Pierwszy polski portal prezentujący pracę instalacji fotowoltaicznych i innych OZE: <http://pvmonitor.pl>
- [5] Popczyk J. *Model interaktywnego rynku energii elektrycznej. Od modelu WEK-NI-EP do modelu EP-NI-WEK*. Biblioteka BŻEP – datowanie: wersja oryginalna luty 2015. <http://klaster3x20.pl>
- [6] Popczyk J. *MODEL INTERAKTYWNEGO RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ. Od rynku grup interesów do cenotwórczości czasu rzeczywistego*. Biblioteka BŻEP – datowanie: maj 2016. <http://klaster3x20.pl>
- [7] Strona internetowa serwisu Domoticz: <http://www.domoticz.com/>

Datowanie Raportu: wersja alpha 7 maja 2018 r.