

PROSUMENCKI MODEL ENERGETYCZNY DOMU JEDNORODZINNEGO

Doświadczenia i propozycje

J. Popczyk, K. Bodzek, M. Fice, A. Piłśniak, K. Sztymelski, R. Wójcicki

współudział J. Biskupski, A. Jurkiewicz

Kiedy tworzona była, jako zadanie badawczo-publikacyjne, lista Raportów Cyklu BPEP (luty br.) nie było jeszcze wiadomo o dwóch spektakularnych decyzjach, mających zasięg globalny.

Nie była znana decyzja rządu niemieckiego o tym, że w horyzoncie 2050 Niemcy doprowadzą do zmniejszenia zużycia paliw kopalnych w budownictwie na potrzeby produkcji ciepła o 85%.

Nie była też jeszcze uchwalona decyzja rządu Kalifornii, że od 2020 r. wszystkie nowe domy budowane w tym stanie muszą być wyposażone w źródła PV.

Dodatkowo, nie był znany raport McKinsey (maj 2018) dotyczący rynku samochodów elektrycznych. Okazało się, że wzrost sprzedaży w 2017 r. (względem 2016 r.) osiągnął poziom prawie 60%.

W imponującym stylu przekroczona została zatem bariera 1 mln samochodów (sprzedano 0,8 mln samochodów elektrycznych i 0,4 mln hybrydowych).

Wskaźnik wzrostu skumulowanego osiągnął wartość 1,3. Na pierwsze miejsce wysunęły się na rynku Chiny, Toyota nasila kampanię marketingową modelu Mirai (z ogniwem wodorowym), a prognoza mówi o globalnej sprzedaży 4,5 mln samochodów elektrycznych w 2020 r.

Gospodarstwo domowe funkcjonujące w domu jednorodzinnym ma największy potencjał egzemplifikacji tego czym jest transformacja energetyki. Dlatego, bo ma największy potencjał objaśniający jej istotę; o tym decyduje różnorodność czynników (wszechstronność fundamentalnych aspektów) obecnych w prosumenckim modelu energetycznym domu jednorodzinnego. Ponadto, ma znaczenie fakt, że model ten, mający najniższy wymiar mikroekonomiczny, ma największy potencjał zobrazowania czym jest innowacja przełomowa w zderzeniu z makroekonomicznym wymiarem energetyki WEK (rozpatrywanej w całości, w kontekście użytkowania energii elektrycznej oraz zaspakajania potrzeb ciepłowniczych i transportowych), [1,2].

W odniesieniu do potencjału objaśniającego można przytoczyć długą listę czynników mających związek z transformacją obecnego sektorowego modelu zaopatrywania domu w energię elektryczną i paliwa w prosumencki model energetyczny. Na tym przykładzie najdobitniej widać czym jest paradygmat egzergetyczny transformacji energetyki, czym jest w modelu prosumenckim podejście *end-to-end*, gospodarka obiegu zamkniętego. Widać dlaczego prosumeryzm można ogólnie uznać za alternatywę dla konsumpcjonizmu.

Widać, czym jest cenotwórstwo – w którym cena odzwierciedla wartość usługi końcowej (użytecznej dla prosumenta) – w porównaniu z obecnym cenotwórstwem kosztowym, w którym cena odzwierciedla koszt „substratu” potrzebnego do dalszego przetwórstwa w usługę; na rynku energii elektrycznej jest to koszt tejże energii, przeznaczonej do

użytkowania (w procesie *on line*) w rozległym obszarze usług końcowych potrzebnych (niezbędnych) odbiorcy.

Widać też, czym jest jednoskładnikowa cena krańcowa w cenotwórstwie CCR na rynku wschodzącym (1) energii elektrycznej w porównaniu z kompletnie patologiczną strukturą stawek w zsocjalizowanym cenotwórstwie taryfowym, ciągle jeszcze bazującym nie na rzeczywistym zużyciu, ale na szacunkowym zapotrzebowaniu, mającym na fakturze status „odczytu” szacunkowego (co jest ponurym żartem w zestawieniu z realizowanym przez Polskę wielkim i kosztownym projektem instalowania 17 mln liczników „inteligentnych”).

Jest oczywiście wiele innych czynników charakterystycznych w prosumenckiej transformacji energetycznej gospodarstwa domowego funkcjonującego w domu jednorodzinnym ilustrujących istotę całej transformacji energetyki WEK w energetykę EP-NI. Raport koncentruje się jednak przede wszystkim na ujęciu utylitarnym, obejmującym dwa segmenty rynkowe. Pierwszym jest segment rewitalizacji – do standardu domu zero-energetycznego (bliskiego zero-energetycznemu) – domów istniejących (**segment 1**; 6 mln domów). Drugim jest segment budowy nowych domów, od początku w standardzie zero-energetycznym (bliskim zero-energetycznego). Potencjał rozwojowy dla tego segmentu tworzy rynek nowych domów (**segment 2**; 70 tys. domów budowanych rocznie).

Podkreśla się, że zgodnie z podejściem prezentowanym w Raporcie cel długoterminowy (w horyzoncie 2050, w perspektywie makroekonomicznej) formułowany w odniesieniu do obydwu segmentów rynkowych jest w tendencji taki sam. Jest to dom zero-energetyczny (nazwę tę, przyjętą szeroko w dotychczasowym piśmiennictwie, stosuje się jedynie na początku Raportu; w dalszej części stosuje się, po uzasadnieniu i zdefiniowaniu, nazwę „dom elektryczny”). Dom zero-energetyczny traktuje się tu się jako **dom pasywny na mono rynku energii elektrycznej OZE, ze zelektryfikowanymi usługami ciepłowniczymi (za pomocą pompy ciepła) i ze zelektryfikowanymi usługami transportowymi (za pomocą samochodu elektrycznego, na baterię akumulatorów lub na wodorowe ogniwo paliwowe)**. Stawia się przy tym hipotezę roboczą, że w horyzoncie 2050 mono rynek energii elektrycznej OZE, funkcjonujący na infrastrukturze sieciowej nN-SN, będzie rynkiem transakcji maszynowych (realizowanych w szczególności przez sterowniki PLC), siódmy Raport BPEP [2].

Chociaż cel jest ten sam, to trajektoria transformacyjna (rozważana w perspektywie makroekonomicznej) jest oczywiście odmienna dla segmentów rynkowych domów: istniejących i nowych. Jednak w obydwu segmentach będzie kształtowana przez tę samą główną siłę napędową w postaci wschodzącego rynku energii elektrycznej (1), a ponadto rynków: technologii pasywnych, pomp ciepła, samochodów elektrycznych i infrastruktury hardwarowo-sofwarowej umożliwiającej funkcjonowanie maszynowego rynku energii elektrycznej oraz efektywne zarządzanie procesami przetwarzania energii elektrycznej (substratu) w prosumenckie usługi energetyczne (oświetleniowe, multimedialne, komputerowe, pralnicze, ..., usługi zapewniające komfort środowiskowy, ..., usługi transportowe, ...). Odpowiedź na pytanie, który segment domów będzie miał wyższą makroekonomiczną dynamikę transformacyjną jest obecnie sprawą otwartą.

Na pewno wielkość rynku która jest właściwa dla segmentu domów istniejących tworzy przesłankę, że to w tym segmencie dynamiczniej będą się rozwijały krajowe technologie transformacyjne, ale procesy transformacyjne będą bardziej „rozciągnięte” w czasie (bo taką

możliwość daje duża potencjalna elastyczność etapowania rewitalizacji energetycznej domów istniejących). Z drugiej strony segment domów nowych, chociaż liczbowo prawie sto razy mniejszy) jest mniej zależny od rozwoju krajowych technologii transformacyjnych, może korzystać w większym stopniu z globalnego rozwoju technologicznego.

Powstawanie Raportu w trybie budowania platformy wymiany doświadczeń

Najważniejszym wymiarem partycypacji prosumenckiej, stanowiącej istotę energetyki prosumenckiej, jest obecnie budowanie *know how* oraz, szerzej, metody nowej energetyki. Nie można tego robić inaczej jak w trybie przewyższania istniejących głębokich deficytów wiedzy akademickiej, chaosu piśmiennictwa internetowego oraz wykorzystania innowacyjności i (praktycznych) doświadczeń własnych prosumentów.

Oczywiście, trzeba to robić w całkowicie nowy sposób. Budowanie *know how* w trybie naśladowczym, tak jak w przeszłości, nie jest możliwe, jest wręcz pozbawione sensu. W tym miejscu, na początku Raportu, wskazuje się na dwa doświadczenia, które mogą stanowić punkt odniesienia do odrębnej dyskusji. Pierwsze jest związane z książką (poradnikiem projektanta) Recknagel Sprenger Schramek [3]. Jest to jedna z najbardziej znanych książek wśród projektantów budynkowych instalacji ciepłowniczych, tworzona przez ponad 120 lat, i przez ponad 120 lat wspomagająca projektantów. Podkreśla się, że zamieszczone w spisie źródeł wydanie [3] zostało już uzupełnione o rozdział 7 (66 stron), obejmujący źródła OZE, podrozdziały: kolektory słoneczne, pompy ciepła, kotły spalające i zgazowujące drewno. Ten sposób budowania kompetencji – w postaci elitarnych poradników projektanta, bardzo powoli tworzonych, koncentrujących się na stabilizowaniu i udoskonalaniu rozwiązań inżynierskich (hamujących dyfuzję innowacji do obszaru projektowania) – zresztą sposób bardzo kosztowny, jest już nie do obrony.

Drugie doświadczenie, które tu się przywołuje jest związane z miesięcznikiem informacyjno-technicznym [4]. Historia miesięcznika, istniejącego ponad 25 lat, jest zarazem historią konsolidacji przedsiębiorstw segmentu MSP (i w niewielkim stopniu środowisk akademickich) na rzecz budowy *know how* w obszarze techniki grzewczej, sanitarnej i klimatyzacyjnej w nowej rzeczywistości gospodarczej, po zmianach ustrojowych. Miesięcznik jest bez wątpienia wielkim wkładem w budowę tego *know how* (ze szczególnym uwzględnieniem nowych trendów technologicznych). Jest to przy tym wkład realizowany w trybie „pasywnym”, polegającym w gruncie rzeczy na „monitorowaniu” rozwoju technologii, i sprzężonego z nim rozwoju rynków zastosowań (tych technologii); taki tryb jest charakterystyczny praktycznie dla wszystkich czasopism informacyjno-technicznych. Deficyt, którym jest obciążone to podejście bardzo wyraźnie się już rysuje w obszarze techniki grzewczej, sanitarnej i klimatyzacyjnej. Mianowicie, widoczny jest ogromny postęp w tym obszarze, wytworzony przez „agresywną” konkurencję między przedsiębiorcami segmentu MSP (dostawcami urządzeń, w tym inteligentnej infrastruktury). Ale widoczne są już także ograniczenia związane z brakiem standardów i celu długoterminowego.

Kontynuacja drugiego doświadczenia, inaczej niż w wypadku pierwszego, jest bezwzględnie potrzebna. Ale potrzeba dodatkowej ścieżki budowy kompetencji nie budzi wątpliwości. W ujęciu systemowym nowa ścieżka (uzupełniająca) musi oznaczać budowę kompetencji w trybie „aktywnym”. Ten tryb był, w systemowym ujęciu, charakterystyczny

dla polityki energetycznej (realizowanej przez rząd). Ze względu na jej bankructwo (zresztą znowu systemowe, czyli nieuchronne) potrzebna jest nowa forma budowy kompetencji w trybie aktywnym. Środowiskiem do budowy tej nowej formy jest proces fundamentalnego, powolnego odwracania kierunku oddziaływań w ekonomii: zastępowanie kierunku od makroekonomii do mikroekonomii kierunkiem od mikroekonomii do makroekonomii (ograniczeniem się państwa do realizacji ustrojowej zasady subsydiarności).

Oczywiście, w ujęciu makroekonomicznym ważne są wielkości potencjalnych rynków: rewitalizacji istniejących domów do standardu zero-energetycznego (segment 1) i budowy (od początku) nowych domów zero-energetycznych (segment 2). Otóż są one tak duże i tak ważne (6 mln domów istniejących, stanowiących majątek o wartości znacznie przekraczającej 1 bln PLN, oraz 70 tys. nowych domów budowanych rocznie, o rocznej wartości rynku równej około 20 mld PLN), że wytworzenie standardów na tych rynkach wydaje się niezbędne. Jest przy tym pytanie fundamentalne: czym one powinny być?

Wychodząc z przedstawionych przesłanek autorzy Raportu, jednocześnie prosumenci (na zróżnicowanym poziomie partycypacji prosumenckiej) – wszyscy zainteresowani realizacją, w tendencji, pełnego modelu prosumenckiego własnych domów, ale także prowadzeniem badań w zakresie całej energetyki prosumenckiej – podjęli działania mające na celu zapoczątkowanie konsolidacji „uczącej się” platformy wymiany doświadczeń. Założeniem jest, że platforma taka może być potencjalnie nową ścieżką budowy kompetencji, dostosowaną do potrzeb celu długoterminowego, którym w horyzoncie 2050 jest dom zero-energetyczny jako rozwiązanie powszechne. Jest to zatem platforma kryjąca w sobie podejście aktywne, polegające na aktywizacji prosumentów, ale także przedsiębiorców z segmentu MSP. Właśnie takie podejście jest szczególnie ważne dla Polski ze względu na koincydencję wielu czynników. Dwa najważniejsze są następujące. Po pierwsze, ze względu na potrzebę potraktowania transformacji energetyki jako szansy cywilizacyjnej (w tym wypadku aktywizacja prosumentów jest kluczowa). Po drugie, ze względu na wielki problem sukcesji w segmencie MSP oraz generalnie jego wyczerpującą się dynamikę i konieczność przejścia od modelu rozwojowego zdroworozsądkowego (pierwszej generacji), związanego immanentnie ze zmianami ustrojowymi w Polsce, do modelu sprofesjonalizowanego (drugiej generacji), związanego immanentnie z globalną transformacją energetyki.

Do platformy zgłosili akces właściciele domów spoza zespołu autorskiego Raportu, mający jednak inne silne (i zróżnicowane) motywacje. Zwłaszcza wynikające z współuczestnictwa w Konwersatorium Inteligentna Energetyka oraz w Stowarzyszeniu Klaster 3x20. Potencjalnie są to w pewnych wypadkach nawet motywacje biznesowe. Dlatego podkreśla się, że platforma w założeniach nie przestanie istnieć po zakończeniu prac nad Raportem (ale jest też narażona na wysokie ryzyko związane ogólnie z ekspozycją energetyki prosumenckiej, zwłaszcza jej segmentu ludnościowego, na „kryzys nowicjuszy”).

OSIEM DOMÓW WYBRANYCH DO ANALIZY

Raport pomija perspektywę makroekonomiczną trajektorii transformacyjnej domu jednorodzinnego, ta została w szczególności przedstawiona bardzo obszernie w drugim Raporcie BŻEP [1]. Do badań zaprezentowanych w Raporcie w perspektywie

mikroekonomicznej skonsolidowano zbiór ośmiu charakterystycznych domów. Jest to zbiór tworzący na „wstępie” szerokie (wyczerpujące) spektrum problemów badawczych, charakterystycznych dla pełnej elektryfikacji domu (w odniesieniu do obydwu segmentów domów, 1 i 2). Wyniki zrealizowanych badań (bardzo eklektycznych), i sformułowane sygnałnie pytania (na razie z gruba tylko przedyskutowane) otwały rozległe pole wnioskowania (patrz Zakończenie). Wyjściowa charakterystyka domów należących do zbioru została przedstawiona w tab. 1, a roczne zużycie (zapotrzebowanie) energii elektrycznej, ciepła i paliw transportowych oraz ich koszty w tab. 2.

Zbiorcza charakterystyka domów – stan istniejący

Wybrane domy są bardzo zróżnicowane, pod względem wieku i pod względem rozwiązań energetycznych. Konsekwencją jest bardzo duże zróżnicowanie pod względem rozwiązań estetycznych, funkcjonalnych i konstrukcyjnych. Jednak w horyzoncie 2050 ten czynnik nie ma (okazało się) znaczenia przesądzającego o ewentualnym wyłączeniu przez właścicieli (spadkobierców) któregośkolwiek z domów z eksploatacji. Oczywiście, zła kondycja techniczna mogłaby odegrać taką rolę, ale ten czynnik również nie wyłączył żadnego z domów z postępowania dotyczącego rewitalizacji energetycznej. Okazało się wręcz w niektórych przypadkach, że rewitalizację energetyczną można bardzo korzystnie połączyć z przywróceniem dobrej kondycji technicznej domu tam, gdzie to jest potrzebne.

Inną sprawą są przyczyny administracyjne mające związek ze szkodami górnictwami na obszarach wydobywczych węgla kamiennego (skutkami technologii wydobywania na „zawał” stosowanej w szczególności na terenie Bytomia). Tereny te są objęte szczególnym nadzorem budowlanym. Konsekwencją tego jest konieczność prowadzenia częstych badań stanu technicznego budynku zleczanych „na wszelki wypadek”, na mocy decyzji administracyjnej, przez lokalną instytucję nadzorującą (najczęściej powiatowego inspektora nadzoru budowlanego). Ze względu na to, że to właściciel domu musi udowodnić stan budynku umożliwiający jego eksploatację, koszty badań są przenoszone na właściciela. Z doświadczenia właściciela domu nr 2 wynika, że zdarzają się przypadki odrzucenia pozytywnej opinii o stanie technicznym budynku, co skutkuje koniecznością wyłączenia budynku z eksploatacji.

Hasłowy (tabelaryczny) opis domów. Zróżnicowanie domów stanowiących przedmiot Raportu tworzy warunek wstępny do stworzenia systematyki domów (zarówno z segmentu 1 jak i 2) oraz uogólnień wyników analiz. Tabela 1 stanowi w szczególności pewną propozycję uporządkowanego opisu domów, jednak daleką od tego, co mogłoby zostać uznane za standard takiego opisu (pożytek z wypracowania standardu hasłowego opisu istotnych cech domu nie budzi wątpliwości).

W kontekście rozwiązań energetycznych bardzo pouczające (niebanalne) są najprostsze wnioski wynikające z tab. 1 dotyczące różnic podejścia „sektorowego” i całościowego (prosumenckiego, holistycznego). Standardowe wnioskowanie zgodne z sektorowym podejściem (obecnie powszechnie przyjętym) jest następujące. Zasilanie domu z sieci elektroenergetycznej i „tankowanie” samochodów („przynależnych” domowi, „powiązanych” z domem) na stacjach paliw transportowych (benzyna, olej napędowy, LPG) jest

(w zbiorowej wyobraźni) nieuchronnością (jest poza zborową wyobraźnią). Rozwiązania w zakresie ciepłownictwa mogą być natomiast bardzo zróżnicowane. Jest to wnioskowanie, które prowadzi w prostej linii do bagatelizowania w segmencie ludnościowym efektu związanego z instalowaniem w domach prosumenckich źródeł energii elektrycznej.

Bagatelizowania wynikającego z behawioralnie uwarunkowanego myślenia „szybkiego” [5]. Chodzi o myślenie polegające na dominacji perspektywy cenowo-kosztowej właściwej dla energii elektrycznej i paliw transportowych (myślenie typu: i tak się nie da nic „osiągnąć”: nie ma alternatywy dla wysokich cen energii elektrycznej, której łączny koszt jest zresztą niewielki; i nie ma alternatywy dla dominującego kosztu paliw transportowych). Jest to dominacja nad konkurencyjną perspektywą (obecnie już wcale nie hipotetyczną), mianowicie perspektywą łącznych kosztów wszystkich usług energetycznych charakterystycznych dla domu, w którym jedyną energią napędową jest (będzie, w tendencji) energia elektryczna ze źródeł OZE. W tej perspektywie główną sprawą jest pokonanie czterowymiarowej bariery: pasywizacji domów, pełnej elektryfikacji potrzeb ciepłowniczych oraz potrzeb transportowych i reelektryfikacji OZE domów do standardu *off grid*. I ulokowanie domu w szeroko rozumianym środowisku gospodarki obiegu zamkniętego [6].

Tab. 1. Ogólna charakterystyka domów stanowiących przedmiot badań w Raporcie

Dom (liczba mieszkańców, rok budowy, modernizacji)	Powierzchnia rzutu/użytkowa, poziomy	Użytkowanie energii elektrycznej – odstępstwa od standardu	Ciepło	
			ogrzewanie	ciepła woda użytkowa
1 (2 osoby; ok. 1930, 1996)	50/100 m ² , piwnica (użytkowana), parter, piętro, poddasze (użytkowane)	kuchnia elektryczna, suszarka kondensacyjna, brak zmywarki	kocioł gazowy (gaz sieciowy)	
2 (3 osoby; 1931, 2007)	50/70 m ² , parter, poddasze, „pół” piwnicy	PV <i>on grid</i> , PC powietrze-powietrze	kocioł węglowy, piec wolnostojący na drewno, PC powietrze-powietrze	zasobnikowy podgrzewacz elektryczny, w sezonie grzewczym kocioł węglowy
3 (4 osoby; 1970, 2014)	75/200 m ² , parter, piętro, „pół” piwnicy	PV: jedna instalacja <i>on grid</i> , druga <i>off grid</i> , 2 lodówki, pralka bez grzałki (zasilana ciepłą wodą), suszarka kondensacyjna	kocioł gazowy (gaz sieciowy) kolektor słoneczny	
4 (2 osoby, 1978, 2013 – termomodernizacja II, 2018 - PV)	120/190 m ² , część piwnicy użytkowana, parter	zamrażarka, hydrofor	kocioł na węgiel i drewno, kocioł gazowy (gaz sieciowy)	zasobnikowy podgrzewacz elektryczny, kocioł gazowy, w sezonie grzewczym kocioł na węgiel i drewno
5 (3 osoby, 2004, 2012-termomodernizacja II)	100/190 m ² , parter, piętro	(-)	kocioł gazowy (gaz sieciowy), kominek na drewno	kolektor słoneczny płaski, kocioł gazowy (gaz sieciowy)
6 (3 osoby; 2007)	100/200 m ² , parter, piętro	PV <i>on grid</i> , PC ziemia-woda	PC – ogrzewanie (gruntowa)	kolektor słoneczny płaski,

		(ogrzewanie podłogowe), PC powietrze-powietrze (klimatyzator), centrala wentylacyjna z rekuperatorem, taryfa G13 (wcześniej G12w)	z kolektorem poziomym), PC – chłodzenie (klimatyzator)	kocioł gazowy (gaz sieciowy)
7 (4 osoby; 2003, 2016)	270/300 m ² , parter, piętro, część piwnicy i strychu jako pomieszczenia techniczne	PV <i>on grid</i> kuchnia elektryczna, pralka zasilana ciepłą wodą, centrala wentylacyjna z rekuperatorem i wymiennikiem GWC	PC (x2): gruntowa do ogrzewania, powietrzna do chłodzenia, centrala wentylacyjna z rekuperatorem i wymiennikiem GWC	PC (trzecia) powietrzna z zasobnikiem, kolektory słoneczne płaskie i próżniowe
8 (3 osoby; 2010)	170 m ² , parter	kuchnia elektryczna, pralka zasilana ciepłą wodą, centrala wentylacyjna z rekuperatorem i wymiennikiem GWC	centrala wentylacyjna z rekuperatorem i wymiennikiem GWC, podgrzewacz elektryczny	zasobnik 300 l ogrzewany grzałką el. + kolektor słoneczny 5 m ² (próżniowy)

W każdym z gospodarstw domowych, oprócz 4-go, są dwa samochody, w gospodarstwie 4 jest jeden samochód.

Opisy indywidualne specyficznych cech domów i zrealizowanych działań modernizacyjnych (rewitalizacyjnych)

Poniżej przedstawia się, w uzupełnieniu tab. 1, opisy istniejących domów, charakterystyczne w kontekście indywidualnych decyzji właścicielskich na drodze dochodzenia do obecnych, zróżnicowanych modeli energetycznych poszczególnych domów. Podkreśla się, że wszystkie decyzje były decyzjami podejmowanymi w trybie prosumenckiej refleksji i samokształcenia, a realizacja decyzji odbywała się z istotnym udziałem prosumenckiego współwykonawstwa.

Dom 1. Modernizacja domu (1996) została przeprowadzona w trybie charakterystycznym dla zmiany właścicielskiej (przed zasiedleniem przez nowego właściciela). Na jej przykładzie przedstawia się charakterystyczny zakres termomodernizacji „pierwszej” generacji (w Polsce ostatnia dekada XX w.). Ponadto, na przykładzie domu 1 przedstawia się praktyczny wymiar wymiany tradycyjnych żarówek na źródła LED. Wreszcie sygnalizuje się na pozornie marginalnej teoretycznie wymianie tradycyjnych żarówek na źródła LED fundamentalne w transformacji energetyki znaczenie problemu: „koszty krańcowe i uniknięte w środowisku konkurencji rynkowej vs koszty przeciętne w monopolu”.

1. Dom jest połową bliźniaka (na przegrodzie cieplnej będącej ścianą sąsiedzką nie ma przepływów ciepła). W ramach modernizacji (przed nowym zasiedleniem) wykonana została termomodernizacja domu, na którą złożyły się działania według następującego porządku.

Pierwszym była wymiana okien i dwojga przeszklonych drzwi tarasowych na okna i drzwi PCV (jedne i drugie z podwójnymi szybami). Drugim było wykonanie izolacji zewnętrznej fundamentów (głównie przeciwwilgociowej, ale także cieplnej). Trzecim było ocieplenie dwóch ścian (warstwa styropianu o grubości 10 cm pokryta tynkiem akrylowym); jedna ściana (południowa), z dwojgiem przeszklonych drzwi tarasowych, nie została ocieplona (na przegrodzie cieplnej będącej czwartą ścianą, sąsiadką, nie ma przepływów ciepła). Czwartym działaniem było ocieplenie dachu (dach został ocieplony warstwą wełny mineralnej; w eksploatacji okazało się, że zbyt cienką); w ramach tego działania strych, wcześniej nie użytkowany, został przekształcony (poprzez głęboką aranżację architektoniczną) w pokój (z czterema oknami dachowymi i łazienką). Wreszcie piątym działaniem była wymiana kotła węglowego na gazowy (sieciowy), dwufunkcyjny z zasobnikiem ciepłej wody użytkowej.

2. Oświetlenie (domu, łącznie z wolnostojącymi na działce garażami) charakteryzuje się bardzo zróżnicowanym rocznym wykorzystaniem źródeł światła (łącznie z lampami przenośnymi 30 źródeł, o mocy – w wypadku tradycyjnych żarówek – wynoszącej 25 do 100 W). Mianowicie, wykorzystanie to dla zdecydowanej większości źródeł jest bliskie zerowemu. Tylko trzy źródła, o największym strumieniu świetlnym, mają duży roczny czas wykorzystania; średni czas ich wykorzystania wynosi około 2000 godzin. Zastąpienie (2015) w tych punktach świetlnych zwykłych żarówek 100 W (po ich kolejnym przepaleniu się) na źródła LED o mocy 10 W umożliwiło obniżenie zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe o ponad 75% (do rocznego zużycia wynoszącego około 160 kWh; wcześniej było ponad 750 kWh).

3. Ten przykład (wymiany źródeł światła) jest najbardziej wyrazistym przykładem działania kosztów krańcowych i unikniętych w procesie transformacji energetyki w ogóle. Pokazuje generalnie, że „jednorazowe” (powszechne) zastąpienie „jednorodnego” rozwiązania o najniższych kosztach przeciętnych innym powszechnym (i „jednorodnym”) rozwiązaniem o niższych kosztach przeciętnych nie jest racjonalne (i ogólnie w energetyce nie jest możliwe). Oczywiście, reguła kosztów przeciętnych jest charakterystyczna dla każdego monopolu. Dlatego tak niebezpieczne są rządowo-korporacyjne działania remonopolizacyjne na rynku energii elektrycznej w Polsce. Blokowanie poprzez te działania rozwoju energetyki EP i NI na rynku energii elektrycznej można porównać do działań, które polegałyby na obowiązku jednoczesnej wymiany w domu 1 wszystkich (30) żarówek na źródła LED, i z drugiej strony zablokowaniu możliwości wykorzystania na początku tylko trzech źródeł LED. W tym kontekście jest zrozumiałe, że problem „źródła PV vs bloki węglowe” na zetatyzowanym (zsocjalizowanym) rynku energii elektrycznej ma taką samą fundamentalną naturę jak problem „źródła LED vs tradycyjne żarówki” w domu 1.

Dom 2. Dom jest połową bliźniaka. Konstrukcja szkieletowa (szkielet drewniany wypełniony cegłą). Obecny właściciel po zamieszkaniu domu z rodziną (2007), na początku 2-osobową, rozpoczął prace remontowo-modernizacyjne, które objęły:

1. Ocieplenie wszystkich ścian styropianem o grubości 10-15 cm (dach pozostał nieocieplony). Okna zostały wymienione na PCV, dwuszybowe. Dokonano modernizacji w zakresie źródła ciepła, mianowicie wymieniono zasypowy kocioł węglowy na

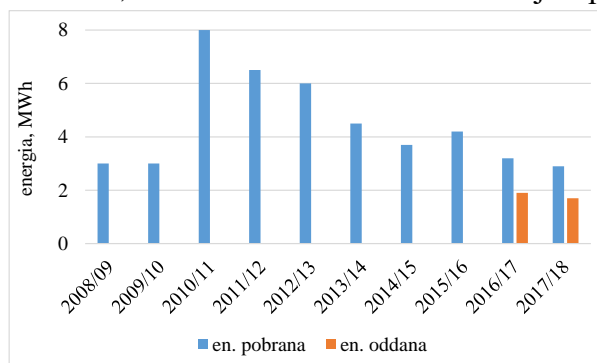
zautomatyzowany kocioł węglowy (na ekogroszek) z podajnikiem i wymuszonym nawiewem powietrza (trzeciej klasy efektywności energetycznej wg ówczesnie obowiązującej normy). Roczne (dla rocznego sezonu grzewczego liczonego od maja do kwietnia) zużycie węgla (ekogroszku) po zrealizowanych działaniach było dalej wysokie, wynosiło 4 t. Zużycie energii elektrycznej wynosiło 3 MWh (liczone również dla rocznego sezonu grzewczego), przy czym 1 MWh wykorzystywana była na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (zasobnikowy ogrzewacz z grzałką elektryczną z wymiennikiem włączonym w obieg kotła), a kolejne 0,5 MWh na potrzeby własne kotła węglowego (pompa CO, podajnik kotła, wentylator kotła).

2. Dlatego w 2010 r. zainstalowano elektryczny przepływowy podgrzewacz do centralnego ogrzewania o mocy 9 kW, który użytkowany był w okresach przejściowych (jesień, wiosna) jako jedyne źródło ogrzewania. Wpłynęło to na zmniejszenie sezonowego zużycia węgla o 50% (z 4 do 2 t). Zużycie energii elektrycznej wzrosło do 8 MWh. W 2011 r. zainstalowano wolnostojący piec na drewno, pełniący funkcję wspomagającą ogrzewanie budynku (parter). Sezonowe zużycie drewna wynosi 2-4 mp. (ok. 6 MWh) Wykorzystanie drewna pozwoliło na zmniejszenie sezonowego (zimowego) zapotrzebowania na węgiel do 1 t. Roczne zużycie energii elektrycznej zmniejszyło się do ok. 6 MWh.

3. Od 2013 r. wymieniano sukcesywnie oświetlenie na źródła LED (wcześniej żarówki tradycyjne oraz świetlówki kompaktowe). Uzyskano szacunkowe obniżenie zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe o około 50% (zużycie zmniejszyło się z około 200 kWh do około 100 kWh).

4. W sposób ciągły poprawiano efektywność wykorzystania energii. W przypadku zużycia ciepła poprzez m.in. zainstalowanie zdalnego (bezprowadowego) kontrolera temperatury w budynku (zintegrowanego z ogrzewaczem elektrycznym), co pozwoliło na sterowanie temperaturą w instalacji grzewczej oraz pomieszczeniach budynku w zależności od dobowego wykorzystania, a także świadomego kontrolowania nastaw termostatów zainstalowanych w grzejnikach.

5. Wymieniano sukcesywnie odbiorniki AGD na urządzenia klasy A+ (m.in. lodówkę, pralkę i zmywarkę), a także komputer stacjonarny z monitorem CRT na laptop. Konsekwencją było obniżenie zużycia energii elektrycznej do ok. 4,5 MWh. Na rys. 1 pokazano roczne sezonowe zużycie energii począwszy od 2008 r. Na wykresie można wskazać charakterystyczne okresy, mianowicie sezon 2010/11, to instalacja elektrycznego przepływowego podgrzewacza CO, a w sezonie 2016/17 widoczna jest praca źródła PV.

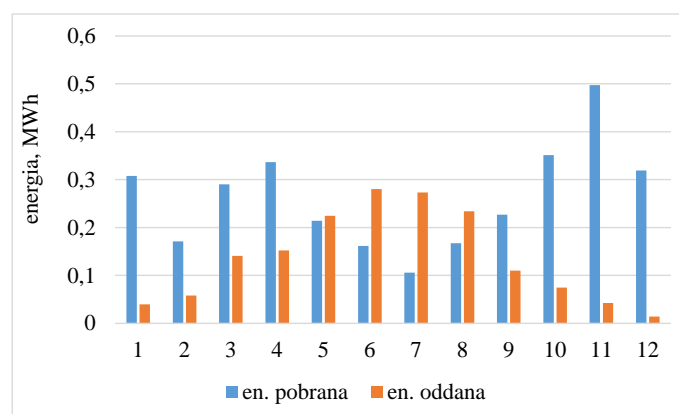


Rys. 1. Energia elektryczna bilansowana na osłonie OK1 dla domu 2 w okresach rocznego sezonu grzewczego

6. Jesienią 2015 r. zainstalowano źródło fotowoltaiczne *on grid* o mocy 2,6 kW (z falownikiem jednofazowym). Podpisanie umowy ze sprzedawcą energii oraz wymiana licznika (i jednocześnie możliwość rozliczania energii z PV) została niestety znacznie opóźniona (z przyczyn leżących po stronie OSD), nastąpiła dopiero w maju 2016 r. Charakter pracy źródła PV wymusił wyposażenie domu, początkowo, w rozproszone układy licznikowo-pomiarowe, a dalej w układy automatyki budynkowej sterujące odbiornikami o znaczącym poborze energii. W zależności od typu odbiornika zastosowano dopasowane układy energoelektroniczne. Elektryczny podgrzewacz zasobnikowy CWU został wyposażony w układ regulacji mocy grzałki. Pralka oraz zmywarka w układy załączające dwustanowe (załącz-wyłącz) z możliwością dopasowania czasu załączenia do prognozy pogody (nasłonecznienia).

7. W 2016 r. (przed sezonem grzewczym) zainstalowano rewersyjną (umożliwiającą pracę w trybie ogrzewania i chłodzenia) pompę ciepła powietrze-powietrze o mocy cieplnej 6 kW. Pompę PC dobrano do pracy w okresach przejściowych (jesień, wiosna). Taki dobór został podyktowany możliwością pracy pompy w trybie ogrzewania przy temperaturze zewnętrznej powyżej minus 10⁰C (dobra sprawność uzyskiwana jest powyżej minus 5⁰C). Przepływowy ogrzewacz elektryczny centralnego ogrzewania po zainstalowaniu pompy PC pozostał jako źródło awaryjne.

8. Specyficzny sposób rozliczania energii oddanej do sieci skutkowało przełączeniem wszystkich znaczących odbiorników na fazę, do której przyłączone jest źródło PV. Specyfika polega na oddzielnym bilansowaniu energii dla każdej fazy, co powoduje, że w tym samym czasie eLicznik zlicza energię pobieraną i oddawaną do sieci jeśli przepływy odbywają się w różnych fazach. Efektem takiej metody bilansowania jest konieczność kupowania części energii zużywanej bezpośrednio na potrzeby zasilania odbiorników w budynku. W okresie użytkowania instalacji PV eLicznik został przeprogramowany przez operatora OSD na bilansowanie międzyfazowe sumaryczne. Na rys. 2 pokazano roczny (kalendarzowy) bilans energii pobieranej i oddanej na osłonie OK1 zarejestrowany przez eLicznik.



Rys. 2. Pobór i oddawanie energia elektrycznej na osłonie OK1 dla domu 2 w 2017 r

Dom 3. Dom jest charakterystycznym budynkiem z lat siedemdziesiątych. Bryłę można uznać za modernistyczną. Pierwotnie bez docieplenia ścian, dach płaski kryty papą izolowany „pustką powietrzną” oraz żużlem odpadowym i „supremą”. Ogrzewanie stanowił atmosferyczny kocioł gazowy oraz żeliwny kocioł na koks. Ciepła woda użytkowa była

pozyskiwana z dwóch gazowych ogrzewaczy przepływowych. W chwili zamieszkania budynku zainstalowane były okna PVC dwuszybowe ($K = 1,3$).

1. Od 2012 r., z pomocą Programu Ograniczenia Niskiej Emisji Spalin (PONE <http://www.niskaemisja.ekoscan.pl/>), rozpoczęto kompleksową modernizację instalacji ciepłowniczej. Na początku dokonano wymiany źródeł ciepła. Piec na koks i atmosferyczny kocioł gazowy zostały zastąpione jednym dwufunkcyjnym kotłem gazowym kondensacyjnym z odzyskiem ciepła ze spalin. Dla produkcji ciepłej wody użytkowej zastosowano zasobnik z wymiennikiem ciepła, o pojemności 300 l, zasilany z kotła gazowego, z cyrkulacją sterowaną czujnikiem ruchu w łazience.

2. W 2013 r. zainstalowano 2 płaskie kolektory słoneczne o powierzchni czynnej 2 m^2 wspomagające przygotowanie CWU (włączone w obieg wymiennika podgrzewacza zasobnikowego CWU razem z kotłem gazowym).

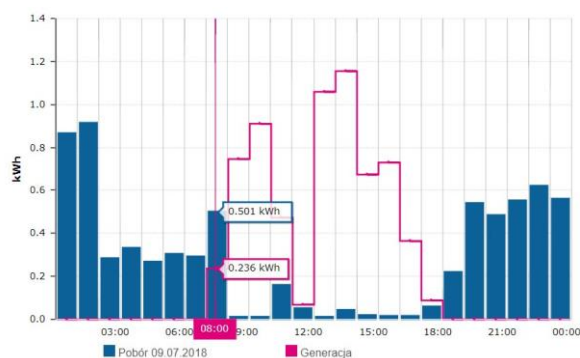
3. Całe oświetlenie domu zostało wymienione na oświetlenie w technologii LED. Oszczędności energii związane z wymianą osiągnęły poziom ok. 150 kWh rocznie. Początkowo wymiana oświetlenia była kosztowna. Lamy LED kosztowały nawet 20-30 krotnie więcej niż tradycyjne żarówki, a ich moce nie przekraczały $1,5 \text{ W}$ (odpowiednik 15 W żarówki klasycznej). Obecnie klasyczne żarówki kosztują zaledwie 2-3 mniej niż ich ekwiwalent w technologii LED, poziomy mocy są zadowalające, a rozpatrywanie oszczędności energii elektrycznej niejednokrotnie nie stanowią priorytetu ich stosowania. Klasyczne żarówki o większych mocach są już niedostępne w sprzedaży (zapotrzebowanie na strumień światła w lumenach wymusza więc stosowanie technologii LED i nie jest ona dyktowana oszczędnością energii elektrycznej przez domowników).

4. W 2014 r. dokonano termomodernizacji domu:

<https://www.youtube.com/watch?v=nZ3HnjBNv-w&feature=youtu.be&t=13m20s>

Ściany docieplono styropianem o grubości 10 cm , dach natomiast styropapą o grubości 15 cm . Każdy z grzejników został wyposażony w indywidualne sterowanie elektroniczne.

5. W 2014 r. dokonano także zabudowy instalacji PV typu *on grid* o mocy 2 kW (z falownikiem jednofazowym). Dokonano przeróbki instalacji elektrycznej wykonanej zaledwie w roku 2012 r. przenosząc część obciążenia (odbiorniki o mocy znaczącej) na jedną fazę. Asymetria zasilania związana jest z brakiem bilansowania międzyfazowego. Objawia się to tym, że w tym samym czasie na jednej fazie występuje generacja, a na innej pobór energii elektrycznej.



Rys. 3. Bilans energii pobieranej i oddawanej na osłonie OK1, odczytany z eLicznika dla przykładowego dnia

Obecna ustawa w przypadku instalacji fotowoltaicznej 1- jednofazowej (często wybieranej ze względu na koszty inwestycji) jest w tej sytuacji niejasna. W niektórych domach zainstalowano liczniki z oprogramowaniem dokonującym bilansowania międzyfazowego, a w innych nie.

6. W 2015 r. dokonano zabudowy instalacji PV typu *off grid* o mocy 250 W z zasobnikiem akumulatorowym o pojemności ok. 2,5 kWh. Instalacja służy testom oraz ozdobnemu oświetleniu fasady domu wykonanemu w technologii LED.

7. W tym samym roku zainstalowano na dachu budynku turbinę wiatrową z osią poziomą, którą w 2017 r. zdemontowano. Powodem były znikome uzyski z turbiny wiatrowej przy jednoczesnym hałasie emitowanym przez turbinę. Fotowoltaiczny system *off grid* został zmniejszony do mocy 100 W i zasila w sezonie letnim, poprzez falownik, pompę basenu o pojemności 6,5 m³.

Dom 4. Dom parterowy zbudowany w 1978 r. Piwnice, oprócz dwóch pomieszczeń (kotłowni i spiżarni), zostały zaadaptowane na pomieszczenia mieszkalne. Mury budynku wykonane są z pustaków żużlowych, a dach to konstrukcja drewniana pokryta papą.

1. Pierwotnie budynek wyposażono w ogrzewanie CO oraz ciepłej wody użytkowej zasilane kotłem na paliwo stałe. W sezonie letnim woda użytkowa podgrzewana była grzałką elektryczną. Ściany i dach nie były ocieplone, a okna i drzwi były wykonane wg standardów z lat 1970.

2. W zakresie termomodernizacji, pod koniec lat 1980. zostały wymienione okna na drewniane trójszybowe. Następnie w 2013 r. wykonano termomodernizację budynku, polegającą na dociepleniu ścian styropianem o grubości 10 cm. Strop został docieplony rozprężną wełną mineralną.

3. W związku z gazyfikacją gminy w latach 1980. zastąpiono istniejące ogrzewanie dwoma niezależnymi kotłami gazowymi obsługującymi odpowiednio instalację CO i przygotowanie CWU. Ze względu na znacząco zwiększającą się cenę gazu oraz niską sprawność gazowego kotła CO, a także zdiagnozowanych problemów funkcjonalnych gazowego kotła CWU (jakość wody powodowała częste awarie kotła), w kolejnych latach system ogrzewania był wielokrotnie zmieniany. W tym okresie zastosowano kocioł na paliwo stałe, kocioł gazowy z bezpośrednim podgrzewem wody w zasobniku CO, elektryczny podgrzewacz wody CO, dwufunkcyjny kocioł gazowy (CO i CWU).

4. Obecnie ogrzewanie CO i przygotowanie CWU w podgrzewaczu zasobnikowym z wymiennikiem ciepła realizowane jest za pomocą kotła na paliwo stałe, a w okresach przejściowych i w lecie przy wykorzystaniu kotła gazowego.

5. Od końca lat 1980. następowała sukcesywna zmiana w sposobie oświetlenia budynku. W pierwszym etapie zamieniano żarówki na świetlówki kompaktowe. W ostatnich ośmiu latach zamieniano część oświetlenia na źródła LED. Dodatkowo zainstalowano oprawę ze źródłem metalohalogenowym o mocy 150 W do oświetlenia posesji. Obecnie proporcje (ilościowe) źródeł światła zainstalowanych w budynku są następujące: świetlówki (w tym kompaktowe): 60%, źródła LED 20%, klasyczne żarówki 20%.

6. W 2018 r. rozpoczęto zmianę sposobu zasilania budynku. Pomimo przestarzałej infrastruktury elektrycznej, zdecydowano się na zainstalowanie mikroinstalacji fotowoltaicznej. Początkowo moc

mikroinstalacji oszacowano na wartość zgodną z faktycznym rocznym zużyciem energii elektrycznej, czyli około 3 kW. W trakcie szacowania zapotrzebowania na energię elektryczną zdecydowano się na rozszerzenie instalacji do mocy 4,3 kW, a następnie do 5,4 kW. Korekta dotycząca mocy instalacji fotowoltaicznej była działaniem rekurencyjnym, mianowicie w kolejnych krokach ponieważ na bieżąco zwiększano zakres przewidywanych odbiorników elektrycznych.

Dom 5. Dom jest budynkiem piętrowym. Został zaprojektowany w 2000 r., a wybudowany i zasiedlony w 2004 r. Zgodnie z projektem konstrukcja ścian została wykonana jako murowana z pustaków ceramicznych porotherm 45, których parametry izolacyjne na początku XXI w. pozwalały wybudować i oddać do użytkowania budynek bez konieczności wykonywania dodatkowego ocieplenia.

1. Pierwszym etapem modernizacji w systemie ogrzewania budynku była instalacja kolektorów słonecznych do przygotowania CWU w zasobniku o pojemności 300 l. W okresie od maja do września kolektory słoneczne stanowią główne źródło podgrzewania CWU, w okresie letnim woda w zasobniku podgrzewana jest do temperatury 50-55°C i w słoneczne dni nie wymaga dodatkowego podgrzewania kotłem gazowym. W pozostałym okresie kolektory słoneczne są wspomagającym źródłem ciepła z tym, że nawet w okresie zimowym w słoneczne dni kolektory podgrzewają wstępnie wodę w zasobniku wodnym, w wyniku czego kocioł gazowy zasilany jest wodą wstępnie podgrzaną.

2. Kolejnym krokiem w transformacji energetycznej budynku była termomodernizacja wykonana w 2012 r. Polegała ona na ociepleniu budynku styropianem o grubości 15cm, pokrytym tynkiem akrylowym. Po termomodernizacji zmniejszyło się zużycie gazu ziemnego, który poza potrzebami kuchni i przygotowania CWU jest też wykorzystywany do ogrzewania budynku.

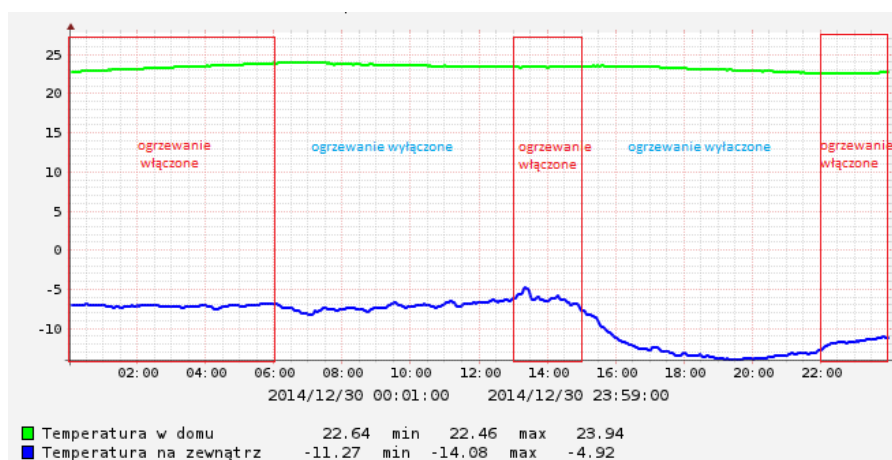
3. W kolejnym kroku zmniejszenie zużycia energii, w tym przypadku elektrycznej, zostało również osiągnięte poprzez prawie w pełni wykonaną wymianę źródeł światła na źródła LED, co spowodowało zmniejszenie ilości zużywanej energii elektrycznej w budynku.

Dom 6. Dom początkowo był projektowany jako budynek o konstrukcji tradycyjnej, wyposażony w wentylację grawitacyjną i system ogrzewania mieszanego – na parterze podłogowego, na piętrze grzejnikowego. Planowano wykorzystanie ogrzewania na paliwo stałe, ale w trakcie budowy wykonane zostało przyłącze gazowe (do sieci niskociśnieniowej gazu ziemnego wysokometanowego). Ściany budynku ocieplono styropianem o grubości 20 cm. Na stropodachu położono warstwę wełny mineralnej o grubości 30 cm. W późniejszym etapie dołożono dodatkowo na części strychu warstwę wełny mineralnej o grubości 15 cm. Zastosowano szczelne okna o współczynniku przenikalności cieplnej równym 1,1 W/m². Jednak zmiany zrealizowane w trakcie budowy okazały się niewystarczające. Dlatego po wybudowaniu budynku rozpoczęta została modernizacja obejmująca kolejno: wentylację, ogrzewanie, produkcję ciepłej wody użytkowej oraz instalację źródeł PV.

1. Po zasiedleniu budynku okazało się w szczególności, że wentylacja grawitacyjna nie spełniała oczekiwań, co objawiało się w szczególności „ciężkim” powietrzem oraz powoli schnącym „praniem” i wolno schnącymi naczyniami po umyciu. Efekty te silnie objawiały się w okresie wysokich temperatur letnich otoczenia. Przyczyną problemów z wentylacją

grawitacyjną była szczelność budynku, a wentylację można było poprawić na dwa sposoby: 1° - rozszczelnienie budynku poprzez rozszczelnienie okien lub zastosowanie nawiewników okiennych, 2° - zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Pierwsze rozwiązanie podważało sens zakupu nowoczesnej, szczelnej stolarki okiennej i powodowałoby niekontrolowane przepływy powietrza w okresie zimowym, co przyczyniałoby się do powstawania dużych (niepotrzebnych) strat ciepła. Z powyższych powodów zdecydowano się na drugi wariant – zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Rozwiązanie to zainstalowano z wykorzystaniem istniejących przewodów kominowych wentylacji grawitacyjnej. Zastosowana modernizacja wentylacji zdecydowanie poprawiła komfort i całkowicie spełniła oczekiwania domowników.

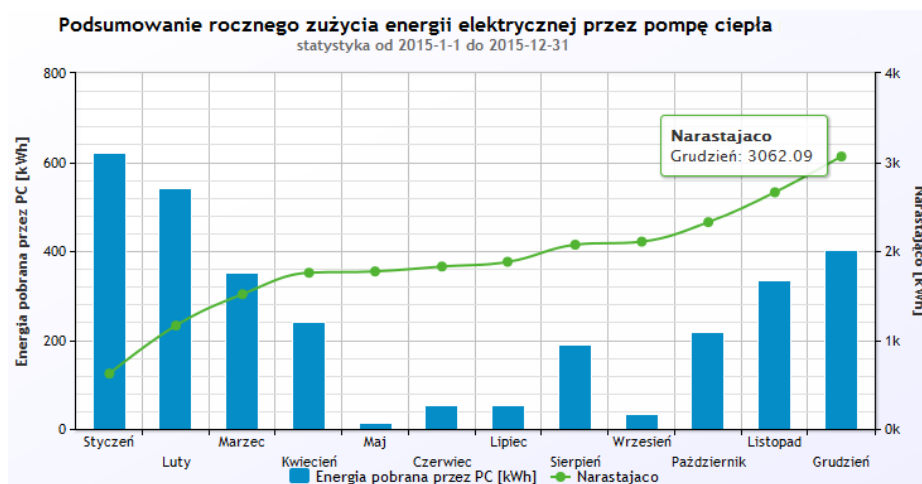
2. Rok po zasiedleniu budynku przeprowadzono modernizację ogrzewania rezygnując z ogrzewania budynku gazem ziemnym i wprowadzając ogrzewanie gruntową pompą ciepła z kolektorem poziomym. Dzięki tradycyjnej (ciężkiej) konstrukcji budynku oraz akumulacji ciepła w wylewce ogrzewania podłogowego można było z powodzeniem wykorzystać taryfy strefowe, początkowo G12, następnie G12w, a obecnie G13. Rys. 4 przedstawia wahania temperatur wewnątrz budynku dnia 2014-12-30, gdy temperatura na zewnątrz wahała się w granicach od -5°C do -14°C . Na wykresie można zaobserwować, że mimo długich przerw w ogrzewaniu budynku trwających od 6⁰⁰ do 13⁰⁰ i od 15⁰⁰ do 22⁰⁰ (wykorzystanie taryfy G12), temperatura wewnątrz wahała się w granicach od $22,5^{\circ}\text{C}$ do $23,9^{\circ}\text{C}$ (amplituda wahań wynosiła poniżej $1,5^{\circ}\text{C}$), co zapewniało wysoki komfort użytkownikom budynku w ciągu całej doby.



Rys. 4. Wahania temperatury na parterze budynku podczas przerw w ogrzewaniu

3. Błędem okazał się montaż mieszanej instalacji grzewczej z ogrzewaniem konwekcyjnym na piętrze budynku. Zastosowanie grzejników spowodowało zmniejszenie komfortu cieplnego na drugiej kondygnacji, lecz modernizacja ogrzewania prowadząca do wyeliminowania grzejników byłaby uciążliwa dla mieszkańców, stąd zdecydowano się pozostawić instalację grzewczą w pierwotnym stanie, kompensując problem poprawieniem izolacji termicznej na strychu. Rys. 5 przedstawia wykres zużycia energii elektrycznej przez pompę ciepła i klimatyzację które w 2015 r. wyniosło 3062 kWh. Dzięki zastosowaniu taryfy G12w roczny koszt ogrzewania i klimatyzacji budynku wyniósł około 860 PLN przy koszcie zakupu energii

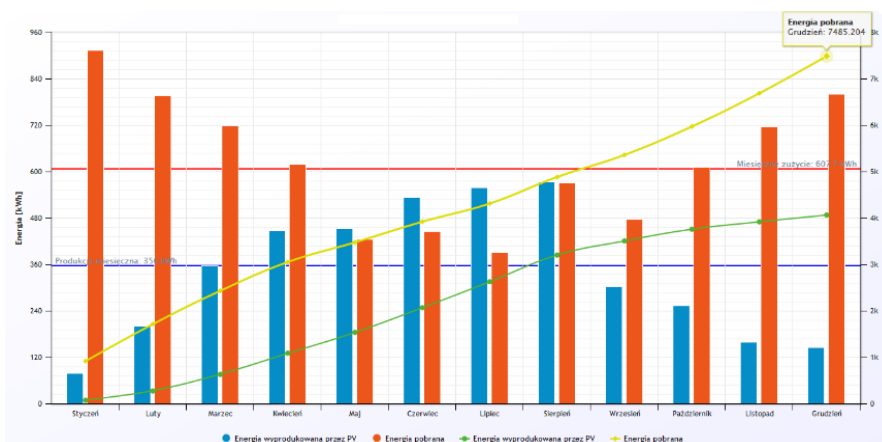
elektrycznej wynoszącym 280 PLN/MWh w okresie pozaszczytowym. W budynku jest zainstalowany kominek, lecz ze względu na kłopotliwą obsługę (potrzeba zaopatrzenia się i magazynowania drewna opałowego, usuwanie popiołu i związane z tym zanieczyszczanie salonu) i niskie koszty ogrzewania pompą ciepła od lat nie jest wykorzystywany.



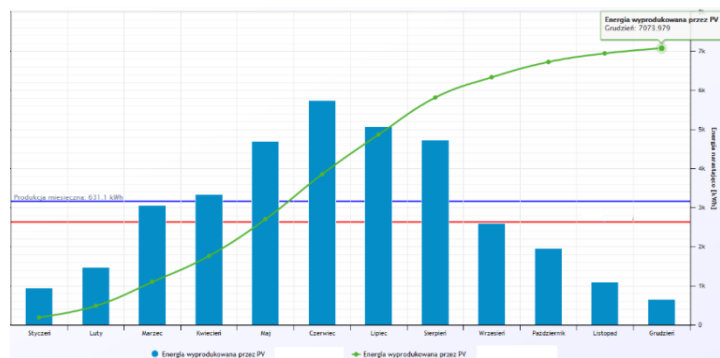
Rys. 5. Zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła i klimatyzację

4. Do ogrzewania CWU wykorzystuje się kocioł gazowy oraz kolektory słoneczne. Kolektory pozwalają na rezygnację z ogrzewania gazowego z miesiącami od kwietnia do października.

5. W budynku zainstalowano fotowoltaiczne źródło wytwórcze o mocy znamionowej początkowo 2 kW, lecz po modernizacji osiągnięto moc 7,7 kW. Wygenerowana energia elektryczna częściowo zużywana jest lokalnie, w czym pomagają sterowniki automatycznie uruchamiające w okresie zimowym pompę ciepła, gdy produkcja ze źródła PV jest wystarczająca do pokrycia bieżącego zapotrzebowania na energię elektryczną. Pozostała część energii – wprowadzonej do sieci odbierana jest w późniejszym czasie w *net meteringu*. Rys. 6 przedstawia całkowite zużycie (7,5 MWh) i generację energii elektrycznej (4,06 MWh) w 2015 roku, natomiast rys. 7 przedstawia generację energii elektrycznej w rozbudowanym źródle PV w roku 2017 (7,07 MWh).



Rys. 6. Zużycie i produkcja energii elektrycznej (2015)



Rys. 7. Produkcja energii elektrycznej w źródle PV (2017)

Dom 7. Dom początkowo był projektowany (2000 r.) jako budynek o konstrukcji w bloczków gazobetonowych (Hebel), wyposażony w wentylację grawitacyjną i system ogrzewania mieszanego, częściowo podłogowego (kuchnia i 3 łazienki), i grzejnikowego (salon, sypialnie, korytarze). Konstrukcja o zwartości $A/V = 0,4$.

1. Budynek początkowo był ocieplony częściowo wełną mineralną (5-10 cm), poddasze nieogrzewane, ocieplone wełną mineralną 20 cm (docieplone w późniejszym okresie pianką PUR 10 cm zamiast wełny). Zastosowano szczelne okna drewniane o współczynniku przenikalności cieplnej okna równym $1,2 \text{ W/m}^2$. Zużycie roczne energii końcowej przed modernizacją wynosiło ponad 160 kWh/m^2 .

2. Początkowo do ogrzewania wykorzystywano gaz ziemny sieciowy.

3. Po 10 latach od wybudowania budynku rozpoczęta została modernizacja obejmująca kolejno: system zarządzania BMS, zintegrowaną wentylację, ogrzewanie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej oraz instalację źródeł MTW i PV. Pierwszym systemem poprawy charakterystyki energetycznej było zamknięcie wentylacji grawitacyjnej oraz wprowadzenie wentylacji nawiewno – wywiewnej z rekuperacją (rekuperator Bartosz 600-1000 m^3/h , sprawność min 83 %).

4. Systemy OZE były wprowadzane stopniowo – w pierwszej wersji kolektory słoneczne od 1 do 8 różnych instalacji, najpierw płaskich, potem próżniowych, wreszcie nadążnych, aktualnie służą praktycznie tylko jako ogrzewanie basenu.

5. W drugim etapie zrezygnowano z ogrzewania budynku gazem ziemnym na rzecz kominka z płaszczem wodnym (etap przejściowy) i wprowadzając ostatecznie ogrzewanie gruntem z pompą ciepła (14 kW) z kolektorem poziomym (700 mb). Problem dystrybucji ciepła w pomieszczeniach gdzie funkcjonowały grzejniki wysokotemperaturowe rozwiązano przez przewymiarowanie ich (w praktyce dołożenie do istniejących grzejników konwekcyjnych dodatkowe w takiej samej technologii zwiększając ponad dwukrotnie ich powierzchnię). W latach 2015-2016 przetestowano również kocioł na biomasę (owies). Wyniki zamieszczono w pracy [8].

6. W trzecim etapie wprowadzono mikro turbinę wiatrową (początkowo o mocy 1 kW, następnie wymieniono ją na 3 kW (SouthWest WHI 500), pracującą na napięciu nominalnym 50 V DC oraz wprowadzono zestaw baterii akumulatorów kwasowych o pojemności nominalnej 50 kWh (50 V, 1000 Ah) z własną automatyką BMS.

- 7.** W czwartym etapie wprowadzono instalacji PV początkowo o mocy 4,5 kW (*off grid*, potem częściowo *on grid* z falownikiem jednofazowym) i rozbudowano ją w piątym etapie do 10 kW jako instalacja trójfazowa niesymetryczna 5-4-1 kW (częściowo na garażu i na gruncie) dopasowując ją do obciążeń poszczególnych faz.
- 8.** Na tym etapie zmodernizowano wszystkie urządzenia elektryczne domu (oświetlenie LED, wprowadzono pralkę i zmywarkę na ciepłą wodę, częściowe zasilanie z sieci 12 V DC). Systemy PV składają się z wielu urządzeń przełączanych z *on grid* na *off grid* przez system BMS w zależności od wybranego aktualnie przez użytkownika scenariusza energetycznego budynku.
- 9.** W etapie 6 zmodernizowano system HVAC wprowadzając za rekuperatorem pompę ciepła powietrze – powietrze, służącą jako dogrzewanie i schładzanie powietrza wentylacyjnego w okresach przejściowych i letnim, odpowiednio.
- 10.** W Etapie 7 całkowicie zmodernizowano system przygotowania CWU, rezygnując z przygotowania wody przez instalacje solarne i gruntową pompę ciepła a wprowadzając skomplikowany system oparty na dedykowanej do CWU pompie ciepła (trzeciej już) oraz podgrzewaczach elektrycznych sterowanych z BMS. Jednocześnie zasadniczo zmodernizowany został system cyrkulacji CWU przez zarządzanie tym procesem przez BMS. Na tym etapie wprowadzono pralkę i zmywarkę na ciepłą wodę oraz wprowadzono je do systemu zarządzania energią w budynku przez BMS.
- 11.** W etapie 8, po kolejnym (trzecim już), remoncie turbiny wiatrowej, została ona podłączona wyłącznie jako system doładowania akumulatorów 50kWh, głównie ze względu na jej niestabilne i rozczarowująco niskie uzyski energii w okresie roku (ok. 1000 kWh przy mocy nominalnej 3 kW).
- 12.** W etapie 9 przebudowano garaż, wprowadzając pod nim gruntowy powietrzny wymiennik ciepła służący jako dodatkowe źródło energii przed rekuperatorem. Dach garażu wykorzystano jako podstawa do rozbudowanego systemu PV (stojącego poprzednio na gruncie). Część nadążnej instalacji kolektorów słonecznych przebudowano na nadążny system PV służący głównie jako zasilanie dla UPS automatyki budynkowej.
- 13.** Podjęto również udane próby z przerobieniem samochodu hybrydowego Toyota Prius na wersję Plug In z możliwością ładowania nadmiarów energii z PV do akumulatorów tego auta (8 kWh, z DOD 80%). Zauważono, że wartość energii elektrycznej „załadowanej” do samochodu elektrycznego jest znacznie wyższa (ekonomiczny transfer paliwowy) niż wykorzystywanie jej do celów grzewczych w budynku. Prace te zostały opisane przez autora na popularnonaukowej stronie internetowej www.elektryczneautohybrydowe.pl gdzie rozpatrywano również możliwość wykorzystywania baterii trakcyjnych jako dodatkowy bank energii dla domu mieszkalnego. Aktualnie, ze względu na możliwość darmowego ładowania auta EV na terenie AGH, prace te zostały zawieszono.
- 14.** W rezultacie podjętych działań, bez docieplania ścian do standardu budynku pasywnego (czyli $E_u \sim 15\text{kW/m}^2\text{rok}$), mając ponad dwukrotnie większe zapotrzebowania na energię użytkową (ok. $40\text{kW/m}^2\text{rok}$), dzięki zainstalowanym systemom OZE (głównie PV i pompy ciepła) osiągnięto stan prawie zeroenergetyczności budynku (w bilansie rocznym, korzystając z rozliczenia w ramach *net meteringu* prosumenckiego). Suma opłat z tytułu zużywanej energii wynosi rocznie (dla budynku 270 m² i garażu 100 m²) – ok. 240 zł rocznie i są to

głównie opłaty za liczniki energii elektrycznej i gazu (w tym ok. 30 zł za gaz). Energetycznie budynek, choć wykazuje spore straty przez przegrody (ponad dwukrotnie większe niż budynek pasywny), można uznać że jest netto zeroenergetyczny, ponieważ w osłonie OK1 produkuje tyle energii ile zużywa (w praktyce więcej, bo produkuje ok. 10 MWh zużywa ok. 8 MWh, różnica zgodnie z ustawą o OZE zatrzymywana jest przez OSD.)

Dom 8. Dom parterowy (zamieszkały od 2009 r.) o powierzchni użytkowej 170 m². Dom składa się z 5 pokoi, salonu z kuchnią i dwóch łazienek. Wybudowany w koncepcji domu „prawie-pasywnego” [7]. Dom budowany był w systemie „gospodarczym” z uwagi na posiadane wykształcenie i uprawiany zawód właścicieli (uprawnienia budowlane i audytor energetyczny), dzięki czemu koszt budowy był niski (ok. 2700 zł/m²). Dom jest wyposażony w oświetlenie typu LED. Szczegółowe dane liczbowe charakteryzujące dom są następujące.

1. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania wynosi ok. 20 kWh/m². Ściany ocieplone 24 cm styropianu (U poniżej 0,12 W/m²K), strop docieplony styropianem 30 cm (U poniżej 0,11 W/m²K), okna trzyszybowe wypełnione argonem (U ok. 0,9 W/m²K).

2. Dom posiada wentylację nawiewno-wywiewną z rekuperatorem o sprawności odzysku ciepła ok. 70%. Pod płytą domu umieszczono wymiennik gruntowy GWC płaski o powierzchni ok 38 m², współpracujący z rekuperatorem.

3. Ogrzewanie budynku realizowane jest za pomocą mat elektrycznych w łazienkach i kuchni (ok 4 kW), oraz mat grzewczych podtynkowych w pokojach (ok 300 W na pokój – łącznie 1,5 kW); sporadycznie wykorzystywany jest kominek do ogrzewania salonu (zużycie drewna ok. 2 m³/sezon).

4. Ciepła woda użytkowa podgrzewana jest w elektrycznym podgrzewaczu zasobnikowym o mocy 2,5 kW oraz kolektora próżniowego o powierzchni absorbera 5 m².

5. Budynek zużywa rocznie ok. 14 MWh energii elektrycznej na wszystkie potrzeby. Ważniejsze odbiory energii elektrycznej zostały wyposażone w elektroniczne liczniki. Zużycie roczne energii elektrycznej dla czterech grup odbiorów wynosi: podgrzewanie ciepłej wody – 5,0 MWh, ogrzewanie budynku – 4,0 MWh, wentylacja – 1,0 MWh, pozostałe odbiory (kuchnia elektryczna, pralka, oświetlenie, inne) – 4,0 MWh.

6. Roczne łączne koszty energii elektrycznej wynoszą ok. 8 tys. PLN, a drewna ok. 300 PLN. Ilość energii w paliwie wykorzystywanego do ogrzewania kominkowego wynosi ok. 6 MWh (niska sprawność, ok. 50%).

Zbiorczy (tabelaryczny) opis energetyczno-kosztowy domów. Zróżnicowanie domów opisanych w tab. 1 oraz odnoszące się do tych domów rzeczywiste dane energetyczno-kosztowe przedstawione w tab. 2 pokazują pośrednio (choć w bardzo wyrazisty sposób) wielowymiarowość (różnorodność) potencjału prosumenckiego charakterystycznego dla segmentu domów jednorodzinnych i jego znaczenie dla transformacji energetycznej (oraz ogólnie dla rozwoju społeczno-gospodarczego).

Tab. 2. Roczne charakterystyki energetyczno-kosztowe domów

Dom	Zużycie, MWh	Produkcja własna, MWh	Koszty, tys. PLN
1	energia elektryczna: 2,5 gaz ziemny: 34 paliwo transportowe (benzyna): 10	(-)	energia elektryczna: 1,7 gaz ziemny: 7,7 paliwo transportowe: 5
2	energia elektryczna: 4 ekogroszek: 7 drewno: 6 paliwo transportowe (benzyna): 15	2,3 (PV)	energia elektryczna (rozliczenie w <i>net meteringu</i>): 1,2 węgiel, drewno: 1,3 paliwo transportowe: 8
3	energia elektryczna: 3,9 gaz ziemny: 19,5 paliwo transportowe (benzyna): 5	2 (PV) 2 (Kolektor słoneczny)	energia elektryczna (rozliczenie w <i>net meteringu</i>): 1,2 gaz ziemny: 3,7 paliwo transportowe: 2,5
4	energia elektryczna: 3 gaz ziemny: 4,5 węgiel, drewno: 30 paliwo transportowe (benzyna): 4	PV 5 kW (instalacja: czerwiec 2018)	energia elektryczna: 1,8 gaz ziemny: 1,0 węgiel, drewno: 4 paliwo transportowe: 2
5	energia elektryczna: 1,7 gaz ziemny: 11,3 drewno: 16 paliwo transportowe (benzyna): 12	(-)	energia elektryczna: 1,2 gaz ziemny: 2,2 drewno: 0,7 paliwo transportowe: 6
6	energia elektryczna: 7,5 gaz ziemny: 1,25 paliwo transportowe (LPG, diesel): 22	7,5 (PV)	energia elektryczna (rozliczenie w <i>net meteringu</i>): 0,2 gaz ziemny: 0,4 paliwo transportowe: 7
7	energia elektryczna: 8 gaz ziemny: ~ 0 biomasa (owies): paliwo transportowe (CNG): 6	10 (PV)	energia elektryczna (rozliczenie w <i>net meteringu</i>): 0,2
8	energia elektryczna: 14,0 paliwa transportowe (diesel): 28	(-)	energia elektryczna: 8 paliwo transportowe: 13

Pomińmy na razie usługi transportowe. Wówczas na podstawie danych dla domu 1, tab. 2, widać, że nie chodzi wcale o koszt tradycyjnego użytkowania energii elektrycznej. Chodzi o zmniejszenie kosztu ciepła grzewczego i ciepłej wody użytkowej, które można osiągnąć za pomocą pompy ciepła zasilanej energią napędową ze źródła PV.

Indywidualne jakościowe koncepcje transformacyjne domów istniejących

Doświadczenia właścicielskie charakterystyczne dla zbioru domów stanowiących przedmiot Raportu jednoznacznie radykalizują koncepcje rewitalizacyjne tych domów. Mianowicie, są to doświadczenia, które uprawniają do przyspieszania planów rewitalizacji poszczególnych

domów do standardu domu elektrycznego. W efekcie to co było traktowane kilka lat temu jako wyzwanie obecnie jest w środowisku autorskim Raportu normalnością.

Na przykład źródła LED nie mogą być już inaczej traktowane niż jako podstawowe (to tradycyjne żarówki wymagają ewentualnego „specjalnego” traktowania). Standardem staje się w wypadku domów istniejących termomodernizacja „trzeciej” generacji (prowadząca do rocznego zużycia ciepła grzewczego na poziomie 40 kWh/m²). W wypadku budowy nowych domów standardem staje roczne zużycie ciepła grzewczego na poziomie 30 kWh/m².

Standardem w koncepcjach rewitalizacyjnych jest instalowanie źródeł PV, wykorzystanie pomp ciepła i central wentylacyjnych do elektryfikacji ogrzewania i produkcji ciepłej wody użytkowej oraz wykorzystanie routerów OZE i akumulatorów do „przyspieszania” przejście do modelu *semi off grid* domu. Z tym są związane coraz częściej rozważania dotyczące instalowania prosumenckich sieciowych terminali dostępowych na osłonie OK1 zmieniających relacje z operatorem OSD i dostawcą zobowiązany (system ofertowania na osłonie OK1 w miejsce taryf i *net meteringu*, inteligentne transakcje *blockchain*).

Bardzo duży postęp następuje w zakresie transportu, mianowicie usługi dedykowane dla flot samochodów są dostępne dla użytkowników indywidualnych. Są to przede wszystkim usługi wynajmu długookresowego, a także rozwój w miastach sieci *car sharingu*. Z punktu widzenia energetycznego pierwszy model zapewnienia transportu (wynajem długookresowy) ma niewielki wpływ na zużycie energii. *Car sharing* natomiast wymusza oszczędne gospodarowanie samochodem, od czego bezpośrednio zależą koszty użytkowania. Z perspektywy elektryfikacji transportu oba modele użytkowania samochodu zmieniają w sposób zasadniczy postrzeganie samochodu nie tylko jako środek transportu, ale również jako aktywny element systemu elektroenergetycznego.

Roczne przebiegi dla opisywanych domów są bardzo różne (podane w opisach indywidualnych), natomiast pokonywane dystanse dobowe oraz obszar, po którym porusza się użytkownik, wpłyną na wybór przyszłego modelu użytkowania samochodu. Przy czym to preferencje użytkownika wpływają na rozwój usług transportu indywidualnego i zbiorowego (np. usługa *Bla bla car*).

Dom 1. Planuje się przeprowadzenie głębokiej rewitalizacji domu do standardu domu elektrycznego. W rewitalizacji tej uwzględnione zostaną ograniczenia związane z barierą w zakresie możliwości poprawy izolacyjności cieplnej budynku. W szczególności:

1. Planuje się powiązanie niezbędnej – ze względu na stan techniczny, będący skutkiem przekroczenia czasu życia (prawie 90 lat) – wymiany dachu z instalacją dachowych źródeł PV. Planuje się także ocieplenie ściany, która nie jest jeszcze ocieplona. Planuje się niezbędną wymianę kotła gazowego (również ze względu na nadchodzące przekroczenie jego czasu życia; czas eksploatacji kotła przekroczył już 21 lat) na pompę PC powietrze-woda do ogrzewania i produkcji ciepłej wody użytkowej. Dwie podstawowe inwestycje energetyczne w postaci źródeł PV i PC będą ściśle z sobą skoordynowane (dobór pompy PC będzie uwzględniał ocieplenie ściany, dobór mocy źródła PV będzie uwzględniał pompę PC).

2. W zakresie transportu główną opcją jest stopniowa rezygnacja w gospodarstwie domowym z własnych tradycyjnych samochodów (najpierw jednego, następnie drugiego) i przejście na transport

publiczny (zwłaszcza jeśli osiągalna stanie się usługa *car sharingu*). Dopuszczalną jest także alternatywna opcja samochodu elektrycznego.

3. Planuje się rozwój inteligentnej infrastruktury ukierunkowanej na takie funkcjonalności jak: aktywność w trybie telepracy, włączenie się w budowę szeroko rozumianego kapitału społecznego, korzystanie z opieki zdrowotnej w trybie telemedycyny (stosownie do możliwości, które będzie oferował rynek).

Dom 2. Pomimo dobrego stanu technicznego budynku, ze względu na nieokreśloną sytuację z wydaniem decyzji administracyjnej dotyczącej możliwości kontynuowania zamieszkania, zawieszono dalsze plany transformacyjne.

1. Najbardziej prawdopodobnym scenariuszem na najbliższe 2 lata jest budowa nowego domu. Obecnie ustalane są szczegóły dotyczące technologii wykonania domu, na którą wpływ ma dalsza eksploatacja złóż węgla znajdujących się pod posesją (osiedlem), a także możliwość odstąpienia od lokalnego planu zagospodarowania przestrzennego. Należy dodać, że obecna koncepcja budowy nowego domu bazuje na lekkiej technologii szkieletowej z wypełnieniem wszystkich przegród zewnętrznych i dachu wełną mineralną oraz dociepleniem zewnętrznym ze styropianu. Konstrukcja ta umożliwia dostosowanie budynku, w pierwszym etapie będącym rozbudową budynku istniejącego (połączonych bryłą budynku i instalacjami), do standardu domu pasywnego, w tendencji domu elektrycznego. Planowana technologia charakteryzuje się bardzo małą bezwładnością cieplną, którą można będzie sterować dodatkowym buforowym zasobnikiem wodnym w instalacji CO.

2. Wykorzystanie pełnych możliwości integracji budynku z własnym źródłem PV wymaga stosowania inteligentnej infrastruktury, mianowicie wyposażenie w podstawowej wersji w automatykę budynkową i router OZE (zaprojektowane na podstawie dotychczasowych doświadczeń) w celu zarządzania pracą odbiorników charakteryzujących się znaczącym zużyciem energii. Zaplanowanie inteligentnej infrastruktury na etapie budowy ułatwi późniejszą synchronizację budynku z terminalem dostępowym TPA+.

3. Doświadczenia zdobyte podczas korzystania z transportu zbiorowego (niestety już praktycznie nieistniejącego na użytkowanej trasie) oraz własnych samochodów wskazują jednoznacznie na konieczność dostosowania trybu funkcjonowania zawodowego i rodzinnego do rezygnacji z własnych samochodów (w tendencji). Obecny roczny przebieg dwóch samochodów zasilanych benzyną wynosi ok. 25 tys. km. W celu obniżenia kosztów użytkowania w pierwszej kolejności zdecydowano się na zmianę paliwa na LPG. Po osiągnięciu wieku samochodów dyskwalifikujących je z dalszej eksploatacji (ok. 10 lat) planuje się przejście na system współużytkowania *car sharing* (co najmniej w przypadku jednego samochodu). Dla świadczonej na Śląsku usługi *car sharingu* (Traficar) oszacowano, że rezygnacja z własnego samochodu i korzystanie z usługi *car sharingu* jest opłacalne w przypadku zmniejszenia tygodniowego przebiegu o 30%, czyli dojazdy do pracy tylko w trzy dni tygodniowo. Koszty usługi Traficar wynoszą: przejazd – 0,80 zł/km, czas przejazdu – 0,50 zł/min, czas postoju – 0,10 zł/min. Zatem usługa na trasie Bytom – Gliwice – Bytom kosztuje ok. 70 zł/dzień. Są to pełne koszty użytkowania samochodu, wraz z paliwem. Bez względu na cenę zakupu samochodu wydaje się, że posiadanie własnego środka transportu przestaje być sensowne, szczególnie samochodu elektrycznego. Wydaje się, że rolą samochodu elektrycznego nie jest tylko świadczenie usług przewozowych, ale też np. aktywnego uczestnictwa w usługach regulacyjno-bilansujących systemu elektroenergetycznego.

Dom 3. Największym kosztem utrzymania domu jest ogrzewanie. W najbliższych planach modernizacji znajdują się: docieplenie niepodpiwniczonej części przyziemia, z wymiana ogrzewania konwekcyjnego na ogrzewanie podłogowe. Dodatkowo wymiana okien w całym budynku na okna w nowszej technologii, trójszybowe. Termomodernizacja ścian i stropodachu wykonana jest prawidłowo i zgodnie ze sztuką budowlaną i nie przewiduje się w najbliższym czasie jej zmiany. Jednocześnie planuje się rozbudowanie instalacji fotowoltaicznej. Jest to zagadnienie trudne. Dach budynku jest dachem płaskim z instalacją kominową oraz z kolektorem słonecznym. Istnieje niestety duże ryzyko zacieniania paneli PV. Inne niż dachowe technologie PV są zbyt kosztowne. Jednocześnie, bardziej dla testów, niż dla faktycznych potrzeb energetycznych rozpatrywany jest ponowny montaż turbiny wiatrowej, tym razem z osią pionową. Turbina pracowałaby w systemie *off grid*.

Dom 4. Dalsze działania rewitalizacyjne będą bezpośrednią kontynuacją działań rozpoczętych w 2018 r. Dotyczą one transformacji instalacji elektrycznej do postaci inteligentnej infrastruktury oraz sposobu ogrzewania CWU.

1. Główną planowaną zmianą energetyczną budynku jest sposób ogrzewania wody użytkowej. Do tej pory wykorzystywano do tego celu gaz ziemny (w lecie oraz w okresach przejściowych) oraz węgiel i drewno (okres zimy). Przewiduje się zainstalowanie systemu elektrycznego podgrzewu CWU (z zasobnikiem).

2. W celu lepszego wykorzystania źródła PV dotychczasowa instalacja elektryczna domu będzie przekształcana w inteligentną infrastrukturę. Dzięki temu będzie możliwe bardziej efektywne wykorzystanie energii elektrycznej (lepsze dostosowanie się do ustawowej kalibracji *net meteringu*, zwłaszcza w wypadku jej zmiany). Przewiduje się etapowe włączanie odbiorników w obszar działania infrastruktury. W pierwszej kolejności zostanie włączone ogrzewanie CWU, a następnie kolejne dwa, najbardziej znaczące odbiorniki: zmywarka i pralka. Każde z urządzeń będzie skomunikowane z sieciowym terminalem dostępowym umożliwiającym sterowanie, zależne od produkcji energii ze źródła PV i taryfy dynamicznej TD (definicja w dalszej części Raportu); jeśli wprowadzone zostaną potrzebne regulacje prawne. Do czasu wprowadzenia takich regulacji terminal będzie tworzony w trybie sterownika wewnętrznego, działającego w osłonie OK1.

3. W domu przeprowadzono termomodernizację II generacji. Oznacza to, że w obecnym stanie ściany budynku ocieplone są styropianem o grubości 10 cm. Ocieplenie stropu wykonane jest rozprężaną wełną mineralną. Z tego powodu w okresie najbliższych 10-20 lata nie jest planowana termomodernizacja budynku.

4. Elementami, które mogą wpływać na pogorszenie izolacji budynku jest izolacja fundamentów oraz posadzek w części piwnic użytkowych. Modernizacja w tym zakresie nie jest przewidywana ze względu na znaczne koszty takiej modernizacji.

5. Obecny roczny przebieg samochodu zasilanego benzyną wynosi 7 tys. km. Amortyzacja użytkowanego samochodu jest stosunkowo niewielka. Wynika to z małego przebiegu – 40 tys. km w trakcie siedmiu lat eksploatacji. Samochód był wykorzystywany w cyklu mieszanym, przy średnim zużyciu 6 l/100km. Gmina, w której istnieje omawiany budynek nie oferuje rozbudowanego transportu zbiorowego, łączącego najbliższe większe miejscowości. Ze względu na małą amortyzację posiadanego

samochodu, w najbliższym czasie nie przewiduje się rezygnacji z niego na rzecz car sharingu lub zakupu samochodu elektrycznego.

Dom 5. Planuje się rewitalizację energetyczną domu w trzech kierunkach. Pierwszym jest instalacja źródła PV dobranego do obecnego stanu energetycznego budynku. Drugim jest „pasywna” wymiana samochodu na elektryczny i związane z tym zwiększenie mocy źródła PV (pasywna wymiana, tzn. po wejściu rynku samochodów elektrycznych w Polsce w dojrzałą fazę). Trzecim ogrzewanie budynku za pomocą pompy ciepła.

1. Planowany jest montaż instalacji fotowoltaicznej PV o mocy 2 kW (pierwszy etap, przed ewentualną zmianą na samochód elektryczny. Źródło o takiej mocy pozwoliłoby, przy wykorzystaniu *net meteringu*, zmniejszyć rachunki za energię elektryczną praktycznie do wartości zerowej. Budowie tej instalacji mogłaby towarzyszyć instalacja routera OZE, a w późniejszym czasie również akumulatorów jako lokalnych magazynów energii elektrycznej.

2. Po upowszechnieniu się samochodów elektrycznych możliwa będzie rozbudowa instalacji fotowoltaicznej w ramach etapu II – dla potrzeb ładowania akumulatorów samochodów elektrycznych, o mocy elektrycznej dobranej już pod konkretne warunki (wymagana moc elektryczna, możliwości rezerwowania dostawy energii).

3. Niezależnym problemem pozostanie ogrzewanie budynku, docelowo z wykorzystaniem pomp ciepła – możliwe będzie zastosowanie układów hybrydowych (współpraca kotła gazowego z powietrzną pompą ciepła) lub przejście w pełni na powietrzną pompę ciepła bez konieczności współpracy z kotłem gazowym.

Dom 6. Zdobyte doświadczenie obejmujące proces przygotowawczy do budowy, budowę i modernizację po zasiedleniu budynku oraz osiągnięte satysfakcjonujące parametry energetyczne i koszty utrzymania powodują, że właściciel, budując dom ponownie od podstaw, zastosowałby ciężką konstrukcję budynku, podobną lub lepszą izolację termiczną, wentylację mechaniczną, pompę ciepła i klimatyzację oraz instalację PV. Na pewno zrezygnowałby z kominów w budynku (zbędny koszt i mostki cieplne), doprowadzenia gazu ziemnego i instalacji gazowej, nieużywanego kominka. Także grzejników, na rzecz ogrzewania podłogowego w całym budynku.

1. Niezależnie od satysfakcjonujących, w obecnej perspektywie, efektów ekologicznych i energetycznych, w perspektywie 2040 r. można prognozować dalszą trajektorię zmian użytkowania energii przez gospodarstwo domowe (budynek) 6. Nie licząc energii wykorzystywanej na potrzeby transportu, obecnie osiągnięto niemal pełną niezależność energetyczną budynku.

2. Obecne zapotrzebowanie na paliwa transportowe wynosi około 22 MWh rocznie przy rocznym przebiegu około 30 tys. km. Po zmianie środków transportu na 2 samochody elektryczne, zakładając jednostkowe zużycie energii elektrycznej w wysokości 20 kWh/100km, zapotrzebowanie roczne zostanie zredukowane do około 6 MWh (energia elektryczna).

3. Ze względu na wymianę starych urządzeń AGD na nowe – bardziej energooszczędne oraz zmianę ogrzewania CWU na pompę ciepła po zakończeniu eksploatacji kotła gazowego spowodowanej śmiercią techniczną urządzenia, zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną w perspektywie 2040 r. powinno zostać nieco obniżone. Ostrożna prognoza wskazuje, że roczne sumaryczne zapotrzebowanie na energię gospodarstwa domowego (potrzeby mieszkańców wraz z transportem) zmniejszy się do wartości poniżej 14 MWh.

4. Obecnie na dachu są zainstalowane 32 moduły PV o standardowych wymiarach 992x1650 mm, a możliwe jest umieszczenie na dachu budynku kolejnych 12 modułów. Produkowane obecnie moduły PV posiadają moce znamionowe około 300 W, lecz od lat obserwujemy systematyczny wzrost wydajności ogniw fotowoltaicznych, więc w bardzo ostrożnej prognozie z perspektywą 2040 r. można przyjąć, że znamionowa moc modułów będzie przekraczać 330-350W. Umożliwi to zainstalowanie dachowego systemu PV o mocy znamionowej ponad 15 kW, co pozwoli na generację około 15 MWh energii elektrycznej rocznie, zapewniając tym samym pełną niezależność energetyczną budynku i zaspokojenie wszystkich potrzeb energetycznych jego mieszkańców wraz z transportem.

Dom 7. Ze względu na osiągnięcie stanu „ekonomicznej zeroenergetyczności”, czyli obniżeniu opłat za nośniki energii z zewnątrz do granicy minimum (ponoszone są tylko opłaty związane ze składkami stałymi, np. za usługę eLicznik), właściciel rozważa następne kroki w kierunku zbudowania zdolności regulacyjno-bilansujących w których mógłby bardziej efektywnie wykorzystywać własną energię. Prace idą w kierunku przydomowego banku energii o znacznej pojemności baterii LiFEPO4 pozwalających na niwelowanie dobowych cykli oddawania energii do sieci OSD, ładowania samochodu elektrycznego, a także składowania energii w innych formach (praca wykonana na systemach wodnych, sprężone powietrze).

Dom 8. Planuje się działania rewitalizacyjne ukierunkowane na zwiększenie efektywności odzyskiwania ciepła oraz poprawę energochłonności systemów pomocniczych ogrzewania. Drugim planowanym kierunkiem rewitalizacji domu jest instalacja źródła PV. Nie jest rozważana wymiana samochodu.

1. Przede wszystkim planowana jest wymiana rekuperatora na większy (obecnie max przepływ to 400 m³/h – w nowym układzie max przepływ wyniesie 600 m³/h) o wyższej sprawności (85%) oraz z wentylatorami opartymi o silniki DC (obecnie silniki AC mają moc ok 100 W każdy, nowe będą miały moc po ok. 40 W). Spowoduje to obniżenie zużycia energii elektrycznej o ok. 1,5 MWh/rok.

2. W kolejnym etapie planuje się instalację źródła PV *on grid*. Moc źródła zostanie dobrana uwzględniając bilans energetyczny budynku.

Dom elektryczny

Wyniki analiz jakościowo-ilościowych (prostych przetworzeń) dla „zwykłych” domów, których hasłowy opis został przedstawiony w tab. 1, a dane energetyczne w tab. 2, uzupełnione o opisy dotychczasowych indywidualnych doświadczeń właścicieli i ich dalszych zamierzeń rewitalizacyjnych, bardzo silnie racjonalizują perspektywę dochodzenia do standardu domu, który dotychczas był nazywany „prawie zero-energetycznym”. Dla uproszczenia (zwiększenia przejrzystości) dalszych rozważań przedstawia się na początek racjonalizację, odnoszącą się do tej nazwy. Jest to niewątpliwie nazwa obciążona wieloma słabościami (choćby brakiem jednoznaczności), a przy tym jest powszechnie stosowana. Propozycja zmiany nazwy na dom „elektryczny” jest w Raporcie związana z poszukiwaniami, które ułatwią ogólnie organizację badań (w sensie metody badawczej) dotyczących rewitalizacji energetycznej domu (praktycznych aspektów rewitalizacji w wymiarze mikroekonomicznym), ale zarazem umieszczą tę rewitalizację precyzyjnie w środowisku makroekonomicznym całej transformacji energetycznej (znowu rozumianym w sensie metody badawczej).

Definicja. Dom elektryczny (włączony w gospodarkę obiegu zamkniętego w zakresie odpadów środowiskowych i obiegu wody) jest domem, w którym energią napędową urządzeń realizujących wszystkie potrzeby energetyczne mieszkańców jest energia elektryczna (w tendencji prądu stałego). W wymiarze mikroekonomicznym jest to (również w tendencji) dom przyłączony do sąsiedzkiej mikrosieci OZE *off grid* (lub dom OZE *off grid*). W wymiarze makroekonomicznym – odpowiedzialnym w procesie transformacji energetycznej, realizowanej w horyzoncie 2050, za rynkową optymalizację alokacji zasobów z energetyki WEK do energetyki EP i NI – jest to dom *on grid* na rynku wschodzącym energii elektrycznej (1) w osłonie OK1, przyłączony zgodnie z zasadą TPA+ do sieci nN WEK za pomocą prosumenckiego sieciowego terminala dostępowego.

Uzupełnienie objaśniające do przedmiotu definicji. Proces rewitalizacji domów istniejących (ale również nowych, budowanych, w standardzie nie w pełni elektrycznym) do standardu domu elektrycznego następuje na rynku wschodzącym energii elektrycznej (1) w sposób umożliwiający rynkową racjonalizację wykorzystania zasobów regulacyjno-bilansujących KSE. Służy temu celowi wystawianie (z wykorzystaniem inteligentnych technologii, np. *blockchain*) ofert sprzedażowo-zakupowych na osłonie OK1 przez: 1° - prosumencki terminal sieciowy, 2° - przez rynek schodzący energetyki WEK. Zgodnie z zasadą TPA+ transakcje na osłonie OK1, obydwie wymienione, są „zwykłymi” transakcjami rynkowymi: mogą, ale nie muszą być realizowane, co wynika z faktu, że energia elektryczna w definicji domu elektrycznego jest towarem, a nie dobrem dostarczanym na pozarynkowych zasadach). Cała definicja ma podstawę w Raportach: piątym BŻEP Cyklu [1] oraz drugim BPEP Cyklu [2].

Uznaje się, że nazwa „dom elektryczny” na obecnym etapie działań zmierzających do przełamania mentalnej bariery charakterystycznej dla początkowej fazy transformacji energetycznej jest bardzo użyteczna, znacznie bardziej niż nazwa dom „prawie zero-energetyczny”. Decydują o tym liczne powody teoretyczne i praktyczne.

Nazwa dom „prawie zero-energetyczny” wchodziła do obiegu, gdy polityka klimatyczna dominowała wśród przyczyn warunkujących transformację energetyki (w Europie był to w szczególności czas wprowadzania unijnych celów energetyczno-klimatycznych 3x20; przełom pierwszej i drugiej dekady obecnego wieku). Wówczas technologie umożliwiające osiągnięcie celów były jeszcze słabo rozpoznane (zwłaszcza ekonomika poszczególnych technologii była wielką niewiadomą). Na obecnym etapie uzasadniona jest zmiana nazwy na „dom elektryczny”, bo elektryfikacja usług ciepłowniczych i transportowych staje się bezdyskusyjna, podobnie jak bezdyskusyjny staje się mono rynek energii elektrycznej OZE oraz alokacja usług bilansująco-regulacyjnych do osłony kontrolnej OK1.

Oczywiście, nazwę dom elektryczny w szczególności należy kojarzyć z instalacją elektryczną, z odbiorem elektrycznym, ale już nie z odbiornikiem elektrycznym, a w żadnym wypadku z „krzesłem elektrycznym”. Nazwa przywołana została w sposób zamierzony. Krzesło elektryczne powinno być raz na zawsze odrzucone. Dom elektryczny wykorzystujący źródła PV, pompę PC, samochód elektryczny (transport publiczny, *car sharing*), a poza obszarem użytkowania energii elektrycznej wykorzystujący technologie pasywne i gospodarkę obiegu zamkniętego – emanacja pożądanego modelu rozwojowego – powinien jak najszybciej stać się standardem.

OD WME 8DJ (OSIEM DOMÓW JEDNORODZINNYCH) DO SĄSIEDZKIEGO MODELU PROSUMENCKIEGO

Sąsiedzki model prosumencki (odnoszący się do segmentu domów jednorodzinnych) jest (w tendencji) modelem rzeczywistych mikro-sieci *off grid*. Model ten ma wielki potencjał rozwojowy, stąd ma np. wysoką rangę w niemieckiej Energiewende. Droga dojścia do sąsiedzkiego modelu prosumenckiego prowadzi w warstwie badawczej przez model wirtualny. Zrealizowany w Raporcie zakres modelowania bilansów WME 8DJ jest początkiem drogi.

Profile (zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej) domów

Wszystkie domy opisane w tab. 1 i 2 są przyłączone do sieci dystrybucyjnej OSD Tauron Dystrybucja. Większość z nich ma zainstalowane liczniki elektroniczne za pomocą których operator realizuje usługę internetową o nazwie „eLicznik” (możliwą w wypadku liczników ze zdalnym odczytem); tylko domy 4, 6 nie mają takiego licznika. Usługa umożliwia właścicielom domów dostęp (chroniony hasłowo, poprzez stronę internetową) z rozdzielczością godzinową. Podkreśla się, że jest to dostęp całkowicie „dekoracyjny” z punktu widzenia relacji między odbiorcami/prosumentami i operatorem OSD jak również dostawcą zobowiązanym (w szczególności dostęp ten nie stanowi dla dostawcy zobowiązanego podstawy do wystawienie faktury za zużyta energię; dostawca żąda na ogół od odbiorcy/prosumenta telefonicznego zgłoszenia stanu licznika, albo stosuje szacowanie *ex ante* i rozliczenie wyrównawcze *ex post* na podstawie odczytu „wzrokowego” licznika realizowanego na ogół raz w roku).

Z drugiej strony większość domów (2, 3, 6, 7, 8), to domy stanowiące „zaawansowane” poligony doświadczalne (laboratoria badawcze) dla właścicieli. Dlatego są wyposażone w bardzo liczne i zróżnicowane układy pomiarowe służące do własnych celów badawczych (nie są wykorzystywane do celów rozliczeniowych z dostawcą); instalowanie układów pomiarowych w różnych obwodach (jest to możliwe, bo są one bardzo tanie). Dostęp do profili czasowych zużycia (zapotrzebowania) i produkcji energii elektrycznej dla domów opisanych w tab. 1 i 2 jest bardzo zróżnicowany. Opisane w Raporcie osiem domów jednorodzinnych ma zróżnicowany dostęp do profili zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej. Dodatkowo profile te rejestrowane są z różnymi przedziałami czasowymi, wynikającymi z zainstalowanych urządzeń pomiarowych. Najprostszym, urządzeniem pozwalającym na pomiar profili godzinowych jest inteligentny licznik operatora OSD. W domu 6 zainstalowane są dodatkowe liczniki mierzące zarówno zapotrzebowanie jak i produkcję w źródłach PV z większą rozdzielczością, mianowicie 1 i 5 minut. Przedstawione w Raporcie domy charakteryzują typowe sytuacje spotykane w Polsce, od modelu odbiorcy do modelu prosumenckiego. Krótka charakterystyka domu ze względu na dostępne profile pozwala przedstawić przykładowe, występujące rzeczywiście w Polsce przypadki.

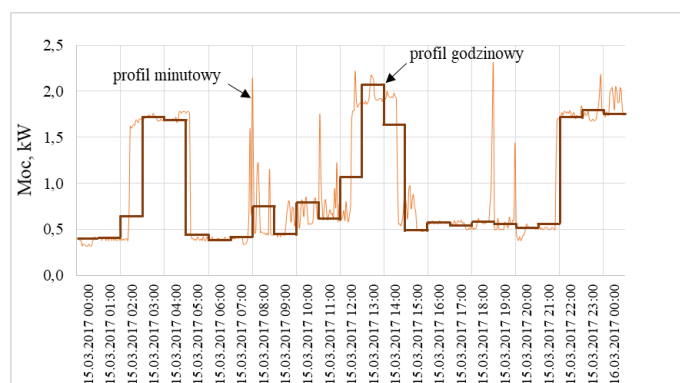
Celem przeprowadzonych badań jest sprawdzenie wpływu źródeł PV na bilans energii na osłonie OK1, w tym możliwości zbilansowania pojedynczego domu oraz WME składającego się z ośmiu opisanych w Raporcie domów.

Plan symulacji (doświadczeń). Plan ten powiązany jest ściśle z możliwościami pozyskania profili zapotrzebowania i produkcji dla poszczególnych domów. Chodzi o dostępność i jakość profili będących w posiadaniu operatora OSD (usługa eLicznik dostępna dla właściciela domu), ale także prosumenckich profili „wewnątrz-instalacyjnych” będących wynikiem działań „eksperymentatorsko-badawczych” właścicieli, pozyskiwanych z „wewnętrznej” prosumenckiej inteligentnej infrastruktury. Szczegółowo

możliwości te, wraz z opisem przeprowadzonych symulacji, zostaną przedstawione w części poświęconej opisowi wybranych domów.

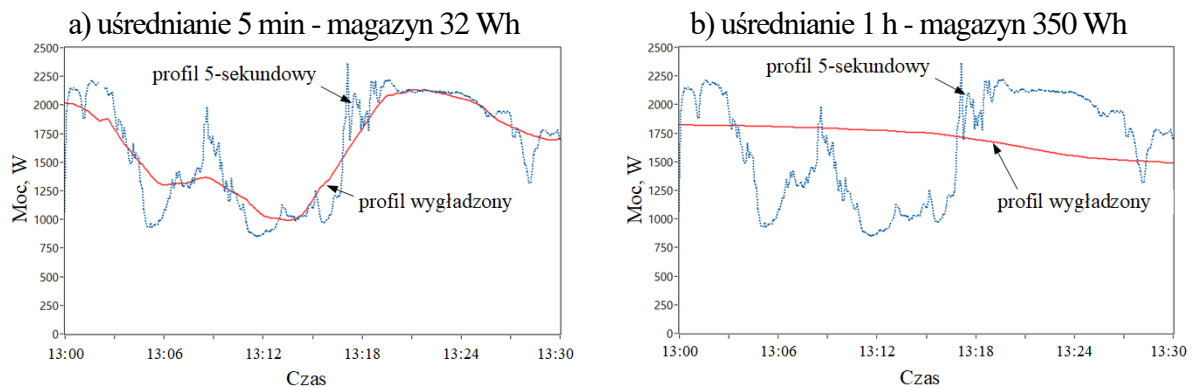
1. Porównanie minutowych i godzinowych profili zapotrzebowania. Celem badań jest sprawdzenie możliwości wykorzystania profili godzinowych do analizy bilansów energii na osłonie OK1 domów oraz dobór magazynów energii w celu wyeliminowania silnych wahań sekundowych i minutowych obciążenia i produkcji.
2. Profile zapotrzebowanie i produkcji energii elektrycznej. Wykreślenie uporządkowanego rocznego profilu energii. Określenie 80 % poziomu mocy na podstawie uporządkowanego profilu energii, w celu określenia możliwości ograniczenia mocy przyłączeniowej domów.
3. Wyznaczenie rocznego salda energii na osłonie OK1. Analiza bilansu i wyznaczenie rocznego salda wykorzystywane jest do doboru mocy instalacji PV.
4. Badania symulacyjne WME 8DJ – wyznaczenie rocznego bilansu energii dla istniejących domów. Uwzględnienie w analizie wszystkich opisanych w raporcie domów, ma na celu określenie poziomu rocznego niezbilansowania mikrosystemu WME 8DJ, składającego się z ośmiu istniejących domów, odmiennych pod względem profili produkcji i zapotrzebowania.
5. Dobór źródeł PV w celu rocznego zbilansowania energii w WME. Celem badania jest określenie łącznej mocy instalacji PV dla mikrosystemu WME 8DJ pozwalającego na roczne zbilansowanie energii.
6. Sąsiedzki model prosumencki – z i bez *net meteringiem*. Dobór źródeł PV. Wykorzystanie akumulatorów do bilansowania. Uzupełnienie bilansu o agregaty CHP. Celem jest sprawdzenie sąsiedzkiego modelu prosumenckiego wykorzystującego różne technologie produkcji energii elektrycznej. W tendencji doprowadzające do całkowitego zbilansowania się ciągu liniowego np. dla jednej ulicy.

Profile minutowe i godzinowe. Profile godzinowe są dostępne dla właścicieli na stronie operatora OSD, dla którego jest to usługa eLicznik, pozwalająca na dostęp do profili (od chwili jej uruchomienia). Profile te pozwalają na przeanalizowanie zużycia energii w przedziale dobowym lub rocznym. Godzinowe uśrednianie profili eliminuje (wygładza, „ukrywa”) duże wahania obciążenia, pochodzące w szczególności od odbiorników dużej mocy np. żelazka. Rejestracja profili minutowych wymaga zainstalowania dodatkowego licznika energii pozwalającego na archiwizację z większą częstotliwością. Przykładowe profile minutowe i godzinowe dla domu 6, wyposażonego w licznik pomiarowy przesyłający dane do portalu internetowego PVMonitor, zostały pokazane na rys. 8.



Rys. 8. Porównanie godzinowe i minutowego profilu obciążenia dla domu 6 (15.03.2017)

Zarejestrowane w dniu 15 marca 2017 r. profile pozwalają na określenie możliwości wykorzystania każdego z nich. Profile godzinne w dużym stopniu filtrują zmiany mocy ale można je wykorzystać w zagadnieniach rozwojowych, tj. do doboru źródeł PV, w szczególności, gdy nie wykorzystuje się *net meteringu*. Zaletą profili godzinowych jest mniejsza liczba danych wykorzystywanych w symulacjach. Profile minutowe, a nawet szybsze należy wykorzystywać, jeżeli analizuje się możliwość świadczenia usług systemowych. Stawia to jednak większe wymagania dla systemów obliczeniowych.



Rys. 9. Wykorzystanie magazynu energii do bilansowania zużycia dla okresu a) 5 min oraz b) 1 h

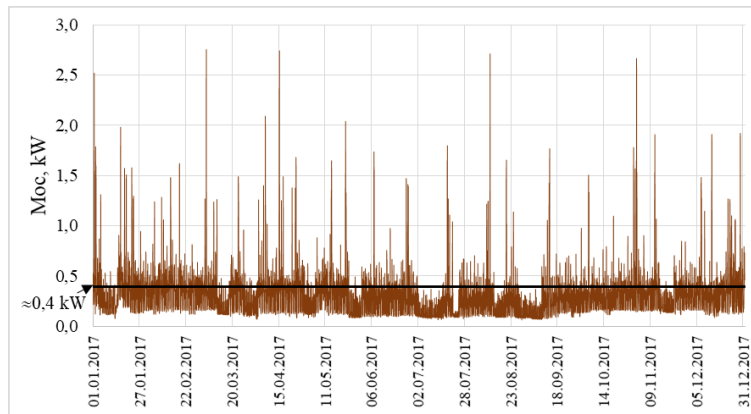
Występujące w instalacjach duże zmiany poboru mocy można ograniczyć stosując magazyny energii o stosunkowo małej pojemności. Dla przykładu na rys. 9 zamieszczono przykładowe przebiegi obciążenia na osłonie OK1 w przypadku zastosowania magazynów energii. W pierwszym przypadku (rys. 9a) magazyn dobrany jest w celu uśrednienia obciążenia dla okresu 5 min, eliminując gwałtowny krótkotrwały skok mocy. W tym przypadku wystarczy magazyn energii o pojemności 32 Wh. W celu uśrednienia energii w okresie 1 h (rys. 9b) potrzeby jest magazyn o pojemności 350 Wh.

Zastosowania w strukturze terminala dostępowego i/lub w strukturze odbiornik (w szczególności odbiorników wrażliwych) magazynów energii nawet o niewielkiej pojemności pozwala na bardzo duże ograniczenie zmian obciążenia. Wpływa to na poprawę możliwości bilansowania domu wykorzystywanego jako podmiotu w minisystemie WME 8DJ (osiem domów jednorodzinnych). Jako magazyny energii mogą być wykorzystywane zarówno akumulatory jak i superkondensatory. W przypadku krótkich okresów bilansowania (5 min) można zastosować baterię superkondensatorów o pojemności 1,62 F pracującą z napięciem pomiędzy 200-400 V. Dla większych pojemności jako magazyn energii należy zastosować akumulator ewentualnie z superkondensatorem o małej pojemności służącym do eliminacji bardzo krótkich zmian obciążenia.

Charakterystyka wybranych domów. Trzy domy, jako charakterystyczne, opisano szczegółowo. Są to odpowiednio: dom 1 – „odbiorca”, dom 2 – „prosument”, dom 6 – prosument z dostępem profili jedno i pięciominutowych. Na podstawie tych domów, przeprowadzono symulacje opisane w punktach 1 do 3 w planie symulacji, a następnie badania zostały rozszerzone na pozostałe domy. Pozwala to na uzyskanie wyników symulacyjnych dla mikrosystemu WME 8DJ (punkty 4 i 5 planu symulacji) a następnie przedstawienie koncepcji sąsiedzkiego modelu prosumenckiego (punkt 6 planu symulacji).

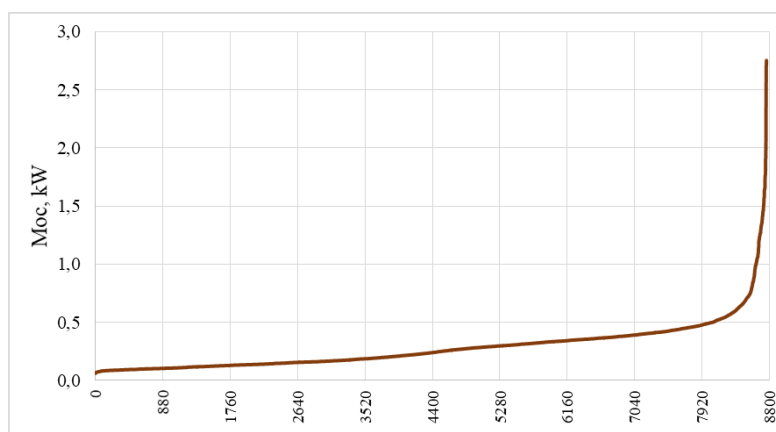
1. Pierwszy z domów, o rocznym zapotrzebowaniu 2,5 MWh, jest przykładem domu odbiorcy z dostępem do usługi eLicznik. W domu tym ogrzewanie jest gazowe, a większymi odbiornikami

energii elektrycznej jest kuchnia elektryczna, pralka i suszarka. Roczny godzinowy profil dla domu został przedstawiony na rys. 10. Czarną poziomą linią zaznaczono moc około 0,4 kW, która stanowi kwantyl mocy godzinowych rzędu 0,8 (średnia godzinowa moc zapotrzebowania domu jest w ciągu roku w 80% mniejsza od tej wartości, tzn. roczny czas występowania mocy godzinowej obciążenia poniżej 0,4 kW wynosi 7000 godzin).



Rys. 10. Roczny profil zapotrzebowania dla domu 1

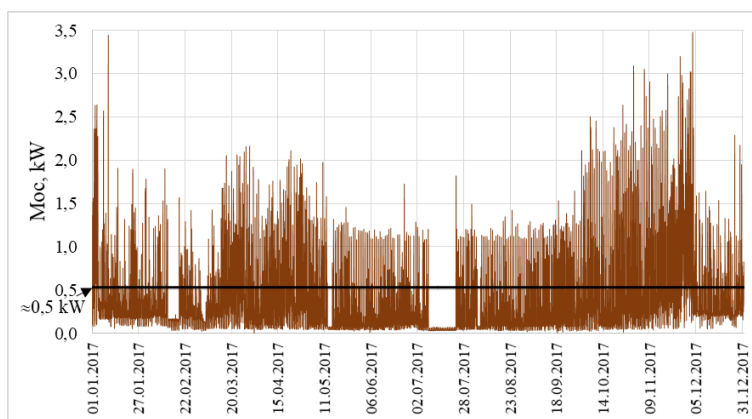
Dom 1 charakteryzuje się zatem niskim średnim zużyciem energii elektrycznej, co szczególnie widać, na uporządkowanym rocznym profilu, rys. 11. Przekroczenie średniej godzinowej mocy powyżej 0,5 kW występuje jedynie przez 600 godzin, a powyżej 1 kW przez 130 godzin. Dom 1 nadaje się więc bardzo dobrze do wykorzystania akumulatora jako magazynu pozwalającego ograniczyć moc przyłączeniową poniżej 1 kW, która aktualnie wynosi 14 kW jest więc 14 razy wyższa od mocy możliwej do obniżenia, przy zastosowaniu akumulatorów.



Rys. 11. Uporządkowany roczny profil zapotrzebowania dla domu 1

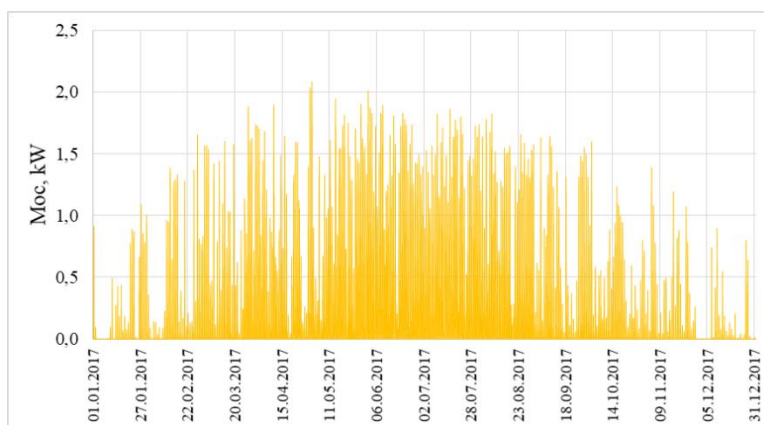
2. Dom drugi jest przykładem domu prosumenta. Charakteryzuje się rocznym zapotrzebowaniem wynoszącym 4,1 MWh (związane z zainstalowaną pompą ciepła) i roczną produkcją 2,3 MWh. Roczna energia oddawana do sieci dla domu 2 wynosi 1,6 MWh a energia pobierana z sieci wynosi 3,1 MWh. Zapotrzebowanie domu 2 pokrywane jest w części ze źródła PV (ze współczynnikiem wykorzystania na potrzeby własne na poziomie 0,3). Pozostała część energii ze źródła oddawana jest do sieci, a następnie

pobierana ze współczynnikiem *net meteringu* wynoszącym 0.8. Profil zapotrzebowania na osłonie OK1 dla domu został pokazany na rysunku 12.



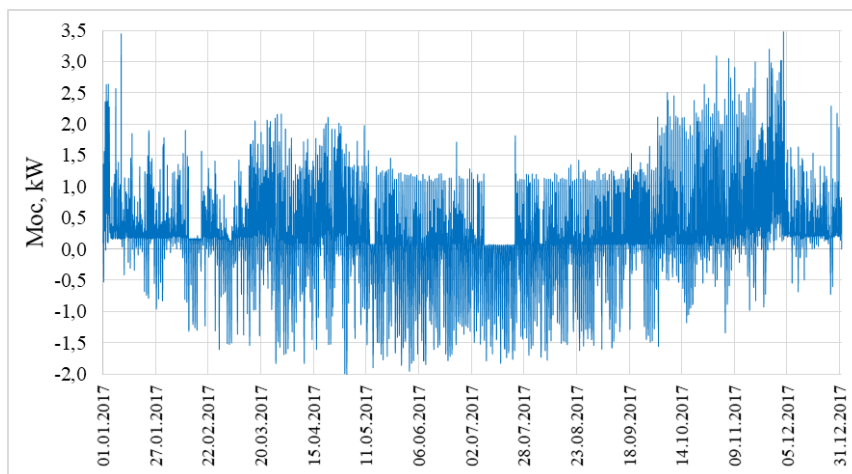
Rys. 12. Roczny profil zapotrzebowania dla domu 2

Dom 2, pomimo zainstalowanej pompy ciepła o dużej mocy (2,5 kW mocy elektrycznej), przez 80% czasu w ciągu roku pobiera energię z mocą poniżej 0,53 kW a dla 90% czasu jest to moc poniżej 1 kW. Dostęp do eLicznika umożliwia pozyskanie danych nie tylko o zapotrzebowaniu, ale również o energii oddawanej do sieci (produkowanej w źródle PV). Roczny profil energii oddawanej do sieci (na osłonie OK1) został przedstawiony na rys. 13.



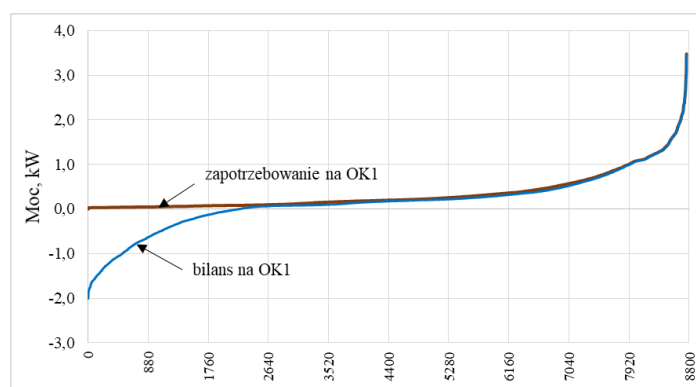
Rys. 13. Roczny profil produkcji dla domu 2

Dane z eLicznika umożliwiają wyznaczenie również rocznego bilansu energii (rys. 14). Z bilansu można odczytać maksymalną moc zapotrzebowania, która dla domu 2 wynosi 3,5 kW, natomiast źródło PV wprowadza energię do sieci z mocą nie przekraczającą 2 KW. Część mocy zużywana jest na potrzeby własne i nie jest widoczna dla operatora OSD.



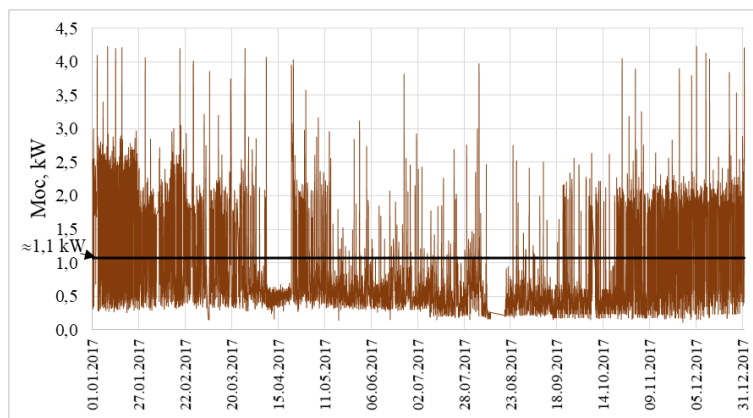
Rys. 14. Roczny bilans energii elektrycznej dla domu 2

Uporządkowany roczny bilans energii został wyznaczony dla dwóch sytuacji (rys. 15). Pierwszy profil dotyczy przypadku w którym nadwyżka produkcji nie jest wysyłana do sieci, źródło PV nie jest „widoczne” dla operatorów OSD ale prosument traci niewykorzystaną energię; drugi przypadek to bilans energii na osłonie OK1 uwzględniający wprowadzenie nadwyżki do sieci. Dla tak dobranego źródła PV nadwyżka występuje przez 2500 h/rok, a energia oddawana do sieci wynosi 1,6 MWh.



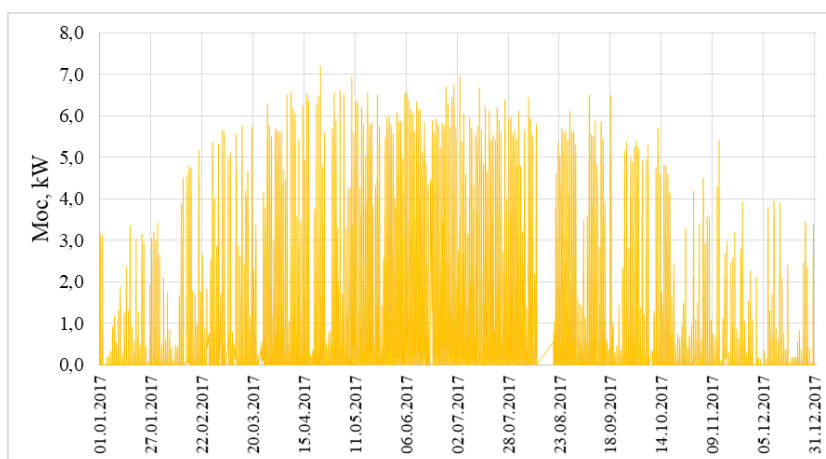
Rys. 15. Uporządkowany roczny profil zapotrzebowania i bilansu na OK1 dla domu 2

6. Dom 6 charakteryzuje się rocznym zapotrzebowaniem energii elektrycznej wynoszącym 7,5 MWh, oraz roczną produkcją w źródłach 7 MWh. Energia oddawana do sieci wynosi 4,5 MWh, a pobierana z sieci 5,2 MWh. Dom 6 jest wyposażony w dodatkowe układy licznikowe pozwalające na pomiar zapotrzebowania i produkcji z rozdzielczością minutową. *Net metering* sprawia, że duże zużycie energii elektrycznej, w tym obejmujące energię napędową pomp ciepła (łącznie 7,5 MWh) praktycznie jest pokrywane w całości za pomocą źródeł PV. Prosument oprócz instalacji PV wykorzystuje również taryfę G13 do ogrzewania. Pompa ciepła jest sterowana w taki sposób, żeby pobierała tylko energię w taryfie niskiej. Przykład sterowania pompą ciepła pokazany jest na rysunku 16.



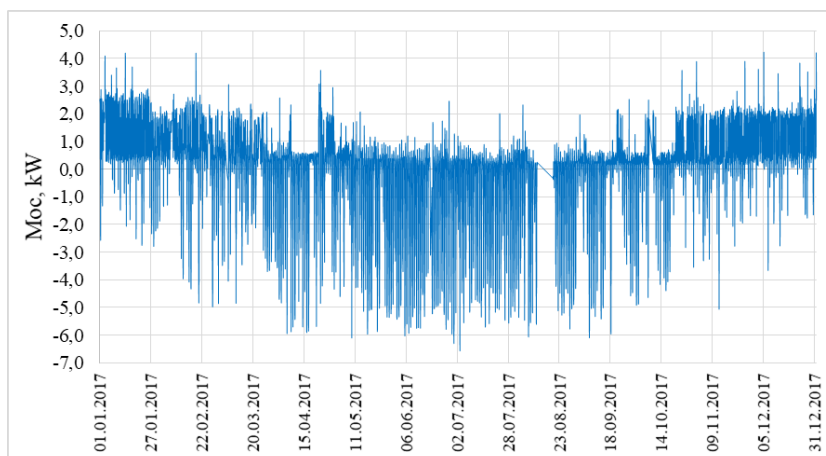
Rys. 16. Roczny profil zapotrzebowania dla domu 6

W domu zainstalowane są trzy instalacje PV. Dwie skierowane na południowy wschód i jedna na południowy zachód. Takie usytuowanie zwiększa czas dostępności energii ze źródeł PV. Skumulowana moc instalacji PV dla domu 6 została pokazana na rys. 17.



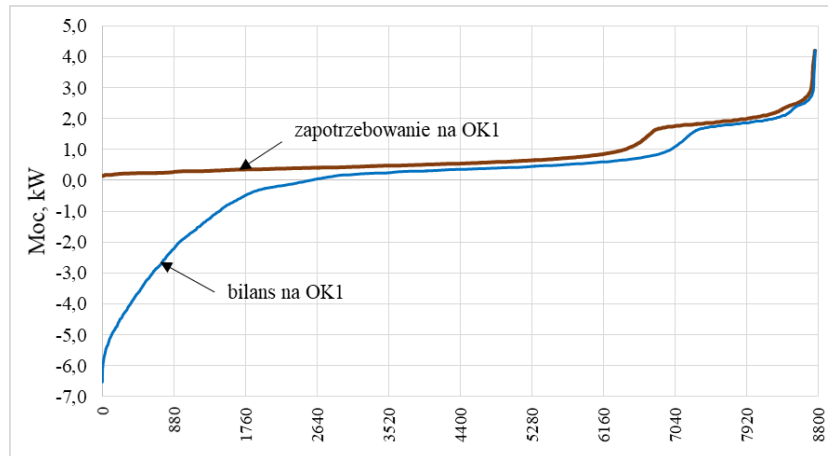
Rys. 17. Roczny profil produkcji dla domu 6

Bilans energii dla domu 6 został pokazany na rys. 18, saldo roczne nie przekracza 0,7 kW przy czym występuje deficyt 5,2 MWh i nadwyżka 4,5 MWh. Wykorzystanie współczynnika *net meteringu* pozwala na dobre zbilansowanie domu.



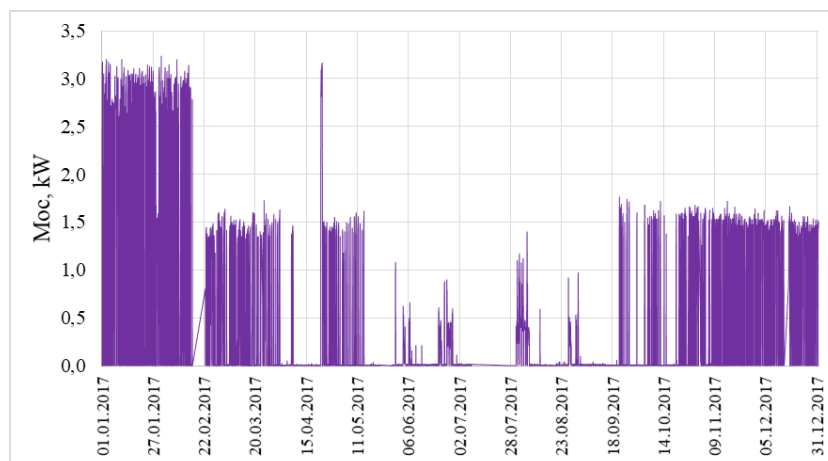
Rys. 18. Roczny bilans energii elektrycznej dla domu 6

Uporządkowany bilans energii (rys. 19) pozwala porównać profil zapotrzebowania z bilansem na osłonie OK1. Źródła PV ograniczają zapotrzebowanie, a dodatkowo energia wysłana do sieci może zostać pobrana w innym czasie (*net metering*).



Rys. 19. Uporządkowany roczny profil zapotrzebowania dla domu 5

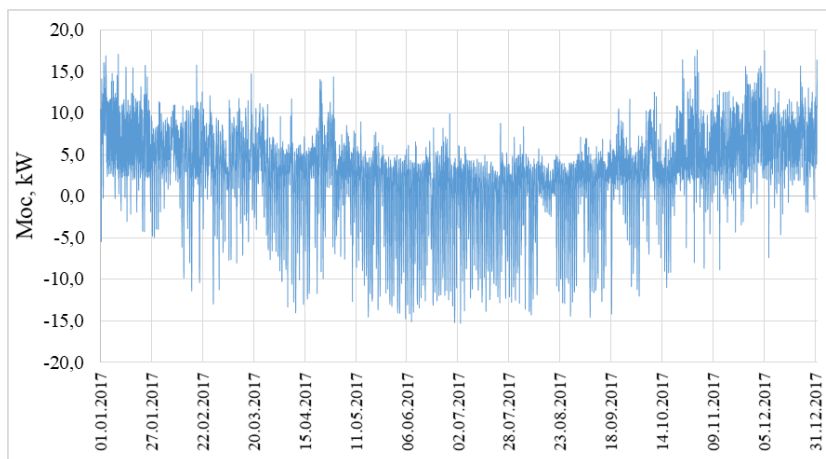
Dom 6 wyposażony jest w liczniki energii, które oprócz pomiaru zapotrzebowania oraz produkcji źródeł PV wykorzystano do pomiaru profilu zużycia energii przez pompę ciepła i klimatyzację (rys. 20). Dane te można wykorzystać do sterowania odbiornikami w celu zwiększenia wykorzystania energii na potrzeby własne.



Rys. 20. Roczny zużycie energii przez PC i AC dla domu 6

Profile mikrosystemu WME 8DJ

Mikrosystem WME 8DJ obejmuje osiem opisanych w Raporcie domów. W ramach badań symulacyjnych wykorzystano dostępne profile domów oraz istniejących źródeł PV. Bilans energii dla tak zdefiniowanego mikrosystemu na osłonie OK2 mikrosystemu WME został przedstawiony na rys. 21.



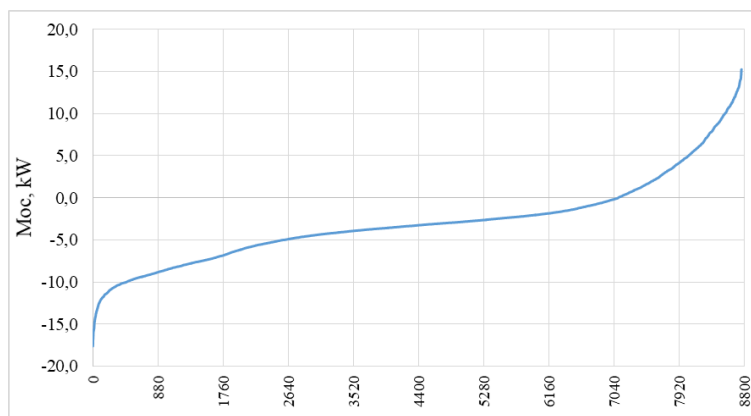
Rys. 21. Roczny bilans energii elektrycznej dla WME osiem domów

Mikrosystem WME 8DJ charakteryzuje się rocznym zapotrzebowaniem wynoszącym 48 MWh. Produkcja w źródłach PV wynosi 22,7 MWh, a (ujemne) saldo 25,4 MWh. Energia produkowana w źródłach PV wynosi więc 47 % zapotrzebowania. Z tego powodu WME charakteryzuje się wykorzystaniem produkcji na potrzeby własne wynoszącym prawie 65 % (nadwyżka wynosi 8,3 MWh). Należy podkreślić, że aktualnie trwa inwestycja w domu 4, która pozwoli dostarczyć około 5 MWh dodatkowej energii, obniżając deficyt mikrosystemu.

Tab. 3. Synteza wyników dla mikrosystemu WME 8DJ

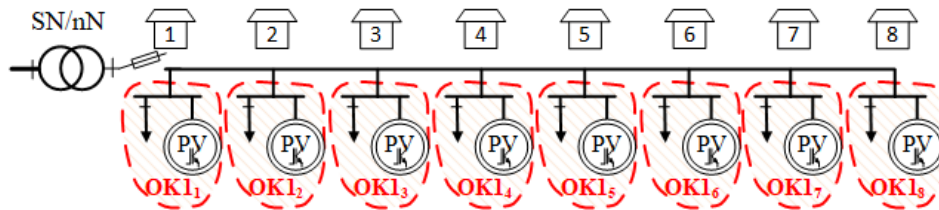
	Energia roczna, MWh
Zapotrzebowanie	48,1
Produkcja	22,7
Saldo	- 25,4
Deficyt	33,7
Nadwyżka	8,3

Na podstawie uporządkowanego rocznego bilansu energii (rys. 22) można oszacować roczny czas trwania deficytu dla istniejących domów, który wynosi 7000 h (względny czas deficytu wynosi 80 %). Zwiększenie mocy instalacji PV umożliwiłoby niewielkie zmniejszenie czasu deficytu, ale głównie przekształciłoby się we wzrost nadwyżki.



Rys. 22. Uporządkowany roczny bilans energii dla WME „osiem domów jednorodzinnych”
Sąsiedzki model prosumencki

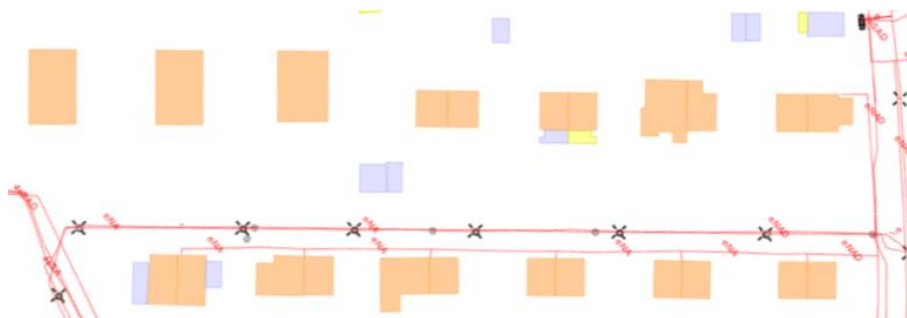
W sąsiedzkim modelu prosumenckim zakłada się, że domy, inaczej niż w mikrosystemie WME 8DJ sąsiadują ze sobą – są zasilane z jednego ciągu liniowego nN (rys. 23).



Rys. 23. Domy w sąsiedzkim modelu prosumenckim

Schemat przedstawiony na rys. 23 w sposób wyrazisty sygnalizuje potencjał sąsiedzkiego modelu prosumenckiego. Mianowicie, jest jasne, że instalacja źródeł PV w każdy budynek nie jest konieczna, lepszym rozwiązaniem jest stworzenie modelu sąsiedzkiej sprzedaży energii, która jest stosunkowo łatwa do realizacji ze względu na bliską odległość geograficzną pomiędzy podmiotami mikrosystemu. W sąsiedzkim modelu prosumenckim energia produkowana przez jednego z prosumentów dostarczana jest bezpośrednio innym podmiotom z rzeczywistym (bardzo małym) wykorzystaniem sieci. Model ten wymaga jednak zmian w regulacjach prawnych, czyli umożliwiania zawierania umów wymiany energii pomiędzy prosumentami. Alternatywnie wymiana taka może być realizowana dedykowaną infrastrukturą sieciową zbudowaną przez prosumentów i wyposażoną w odpowiednią infrastrukturę techniczną. Budowa takiej infrastruktury, przy braku „przejeżd” przez ulicę (jezdnię), i współdziałaniu sąsiadów (społeczny kapitał sąsiedzki) jest technicznie bardzo proste, i tanie.

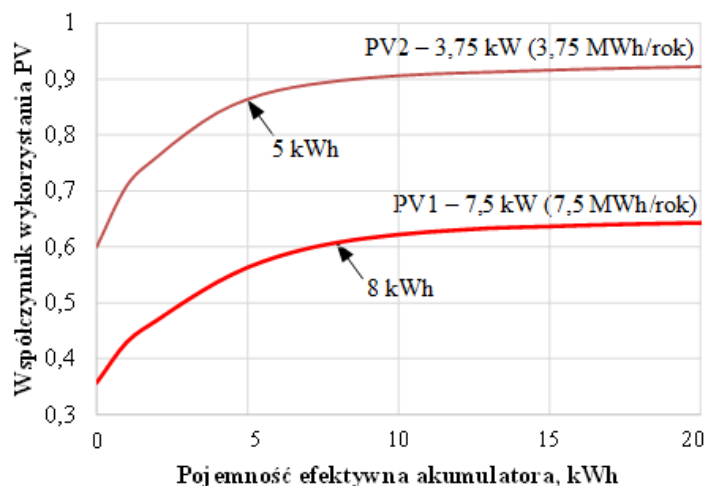
Wykorzystanie samych źródeł PV nie pozwala na pełne zbilansowanie mikrosystemu. Jednak doposażenie mikrosystemu w magazyny energii (akumulatory) a także potencjalnie agregaty CHP zdecydowanie zmniejszają niezbilansowanie prowadząc w tendencji do pełnego pokrycia potrzeb energetycznych za pomocą źródeł przynależnych do mikrosystemu. Dodatkowo w przypadku awarii sieciowych magazyny energii oraz agregaty CHP pozwalają na dostarczenie minimalnej, potrzebnej w stanie awaryjnym, energii umożliwiającej pokrycie podstawowych potrzeb. W szczególności zasilania lodówek i zamrażarek oraz pomp cyrkulacji wody w systemach ogrzewania. Mikrosystem zwiększa więc bezpieczeństwo energetyczne podmiotów wschodzących w jego skład.



Rys. 24. Przykładowa ulica z siecią nN w Gliwicach zasilanie domów zlokalizowanych po jednej stronie ulicy

Rzeczywista (zgodna z mapą geodezyjną Gliwic) zabudowa ulicy przedstawiona na rys. 24 (budynki i rzeczywista linia nN operatora OSD po jednej stronie ulicy) jest przykładem, który w pełni potwierdza

hipotezę dotyczącą możliwości realizacji modelu sąsiedzkiej wymiany energii (budowy mikro sieci *off grid*).



Rys. 25. Przykład doboru pojemności akumulatora na podstawie profilu dla domu 6 i dwóch mocy źródeł PV pokrywającej roczne zapotrzebowanie (7,5 MWh) i pokrywające połowę rocznego zapotrzebowania (3,75 MWh) z zaznaczoną dobraną pojemnością efektywną akumulatorów

Użyte w Raporcie narzędzia symulacyjne mogą zostać użyte do doboru akumulatorów dla domu, a docelowo także dla mikrosystemu WME 8DJ. Przykładowe wyniki doboru pojemności akumulatorów do bilansowania profilu domu 6 (OK1) przedstawiono na rys. 25. Dobór wykonano dla dwóch wariantów źródła PV: PV1 o mocy 7,5 kW (roczna produkcja 7,5 MWh) – pokrycie rocznego zapotrzebowania oraz PV2 o mocy 3,75 kW (roczna produkcja 3,75 MWh) – pokrycie połowy rocznego zapotrzebowania. Jako kryterium doboru użyto współczynnik wykorzystania energii na potrzeby własne (rys. 25). Założono, że nie wykorzystuje się mechanizmów kształtowania profilu zapotrzebowania (DSM/DSR). Zwiększenie wykorzystania energii na potrzeby własne, realizowane za pomocą akumulatorów pozwala w tendencji na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego prosumenta oraz całego mikrosystemu WME. Przedstawiony dobór pozwala na racjonalne wyznaczenie pojemności akumulatora, uwzględniając profile zapotrzebowania oraz produkcji energii.

PERSPEKTYWA EKONOMICZNA DOCHODZENIA DO DOMU ELEKTRYCZNEGO

Zderzenie perspektywy makroekonomicznej (znaczenie gospodarcze segmentu domów jednorodzinnych), drugi Raport Cyklu BŻEP [1], z perspektywą mikroekonomiczną w niniejszym Raporcie (wybory właścicielskie w obszarze rozwiązań energetycznych, aż do wyboru rozwiązania w postaci domu elektrycznego), a dodatkowo osadzenie tego zderzenia w perspektywie transformacji energetyki (całej) prowadzi do fundamentalnego wniosku praktycznego. Mianowicie, potrzebna jest pilnie „transformacja” od coraz bardziej etatystycznych (patologicznych) systemów wsparcia do budowy kompetencji (*know how*) na rzecz nowej energetyki ogólnie i podstaw techniczno-ekonomicznych kształtowania rynku energii elektrycznej, w tym kalibrowania mechanizmów konkurencji w szczególności. Czyli przejście do pobudzenia rynkowego wielkiej fali innowacji. Twardych (w obszarze dóbr inwestycyjnych (materiałów, urządzeń, rozwiązań technologicznych). Oraz innowacji

miękkich (w obszarze organizacji i zarządzania, a także polegających na istotnych zmianach stylu życia).

Ten fundamentalny wniosek ma uzasadnienie w tym, że systemy wsparcia zostały skrajnie upolitycznione i przekształcone w narzędzia patologizowania energetyki przez sojusz polityczno-korporacyjny. Niepodjęte natomiast zostały w Polsce w najmniejszym stopniu działania mające na celu zbudowanie rządowego centrum kompetencji, będącego odpowiedzią na wyzwania, które niesie z sobą globalna fala transformacyjno-innowacyjna w energetyce. W rezultacie podejmowane decyzje na poziomie makroekonomicznym (rządowym) wykazują brak holistycznego zrozumienia globalnych trendów. Na poziomie mikroekonomicznym (decyzji przedsiębiorstw WEK) rażąca jest natomiast nieadekwatność stosowanych rozwiązań względem potrzeb i istniejącej szerokiej palety nowych możliwości ich zaspakajania w energetyce EP i NI.

Elastyczność cenowa popytu, prosumencki potencjał DSM/DSR

Znaczenie tytułowych zagadnień (elastyczność cenowa, potencjał DSM/DSR) ma w Raporcie cztery przyczyny. Pierwsza jest związana z „nadreprezentacją” DSM/DSR na rynku usług systemowych i z nieracjonalną ich wyceną, sprawy ujawniły się w ciągu ostatnich kilku (około trzech) lat w działaniach operatora OSP. Druga z kolei ma związek z wyraźnym brakiem w energetyce WEK świadomości potencjału DSM/DSR, możliwego do wykorzystania przez prosumentów za pomocą ich własnych zasobów, przy braku bezpośredniego udziału operatora OSP, oczywiście w środowisku racjonalnych rynkowych sygnałów cenowych. Trzecia wiąże się z całkowitym brakiem rozpoznania elastyczności cenowej popytu na energię elektryczną coraz bardziej niezbędnego dla potrzeb kształtowania procesu transformacyjnego w energetyce. Wreszcie czwarta wiąże się z tym, że segment domów jednorodzinnych, i dom indywidualnie, jest środowiskiem dającym szansę na syntezę istoty trzech pierwszych przyczyn (Raport jest właściwym miejscem, aby zasygnalizować zagadnienie).

Nazwa „środowisko racjonalnych rynkowych sygnałów cenowych” zostało tu użyte niezupełnie w abstrakcyjnym sensie. Mianowicie, jest to środowisko domu elektrycznego. A to oznacza, że jest ono określone stosunkowo precyzyjnie w Raporcie. W szczególności określone jest w objaśniającym uzupełnieniu do definicji domu elektrycznego. Zgodnie z taką umową (uwzględniającą odwołanie do definicji domu elektrycznego) środowisko obejmuje następujące dwa pojęcia: inteligentne technologie transakcyjne typu *blockchain* oraz oferty sprzedażowo-zakupowe na osłonie OK1. Te ostatnie wystawiane przez: 1° - prosumenta (przy wykorzystaniu prosumenckiego terminala sieciowego, 2° - przez rynek schodzący energetyki WEK (również z wykorzystaniem prosumenckiego terminala sieciowego, przesyłane na taki terminal). Podstawą kształtowania środowiska jest (postulowana w drugim Raporcie BPEP Cyklu [2]) zasada TPA+.

Wytworzenie środowiska racjonalnych rynkowych sygnałów cenowych wymaga badań rozpoznawczych. Są one niezbędne do ukształtowania struktury sygnałów cenowych, a następnie do ich skalibrowania. Wstępnie można uznać, że podstawowa oferta sprzedażowa pochodząca z rynku schodzącego WEK będzie miała na osłonie OK1 postać taryfy dynamicznej 5-cio minutowej (TD). Prosumencka pakietowa oferta zakupowo-sprzedażowa na osłonie OK1 (wystawiana poprzez prosumencki terminal dostępowy) jest ciągle sprawą

otwartą. Jeśli będzie przy tym przedmiotem inteligentnego kontraktu *blockchain*, to będzie miała bardzo „otwartą” strukturę, o bardzo dużej sile konkurencji między taryfą TD oraz prosumenckim DSM/DSR, wymagającym nowego zdefiniowania (względem obecnego DSM/DSR).

Prosumencki DSM/DSR (definicja). Jest to DSM/DSR realizowany na rynku wschodzącym energii elektrycznej (1), na osłonach prosumenckich OK(·); w wypadku domu jednorodzinnego jest to osłona OK1. Realizacja DSM/DSR na osłonach prosumenckich OK(·) oznacza zarządzanie na tych osłonach – z wykorzystaniem zasobów prosumenckich – realizowane w odniesieniu do profili czasowych salda bilansowego (rynek energii elektrycznej) oraz salda regulacyjnego (rynek techniczny, obecnie usługi systemowe zarządzane przez operatora OSP), w tendencji do „zera”, które jest rozumiane jako przejście do standardu domu elektrycznego *off grid*. Środowiskami, w których realizowany jest prosumencki DSM/DSR są dwa środowiska współistniejące na każdej osłonie prosumenckiej OK(·). Mianowicie jest to (pierwsze) środowisko dwóch mechanizmów, które jest tworzone przez (drugie) współistniejące środowisko dwóch systemów kosztowych. Dwoma mechanizmami w pierwszym środowisku (wytwarzanym przez drugie, współistniejące) są taryfy dynamiczne TD na rynku schodzącym WEK z jednej strony oraz inteligentne kontrakty (np. *blockchain*) na rynku wschodzącym (1) z drugiej strony. Dwoma systemami kosztowymi w drugim środowisku (współistniejącym, wytwarzającym pierwsze) są koszty krańcowe krótkookresowe (cenotwórstwo jednoskładnikowe czasu rzeczywistego, elastyczność cenowa popytu na energię elektryczną, zarządzanie popytem na energię elektryczną w domu elektrycznym za pomocą inteligentnej infrastruktury, np. w postaci routera OZE) oraz koszty uniknięte (koszty krańcowe długoterminowe, rynki inwestycyjne).

Uzupełnienie objaśniające do definicji prosumenckiego DSM/DSR. Podkreśla się, że równość kosztów krańcowych krótkookresowych i kosztów krańcowych długookresowych (jest to znany wynik teoretycznych badań rozwojowych w dziedzinie systemów elektroenergetycznych) oznacza optymalną trajektorię transformacji energetycznej (optymalną alokację zasobów z rynku schodzącego na rynek wschodzący (1), a w perspektywie także na rynek wschodzący (2)). Oczywiście, praktycznie nie jest łatwo skorzystać z tej teoretycznej właściwości. Jednak jest ona niezwykle użyteczna w strategicznym wnioskowaniu jakościowym dotyczącym kształtowania trajektorii transformacyjnej w horyzoncie 2050.

Mianowicie, jest zrozumiałe, że ewolucyjne kształtowanie tej trajektorii jest absolutnie konieczne ze względu na charakter zasobów podlegających transformacji: zasoby ekstremalnie kapitałochłonne, o ekstremalnie długich rewersach technicznych (czasach życia), ekstremalnie szybko starzejące się moralnie (ze względu na szokową dynamikę innowacyjności twardej/technologicznej i miękkiej/organizacyjnej). Zatem transformacja, która nie jest mechanicznym odtwarzaniem programu zawartego w warunkach początkowych (w energetyce zawsze dotąd rozwój był procesem kształtowanym przez innowacje przyrostowe) tym bardziej będzie wymuszana przez regułę równości kosztów krótkoterminowych i inwestycyjnych. W praktyce oznacza to nic innego jak skracanie czasów rotacji życia technologii. Za tym idzie wielka dynamika skracania czasów zwrotu kapitału.

Jest to już drugi fundamentalny wniosek sformułowany w kontekście tytułowej „perspektywy ekonomicznej dochodzenia do domu elektrycznego”.

Skutkiem tego fundamentalnego wniosku jest ranking eliminacji inwestycji z portfela inwestycyjnego. Najwyższy ranking eliminacyjny mają oczywiście inwestycje w energetykę WEK w części obejmującej: energetykę jądrową, dalej energetykę wodną (tę, która wymaga wielkich obiektów hydroenergetycznych), energetykę węglową (obejmującą poza elektrowniami budowę kopalń, zarówno węgla kamiennego jak i brunatnego) oraz inwestycje w sieci przesyłowe 400 kV.

Elastyczność cenowa popytu na rynku energii elektrycznej a badania elastyczności popytu w ekonomii. Bogaty dorobek nauk ekonomicznych w obszarze badań elastyczności popytu (podaży) nie da się na razie łatwo wykorzystać na rynku energii elektrycznej. Składa się na to wiele przyczyn. Najważniejsza polega na tym, że metoda badawcza nauk ekonomicznych nie wychodzi poza cechy dotyczące samej energii elektrycznej i rynku energii elektrycznej, ugruntowane w dotychczasowym modelu użytkowania energii elektrycznej oraz funkcjonowania energetyki (w całości).

W rezultacie, w paradygmacie zgodnie z którym funkcjonują nauki ekonomiczne, istnieje zgodność co do tego, że energia elektryczna, jako dobro podstawowe (bardzo silnie zsocjalizowane), i praktycznie w znikomym tylko stopniu poddające się substytucji, a w dodatku podlegające na rynku praktycznie obrotowi, a w niewielkim tylko stopniu konkurencji, nie wykazuje praktycznie elastyczności cenowej popytu (popyt na energię elektryczną jest sztywny). Potwierdzają to zamieszczane w literaturze ekonomicznej wyniki badań (w Polsce, ale też i na drugim biegunie, np. w USA) wskazujące w wypadku energii elektrycznej na elastyczność w przedziale 0,1-0,2, w porównaniu z elastycznością w wypadku pomidorów wynoszącą np. 5 (w USA), a w wypadku prasy np. 1,4 (w Polsce).

W nowej energetyce model badawczy elastyczności cenowej popytu na energię elektryczną musi ulec całkowitej zmianie. Wynika to choćby z przedstawionych definicji: powyżej definicji prosumenckiego DSM/DSR, a poniżej definicji taryfy TD. W szczególności trzy uwagi są ważne w tym kontekście (modelu badawczego).

Po pierwsze, trzeba zbudować model badawczy, który będzie się nadawał do badania elastyczności cenowej popytu na energię elektryczną z rynku schodzącego, a nie energii elektrycznej w całości. Czyli chodzi o model uwzględniający substytucję energii elektrycznej z rynku schodzącego za pomocą energii elektrycznej z rynku wschodzącego (1), a w perspektywie również z rynku wschodzącego (2).

Po drugie, nowy model badawczy musi uwzględniać w badaniu elastyczności cenowej popytu na energię elektryczną elastyczność cenową podaży usług regulacyjno-bilansujących (będących obecnie domeną operatora OSP), która pojawiła się wraz z początkami elektryfikacji ciepłownictwa i transportu.

Po trzecie, nowy model badawczy musi uwzględniać skutki teoretycznej równości kosztów krańcowych krótkoterminowych (operacyjnych) i długoterminowych (inwestycyjnych). W tym kontekście ważnym zagadnieniem będzie między innymi uwzględnienie elastyczności cenowej podaży inwestycji proefektywnościowych (o bardzo krótkich i średnich czasach zwrotu kapitału) w prosumenckiej gospodarce energetycznej, stanowiącej substytut dla popytu na energię elektryczną z rynku schodzącego energii elektrycznej.

Taryfa dynamiczna TD (definicja). Taryfa TD oznacza cenotwórstwo jednoskładnikowe czasu rzeczywistego, 5-cio minutowe (w tendencji) na rynku schodzącym WEK. Punktem wyjścia do kalibrowania cen w taryfie TD na osłonach OK1 (w wypadku domów jednorodzinnych), w części dotyczącej sieci, są uzmiennione opłaty sieciowe odwzorowujące koszty sieci: 400-220-110 kV, SN, nN. Uzmiennianie jest realizowane z zastosowaniem „nośnika” kosztów wyrażonego w PLN/MWh, wyliczonego z wykorzystaniem rocznych prognoz kosztów sieciowych (stałych i zmiennych) oraz rocznych prognoz przepływu energii przez poszczególne sieci (jest to nośnik cechujący się niskim ryzykiem odchylenia przychodów operatorów (OSP i OSD) od ich rocznych kosztów prognozowanych). Dalej, uzmiennianie może być realizowane według dwóch reguł. Pierwsza polega na „doliczaniu” do zmiennego (uzmiennionego) kosztu wytwarzania energii elektrycznej stałej wartości opłaty sieciowej, równej przeciętnej wartości nośnika kosztów. Druga polega na uzmiennianiu przeciętnej wartości nośnika rocznych kosztów sieciowych, „synchronicznie” do zmian kosztu wytwarzania energii elektrycznej. Druga reguła ma na celu wzmocnienie siły sygnałów cenowych.

Uzupełnienie objaśniające do definicji taryfy TD. Oczywiście, istnieją inne sposoby uzmienniania opłat sieciowych do potrzeb wytworzenia jednoskładnikowego cenotwórstwa czasu rzeczywistego, dokładniej do kalibrowania taryfy TD, ale tu się ich nie omawia. Wprowadza się natomiast krótki komentarz do kalibrowania tej taryfy. Punktem wyjścia jest wartość przeciętna składnika w postaci nośnika kosztowego reprezentującego opłatę sieciową w taryfie TD. Obecnie można skalibrować ten składnik na około 200 PLN/MWh (suma opłat sieciowych 400-220-110 kV, SN, nN, wynoszących 40, 60, 100 PLN/MWh, odpowiednio). Jest to naturalnie wartość bez podatku VAT (i innych podatków).

Uwaga dotycząca podatku VAT sygnalizuje potrzebę podjęcia bardzo poważnych rozważań na temat struktury taryfy TD. Bez wątplenia, poprawność tej struktury jest ważnym kluczem do konkurencji, która wywoła na rynku energii elektrycznej racjonalną alokację zasobów, w procesie transformacyjnym, między rynki: schodzący, wschodzący (1), a w perspektywie także wschodzący (2). Jasne, że ze strukturą taryfy TD wiąże się ogólna sprawa rozliczania na osłonie OK1 wszystkich innych (poza energią elektryczną i opłatą sieciową) składowych kosztu energii elektrycznej.

Oprócz podatku VAT (rozliczanego przez państwo/rząd, przy współdziale sprzedawców) są to trzy inne składowe, wchodzące obecnie do taryfy G. Pierwszą, najważniejszą z punktu widzenia pewności zasilania i jakości energii elektrycznej, są usługi systemowe (rozliczane przez operatora OSP, przy współdziale sprzedawców). Drugą, najważniejszą z punktu widzenia realizacji celów polityki klimatyczno-energetycznej, są prawa majątkowe (rozliczane przez państwo/rząd, przy współdziale sprzedawców. Trzecią są koszty sprzedawców. Już ta najprostsza próba uporządkowania struktury kosztowej cen energii elektrycznej prowadzi znowu do fundamentalnego wniosku (po raz trzeci): wejście na drogę do rynku jednoskładnikowego cenotwórstwa czasu rzeczywistego musi być poprzedzone wyjściem z dżungli rządowo-korporacyjnego systemu socjalizowania cen energii elektrycznej traktowanej jako dobro stanowiące ważne narzędzie realizacji celów politycznych.

Kalibracja *net meteringu* dla prosumenckiej generacji rozproszonej

Tabela 4 przedstawia składniki ceny energii elektrycznej w taryfie G, bardzo z gruba oszacowane, uśrednione, dla kraju. Taka struktura składników cenowych jest charakterystyczna dla rynku schodzącego, na którym energia przepływa jednokierunkowo od wytwórców WEK do odbiorców. Prosumencka generacja rozproszona w segmencie domów jednorodzinnych zmienia tę strukturę wprowadzając lokalne przepływy – bezpośrednio od prosumenta do odbiorców, w najbliższym (sąsiedzkim) otoczeniu sieciowym. Przepływy te nie są widoczne w sieciach 400-220-110 kV zarządzanych przez operatorów OSP i OSD, a nawet w sieciach SN, zarządzanych przez operatorów OSD, którzy obserwują jedynie zmniejszenie obciążenia tych sieci.

Tab. 4. Składniki ceny energii elektrycznej w taryfie G bez uwzględnienia podatków

Lp.	Oznaczenie	Składniki cenowe w taryfie G, bez podatku VAT	Wartość sprzedanej energii PLN/MWh	Poniesione koszty lokalnej dostawy PLN/MWh
1	K _z	Zakup energii elektrycznej od wytwórców	182	-
2	K _{pm}	Wartość praw majątkowych	29	-145
4	K _{ws}	Koszty własne i marża sprzedawców	53	53
5	K _{oj}	Opłata jakościowa OSP	8,5	8,5
6	K _{op}	Opłata przejściowa KDT	5	5
7	K _{osp}	Opłaty sieciowe 400-220-110 kV	40	-
8	K _{osd}	Opłaty sieciowe SN	60	-
9	K _{osdnN}	Opłaty nN	100	100
Suma			477,5	21,50

Energia elektryczna wprowadzana do sieci z domowych instalacji prosumenckich (zazwyczaj dachowych instalacjach PV) zliczana jest w dwukierunkowych eLicznikach zainstalowanych na osłonie prosumenckiej OK1 (w punkcie PPE), a następnie rozliczana w systemie *net meteringu*. Średnia jednostkowa wartość energii elektrycznej wprowadzanej przez prosumenta do sieci znacznie przewyższa średnią jednostkową wartość energii generowanej w tradycyjnych źródłach wytwórczych – w większości węglowych, gdyż: 1° - jest to energia generowana w przeważającej ilości w okresie szczytowego zapotrzebowania – co jest niezwykle cenne w okresie letnim i przeciwdziała powstawaniu deficytów oraz sytuacji kryzysowych (np. kryzys z 10 sierpnia 2015 r. związany z wprowadzeniem 20-tego stopnia zasilania), 2° jest to energia bezemisyjna niosąca ze sobą prawa majątkowe. Przyjmuje się, że średnia wartość praw majątkowych energii dla polskiego miksu energetycznego wynosi około 29 PLN/MWh, z czego około 15% energii powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych, co pozwala na oszacowanie średniej wartości praw majątkowych dla energii pochodzącej z PV na około 175 PLN/MWh. Instalacje prosumenckie objęte zostały *net meteringiem*, co pozwala na „zmagazynowanie” w wirtualnym akumulatorze energii wprowadzonej przez prosumenta do sieci publicznej a następnie pobranie jej w okresie późniejszym wykorzystując tym samym

część praw majątkowych. Pozostała część praw majątkowych, tj. prawa o wartości około 145 PLN/MWh, pozostaje do dyspozycji sprzedawcy rozliczającego usługę *net meteringu*. Odbiorca pobierający energię wygenerowaną przez prosumenta płaci pełne opłaty zdefiniowane w jego taryfie (plus podatki) tj. około 475 PLN/MWh (plus podatki w wysokości około 136 PLN/MWh). Tym samym sumaryczne przepływy finansowe na rzecz sprzedawcy wynoszą około 620 PLN/MWh energii wprowadzonej do sieci przez prosumenta, z której to kwoty sprzedawca rozlicza się z pozostałymi uczestnikami rynku, natomiast podatki zasilają budżet państwa. Koszty uniknięte dostawy takiej energii składają się z kosztów zakupu energii od wytwórców (182 PLN/MWh), wartości praw majątkowych (29 PLN/MWh), opłat operatora OSP (40 PLN/MWh), opłat operatora OSD za sieci WN i SN (60 PLN/MWh), sumarycznie około 310 PLN/MWh. Biorąc pod uwagę powyższe, można oszacować neutralną wartość współczynnika *net meteringu* WNM, dla której koszty poniesione przez sprzedawcę równoważą się z korzyściami związanymi z obrotem energią elektryczną wygenerowaną przez prosumentów. Wartość ta została przedstawiona w tab. 5 dla różnych okresów bilansowania

Tab. 5. Wartość neutralnego współczynnika WNM dla różnych okresów bilansowania NM

Okres bilansowania <i>net meteringu</i>	Energia która przepada na rzecz sprzedawcy (E _a)	Energia bilansowana (E _b)	Neutralny współczynnik WNM
15 min	99%	1%	147,18
1 h	98%	2%	46,97
6 h	84%	16%	6,42
12 h	75%	25%	4,08
24 h	60%	40%	2,53
1 mies	50%	50%	2,02
3 mies	50%	50%	2,02
6 mies	4%	96%	1,06
1 rok	3%	97%	1,05

Obecnie prosumenci objęci są *net meteringiem* ze współczynnikami 0,8 lub 0,7 w zależności od mocy znamionowej instalacji źródła OZE. Wartość ta jest niższa od wartości neutralnej współczynnika WNM, co oznacza asymetrię obowiązujących regulacji prawnych lub niejawnie obciążenie prosumenta daniną od energii bilansowanej. Wprowadzając dodatkowe obciążenia podatkowe energii bilansowanej przez prosumenta (VAT, akcyza za energię bilansowaną), neutralny współczynnik WNM dla rocznego okresu bilansowania wynosiłby około 0,8. Biorąc pod uwagę powyższe i strukturę właścicielską przedsiębiorstw z branży energetycznej oraz ich zaangażowanie w branżę wydobywczą, można przyjąć, że obecne regulacje w pełni obciążają daninami energię bilansowaną w *net meteringu*. W przypadku bezpośredniego opodatkowania energii bilansowanej przez prosumenta, w celu zachowania neutralności usługi *net meteringu*, współczynnik WNM powinien zostać podwyższony od wartości dziś obowiązujących do wartości około 1,05 dla rocznego okresu bilansowania.

Transformacja kosztów w nakłady inwestycyjne

W analizach ekonomicznych oblicza się koszty energii elektrycznej, scharakteryzowane współczynnikiem LCOE (*Levelized Cost of Electricity*). Współczynnik ten pozwala na porównanie ze sobą różnych technologii, jednak należy traktować go z bardzo dużą ostrożnością, szczególnie jeżeli analizuje się inwestycje prosumenckie. Trzeba dodatkowo podkreślić, że LCOE nie uwzględnia wielu zagrożeń związanych z czynnikami zewnętrznymi inwestycji. Dla przykładu nie uwzględnia wpływu technologii na środowisko, czy aspektu społecznego związanego z możliwymi protestami. Warunki te mogą wpływać w zdecydowany sposób na koszty energii elektrycznej.

Bezpośrednie porównanie kosztów wytwarzania energii w źródłach prosumenckich z energią wytwarzaną w źródłach WEK oraz NI prowadzi do nieprawidłowej interpretacji wyników. W szczególności, w kontekście dominującej opinii orzekającej, że inwestycje prosumenckie są nieopłacalne bez wsparcia. Koszty energii liczone dla WEK i NI liczone są w taki sposób, aby inwestycja zwróciła się, a dodatkowo pozwoliła inwestorom zarabiać możliwie jak najwięcej i w jak najkrótszym czasie. Wiąże się to z koniecznością przyjęcia czasów zwrotu inwestycji krótszym niż wynika to z czasu życia źródła. Dla WEK przyjmuje się standardowo 10-12 lat, ze względu na możliwość finansowania przez banki (dłuższy czas kredytowania jest trudny do osiągnięcia). Przy czym zdarzają się odstępstwa jeżeli finansuje się bardzo duże inwestycje, takie jak elektrownie jądrowe, czy duże elektrownie węglowe. Konsekwencją tego jest jednak, konieczność podpisania kontraktów długoterminowych na zakup energii, które powodują zazwyczaj, w obecnej sytuacji gwałtownego rozwoju technologii OZE, koszty osieroczone.

Tab. 6. Koszty energii elektrycznej, bez opłaty systemowo-sieciowej

Technologia	Czas wykorzystania mocy znamionowej	Nakłady inwestycyjne	Czas życia	Zwrot kapitału	Koszty zmienne	Koszt całkowity
	godzin/rok	\$/kW €/kWh*	lat	€/MWh	€/MWh	PLN/MWh
Dachowe źródło PV	1000	1050	25	39	8	200
Akumulator Li-ION	-	285*	-	160 - 180	60	0,9 – 1 tys.
Akumulator kwasowo-ołowiowy	-	140*	-	345 – 285	70	1,4 – 1,7 tys.

Za przykład może posłużyć kontrakt różnicowy dla brytyjskiej Elektrowni Hinkley Point C z dwoma blokami 1600 MW każdy, na okres wynoszący aż 35 lat, z ceną energii elektrycznej 92,5 £/MWh, i alternatywne inwestycje w elektrownie wiatrowe morskie, dla których ceny kontraktowe na dostawę energii wynoszą poniżej 60 £/MWh. Innym przykładem jest budowa elektrowni wiatrowych morskich w Niemczech realizowana całkowicie bez wsparcia (aukcyjnego). Niezależni inwestorzy inwestują pieniądze z perspektywą zwrotu nakładów wynoszącą od 5 do 8 lat. Wynika to przede wszystkim z dużego ryzyka inwestycyjnego ze względu na niesprzyjającą dla OZE politykę energetyczną w Polsce oraz z podobnych a nawet krótszych czasach zwrotu w innych gałęziach przemysłu.

Natomiast u prosumenta inwestycja w modernizację budynku (termomodernizacja, modernizacja instalacji ciepłowniczej, instalacja OZE, router itd.) obniża koszty energii a dodatkowo przekłada się na zwiększenie wartości domu. W tym przypadku uzasadnione jest więc przyjęcie czasu życia technologii jako czasu zwrotu inwestycji. Koszty energii w zależności od przyjętego modelu mogą się diametralnie różnić. Dla przykładu aktualny koszt instalacji PV u prosumenta (trzeci Raport cykl BPEP) wynosi około 200 PLN/MWh, a dla dużej farmy słonecznej (szósty Raport Cyklu BPEP [2]) jest to już około 400 PLN/MWh.

Analizując inwestycję należy jeszcze rozważyć jeden aspekt. Na przykładzie domu 1 roczny koszt energii wynosi około 16 tys. PLN. Kwotę tą można potraktować jako nakłady inwestycyjne i stopniowo przeprowadzić inwestycje, dysponując budżetem w ciągu 20 lat przekraczającym 300 tys PLN. Budżet ten pozwala na modernizację ocieplenia, instalację źródeł PV, pompy ciepła a nawet na zakup samochodu elektrycznego. Prosument zyskuje obniżając zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz zwiększając wartość domu.

Tab. 7. Wskaźniki zwrotu nakładów

Wskaźnik		Wskaznik	Czas zwrotu, lata	Czas życia/resurs techniczny, lata	Oprocentowanie kredytu, %
EP	PV		25	25	6-10 %
	akumulator Li-ION ¹		8	8	lokata 2-3 %
	akumulator kwasowo-ołowiowy ²		3	3	obligacje: 1,5 % (3 miesiące) 3,2 % (12 lat)
NI	elektrownie wiatrowe lądowe		5-8	25	4-6 %
	elektrownie wiatrowe morskie		8-10	25	
WEK	farmy wiatrowe		10-12	25	4 %
	elektrownie węglowe ³		10-12	200 - 1500 h/rok 100 - 3000 h/rok 50 - 6000 h/rok	
	elektrownie jądrowe		10-12	60	

¹ Liczba cykli ładowania 3000 – 1 pełny cykl ładowania dziennie.

² Liczba cykli ładowania 1000 – 1 pełny cykl ładowania dziennie.

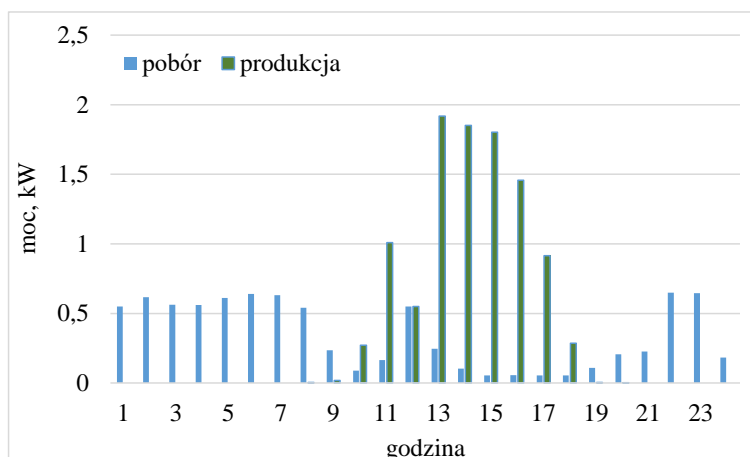
³ Resurs techniczny 300 tys. godzin.

OD REWITALIZACJI ENERGETYCZNEJ DOMU JEDNORODZINNEGO DO ZMIANY STULU ŻYCIA

Poligon kształtowania środowiska inteligentnej infrastruktury

Przedstawione w tab. 3 wyniki symulacji bilansu energetycznego dla WME 8DJ pokazują, że pomimo dużego deficytu jest też jednocześnie nadwyżka energii, wynosząca ok. 17% energii zapotrzebowania. Na przykładzie domu 2, w którym bezpośrednio wykorzystanie energii ze źródła PV, w bilansie rocznym, wynosi ok. 30% świadczy o jeszcze niepełnej i niedopracowanej infrastrukturze warstwy odbiorników (sposobu przetwarzania i wykorzystania energii) oraz warstwy sterującej, a także mechanizmów zaszytych

w inteligentnej infrastrukturze dostarczających sygnał cenowy. W omawianym domu do sterowania odbiornikami stosowany jest lokalny sygnał cenowy wynikający z generacji źródła PV.



Rys. 26. Profile godzinowe poboru i produkcji na osłonie OK1 dla domu 2 (2.04.2018)

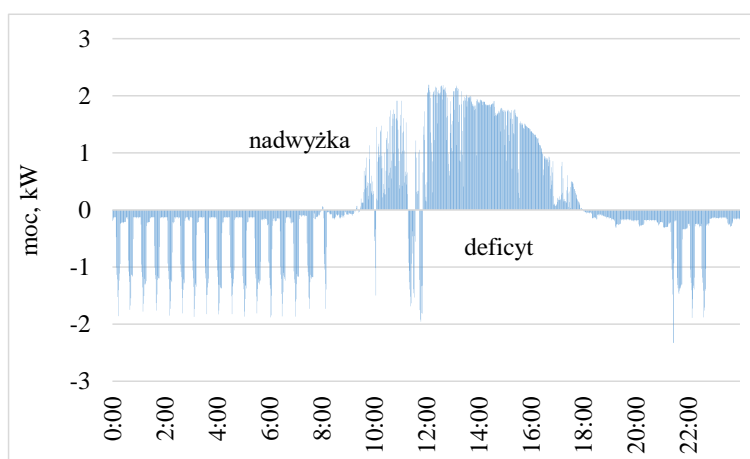
Na rys. 26 pokazano przykładowe profile poboru i generacji źródła PV dla jednej doby w domu 2. Można zauważyć, że profil poboru nie jest dostosowany do profilu źródła. Jednak w istniejącej konfiguracji nie jest to możliwe, ponieważ nocne zużycie energii wiąże się z pracą pompy ciepła powietrze-powietrze, która nie może zmagazynować energii. Nasuwa się wniosek w kontekście bilansowania energii na poziomie osłony OK1, że jeśli chodzi o odbiorniki to dostosowanie może polegać na stosowaniu urządzeń mogących magazynować energię niezbędną do poprawnego funkcjonowania. Mogą to być rozwiązania oparte o akumulatory energii elektrycznej, dopasowane do profilu zapotrzebowania urządzenia, ale nie większe. Mogą to także być akumulacyjne systemy ogrzewania zasilane energią elektryczną (PC z zasobnikami, akumulowanie ciepła w posadzce i ścianach budynku). Ciężar natomiast nie leży już po stronie szukania metod całkowitego zbilansowania popytu i podaży, ponieważ takie działania zmierza do bardzo dużych i kosztownych systemów zasobnikowych, przewymiarowanych źródeł regulacyjno-bilansujących. Również próba prognozowana zachowań mieszkańców mija się z celem bilansowania popytu i podaży, ponieważ wymusza operowanie na bardzo dużej ilości danych, a efekty nie będą zadowalające. W tym przypadku rozsądne wydaje się operowanie na prognozach produkcji w źródłach z generacją wymuszoną oraz związku tej prognozy z ceną energii dla odbiorcy.

W tym Raporcie nie ma potrzeby analizować i przekonywać, że technologie sterowania odbiornikami oraz technologie oparte o IoT są dostępne, i zaczynają być powszechne. Nie ma potrzeby również analizowania technicznych możliwości sterowania profilem z wykorzystaniem tych technologii. Teraz potrzebna jest metoda dla odbiorcy końcowego/prosumenta umożliwiająca jego aktywny udział w rynku energii elektrycznej. Metoda ta powinna dawać możliwość reakcji OK1 na sygnał cenowy, a także na generowanie własnego sygnału cenowego w terminalu dostępowym. Taką metodą może być traktowanie profilu odbiorcy/prosumenta jako oferta zakupu bądź sprzedaży energii elektrycznej. Oferta ta kierowana jest do wszystkich uczestników WME, do którego przyłączony (wirtualnie) jest dom. Reasumując, metoda realizacji transakcji na rynku wschodzącym opiera się głównie na

prognozowaniu generacji w lokalnym źródle OZE, sumarycznej prognozie bilansu dla obszaru WME oraz możliwości asynchronicznego składania ofert kupna i sprzedaży pakietów energii.

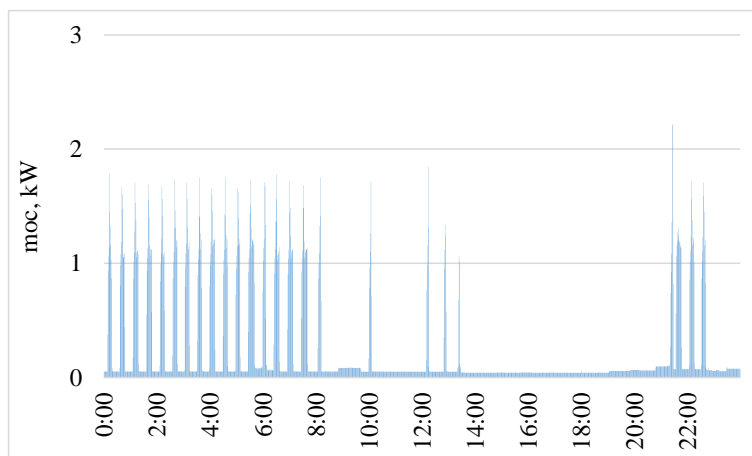
Analizując wykresy z rys. mf3 oferta wystawiana przez prosumenta dotyczyć będzie głównie zakupu energii do zasilania pompy ciepła. W tym miejscu należy zwrócić uwagę na sposoby ofertowania zapotrzebowania, mianowicie oferty mogą być składane na pakiet energii potrzebny do pracy określonego urządzenia lub, jak to przedstawia rys. 33, na pakiet energii w określonym interwale czasowym. Drugą ofertą będzie sprzedaż nadwyżki energii ze źródła PV. W tym kontekście zastosowanie technologii blockchain pozwala na podzielenie oferty zakupu i sprzedaży na mikrotransakcje, tak aby optymalizować koszt i dostosować go do przyjętej metody ofertowania i transakcji pakietowych.

Rozdzielczość czasowa ofert z rys. 26 wynosi 1 godz. i jest wystarczająca dla ofertowania pakietów energii bez rozróżnienia pracującego urządzenia. Biorąc pod uwagę, że jest to oferta wystawiana przez gospodarstwo domowe należy spodziewać się dużej dynamiki w kształcie profili, jeśli okres oferowanych pakietów będzie krótszy. Na rys. 27 pokazano profil mocy (dla tego samego dnia), ale z okresem pomiaru 1 min.



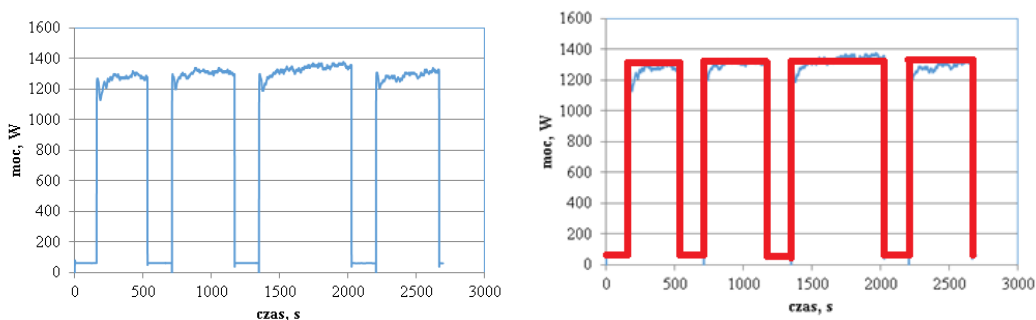
Rys. 27. Profil minutowy bilansu energii elektrycznej na osłonie OK1 dla domu 2 (2.04.2018)

Główną składową zapotrzebowania na energię dla profilu z rys. 27 jest pompa ciepła, której profil dobowy pokazano na rys. 28. W dalszej analizie skupiono się na przykładzie pompy ciepła, ponieważ profil zapotrzebowania na energię charakteryzuje się nieciągłą pracą i zależy głównie od czynników atmosferycznych (w odróżnieniu np. od pralki, która po załączeniu realizuje określony cykl pracy, choć dla pralki cykl ten może się różnić w zależności np. od temperatury doprowadzonej wody).



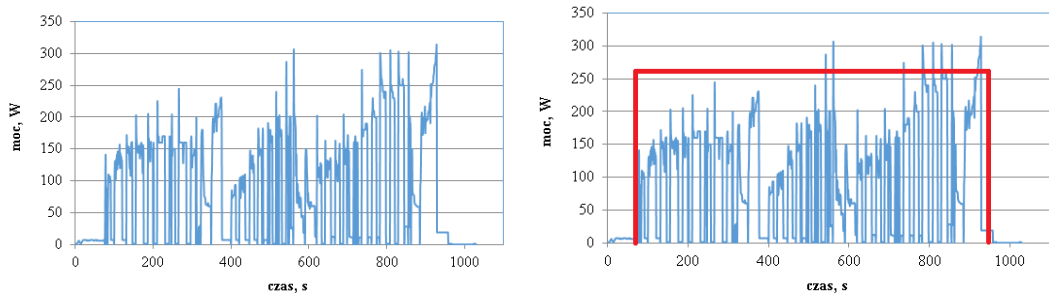
Rys. 28. Dobowy profil minutowy poboru energii elektrycznej przez pompę ciepła dla domu 2 (2.04.2018)

Jak napisano wyżej, dobór metody ofertowania będzie determinował dokładność dotrzymania transakcji. Chodzi o to, że znając prognozę produkcji w źródle PV oraz prognozę pogody, znając model energetyczny budynku, można złożyć ofertę na dobowy pakiet energii do zasilania pompy ciepła. W tym przypadku dokładność odwzorowania profilu zapotrzebowania będzie niewielka, opisana głównie takimi parametrami jak moc szczytowa i moc średnia. Możliwe jest również dokładne opisanie profilu, jak na rys. 29, jednak wymaga dużej ilości danych, w tym przypadku jest to 2700 próbek. Sposób opisu zamawianego pakietu zależy będzie tylko od przyjętych kryteriów dokładności odwzorowania zamawianego pakietu energii.



Rys. 29. Profil sekundowy pompy ciepła oraz jego odwzorowanie sygnałem dwustanowym

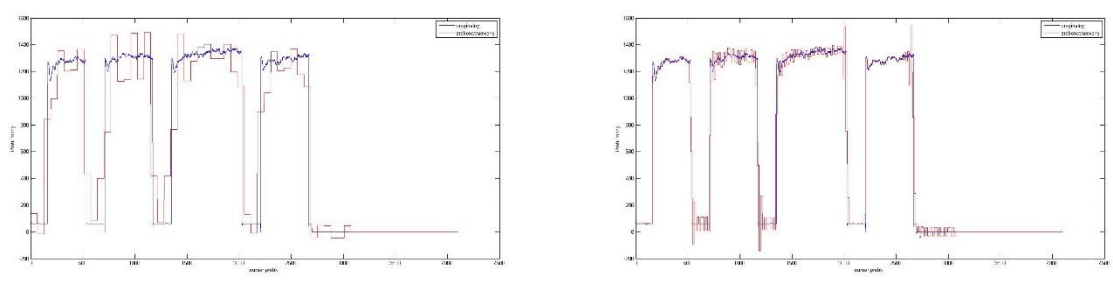
Każde wystawienie oferty, jej analiza przez potencjalnego dostawcę i zawarcie transakcji realizowane są na drodze transmisji elektronicznej, której czas realizacji będzie zależał od liczby danych opisujących ofertowany pakiet. Porównując dwa wykresy z rys. mf6 widoczna jest różnica w dokładności odwzorowania profilu, wyraźna jest też różnica w ilości danych je opisujących. W tym przypadku, ze względu na kształt profilu, dokładność odwzorowania może być wystarczająca (błąd poniżej 10%). Dla innych urządzeń może być jednak niedostateczna.



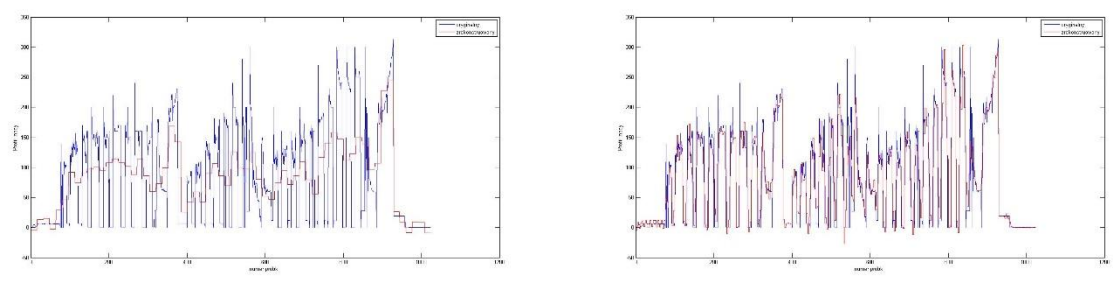
Rys. 30. Profil sekundowy pralki oraz jego odwzorowanie sygnałem dwustanowym

Na rys. 30 pokazano profil zapotrzebowania energetycznego pralki opisany przebiegiem czasowym z okresem próbkowania 1 s. Na tym samym rysunku pokazano odwzorowanie tego profilu sygnałem dwustanowym. Niedokładność odwzorowania zapotrzebowania na energię wynosi ponad ok 50%. Profil ten jest bardzo interesujący, ponieważ dotyczy zapotrzebowania na energię elektryczną pralki ale tylko do napędu silnika, bez uwzględnienia grzałki. Profile takie mogą być coraz częściej spotykane w domach, w których istnieją rozwiązania przygotowania ciepłej wody tańsze niż podgrzewanie grzałką elektryczną, np. kolektory słoneczne, pompa ciepła.

Zwiększenie dokładności odwzorowania profili, jednocześnie zachowując dyskretny ich charakter potrzebny do transakcji pakietowych i ograniczając liczbę danych je opisujących można osiągnąć np. stosując postać szeregu Walsh-a z bazą funkcji (w Raporcie nie będzie omawiana metoda odtwarzania profili, ponieważ w tym przypadku chodzi w ogóle o pokazanie metody, których może być znacznie więcej).



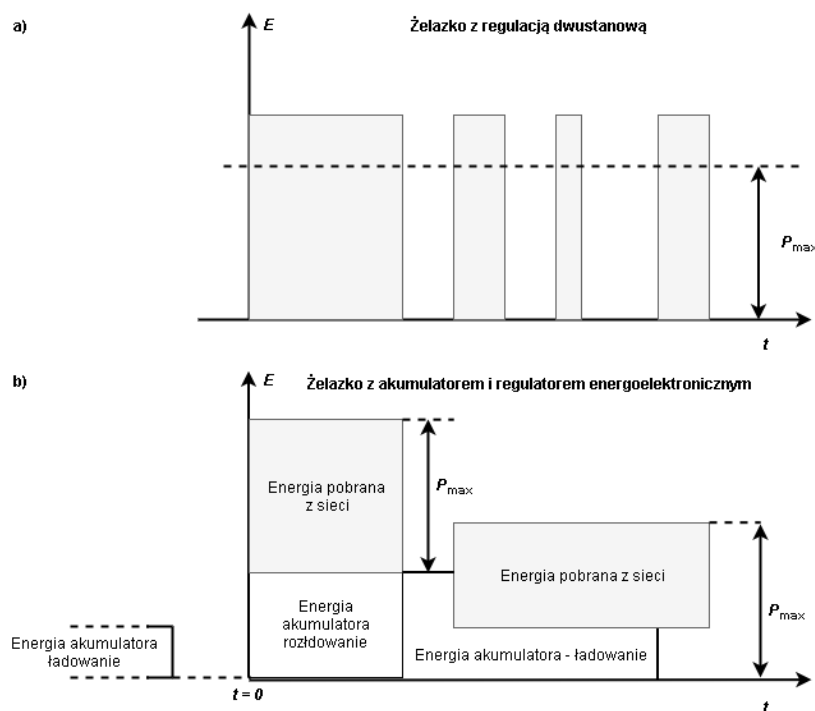
Rys. 31. Odtworzony profil mocy pompy ciepła z wykorzystaniem różnej liczby współczynników Walsh-a: po lewej – 40 współczynników, po prawej – 200 współczynników



Rys. 32. Odtworzony profil mocy pralki z wykorzystaniem różnej liczby współczynników Walsh-a: po lewej – 40 współczynników, po prawej – 200 współczynników

Na rys. 31 i 32 pokazano, odpowiednio, odtworzone profile zapotrzebowania energetycznego pompy ciepła i pralki opisane przebiegiem wygenerowanym przy pomocy funkcji Walsha. Dokładność odwzorowania przebiegu bazowego zależy od przyjętej liczby współczynników, która zawsze jest mniejsza od liczby próbek pomiarowych przebiegu bazowego. Cenną cechą tej metody jest to, że wartości określone współczynnikami mogą być bezpośrednio wykorzystane jako cząstkowe pakiety ofertowanego profilu.

Pokazane w Raporcie dwa przykłady pracy urządzeń (pompa ciepła i pralka), oraz dwa sposoby ogrzewania budynku pompą ciepła (mianowicie w domu nr 2 jest pompa ciepła powietrze-powietrze, w domu nr 6 jest pompa ciepła grunt-woda) wskazują, że sposób ofertowania zakupu energii powinien być dostosowany do profilu zapotrzebowania i sposobu wykorzystania energii elektrycznej. Bardzo istotnym czynnikiem jest również wyposażenie domu w zasobnik (energii elektrycznej bądź ciepła), który umożliwia przesuwanie obciążeń na osłonie OK1 i jednocześnie umożliwia planowanie realizacji transakcji pakietowych. Problemem do rozwiązania jest opracowanie metod ofertowania zależnych od profili zapotrzebowania. W przypadku ofertowania sprzedaży nadwyżek energii opiera się ona na prognozowaniu produkcji OZE.



Rys. 33. Profil żelazka: a) z regulacją dwustanową oraz b) z zasobnikiem energii widziany przez terminal dostępowy na osłonie OK1

Przykład wykorzystania zasobnika energii elektrycznej do formowania profilu odbiornika widzianego przez terminal dostępowy pokazano na rys. 33. Posłużono się przykładem żelazka, jako odbiornika, dla którego trudno jest zaplanować szczegółowo profil zapotrzebowania. W takim przypadku sumaryczny profil zużycia może zostać podzielony na mikrotransakcje. Wynika to z podziału wolumenów kupowanej energii na ciągłą i regulacyjną. Cena drugiej z nich jest wysoka, co skłania do jej eliminowania. Instalacja

akumulatora umożliwia zakup energii w najkorzystniejszej cenie i wykorzystanie w czasie używania urządzenia. Na rys. 33 profil zapotrzebowania energetycznego żelazka został zmieniony i dostosowany do zakupu energii w najkorzystniejszej cenie przed włączeniem urządzenia (dla $t < 0$). Dzięki zasobnikowi uzyskuje się również efekt jest wypłaszczenie profilu zapotrzebowania. Dodając zasobnik, mamy możliwość ograniczenia początkowej energii do określonej wartości, przy zachowaniu tego samego czasu nagrzewania. Dzięki temu nie rezygnuje się z komfortu użytkowania jednocześnie ograniczając moc pobieraną z sieci. W drugim etapie działania, gdy żelazko osiągnie optymalną temperaturę, następuje podtrzymanie tego stanu stałą energią w czasie. Aby nie przekroczyć maksymalnej mocy urządzenia, zasobnik jest ładowany energią taką, aby maksymalna moc P_{max} nie przekroczyła wartości określonej przez strażnika mocy. Dodanie energoelektronicznego regulatora poszerza możliwości działania urządzenia. Może ono stanowić funkcję regulacyjną profilu.

Miękka dyfuzja kompetencji prosumenckich z domu jednorodzinnego w obszar całej gospodarki

Dom, edukacja, praca, zdrowie i reszta (dom i „otoczenie”): taka perspektywa jest obecnie pożyteczna (jest bardzo potrzebna) w rozważaniach dotyczących głębszego sensu transformacji energetycznej, w tym rozwoju energetyki prosumenckiej. Mianowicie jest to perspektywa, która dobitnie pokazuje potencjał rewitalizacji domu do standardu domu elektrycznego (definicja w Raporcie). Według dużego (ale jeszcze racjonalnego) uproszczenia, można postawić roboczą hipotezę, że odwraca się systemowo kierunek oddziaływania. Mianowicie, oddziaływanie „otoczenie \rightarrow dom” będzie przekształcać się stopniowo w oddziaływanie „dom \rightarrow otoczenie”.

Objawia się to na wiele sposobów. Przy tym edukację, pracę, zdrowie i resztę trzeba rozumieć szeroko. Na przykład pod edukacją kryje się współcześnie nie tylko szkoła i studia, ale także doksztalcanie zawodowe, i również uniwersytet trzeciego wieku. Pod pracą trzeba podciągnąć fabrykę, przedsiębiorstwo MSP, gospodarstwo rolne, urząd (taki czy inny), a nawet wojsko (i policja też). Zdrowie, to w coraz większym stopniu telemedycyna. Reszta, to zakupy, odpoczynek poza domem (relaks, wakacje, podróże, ...), kultura (poza domem), aktywność społeczna, ... Ta długa lista, chociaż w żadnym wypadku nie spełniająca wymagań listy enumeratywnej, pokazuje wyraźnie wzrost roli domu w dokonującej się zmianie cywilizacyjnej.

W przeszłości w całym wymienionym otoczeniu człowiek się uczył i pracował, i ... kształtował. Efekty przynosił do domu: dom był w dużym stopniu taki jaki był człowiek ukształtowany poza domem. Współcześnie człowiek, który realizuje rewitalizację domu do standardu domu elektrycznego, osoby które zamieszkują ten dom przenoszą *know how* i doświadczenie pochodzące z tej rewitalizacji, a także nawyki i postawy ukształtowane w domu do otoczenia. Przede wszystkim chodzi o *know how* i doświadczenie w dziedzinie inteligentnej infrastruktury, które w domach jednorodzinnych mają, w perspektywie kolejnych pokoleń, potencjał zarówno nabywania kompetencji cyfrowych (przez tych, którzy czynnie uczestniczą w rewitalizacji domu), jak i potencjał hamowania procesów wykluczenia cyfrowego (przez tych, którzy będą funkcjonować w zrewitalizowanym domu przez dziesięciolecia).

W tym kontekście budowanie „inteligencji” domu elektrycznego, czyli np. implementowanie do niego prosumenckiego sieciowego terminala dostępowego takiej technologii jak *blockchain*, będącej infrastrukturą transakcyjną na rynku wschodzącym (1) jest poligonem na drodze do budowania rozległej

inteligentnej infrastruktury społeczeństwa mobilnego na nowy sposób (*car sharing*, samochód autonomiczny). Implementowanie infrastruktury IoT do domu elektrycznego (do odbiorników, odbiorów) jest poligonem, najlepszym jaki można sobie wyobrazić, na drodze do przemysłu 4.0.

Czyli dom elektryczny, jeśli stanie się doświadczeniem powszechnym, zadecyduje „oddolnie” o tym, że jego mieszkańcy zwiększą wymagania w stronę polityków. Ale dostarczą też oddolnie kompetencji potrzebnych do zrealizowania tych wymagań.

Wspólną cechą nowego kierunku oddziaływania jest: dom elektryczny jest (powinien/może być) środowiskiem wzrostu (na drabinie rozwojowej) rodziny, ale też ważnym środowiskiem kształtowania kompetencji i postaw życiowych. Oczywiście, byłoby źle, gdyby dom elektryczny wywołał skutki takie jak smartfon (Iphone, Ipod), tablet (Ipad), netbook, i przyczynił się do zamknięcia człowieka w świecie cyfrowym (do jego izolacji). Trzeba dążyć, aby dom elektryczny stał się podstawową infrastrukturą społeczeństwa „rozproszonego i mobilnego” w sensie pozytywnym. Na przykład, aby rodzina wielopokoleniowa, z dwoma, a nawet trzema pokoleniami, zamieszkującymi fizycznie odrębne domy, tworzyła jeden dom „wirtualny”. Aby domy elektryczne będące wyspami, były wyspami „wirtualnych” archipelagów wykraczających poza rodziny (nawiązanie do wysp i archipelagów w [14], rozumianych znacznie bardziej symbolicznie, ale pokrewnie).

ZAKOŃCZENIE

Praca nad Raportem daje podstawę do postawienia roboczej hipotezy, że nowa systemowa metoda konsolidacji kompetencji, w trybie budowania platformy wymiany doświadczeń, jest coraz bardziej potrzebna, a zarazem ma duży potencjał. Poniżej przedstawia się w celu uwiarygodnienia tej hipotezy siedem praktycznych (szczegółowych) wniosków oraz pięć refleksji o ogólnym charakterze.

Wnioski praktyczne – wskazówki projektowe

1. Pasywizacja. Możliwe już jest (w obecnych warunkach) wybudowanie budynku w standardzie pasywnym (o bardzo niskim zużyciu ciepła na jego ogrzewanie) w cenie budynku tradycyjnego, ale musi to być dom z wentylacją nawiewno-wywiewną z rekuperacją (bez niej w praktyce nie można wybudować budynku pasywnego). Zwiększone koszty budowy związane z wentylacją nawiewno-wywiewną z rekuperacją, z wymiennikiem gruntowym oraz dobrą izolacyjnością ścian i okien domu są rekompensowane mniejszymi kosztami na wykonanie instalacji grzewczych (można zrezygnować z ogrzewania grzejnikowego) i brakiem kominów wentylacyjnych. Mimo, że wymiennik gruntowy nie ma wysokiej średniorocznej sprawności, to w okresie bardzo niskich temperatur zewnętrznych jest bardzo ważnym elementem systemu grzewczego. Dlatego, bo temperatura za GWC nie spada praktycznie nigdy poniżej zera. Pozwala to zmniejszyć moc systemu grzewczego, gdyż w budynkach pasywnych 70-80% energii do ogrzewania musi być dostarczona do systemu wentylacji. Z tego też powodu bardzo ważną sprawą jest odpowiedni dobór rekuperatora oraz wielkości GWC. Mianowicie, rekuperator należy dobierać na trzy wymiany powietrza (taki dobór oznacza większe wymienniki i mniejsze obciążenie wentylatorów). Przyczyną takiego

doboru jest przede wszystkim zwiększone zapotrzebowanie na wentylację w lecie; w lecie GWC pełni funkcję schładzającą powietrze (chłodzenie pasywne).

2. Dobór źródeł PV. Przy projektowaniu źródła PV w aspekcie doboru: mocy źródła, przekształtnika i zabezpieczenia instalacji, należy przede wszystkim kierować się zapotrzebowaniem energetycznym budynku (bilansu w osłonie OK1), sposobem zarządzania energią (wszystkimi rodzajami) i sposobem integracji z siecią (system *on grid*, *off grid* lub hybrydowy) oraz istniejącą lub planowaną infrastrukturą techniczną.

Dobór mocy źródła PV dla domu w polskich warunkach jest prosty. W przypadku instalacji *on grid* i jej pracy z maksymalną chwilową wydajnością (zapewnioną przez falownik) moc źródła determinuje ilość produkowanej rocznie energii elektrycznej. Dla typowych warunków meteorologicznych z wystarczającą dokładnością można przyjąć, że źródło PV o mocy 1 kW produkuje rocznie 1 MWh energii elektrycznej. Biorąc natomiast pod uwagę uwarunkowania prawne, szczególnie ustawowo skalibrowany *net metering* (0,8 dla źródła o mocy do 10 kW i 0,7 dla źródła o mocy w zakresie 10 – 40 kW), kluczowe jest zbilansowanie energetyczne źródła PV z zapotrzebowaniem domu na energię elektryczną. W tym miejscu warto podkreślić, że instalacja źródła PV jest zazwyczaj powiązana z innymi modernizacjami, głównie instalacją dodatkowych odbiorów energii elektrycznej (np. pompy ciepła). Przewymiarowane źródło PV spowoduje wzrost jednostkowej ceny energii, ponieważ nadmiar wyprodukowanej i oddanej do sieci energii powyżej zapotrzebowania (uwzględniając współczynnik *net meteringu*) nie zostanie rozliczony. Uznając powyższe oraz bazując na doświadczeniach autorów Raportu można z wystarczającą dokładnością przyjąć, że moc źródła PV powinna być większa o ok. 20% niż wynikająca z rocznego zapotrzebowania.

Sprzęgnięcie źródła PV z instalacją elektryczną i dopasowanie parametrów napięcia użytkowego, niezależnie od formy korzystania ze źródła (*on grid* lub *off grid*) wymaga przekształtnika energoelektronicznego. Można przyjąć, że obecnie przeważająca większość źródeł PV zasila odbiory prądu przemiennego, dlatego też przekształtnikiem jest falownik, nazywany często inwerterem. Zależnie od mocy są to falowniki jedno bądź trójfazowe. Falowniki jednofazowe są produkowane dla mocy źródeł do 5 kW. Wynika to z mocy przyłączeniowej odbiorcy zasilanego jednofazowo. Dla źródeł trójfazowych produkowane falowniki mają moc $\geq 3,5$ kW, przy czym powszechnie stosuje się je powyżej mocy 5 kW. Z tego wynika, że dla domu zasilanego z sieci jednofazowej moc źródła PV nie przekracza 5 kW. Jednak dla takiej mocy nie można mówić o domu elektrycznym, ponieważ bardzo trudne byłoby harmonogramowanie pracy odbiorów w celu niedopuszczenia do zadziałania zabezpieczenia głównego (licznikowego). Producenci falowników PV wyszli już naprzeciw potrzebom i oferują falowniki quasi-trójfazowe, które mają funkcję pracy asymetrycznej, tzn. przekierowania generowanej mocy na dwie fazy. Spowodowane jest to rosnącą popularnością kuchenek indukcyjnych, których moc sięga 7 kW, a ich stosowanie wymaga instalacji dwufazowej.

Dobór zabezpieczeń nie jest dyktowany przepisami ogólnymi. Zabezpieczenia bywają jednak narzucane dodatkowo przez projektantów. Często związane jest to z dodatkowymi wymaganiami programów wsparcia. Od strony DC instalacji PV nie stosuje się nigdy żadnych zabezpieczeń nadmiarowoprądowych. Są one zbędne, gdyż prąd zwarciovowy nie przekracza 110% wartości prądu znamionowego (w punkcie pracy z mocą maksymalną). Do

najczęściej spotykanych zabezpieczeń strony DC należą rozłączniki przeciwpożarowe, ograniczniki przepięć i ochrona odgromowa. Można spotkać także stałoprądowe wyłączniki różnicowoprądowe. Akumulatory systemowe zabezpiecza się najczęściej bezpiecznikami topikowymi w klasach G. Na rynku pojawiły się nawet dedykowane bezpieczniki instalacji solarnych oznaczane gPV.

Z zasygnalizowanych zagadnień dotyczących doboru mocy, przekształtników i zabezpieczeń wynikają czynniki techniczne związane z doбором technologii wykonania paneli PV, od której zależy efektywność wykorzystania powierzchni użytecznej paneli PV oraz system montażu, w tym okablowanie. W przypadku instalacji hybrydowych oraz off gridowych kluczową sprawą jest dobór akumulatorów. Najtańszą technologią paneli fotowoltaicznych jest technologia amorficzna (cienkowarstwowa), jednakże w wykonaniu panele te często są panelami bezramowymi, całoszklistymi, z unikalnymi systemami montażu. Pomimo taniej technologii w ostatecznym rachunku są kosztowne. Panele takie w domach stosuje się na fasady ze względu na najmniejszy wpływ kąta padania światła na produkcję energii elektrycznej. Panele monokrystaliczne stanowią obecnie najdroższą technologię o największej sprawności lecz przy umiarkowanym zachmurzeniu obecnym na terenie naszego kraju często można zauważyć mniejsze uzyski energii w systemach o tej samej mocy nominalnej niż przy tańszej technologii polikrystalicznej. Panele monokrystaliczne stosuje się więc tam gdzie powierzchnia montażu ma duże znaczenie. Często o ich przewadze decyduje także design. Architekci preferują w projektach te panele gdyż tylko takie można wykonać w technologii *all-in-black*. Jeżeli w doborze paneli fotowoltaicznych miejsce montażu i design są sprawą drugorzędną, a kąt padania światła słonecznego jest akceptowalny, to najrozsądniejszym wyborem stają się panele polikrystaliczne.

Systemy montażu paneli dobierane są stosownie do miejsca montażu oraz do kształtu dachu i do pokrycia dachowego. Najtańsze systemy są dla dachów skośnych krytych blachą, najdroższe dla dachów płaskich (przy najniższych cenach montażu). Najtrudniejszy montaż dotyczy dachów skośnych krytych dachówką typu „karpiówka”, montaż wymaga właściwie rozbiórki całej połaci dachu bez względu na to jaką jego część będzie zajmowała fotowoltaika.

Dobór oprzewodowania jest taki sam jak w innych systemach elektrycznych. Najważniejsze parametry to dobór przekroju przewodów ze względu na prąd i dopuszczalne spadki napięć. Przy czym producenci przewodów solarnych ograniczyli, ze względów praktycznych, standard do dwóch przekrojów: 4 i 6 mm². Dla większych prądów w systemach *off grid* liczba żył jest wielokrotniana. Przewody solarne mają izolacje odporną na promieniowanie UV (z zawartością silikonu), klasa izolacji to 1 kV, tak jak maksymalne napięcie strony DC w systemie fotowoltaicznym. Stosowane złącza również są zestandaryzowane. Tylko szczególne sytuacje mogą być powodem do stosowania złącza innego niż MC-4.

3. Dobór akumulatorów. Akumulatory dla budynkowych źródeł OZE mogą pełnić trzy funkcje, które omówiono w Raporcie. Mianowicie chodzi o: eliminację wahań mocy na osłonie OK1 przez uśrednianie energii w krótkich interwałach, np. 5 min, 1 godz. (rys. 9); zabezpieczenie energetyczne odbiornika oraz udziału w transakcjach pakietowych (rys. 33); zasobnik dla usługi wymiany sąsiedzkiej (rys. 25). Dobór akumulatora w tych trzech

obszarach zastosowania dotyczy jego pojemności użytecznej niezależnie od technologii. W przypadku uśredniania energii na osłonie OK1 dobierane pojemności użyteczne są małe, w zakresie od kilkudziesięciu do kilkuset Wh, w zależności od amplitudy zmian mocy oraz przyjętego interwału uśredniania (bilansowania). Praca akumulatora charakteryzuje się częstymi (sekundowymi) cyklami ładowanie-wyładowanie.

Pojemność akumulatora dopasowana do odbiornika będzie zależna od spodziewanego zapotrzebowania w cyklu pracy. Najczęściej, dla urządzeń AGD, pojemność ta będzie wynosić od 1 kWh (pralka, zmywarka) do kilku kWh. W trzecim przypadku, analizując wykres z rys. 25, dla kilku domów pojemność akumulatora nie przekroczy kilkudziesięciu kWh i nie będzie rosła proporcjonalnie z liczbą przyłączonych domów, ponieważ wystąpi tutaj efekt współczynnika jednoczesności wykorzystania energii w całym mikrosystemie.

Praktyczny dobór akumulatorów w instalacjach *off grid* lub w instalacjach wspomagających systemy *on grid* jest stosunkowo prostym zadaniem inżynierskim i opiera się na kilku zasadach. Przede wszystkim niezbędne jest oszacowanie pojemności użytecznej akumulatora. Pojemność użyteczna nie jest tożsama z pojemnością znamionową, a różnica ta jest szczególnie widoczna, gdy porównuje się technologie wykonania zasobnika. Nowoczesne i powszechnie użytkowane, mianowicie technologie litowe (Li-ION, LiFePO₄) charakteryzują się „sztywną” charakterystyką dostępnej pojemności użytecznej względem mocy wyładowania. Dla tej technologii dobór pojemności zasobnika jest, w przybliżeniu, równy wymaganej pojemności użytecznej. Dla taniej technologii kwasowo-ołowiowej dostępna użyteczna energia akumulatora bardzo silnie zależy od mocy wyładowania. Pojemność nominalna akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest definiowana dla nominalnej mocy (lub prądu) wyładowania i najczęściej jest to wartość 5% pojemności nominalnej. Dla 20-godzinnego prądu wyładowania prąd znamionowy akumulatora o pojemności 100 Ah wynosi 5 A (określany parametrem C20). Dla takiego prądu możliwe jest uzyskanie pełnej dostępnej znamionowej energii. Niestety zwiększenie prądu wyładowania do wartości C1, czyli 100 A powoduje, że dostępna energia użyteczna jest o połowę mniejsza, czyli 50 Ah. Dlatego niski koszt inwestycyjny w przypadku akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest tylko pozorny, a rzeczywisty koszt magazynowania energii dla obu technologii jest podobny, szacowany na ok. 1000 PLN/MWh.

Na jednostkowy koszt magazynowania wpływa również trwałość akumulatorów liczona w cyklach wyładowania. Dla technologii kwasowo-ołowiowej trwałość akumulatorów sięga nawet 2000 cykli, ale przy pracy w cyklach wyładowania 10-20% pojemności. W przypadku akumulatorów litowych trwałość w takich warunkach pracy nie jest ograniczona cyklami pracy, a starzeniem technologii. Dlatego w samochodach z napędem hybrydowym akumulatory mogą być eksploatowane nawet kilkanaście lat. Praca akumulatorów w pełnych cyklach wyładowania skutkuje znacznie szybszym wyeksploatowaniem. Mianowicie dla akumulatorów kwasowo-ołowiowych trwałość w takich warunkach wynosi tylko 200-300 cykli, a dla akumulatorów litowy jest rzędu 1000 cykli.

4. Dobór terminali dostępowych (do potrzeb handlu pakietowego). Sieciowe terminale dostępne są jedynym elementem łączącym inteligentną infrastrukturę budynku w osłonie OK1 z siecią energetyczną. Terminal taki, z punktu widzenia użytkownika budynku (mieszkańca), powinien kojarzyć się głównie z możliwością zarządzania kosztami

użytkowania energii elektrycznej poprzez „zautomatyzowanie” profilu zapotrzebowania na energię gospodarstwa domowego. W warstwie sprzętowej będzie to sterownik mikroprocesorowy, np. taki jak w telewizorze z dostępem do internetu lub smartfonie. Terminal dostępowy nie musi być urządzeniem dedykowanym, ale zintegrowanym ze sterownikiem systemu BMS (instalacja elektryczna budynku docelowo będzie zastępowana inteligentną infrastrukturą). Sterowniki takie są już obecnie instalowane w domach inteligentnych i zarządzają automatyką domową. Doposażenie sterownika BMS w funkcje związane z zarządzaniem energią oznacza, że zautomatyzowanie dotyczy pracy samego urządzenia (ale w interakcji z użytkownikiem) i nie jest powiązane z instalacją elektryczną budynku (która tylko dostarcza energii elektrycznej). Elementy wykonawcze i automatyka zabezpieczająca zastępowane są końcówkami inteligentnej infrastruktury. Przykładem takich końcówek mogą być dostępne w sprzedaży gniazdka wyposażone w moduły WIFI, czy urządzenia automatyki domowej np. systemów Fibaro, Vision BMS i innych. Pod warunkiem zintegrowania ich z terminalem dostępowym.

Przedstawiając sieciowy terminal dostępowy od strony praktycznej, chodzi o wyposażenie inteligentnej infrastruktury PME w warstwę sprzętową odpowiadającą za sterowanie odbiornikami i zasobnikami energii, oraz warstwę programową, realizującą funkcje decyzyjne oraz algorytmy arbitrażowe w zakresie prognoz cen energii. W istniejącym systemie taryfowym, w którym ceny są znane w określonych porach dnia, w najprostszej postaci będzie to zegar programowalny okresów taryfowych i generacji źródła PV.

Zastosowanie każdego z powyższych rozwiązań uwarunkowane jest aktualną infrastrukturą instalacji elektrycznej budynku, lub jej brakiem. Stosowanie niezależnych sterowników odpowiadających za sterowanie poszczególnych odbiorników jest dobrym rozwiązaniem w przypadku istniejącej, modernizowanej infrastruktury. Sterowanie realizowane jest poprzez niezależne medium, często w sposób bezprzewodowy. Informacja o załączeniu urządzenia lub zmianie jego mocy, wysyłana jest ze sterownika nadrzędnego, którego przykładem może być oprogramowanie wieloplatformowe Domoticz.

W przypadku nowobudowanego budynku istnieje możliwość wyposażenia go w niezależnie sterowane tory prądowe, będące jednocześnie magistralami danych (w technologii PLC). Tory te wyznaczają nowy standard w doprowadzaniu energii elektrycznej do odbiorników, ponieważ nie są standaryzowane parametrami energii elektrycznej, ale pełnią funkcję (parametry napięcia zasilającego są wtórne). Tak rozumiany tor prądowy może np. dostarczać napięcie DC dopasowane do odbiorników (np. urządzenia AGD małej mocy z własnymi przekształtnikami) i jednocześnie pełnić funkcję medium transmisji sygnału sterującego przekształtnikiem wbudowanym w odbiornik. Jest to rozwiązanie bardziej kosztowne (inwestycyjnie), dające jednak możliwość sterowania grupą urządzeń bez dodatkowych elementów automatyki, ponieważ zastępuje ją przekształtnik energoelektroniczny (np. źródła LED z własnym układem sterowania jasnością i barwą emitowanego światła). Zaletą jest również wykorzystanie określonej wyodrębnionej magistrali do ładowania akumulatorowych urządzeń AGD w czasie, gdy koszt energii jest niski, a w przypadku instalacji prosumenckiej – podczas nadwyżki produkcji.

Przyjmując, że to odbiorca przejmuje rolę ofertowania zakupu i sprzedaży energii, a ofertowanie odbywa się na zasadzie określania pakietów zapotrzebowania lub sprzedaży nadwyżek następuje tutaj zmiana jakościowa jeśli chodzi o pracę odbiorników

i asynchroniczny pobór przez te odbiorniki energii. Pobór energii przez odbiornik, zintegrowany z inteligentną infrastrukturą i akumulatorem, nie jest tożsamy z pracą samego odbiornika (jego cyklem pracy i czasem załączenia), ale z ceną uzyskaną poprzez wystawienie oferty zakupu pakietu energii w terminalu dostępowym.

Pozostaje jeszcze sprawa integracji źródła PV z inteligentną infrastrukturą, która polega głównie na dostępie do informacji o aktualnie generowanej mocy w celu dopasowania pracy odbiorów oraz zasobników (energii elektrycznej i ciepła). Dotychczas producenci falowników udostępniali możliwość odczytu i rejestracji parametrów pracy źródła PV z poziomu dedykowanego serwisu internetowego, a dostęp do danych najczęściej był realizowany w formie wykresu, bez możliwości pobierania danych numerycznych. Jednak potrzeby użytkowników wymusiły na producentach stosowanie wbudowanych interfejsów komunikacyjnych i otwartych protokołów w celu możliwości połączenia falownika z inteligentną infrastrukturą. Przykładem jest firma Fronius, która wyposaża swoje falowniki w interfejs RS485, a dane są przesyłane za pomocą przemysłowego protokołu Modbus RTU.

5. Produkcja ciepłej wody użytkowej. Najprostszą metodą przygotowania CWU jest zastosowanie elektrycznego (z grzałką elektryczną) podgrzewacza zasobnikowego lub elektrycznego podgrzewacza przepływowego. Wybór urządzenia jest uzależniony od sposobu korzystania z wody, mianowicie chodzi o częstość cykli użycia oraz ilości wody w jednym cyklu. Przykładowo dla zlewu kuchennego i domu wyposażonego w zmywarkę, cykle wykorzystania będą częste z małą ilością wody. W takim przypadku zasadne jest stosowanie podgrzewacza przepływowego małej mocy (2 kW). To samo dotyczy umywalki łazienkowej.

Jeśli dom jest wyposażony we własne źródło OZE (np. PV) należy korzystać z tańszej energii generowanej z OZE. Taką możliwość daje tylko podgrzewacz zasobnikowy. Jednak nawet w tym przypadku warto zbilansować straty energii generowane przez podgrzewacz zasobnikowy z ceną energii elektrycznej, ponieważ ładowanie zasobnika CWU w każdej możliwej chwili może skutkować utratą ciepła do czasu jego wykorzystania.

Najlepsze efekty energetyczne uzyskuje się stosując pompę ciepła do przygotowania CWU. Na rynku dostępne są zasobnikowe podgrzewacze CWU zintegrowane z PC powietrze-powietrze oraz dodatkową grzałką elektryczną. Koszt takiego urządzenia, z zasobnikiem 100 – 200 l wynosi ok. 6 – 8 tys. zł. Przy czym urządzenie charakteryzuje się wskaźnikiem efektywności energetycznej $COP = 3,5$. Wadą tego rozwiązania jest włączanie się grzałki elektrycznej przy spadku temperatury dolnego źródła ciepła poniżej $-5^{\circ}C$. Jeszcze lepsze efekty można uzyskać włączając obwód wymiennika podgrzewacza zasobnikowego w system CO zasilanego pompą ciepła z wymiennikiem gruntowym. Wówczas ciepło jest dostarczane z tą samą intensywnością przez cały rok.

Dobór pojemności zasobnika jest przede wszystkim uzależniony od zapotrzebowania na CWU, a to jest ściśle związane z liczbą mieszkańców (użytkowników). Przyjmuje się, że jedna osoba w ciągu doby zużywa 50 l CWU o temperaturze $55^{\circ}C$. Wytyczne te są obecnie znacznie przesadzone i dobierając pojemność zasobnika należy kierować się rozsądkiem i doświadczeniem. Dla rodziny 2+2 wystarczający jest podgrzewacz zasobnikowy o pojemności 150 l. W tym miejscu należy zaznaczyć, że taki zasobnik nie jest w całości wypełniony wodą o zadanej temperaturze. Inaczej sprawa wygląda w przypadku stosowania PC, ponieważ uzyskiwane temperatury w górnym źródle, dla PC powietrze-powietrze,

wynoszą maksymalnie 55⁰C i zależą od temperatury źródła dolnego. Natomiast przewymiarowanie pojemności zasobnika będzie skutkować zwiększeniem zużycia energii, ponieważ konieczne jest podgrzanie większej ilości wody do tej samej temperatury.

W budynku pasywnym zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku jest często mniejsze od ciepła zużywanego do produkcji CWU. Przyczyna tkwi w systemie cyrkulacji, od którego zależą bardzo silnie straty w zasobnikach CWU. Jest to głównie wynikiem błędnego systemu cyrkulacji i start w zasobnikach CWU. Trwała praca pompy cyrkulacyjnej nie posiadającej regulacji powoduje, że straty ciepła w układach cyrkulacji CWU często przekraczają 50-60%.

Właściwym rozwiązaniem jest system ze zmiennoobrotową pompą sterowaną sygnałem w postaci temperatury wody w obiegu cyrkulacyjnym. Wtedy przepływy wody w obiegu cyrkulacji są znacznie mniejsze, a to znacząco ogranicza zużycie ciepła w systemie. Dodatkowo, wskazanym jest wyłączenie cyrkulacji w nocy. Systemy CWU w budynkach jednorodzinnych mogą być wspomagane kolektorami słonecznymi (dostarczającymi ok. 50% ciepła dla potrzeb CWU), zwłaszcza wtedy gdy do ogrzewania wykorzystuje się energię elektryczną (czas zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi ok. 5 lat).

6. Samochody elektryczne. Samochód elektryczny, z perspektywy kosztów zakupu, nie może być traktowany tylko jako środek transportu indywidualnego, ponieważ takie podejście wykaże jego nieopłacalność. Wyższy koszt zakupu niestety nie jest rekompensowany niższymi kosztami energii (w porównaniu do paliwa) w przypadku typowego wykorzystania. Dlatego istotne jest nowe ukształtowanie modelu korzystania z samochodu elektrycznego w dwóch obszarach, mianowicie jako środek transportu oraz zasobnik energii. Zadanie to jest kłopotliwe ze względu na status samochodu w społeczeństwie oraz zachowanie niezbędnej mobilności i niezależności. Z drugiej jednak strony jesteśmy gotowi kupować inne, bezpodstawnie drogie urządzenia, np. telefony komórkowe (smartfony), dla ich dodatkowych funkcjonalności. W przypadku samochodu elektrycznego można wskazać takie dodatkowe funkcjonalności. Ale jednak podstawową cechą jest wykorzystanie bezpośrednio energii elektrycznej generowanej w OZE ze sprawnością trzykrotnie wyższą, niż jest to realizowane przez silnik spalinowe.

Dla pierwszego, podstawowego obszaru zastosowania, obniżenie kosztów korzystania z samochodu elektrycznego można uzyskać w modelu współużytkowania samochodu. Ten model jest już bardzo dobrze ukształtowany, mianowicie chodzi o leasing konsumencki, wynajem samochodów krótko i długoterminowy oraz *car sharing* (np. Traficar). Dla współczesnego społeczeństwa ceniącego komfort życia, zamieszkującego przedmieścia, dodatkowo istnieje możliwość wspólnych przejazdów (tzw. *car-pooling*) wspieranych przez serwisy internetowe, np. BlaBlaCar. Na płaszczyźnie właścicielstwa samochodu istnieje bardzo duża bariera psychologiczna użytkowania samochodu wynajmowanego, lub też wynajmowanie własnego. Jednak społeczeństwo mobilne, szczególnie zamieszkujące duże aglomeracje, coraz częściej rezygnuje z własnego samochodu.

7. Smog. Według analiz WHO Polska jest po Turcji i Bułgarii krajem o najniższej jakości powietrza w Europie. Wśród 50 unijnych miast o najwyższym przeciętnym (rocznym) poziomie emisji pyłu zawieszzonego PM_{2,5} lokuje się ponad 30 miast polskich (zarówno tych

dużych, jak: Kraków, Zabrze, Katowice, Gliwice, Bielsko Biała jak i „pereł” turystycznych takich jak Zakopane). Stan taki jest przede wszystkim wynikiem emisji powierzchniowej, a emitarami są miastach w bardzo dużym stopniu domy jednorodzinne (gęsta miejska zabudowa uniemożliwia przewietrzanie; część miast ma bardzo niekorzystne warunki wentylacyjne ze względu na usytuowanie terenu, najgorsze warunki w tym kontekście ma Kraków). Sytuacja w kolejnych latach nie ulega poprawie, a badania wykazały, że w 2017 r. sytuacja w Polsce uległa jedynie pogorszeniu (w stosunku do roku 2016 r.). Długie zimowe okresy bezwietrzne wywołują przekroczenia norm pyłów zawieszonych (już i tak zawyżonych w Polsce w stosunku do innych krajów UE) nawet o 3000%.

Dom elektryczny, łącznie z samochodem elektrycznym, obniża oczywiście w sposób radykalny emisję pyłów zawieszonych. Analizy wykonane w Raporcie pokazują przy tym jednoznacznie, że działania w ramach pierwszego etapu rewitalizacji, ukierunkowane na rozwiązania ciepłownicze (termomodernizacja; ogrzewanie wraz z systemami wentylacyjno-klimatyzacyjnymi; alternatywne metody pozyskiwania CWU), realizowane od początku w koncepcji domu elektrycznego, z wykorzystaniem pomp ciepła i źródeł PV, dają bardzo dobre rezultaty z punktu widzenia efektywnej ekonomicznej redukcji niskiej emisji. Dlatego pobudzenie, transformacji energetyki za pomocą masowej rewitalizacji przez państwo za pomocą regulacji pro-rynkowych (w szczególności na rzecz rozwoju technologii i przemysłu dóbr inwestycyjnych oraz usług dla potrzeb domu elektrycznego) jest znacznie lepszym rozwiązaniem niż systemy wsparcia.

Potwierdza to przykład Zabrze. W mieście tym został uruchomiony Program Ograniczenia Niskiej Emisji PONE polegający na dofinansowaniu sięgającym nawet 80% kosztów inwestycyjnych podstawowych rozwiązań ograniczających niską emisję gospodarstwa domowego. Przede wszystkim jest to wymiana źródła ciepła na źródło niskoemisyjne. Spełnienie tego warunku pozwala na skorzystanie z dodatkowego wsparcia takich rozwiązań jak instalacja kolektorów słonecznych, termomodernizacja (docieplenie ścian budynku, wymiana okien, docieplenie stropodachu), a nawet zabudowa źródeł PV. Program prowadzony jest w mieście od wielu lat. Niestety analiza stanu powietrza w mieście nie wykazuje znaczącej poprawy.

Refleksje. Przedstawione poniżej refleksje wykraczają w wyraźny sposób poza bezpośrednie wyniki zidentyfikowane oraz uzyskane w ramach prac nad Raportem. Jednak z drugiej strony zostały one ewidentnie pobudzone poprzez prace na „platformie wymiany doświadczeń” dzięki której powstał Raport. Prace obejmujące planowanie analiz, ich realizację, a także dyskusję wyników.

1. Dynamika innowacji „wsadowych” w obszarze dotyczącym prosumenckiego modelu jednorodzinnej domy elektrycznej uniemożliwia jego budowę (potrzebnych kompetencji) w tradycyjnym stylu. W szczególności w ramach funkcjonującego szkolnictwa zawodowego, w tym wyższego, które ogólnie boryka się z kryzysem [14], a w energetyce dodatkowo nie jest zdolne do rzeczywistego otwarcia się na szokowe zmiany.

2. Z drugiej strony makroekonomiczny potencjał prosumenckiej partycypacji energetycznej, tkwiący przede wszystkim w jej licznych przewagach użytecznych, i we wschodzących rynkach dóbr inwestycyjnych dla energetyki prosumenckiej, jest już wystarczający do pobudzenia indywidualnej masowej aktywności prosumenckiej w segmencie domów

jednorodzinnych. Do ważniejszych przewag w tym segmencie na pewno należy możliwość etapowania działań, w tym inwestycji (etapowanie pozwala na sukcesywne uzyskiwanie wymiernych korzyści materialnych w trybie decyzji mikroekonomicznych, równoważących potrzeby z posiadanymi zasobami, w tym finansowymi).

3. Jeszcze większego znaczenia (niż bieżące korzyści) nabiera już inny potencjał prosumenckiego modelu jednorodzinnego domu elektrycznego. Jest to potencjał tkwiący w wielowymiarowej fundamentalnej atrakcyjności tego modelu. W tym potencjał zaspakajania najbardziej uniwersalnych potrzeb człowieka produktywnego [10]: zakorzenienia, twórczości, tożsamości, relacji. Dom, rodzina, ulica są przecież zawsze bardzo silnymi korzeniami człowieka, i dają mu poczucie własnej tożsamości. Prosumeryzm, zrównoważony rozwój same w sobie są (jeśli są) bardzo ważnym wyznacznikiem tożsamości. Prosumencka rewitalizacja domu daje szansę na odegranie roli „odkrywczy” (szansę na zaspokojenie potrzeby twórczości). Budowa mikrosieci OZE *off grid*, z handlem sąsiedzkiem (wymina sąsiedzka) energii elektrycznej może się stać poligonem budowy kapitału społecznego (czyli zaspakajania potrzeby relacji).

4. Prosumencki model jednorodzinnego domu elektrycznego tworzy środowisko do częściowego hamowania skutków spadku jakości kształcenia. W części może to być hamowanie poprzez proces przywracania w rodzinie utraconych (w modelu korporacyjnym) funkcji wychowawczych i edukacyjnych. Oczywiście, to przywracanie nie powinno przekroczyć pożądanego poziomu; powinno ono być w szczególności zrównoważone z potrzebą rozwijania kapitału społecznego. Potwierdzenia możliwości stopniowego przywracania tradycyjnych wartości w obszarze funkcji wychowawczych i edukacyjnych realizowanych przez rodzinę można upatrywać w wyraźnie już obserwowanym w młodym pokoleniu (millenialsów) dążeniu do równoważenia czasu przeznaczanego na pracę i aktywność na rzecz własnego rozwoju (w którym, zgodnie z badaniami [14], jest miejsce nawet na altruizm).

5. To oznacza równoważenie modelu fabrycznego/korporacyjnego pracy oraz modelu prosumenckiego życia w domu. Z takimi składowymi tego życia jak teleedukacja, telepraca, telemedycyna. Jest bezsporne, że taki proces równoważenia powinien/musi umożliwiać uczestnictwo społeczeństw w konkurencji na „globalnym rynku społecznej wydajności pracy”. Oczywiście, bezsporny jest też związek między rewitalizacją (traktowaną w ujęciu procesowym) domu do standardu domu elektrycznego i szans na skuteczne budowanie konkurencyjności: ludzi w wymiarze mikroekonomicznym i krajów/regionów w wymiarze makroekonomicznym.

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., Pilśniak A., Sztymelski K., Wójcicki R.: Cykl Raportów BPEP: Zaplanowanych dwanaście Raportów Biblioteki Powszechnej Energetyki Prosumenckiej, datowanie pierwszych sześciu: luty 2018 – maj 2018.

Ponadto:

- [3] Kompendium wiedzy: ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo. Recknagel Sprenger Schramek. Wydanie polskie OMNI SCALA, Wrocław 2008 (objętość około 2200 stron; pierwsze wydanie – 1897, objętości 173 stron).
- [4] Rynek instalacyjny – technika grzewcza, sanitarna i klimatyzacyjna. Miesięcznik informacyjno-techniczny (istnieje ponad 25 lat). Jurkiewicz A. Jak się projektuje buduje i mieszka w budynku pasywnym. <http://www.egie.pl/>
- [5] Kahneman D. Pułapka myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym. Media Rodzina, Poznań 2012.
- [6] Jękot B. Rozwój oceny/certyfikacji budownictwa: od kalkulacji częściowych do całościowych. BŻEP. <http://klaster3x20.pl>
- [7] Jurkiewicz A. Jak się projektuje buduje i mieszka w budynku pasywnym. <http://www.egie.pl/>
- [8] Biskupski J. Techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty wprowadzania przydomowych odnawialnych źródeł energii w budynkach w Polsce. Rozprawa doktorska (drugi doktorat). Politechnika Krakowska. Kraków 2018.
- [9] Toffler A. Trzecia fala. Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1986.
- [10] Chałubiński M. Niepokoje i afirmację Ericha Fromma. Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2000.
- [11] Rifkin J. Trzecia rewolucja przemysłowa. Wydawnictwo Sonia Draga
- [12] Popczyk J. Energetyka rozproszona. Od dominacji energetyki w gospodarce do zrównoważonego rozwoju, od paliw kopalnych do energii odnawialnej i efektywności energetycznej. Klub Ekologiczny Okręg Mazowiecki. Warszawa 2011.
- [13] Popczyk J. Energetyka prosumencka. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Sopot 2014.
- [14] Hausner J., Paprocki W., Gronicki M. Polski archipeląg rozwoju w warunkach globalnej niepewności. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Sopot 2018.
- [15] Mobilność w aglomeracjach przyszłości. Pod redakcją Gajewskiego J., Paprockiego W. i Pieriegud J. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Sopot 2018.

Datowanie Raportu: wersja beta 19 lipca 2018 r.