

NOWE ROZWIĄZANIA DLA HYBRYDOWYCH SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA BUDYNKÓW W ENERGIĘ

Autorzy: Michał Turski, Robert Sekret

("Rynek Energii" - luty 2016)

Słowa kluczowe: hybrydowe sieci ciepłownicze, hybrydowe węzły ciepłownicze

Streszczenie. W artykule zostały przedstawione innowacyjne rozwiązania węzłów ciepłowniczych oraz możliwości ich wykorzystania na potrzeby systemów zaopatrzenia budynków w energię. Analiza zawierała m.in.: możliwości integracji odnawialnych źródeł energii i ciepła odpadowego z siecią ciepłowniczą. Wynikiem przeprowadzonych badań było wskazanie optymalnych rozwiązań pod względem: energetycznym – zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową o 59% i na energię pierwotną o 82%, ekonomicznym – zmniejszenie kosztów potrzeb bytowo-gospodarczych na poziomie ok. 44% w przypadku profilu rozproszonego i 59% w przypadku profilu sieciowego i ekologicznym – zmniejszenie emisji zanieczyszczeń na poziomie 91% w przypadku profilu rozproszonego i 87% w przypadku profilu sieciowego.

1. WSTĘP

Wprowadzenie ustawy o OZE oraz sukcesywne obniżanie parametrów pracy instalacji grzewczych, możliwe dzięki intensywnym termomodernizacjom budynków istniejących i wprowadzaniu nowych technologii budowlanych, stwarza obszar nowych inwestycji. Wydaje się, że korzyści z obecnego stanu rzeczy są wyraźniej dostrzegane po stronie odbiorców. Należy pamiętać, że odbiorca końcowy to nie tylko odbiorca indywidualny, są to także spółdzielnie mieszkaniowe o stosunkowo istotnym potencjale sprzedaży ciepła sieciowego. Obecny stan techniczno-prawny pozwala na odłączenie się spółdzielni mieszkaniowych, bądź części sieci od centralnego źródła. Zasilanie w takim przypadku może nastąpić ze źródeł o niewielkiej emisji zanieczyszczeń i z dużą sprawnością przesyłu i regulacji. Istotnym aspektem nadchodzącego trendu będzie własność nowych źródeł i instalacji, czy będzie ona po stronie odbiorców, czy przedsiębiorstwa ciepłowniczego.

Ponadto obszarem godnym zainteresowania jest grupa indywidualnych odbiorców ciepła. Odbiorcy indywidualni są grupą najbardziej liczną, natomiast wielkość sprzedaży ciepła dla niej stanowi bardzo małą część ogółu sprzedaży ciepła do odbiorców końcowych. Obecnie ciepło dostarczane do odbiorców końcowych w postaci klientów indywidualnych wynosi ok. 1,5% całości sprzedaży [9].

Jak wynika z danych GUS budynki jednorodzinne stanowią 83% wszystkich budynków mieszkalnych w Polsce. Oznacza to, że jest jeszcze znaczny niewykorzystany potencjał sprzedaży ciepła [4].

Uważa się powszechnie, że dostarczenie ciepła do odbiorców z budynków jednorodzinnych nie jest przedsięwzięciem opłacalnym, z uwagi na to, że są to rozległe obszary o małym

zapotrzebowaniu na ciepło. Taki stan rzeczy jest prawdą w przypadku, kiedy analizie podlegają duże sieci ciepłownicze o wysokich parametrach pracy. Przy budowie scentralizowanych lokalnie mikrosieci i źródeł ciepła pracujących w skojarzeniu przy dopuszczalnie niskich parametrach możliwe jest utrzymanie takiego systemu na poziomie akceptowalnej efektywności ekonomicznej.

Niezależnie od tego po czyjej stronie będzie własność źródeł i instalacji należy rozważyć przygotowanie infrastruktury, która umożliwi przyłączenie OZE do sieci ciepłowniczej przedsiębiorstwa bądź mikrosieci odbiorców końcowych. Również problem nadmiaru ciepła w sieci w okresie letnim skutkuje poszukiwaniem nowych, bardziej wydajnych metod jego magazynowania, które z kolei wymagają instalacji nowych magazynów ciepła współpracujących z siecią ciepłowniczą.

Nowe standardy energetyczne budynków wymuszają na przedsiębiorstwach ciepłowniczych konieczność zmian w sposobie i kierunku przekazywania energii. Może nawet zaistnieć konieczność przyjęcia różnych rodzajów energii do sieci. Wzrost świadomości użytkowników końcowych skutkujący zainteresowaniem OZE bez odpowiedniej struktury techniczno-prawnej wprowadzania ich do sieci doprowadzić może do znacznego zakłócenia jej pracy oraz utraty istotnej ilości odbiorców energii.

Kolejnymi aspektami wymagającymi nowych rozwiązań technicznych są przewidywane kierunki rozwoju hybrydowych systemów energetycznych, które integrować będą wytwarzanie i przesył elektryczności, ciepła i chłodu oraz przesył gazu, czy wodoru. Rozwój sieci ciepłowniczych wiąże się również ze znacznym obniżeniem parametrów pracy celem dostosowania ich do przyszłego standardu energetycznego budynków.

Dlatego też w przypadku nowych generacji sieci ciepłowniczych opisanych w pracy [7] dla budynków niskoenergetycznych, zero energetycznych lub budynków o dodatnim potencjale energetycznym głównym komponentem pozwalającym na realizację strategii hybrydowej sieci energetycznej jest źródło energii, którego zadaniem jest nie tylko pokrycie potrzeb energetycznych budynku, ale również umożliwienie wymiany energii z zewnętrznymi systemami sieciowymi.

Dlatego też, należy stworzyć podstawy techniczne i technologiczne umożliwiające integrację nowych elementów z siecią ciepłowniczą. Należy przewidzieć w takim rozwiązaniu przyszłe kierunki rozwoju sieci ciepłowniczych. W tym celu proponuje się zastosowanie nowych układów kombinowanych ze specjalnymi urządzeniami jakimi będą hybrydowe węzły cieplne (Hybrid Substations HS). Rozwiązanie to daje możliwość integracji OZE z siecią ciepłowniczą oraz elektroenergetyczną (ewentualnie chłodniczą), a w przyszłości może pozwolić na kontrolę i regulację potencjalnych źródeł energii po stronie użytkownika końcowego.

2. DOTYCHCZASOWE MODYFIKACJE WĘZŁÓW CIEPLNYCH

Obecnie przedsiębiorstwa ciepłownicze poszukują oszczędności również na etapie efektywnego przekazywania wytworzonego ciepła do odbiorcy końcowego, a co za tym idzie, szczególnie istotne stają się rozwiązania dotyczące węzłów cieplnych. Standardowym przeznaczeniem węzłów cieplnych jest dostosowanie parametrów czynnika zasilającego do potrzeb pracy instalacji odbiorczych, przygotowanie c.w.u., lub innych, w tym potrzeb technologicznych.

Jednym z rozwiązań zaprezentowanych dotychczas w literaturze jest praca [5], w której został przedstawiony model matematyczny symulujący przyłączenie płaskich kolektorów słonecznych do sieci ciepłowniczej. Symulacja modelu wykazała ok. 10% oszczędności energii, przy założeniach autorów dotyczących natężenia promieniowania słonecznego oraz magazynowania ciepła. Istotnym wynikiem jest rozważenie możliwości podłączenia kolektorów słonecznych do sieci ciepłowniczej oraz zamodelowanie ich pracy. Niezależnie od najkorzystniejszego połączenia z siecią ciepłowniczą uważa się, że sama celowość przyłączenia kolektorów słonecznych może być przedmiotem dyskusji. Powodują one największy uzysk energetyczny w okresie letnim, a więc w czasie konieczności rozpraszania nadmiaru ciepła w sieci.

W krajach skandynawskich, gdzie społeczna świadomość oszczędzania energii, standardy energetyczne budynków oraz nowoczesność systemów energetycznych jest na wyższym poziomie niż w pozostałej części Europy, osiągnięte jest znaczne obniżenie parametrów pracy systemów ciepłowniczych oraz ich lokalna decentralizacja. Działania te dają większe możliwości integracji OZE z sieciami cieplnymi. Jak zostało zaprezentowane w pracy [10] skandynawskie niskoenergetyczne sieci cieplne mogą pracować nawet na parametrach 55/25°C. Dodatkowo stwierdza się, że im niższe są parametry pracy sieci, tym większe znaczenie ma odpowiednia ich regulacja i odpowiednia współpraca z OZE. W roku 2013 w Europie było 216 systemów grzewczo-chłodniczych o mocy do 350kW termicznych oraz 82 systemy o mocy do 1MW termicznego [2], które wykorzystywały kolektory słoneczne.

Innym rozwiązaniem, tym razem zastosowanym w Polsce, był projekt firmy Ensol ograniczający zużycie ciepła pochodzącego z PEC-u na potrzeby przygotowania c.w.u. dla kilkudziesięciu budynków wielorodzinnych. Pomysł polegał na zastosowaniu pomp ciepła i kolektorów słonecznych do przygotowania c.w.u. Firma Ensol zadeklarowała w formie gwarancji zawartej w umowie wykonawczej ze spółdzielnią, że minimalna średnioroczna oszczędność w przygotowaniu c.w.u. przy zastosowaniu OZE wyniesie 40%. Na podstawie wstępnych wyników badań [8] można stwierdzić, że możliwe jest w Polsce funkcjonowanie autonomicznych systemów pozostających własnością spółdzielni. Uwidacznia to możliwości lokalnej centralizacji, względnie decentralizacji systemów ciepłowniczych ale i wskazuje także nowe problemy do rozwiązania. Utrata tak dużego odbiorcy ciepła w okresie letnim znacznie obniża rentowność przedsiębiorstwa ciepłowniczego. Dlatego też uważa się, że

przedsiębiorstwa ciepłownicze powinny podjąć intensywne prace w kierunku opracowania strategii rozwoju w kontekście dynamicznie zmieniających się warunków rynku ciepła. Przeciwny trend rozwoju może spowodować znaczną niezależność spółdzielni od dużych wytwórców energii, co z punktu widzenia zapewnienia gwarancji ciągłego zaopatrzenia w ciepło jest zagadnieniem istotnym dla wszystkich stron rynku ciepła.

Ciekawym zagadnieniem wydaje się być przewidywanie zależności zapotrzebowania oraz wykorzystania energii budynków nisko- lub zero-energetycznych [11]. Coraz większej wagi nabierać będzie więc programowanie pracy sieci, które w oparciu o istniejące tabele regulacyjne jest praktycznie niemożliwe. Ponadto w tej pracy zaprezentowana została koncepcja połączenia różnych rodzajów nośników energii opisywanych budynków (elektryczność, ciepło, chłód) wraz z magazynowaniem. Dotyczyła ona głównego zasilania poprzez przetworzenie większości rodzajów energii na elektryczność zgodnie z ideą 'smart grid'. Jako połączenie w rozważaniach modelowych został wykorzystany element 'power regulator'. Z uwagi na charakter publikacji, dotyczący głównie modelowania i skupiający się na optymalizacji opisów matematycznych nie zostały opisane aspekty technicznego połączenia budynków energetycznych do sieci, a tym bardziej możliwość zintegrowania innych nośników energii (ciepła, chłodu, gazu) bez konieczności przetworzenia postaci energii, co wiąże się ze zmniejszeniem sprawności.

Integracja systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji oraz ciepłej wody użytkowej dla budynków zero-energetycznych zostały zaprezentowane w pracy [3]. Określone zostały technologia oraz parametry proponowanego rozwiązania niezbędne do zaprojektowania instalacji. Rozwiązania te umożliwiają magazynowanie ciepła, jak również połączenie kilku systemów w jeden. Jednak prezentowane połączenia nie wystarczają do współpracy z siecią ciepłowniczą. Podobnie w pracy [1], dotyczącej systemów klimatyzacji i strategii ich rozwoju, opisane rozwiązania nie przewidują integracji proponowanych instalacji z siecią ciepłowniczą.

W pracy [6] został przedstawiony model małej skali zintegrowanej sieci ciepłowniczej. W tym przypadku opracowanie dotyczy głównie aspektów matematycznych pomijając sposób integracji poszczególnych elementów. Ponadto wszystkie elementy nie posiadają połączenia z siecią ciepłowniczą.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury można stwierdzić, że wykorzystanie energii odnawialnej w sieci ciepłowniczej ciągle nie jest jeszcze zagadnieniem znanym. Rozważane jest zazwyczaj w zaledwie kilku konfiguracjach, które właściwie nie występują łącznie. Dostępne są rozwiązania integrujące kilka rodzajów użytecznych postaci energii jednak połączenia te nie dotyczą sieci ciepłowniczych. Ponadto prowadzonych jest wiele symulacji, jednak nie zawierają one technicznych rozwiązań przyłączenia OZE do sieci ciepłowniczej. Nie zaobserwowano również w literaturze prac przedstawiających proces modernizacji istniejących węzłów cieplnych pod tym kątem.

3. HYBRYDOWE WĘZŁY CIEPLNE (HYBRID SUBSTATIONS) HS

3.1. Opisy rozwiązań

Podniesienie standardu energetycznego obiektów budowlanych daje możliwości obniżenia parametrów pracy sieci ciepłowniczej, co z kolei umożliwia wykorzystanie w szerszym zakresie OZE i ciepła odpadowego. Jak wskazuje przeprowadzony przegląd literatury zostały podjęte różnorodne próby zastosowania OZE oraz ciepła odpadowego w sieciach ciepłowniczych lub połączenia systemów w celu zastosowania gospodarki skojarzonej. Widoczny jest jednak brak spójności rozwiązań, co z kolei uniemożliwia porównanie ich ze sobą pod kątem energetycznym, ekologicznym i ekonomicznym.

Dlatego też proponuje się podział systemów i sieci przesyłu energii pod kątem trzech głównych i dwóch pobocznych profili użytkowych budynków. Profile główne dotyczą sposobu przyłączenia do sieci (indywidualne, mieszane, sieciowe), a profile poboczne gęstości zamieszkania (jedno- (JED.) i zbiorowe (ZBIOR.)). Rozważane jest dostarczenie energii w formie: elektryczności, ciepła i chłodu w celu pokrycia potrzeb techniczno-użytkowych budynków. Podział został zaprezentowany w tabeli 1. Stanem odniesienia, który pozwoli na porównanie poszczególnych rozwiązań jest profil określany jako aktualny 2015. Zakłada się zatem, że w profilu aktualnym elektryczność, ciepło i chłód są wytwarzane bez skojarzenia, energia elektryczna wytwarzana jest w elektrowni, ciepło i chłód indywidualnie. Ciepło wytwarzane jest w indywidualnej kotłowni na paliwo stałe (jako wciąż najtańsza i najbardziej popularna technologia). Chłodziarki sprężarkowe zasilane są elektrycznie.

Tabela 1. Profile użytkowe budynków dla analizowanych obszarów zamieszkania

	Profil aktualny (rok 2015)	
Zamieszkanie	jednorodzinne	zbiorowe
Elektryczność	sieć	sieć
Ciepło	indywidualnie	sieć
Chłód	indywidualnie	indywidualnie
	Profil mieszany (rok 2030)	
Zamieszkanie	jednorodzinne	zbiorowe
Elektryczność	sieć	sieć
Ciepło	indywidualnie	sieć
Chłód	indywidualnie	indywidualnie
	Profil jednorodny (rok 2050)	
Zamieszkanie	jednorodzinne	zbiorowe
Elektryczność	indywidualnie	sieć
Ciepło	indywidualnie	sieć
Chłód	indywidualnie	sieć

Do każdego profilu użytkowego budynku przeznaczone są inne rozwiązania przyłączenia budynków do sieci ciepłowniczej lub sieci energetycznej, zależnie, czy rozwiązanie przewiduje dostawę elektryczności, ciepła, czy chłodu. Dlatego też zostały określone rozwiązania węzła cieplnego dla umożliwienia przesyłu i/lub przetwarzania energii w układzie trójgeneracyjnym. Ponadto zostały określone parametry pracy instalacji oraz zostały przeanalizowane możliwości integracji OZE i ciepła odpadowego z siecią ciepłowniczą.

W związku z tym określono trzy główne profile (P.) użytkowania budynków aktualny: 2015, 2030 i 2050 dla których rozwiązania połączeń OZE i ciepła odpadowego z siecią są odmienne. Różnica wynika głównie z faktu obniżenia parametrów pracy sieci ciepłowniczej, które zostały opisane w publikacji [7]. I tak dla profilu aktualnego temperatury zasilania i powrotu za węzłem wynoszą odpowiednio 95/70°C, dla profilu 2030 50/35°C oraz dla profilu 2050 40/30°C. Poniżej w tabeli zostały zestawione koncepcje zasilania dla każdego profilu.

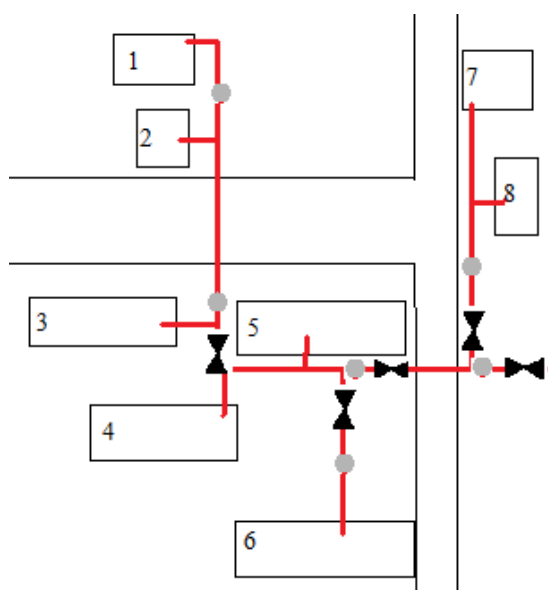
Tabela 2. Rozwiązania dostarczenia i wytworzenia energii dla profili użytkowych budynków

Źródło	P. JED. 2015	P. ZBIOR. 2015	P. JED. 2030	P. ZBIOR. 2030	P. JED. 2050	P. ZBIOR. 2050
Miejscowe przetwarzanie energii w budynku	c.o.: węgiel kamienny ; c.w.u.: 70% kocioł,	c.o.: sieć ciepłownicza ; c.w.u.: sieć lub junkers,	c.o.: 85% kocioł ; c.w.u.: : 70% kocioł ;	c.w.u.: 40% junkers;	c.o.: 75% p.c.+ kocioł kond. gaz.; c.w.u.: 50% p.c.	brak
Ciepło sieciowe z kogeneracji	brak	brak	brak	c.o.: 90% sieć ciepłownicza; c.w.u.: 40% sieć ciepłownicza; chlód: 100% sieć ciepłownicza;	brak	c.o.: 75% sieć ciepłownicza; c.w.u.: 80% sieć ciepłownicza; chlód: 100% sieć ciepłownicza;
Ciepło sieciowe z ciepłowni lokalnej	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	lokalnie scentralizowane	lokalnie scentralizowane
Sieć elektroenerg. systemowa	c.w.u.: 30% elektr.; chlód: elektr.	chlód: elektr.	chlód: p.c. lub ch. sorpc.: 25% elektr.	tylko automatyka i obsługa	chlód: p.c. lub ch. sorpc.: 25% elektr.; automatyka i obsługa;	tylko automatyka i obsługa

Lokalne odnawialne źródła energii	brak	brak	c.o.: 15% OZE; c.w.u.: 50% OZE; chlód: p.c. lub ch. sorpc.: 75% OZE;	c.o.: 10% OZE w sieci ciepłowniczej; c.w.u.: 20% OZE;	c.o.: 25% OZE; c.w.u.: 50% OZE; chlód: p.c. lub ch. sorpc.: 75% OZE;	c.o.: 25% OZE w sieci ciepłowniczej; c.w.u.: 20% OZE;
Magazynowanie	brak	brak	7,4%	5,2%	7,8%	7,6

3.2. Obiekt oraz metodyka analizy

Analizę przeprowadzono dla osiedla składającego się z ośmiu obiektów mieszkalnych rozumianych jako obszary o określonym zapotrzebowaniu energii zależnie od profilu użytkowego i zamieszkania (tabela 1). Tak też każdy z obszarów może być jednym budynkiem albo zespołem budynków jednorodzinnych przy czym ilość mieszkańców jest niezmienna i wynosi 1300 osób. Plan sytuacyjny został przedstawiony na rysunku 1. Analizę podzielono na etapy. W etapie pierwszym określono zapotrzebowanie różnych postaci energii dla analizowanego obszaru – zespołu budynków (osiedla) podłączonych do sieci ciepłowniczej. Ogrzewanie zostało określone dla przedziału temperatur powietrza zewnętrznego od -20 do +12°C, magazynowanie od +12 do +21°C, chłodzenie od +21 do +32°C.



Rys. 1. Plan sytuacyjny analizowanego osiedla przyłączonego do sieci ciepłowniczej

Zmiennymi parametrami w analizie są: zabudowa, która wynika z analizowanego profilu zamieszkania (jednorodzinne lub zbiorowe) oraz charakterystyczne wielkości przesyłu energii (elektryczności, ciepła i chłodu) lub charakterystyczne wielkości lokalnego przetwarzania energii. Energooszczędność budynków została wyrażona w wartościach zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną. Dla aktualnego profilu jednorodzinnego (jako najbardziej niekorzystnego) użytkowania budynków projektowa wartość zapotrzebowania na moc elektryczną do celów zasilania systemów ogrzewania i chłodzenia (chłód wytwarzany za pośrednictwem klimatyzatorów sprężarkowych) wyniosła 1860 kW, projektowa wartość zapotrzebowania na moc ciepłą do celów ogrzewania i podgrzewu powietrza wentylacyjnego wyniosła 3080 kW, projektowa wartość zapotrzebowania na moc ciepłą do podgrzewu ciepłej wody użytkowej wyniosła 1385 kW.

Na tej podstawie zostały określone optymalne rozwiązania pod kątem energetycznym, ekologicznym i ekonomicznym. Efekt energetyczny jest rozumiany jako zmniejszenie zużycia energii końcowej oraz pierwotnej. Należy zaznaczyć, że w publikacji posłużono się pełnym bilansem wskaźników zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną dla budynków mieszkalnych. Oznacza to że wartości wskaźników obejmują wytworzenie ciepła do celów ogrzewania i podgrzewu c.w.u., chłodu oraz elektryczności do obsługi powyższych systemów. Zmniejszenie wykorzystania energii końcowej spowodowane jest obniżeniem parametrów pracy sieci ciepłowniczych i pozostałych z nimi połączonych. Zmniejszenie wykorzystania energii pierwotnej wynika z zastosowania OZE oraz ciepła odpadowego w sieci ciepłowniczej i sieciach połączonych.

Efekt ekonomiczny wynika z oszczędności zużycia paliwa, zmniejszenia strat ciepła na przesyśle, a określony został jako koszty eksploatacji uzależnione od zastosowanego rozwiązania technicznego i profilu użytkowania budynków.

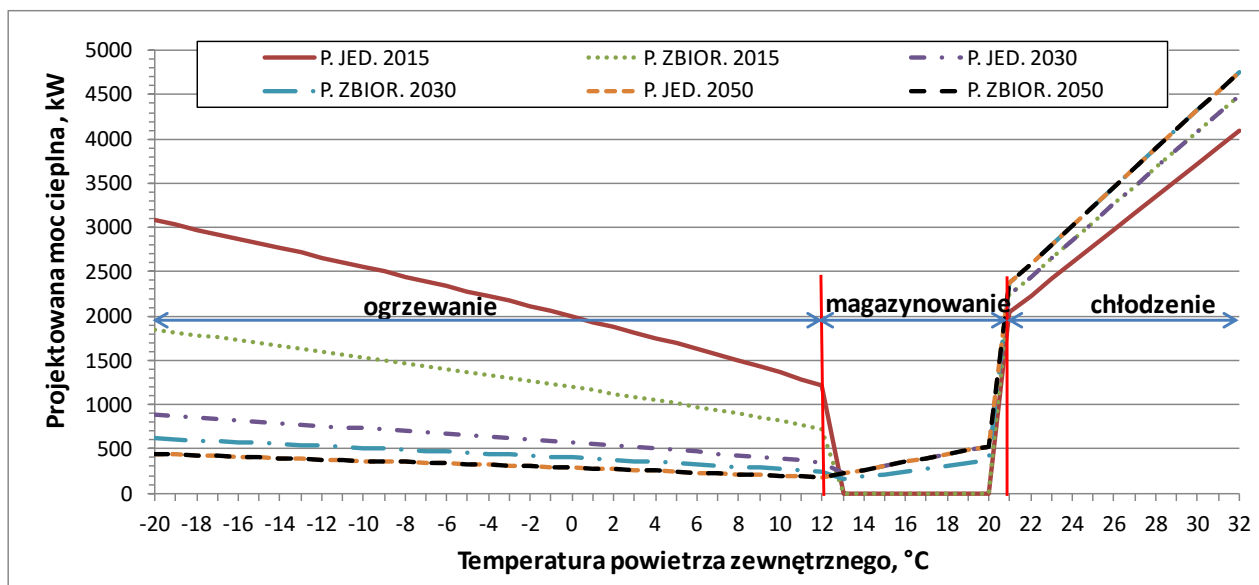
Efekt ekologiczny został określony jako jednostkowy efekt ekologiczny – różnica emisji zanieczyszczeń przed i po usprawnieniu odniesiona do jednostki mocy zainstalowanej. W obliczeniach jednostkowego efektu ekologicznego przyjęto emisje jednostkowe, które przedstawiono w tabeli 3 oraz emisje całkowite przedstawione w części analitycznej.

Tabela 3. Emisje jednostkowe przyjęte do obliczeń efektu ekologicznego.

Związek	Emisja jednostkowa, kg/GJ					
CO	1,9127	0,0220	0,2851	0,0180	0,0112	0,0132
SO ₂	0,2859	0,1770	0,2676	0,1420	0,0000	0,1062
NO _x	0,1627	0,0660	0,2133	0,0530	0,0398	0,0396
Pył	0,0661	0,0040	0,0453	0,0030	0,0005	0,0024
CO ₂	110,7	126,3	80,8	101,0	61,0	75,8
	jednorodzinny 2015	zbiorowy 2015	jednorodzinny 2025	zbiorowy 2025	jednorodzinny 2050	zbiorowy 2050

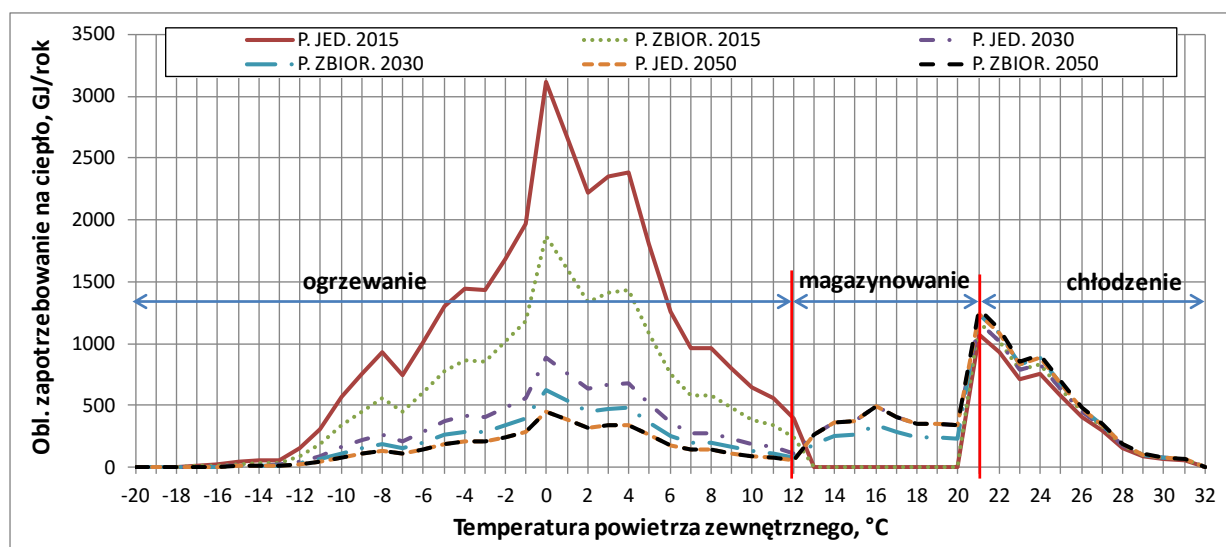
3.3. Wyniki analizy

Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 2-8. Dotyczą one: określenia maksymalnej mocy sieci ciepłowniczej lub źródeł indywidualnych oraz obliczeniowego zapotrzebowania na ciepło w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego, wskaźników zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną, efektu energetycznego, ekonomicznego oraz ekologicznego. W pierwszym przypadku przedstawionym na rysunku 2 maksymalna projektowa moc cieplna, magazynowania lub chłodnicza dla analizowanego osiedla uzależniona jest głównie od temperatury zewnętrznej. Oznacza to, że dla wszystkich profili użytkowych spadek temperatury w przypadku ogrzewania, a wzrost w przypadku chłodzenia muszą być kompensowane zwiększeniem mocy sieci lub instalacji wewnętrznej, przy czym chłodzenie jest bardziej energochłonne. W przypadku magazynowania wyższe temperatury powietrza zewnętrznego wiążą się ze zwiększeniem ilości zmagazynowanej energii. Związane to jest głównie z korzystnymi warunkami atmosferycznymi towarzyszącymi wzrostowi temperatury powietrza zewnętrznego. Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że wraz ze zwiększeniem standardu energetycznego budynków zmniejsza się moc cieplna instalacji do celów grzewczych jednak wzrasta moc potrzebna do chłodzenia. Dlatego też, w przypadku wdrażania nowoczesnych technologii budownictwa niskoenergetycznego dla potrzeb ogrzewania należy spodziewać się konieczności rozwiązania problemów dotyczących ich chłodzenia. Dla analizowanego przypadku moce na potrzeby ogrzewania zostały obniżone z 3080kW do 440kW w warunkach najbardziej niekorzystnych, co spowodowało wzrost mocy chłodniczej z 4092kW do 4752kW. Konieczne do magazynowania strumienie ciepła wyniosły od 154kW w profilu sieciowym 2030 do maksymalnie 528kW w profilach 2050.



Rys. 2. Maksymalna projektowana moc cieplna w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego dla różnych profili użytkowych budynków.

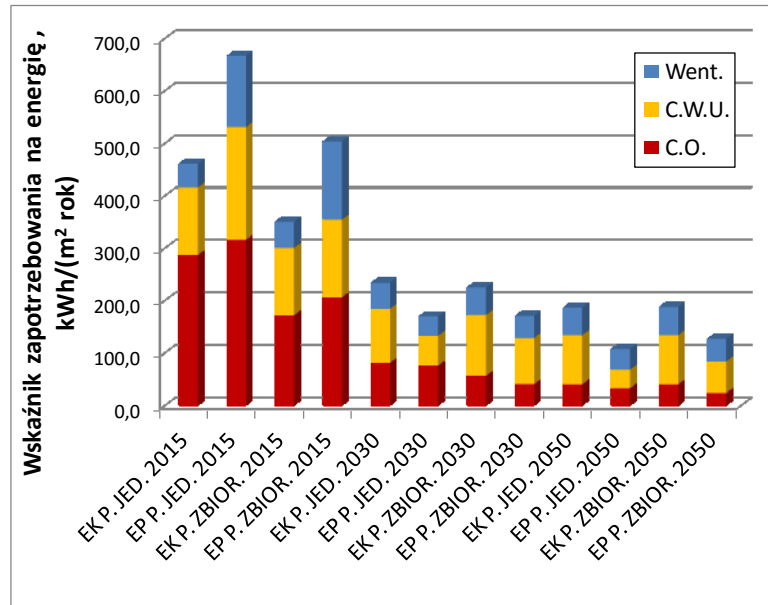
Na podstawie analizy danych przedstawionych na rysunku 3 dotyczącym zapotrzebowanie na ciepło w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego można stwierdzić, że maksymalne wartości będą przypadały dla ogrzewania przy temperaturze powietrza zewnętrznego 0°C, dla chłodzenia ok. 21°C, a dla procesu magazynowania ok. 16°C. Spowodowane jest to częstością występowania tych temperatur w roku standardowym. Również w przypadku obliczeniowego, przewidywanego zapotrzebowania, proces chłodzenia jest bardziej energochłonny wraz ze zwiększeniem standardu energetycznego budynków. Dla analizowanego przypadku obliczeniowe roczne zapotrzebowanie na ciepło wyniosło od 4653GJ/rok w przypadku profili 2050 do maksymalnie 32574GJ/rok, na chłód wyniosło od 5128GJ/rok do 6120GJ/rok a ilość odzyskanego z magazynu ciepła wyniosła maksymalnie 2926GJ/rok.



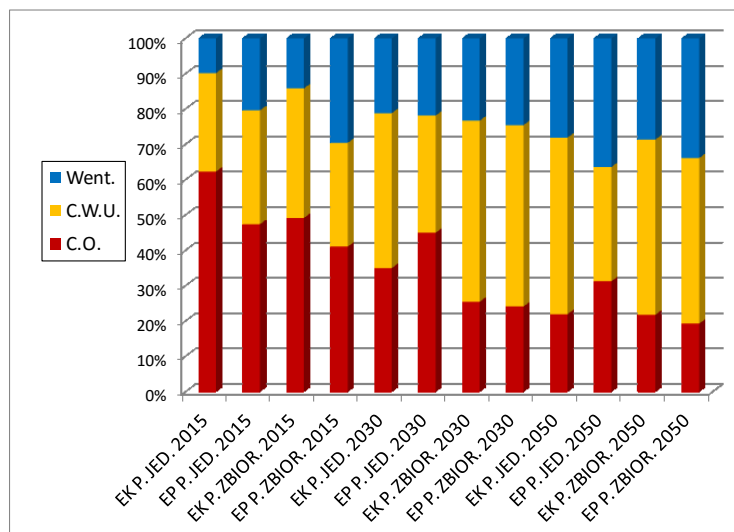
Rys. 3. Obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego dla różnych profili użytkowych budynków

Analizując dane przedstawione na rysunkach 4 i 5 dotyczących wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną oraz ich udziały procentowe można stwierdzić, że maksymalne wartości osiągane są w przypadku istniejących rozwiązań budynków jednorodzinnych i wynoszą $E_K=462 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$, $E_P=668 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Minimalne wartości są porównywalne zarówno w przypadku całkowicie rozproszonym jak i całkowicie usieciowionym i wynoszą ok. $E_K=188 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$, $E_P=123 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Ponadto stwierdzić można, że udział ilości energii przeznaczanej na cele ogrzewania będzie się zmniejszał stopniowo wraz ze zwiększeniem standardów energetycznych budynków. Odwrotna sytuacja będzie miała miejsce w przypadku energii na cele chłodzenia. W przyszłości w budynkach jednorodzinnych największy problem pod względem energetycznym będzie stanowić chłodzenie. Natomiast w budynkach zamieszkania zbiorowego najbardziej energochłonny okazać się może podgrzew ciepłej wody użytkowej. Udziały energii pierwotnej w rozwiązaniu istniejącym wynoszą: ogrzewanie 47%, chłodzenie 20%, ciepła woda 32%; a w rozwiązaniu z zastosowaniem hybrydowych węzłów cieplnych w profilu użytkowania 2050, dla budynków jednorodzinnych: ogrzewanie 31%, chłodzenie

36%, ciepła woda 32%, dla budynków zamieszkania zbiorowego: ogrzewanie 19%, chłodzenie 34%, ciepła woda 47%. Względna oszczędność - energii końcowej wynosi 59% w obu przypadkach, a energii pierwotnej 84% w profilu jednorodzinny 2050 i 81% w profilu zamieszkania zbiorowego 2050.



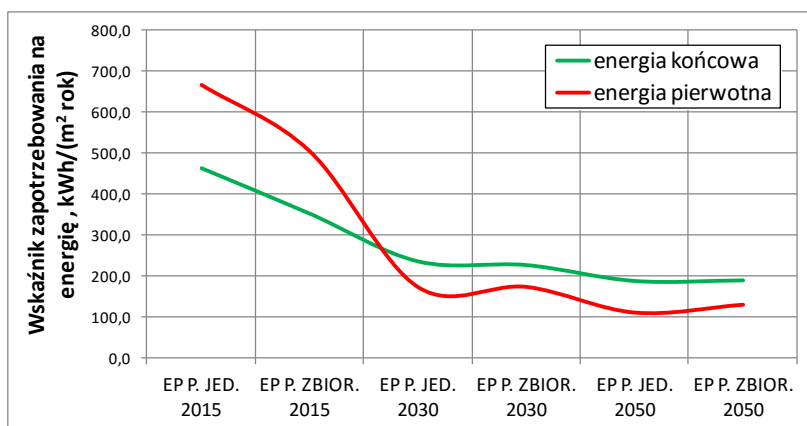
Rys. 4. Wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną w zależności od profili użytkowych budynków



Rys. 5. Wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną wyrażone udziałem procentowym w zależności od profili użytkowych budynków

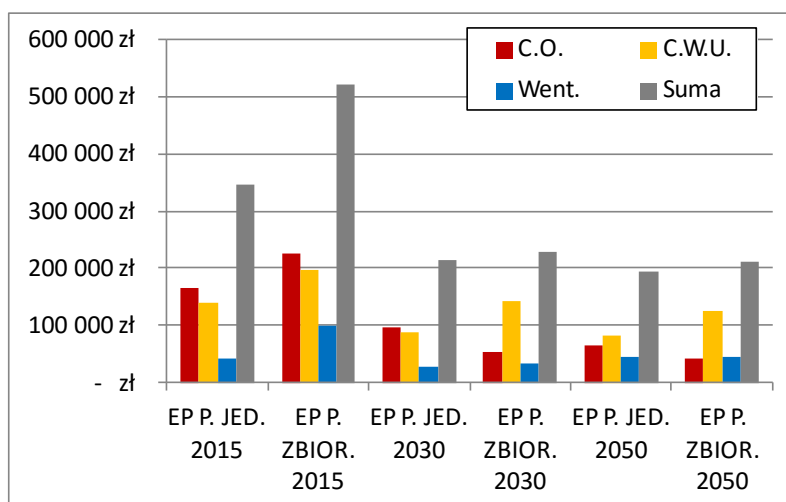
Na rysunku 6 przedstawiono zostało zmniejszenie wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną spowodowane wprowadzaniem nowych standardów energetycznych budynków i zastosowaniem hybrydowych węzłów cieplnych. Stwierdza się,

że po wprowadzeniu OZE i ciepła odpadowego w rozwiązaniu indywidualnym, jak również sieciowym poziom wykorzystywanej energii pierwotnej będzie niższy niż energii końcowej.



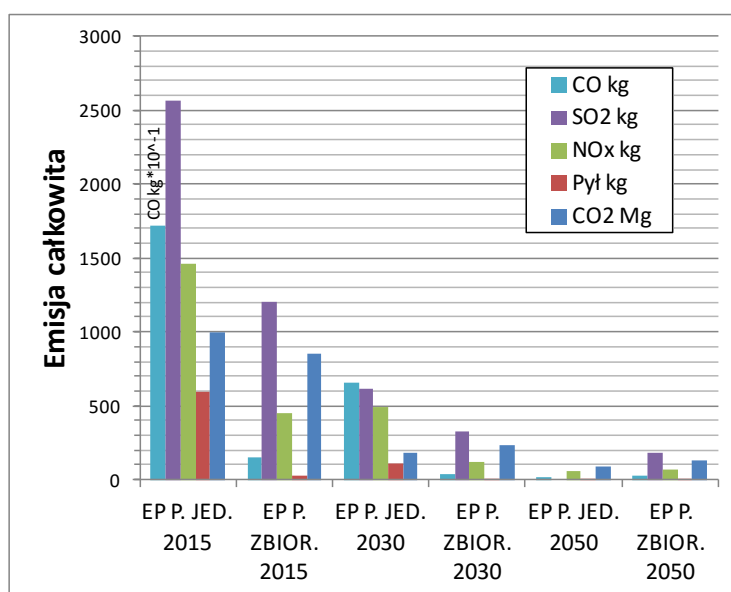
Rys. 6. Zmniejszenie wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną spowodowany wprowadzaniem nowych standardów energetycznych budynków i instalacji (hybrydowe węzły cieplne)

Na rysunku 7 został przedstawiony koszt całkowity w zależności od profilu użytkowania. Koszty uwzględniają wzrost cen nośników energii związanych z ograniczeniem zasobów kopalnych, kosztem wydobycia oraz inflacją. Najkorzystniejszym rozwiązaniem okazały się profile 2050 zarówno rozproszony, jak i sieciowy. Ich koszt całkowity na rok wyniósł ok. 200 000 zł. Niewiele droższe okazały się rozwiązania 2030. Spowodowane jest to przewidywanym wzrostem cen paliw, które mogą być kompensowane przez wprowadzanie OZE i ciepła odpadowego. Ostatecznie można stwierdzić, że został osiągnięty względny efekt ekonomiczny na poziomie ok. 44% w przypadku profilu rozproszonego i 59% w przypadku profilu sieciowego.



Rys. 7. Koszt całkowity w zależności od profili użytkowania budynków i zastosowania technologii hybrydowych węzłów cieplnych

Na rysunku 8 zostały przedstawione wartości emisji całkowitej w zależności od profili użytkowania budynków i zastosowanego rozwiązania hybrydowych węzłów cieplnych. Emisja całkowita osiągnęła zdecydowanie najwyższą wartość w przypadku budynków jednorodzinnych istniejących 1 016 081kg. Natomiast najmniejsze wartości emisji osiągnięte zostały w przypadku budynków jednorodzinnych połączonych ze sobą hybrydowymi węzłami ciepłowniczymi i wyniosły 89 125kg. Emisja rozwiązania sieciowego 2050 również była bardzo obiecująca i wyniosła 130 592kg. Można zatem stwierdzić, że emisja zanieczyszczeń została zmniejszona o 91% w przypadku profilu rozproszonego i 87% w przypadku profilu sieciowego.



Rys. 8. Wartości emisji całkowitej w zależności od profili użytkowania budynków i zastosowanego rozwiązania hybrydowych węzłów cieplnych

4. PODSUMOWANIE

Proponowane w pracy nowe rozwiązania dla hybrydowych systemów zaopatrzenia budynków w energię umożliwiają połączenie instalacji trójgeneracyjnej z siecią ciepłowniczą. Do tego celu konieczne jest zastosowanie rozwiązania hybrydowych węzłów cieplnych. Zgodnie z proponowanymi profilami użytkowania budynków i ich połączeń z siecią, zastosowanie takiego rozwiązania pozwala na:

- osiągnięcie względnego efektu energetycznego jako zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową o 59% i na energię pierwotną o 82%,
- osiągnięcie względnego efektu ekonomicznego jako zmniejszenia kosztów potrzeb bytowo-gospodarczych na poziomie ok. 44% w przypadku profilu rozproszonego i 59% w przypadku profilu sieciowego,
- osiągnięcie względnego efektu ekologicznego jako zmniejszenia emisji zanieczyszczeń na poziomie 91% w przypadku profilu rozproszonego i 87% w przypadku profilu sieciowego.

LITERATURA

- [1] Chua K., Chou S., Yang W., Yan J.: *Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies*. Applied Energy, 104: 87–104, 2013.
- [2] Dalenbäck J.: *Instalacje kolektorów w Szwecji*, VII Forum Przemysłu Energetyki Słonecznej i Biomasy „Mikrogeneracja i energetyka rozproszona: kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne, kotły na biomasę”. Instytut Energetyki Odnawialnej, Racibórz, 12-13 czerwca 2014.
- [3] Fabrizio E., Seguro F., Filippi M.: *Integrated HVAC and DHW production systems for Zero Energy Buildings*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40: 515–541, 2014.
- [4] Główny Urząd Statystyczny: *Zamieszkane budynki*, Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011, Warszawa, 2013.
- [5] Hassine I., Eicker U.: *Impact of load structure variation and solar thermal energy integration on an existing district heating network*. Applied Thermal Engineering, 50: 1437–1446, 2013.
- [6] Jing Z., Jiang X., Wu Q., Tang W., Hua B.: *Modelling and optimal operation of a small-scale integrated energy based district heating and cooling system*. Energy, 73: 399–415, 2014.
- [7] Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J., Hvelplund F., Mathiesen B.: *4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. Energy, 68:1–11, 2014.
- [8] Pason A.: *Instalacja SM Nowoczesna w Raciborzu*, VII Forum Przemysłu Energetyki Słonecznej i Biomasy „Mikrogeneracja i energetyka rozproszona: kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne, kotły na biomasę”, Instytut Energetyki Odnawialnej, Racibórz, 12-13 czerwca 2014.
- [9] Regulski B., Ziembicki P., Bernasiński J., Węglarz A.: *Rynek ciepłowniczy w Polsce*. Rynek Energii 4(113): 9–16, 2014.
- [10] Tol H., Svendsen S.: *A comparative study on substation types and network layouts in connection with low-energy district heating systems*. Energy Conversion and Management, 64: 551–561, 2012.
- [11] Zhao Y., Lu Y., Yan C., Wang S.: *MPC-based optimal scheduling of grid-connected low energy buildings with thermal energy storages*. Energy and Buildings, 86: 415–426, 2015.

NEW SOLUTIONS FOR HYBRID ENERGY SUPPLY SYSTEMS OF BUILDINGS

Key words: hybrid heating networks, hybrid substations

Summary. The article presents innovative solutions for substations and the possibility of their use for the buildings supply systems into energy purposes. The analysis contained i.a.: the possibility of the integration of renewable energy sources and waste heat with district heating network. The result of the study was to identify optimal solutions in terms of: energy – reducing final energy demand by 59% and for primary energy by 82%, economy – reducing the existentially-economic cost at the level of approx. 44% in the case of diffuse profile and 59% for network profile and ecology – reduce emissions at the level of 91% in the case of diffuse profile and 87% for network profile.

Michał Turski, dr inż., Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, adiunkt, dyscyplina naukowa – inżynieria środowiska, zainteresowania naukowe: symulacje systemów zaopatrzenia budynków w energię (TRNSYS) e-mail: mturski@fluid.is.pcz.pl

Robert Sekret, prof. dr hab. inż., Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, profesor zwyczajny, dyscyplina naukowa – inżynieria środowiska i energetyka, zainteresowania naukowe: systemy i technologie zaopatrzenia budynków w energię, e-mail: rsekret@is.pcz.czyst.pl

Material został przygotowany w ramach badań statutowych Politechniki Częstochowskiej BS/PB-407-302/11.