



Miasto z klimatem

Neutralny klimatycznie system ciepłowniczy w Warszawie

Forum Energii to europejski, interdyscyplinarny think tank z Polski, którego zespół tworzą ekspertki i eksperci działający w obszarze energii. Łączymy doświadczenia zdobyte m.in. w biznesie, administracji publicznej, mediach i nauce ze specjalistyczną wiedzą z obszaru energii.

Misją Forum Energii jest inicjowanie dialogu, proponowanie rozwiązań opartych na wiedzy, a także inspirowanie do działania na rzecz sprawiedliwej i efektywnej transformacji energetycznej, która prowadzi do neutralności klimatycznej. Cel ten realizujemy poprzez analizy, opinie i dyskusję na temat dekarbonizacji głównych obszarów gospodarki.

Wszystkie analizy Forum Energii są udostępniane nieodpłatnie i mogą być powielane pod warunkiem wskazania ich źródła i autorów.

AUTORZY

Instytut Badań Stosowanych Politechniki Warszawskiej Sp. z o.o.: Jakub Banaszak, prof. dr hab. Krzysztof Badyda, Marcin Czub, dr Kamil Futyma, dr hab. Piotr Krawczyk, prof. dr hab. Janusz Lewandowski, doc. dr Paweł Skowroński, dr Marcin Bugaj

Krajowa Agencja Poszanowania Energii (KAPE): dr Arkadiusz Węglarz, Wojciech Stańczyk, Karolina Junak, Piotr Kępa, Anna Piórkowska, Robert Mizieliński, Klaudia Janik

REDAKCJA MERYTORYCZNA

Andrzej Rubczyński – Forum Energii
Piotr Kleinschmidt – Forum Energii

WSPÓŁPRACA

dr Joanna Maćkowiak-Pandera – Forum Energii

REDAKCJA

Julia Zaleska

OPRACOWANIE GRAFICZNE

Karol Koszniec

ZDJĘCIE

Kristine Tanne, Unsplash

DATA PUBLIKACJI

kwiecień 2022

SPIS TREŚCI

Wstęp (dr Joanna Maćkowiak-Pandera)	
1. Wprowadzenie i tło analizy	3
2. Wnioski i kluczowe liczby	5
3. Warszawa – miasto pełne energii	10
3.1. Odbiorcy ciepła	10
3.2. Warszawski Węzeł Elektroenergetyczny (WWE)	15
3.3. Przesył i dystrybucja gazu	19
4. Bezemisyjne źródła energii pierwotnej	22
5. Prognoza zapotrzebowania na ciepło systemowe w Warszawie	25
5.1. Oszacowanie nakładów inwestycyjnych niezbędnych do realizacji programu termomodernizacji	31
6. Scenariusz transformacji warszawskiego systemu ciepłowniczego	33
6.1. Założenia	33
6.2. Transformacja warszawskiej sieci ciepłowniczej	36
6.3. Układy technologiczne w zmodernizowanym systemie ciepłowniczym	39
6.4. Scenariusze transformacji ciepłownictwa systemowego w Warszawie	41
6.5. Koszt ogrzewania	51
6.6. Ocena wpływu sektora ogrzewania na środowisko	55
7. Podsumowanie	56
8. Bibliografia	58

Wstęp

Rosyjska agresja wywróciła nasze przekonania o modelu transformacji energetycznej. Świat zmienia się na naszych oczach. Dyskusja o ograniczaniu roli węgla czy gazu w gospodarce przyspiesza nie tylko z powodów klimatycznych, ale także geopolitycznych. Nowe okoliczności powinny nas motywować do działania i spojrzenia w przyszłość – odejście od rosyjskich surowców przyspieszy dekarbonizację.

Wojna podnosi ceny paliw kopalnych, a polskie ciepłownictwo systemowe jest w coraz trudniejszej sytuacji. Potrzebujemy liderów zmian – ludzi, którzy pokażą, że osiągnięcie neutralności klimatycznej w polskich warunkach jest możliwe i może przynieść korzyści. Wspólnie z Politechniką Warszawską i Krajową Agencją Poszanowania Energii sprawdziliśmy, jak warszawski system ciepłowniczy może osiągnąć neutralność klimatyczną, kiedy będzie to możliwe i jakim kosztem.

System ciepłowniczy Warszawy jest dziś jednym z największych na świecie. Cena ciepła w porównaniu z innymi systemami należy natomiast do najniższych w Polsce. Warszawa deklaruje ambitne plany klimatyczne, a w ich realizacji kluczowe będzie zadbanie o redukcję emisji z ciepłownictwa. Przyglądamy się więc stolicy Polski jako szybko rozbudowującemu się miastu, w którym żyje coraz więcej ludzi, a co za tym idzie – przybywa w nim budynków, które muszą być zaopatrzone w prąd i ciepło.

Obecnie aż 90% energii dla Warszawy wytwarzane jest z węgla kamiennego. Tymczasem w ciągu niecałych trzech dekad miasto (w tym ciepłownictwo) powinno osiągnąć neutralność klimatyczną. Trzeba zmienić sposób myślenia o tym, jak zapewnić ciepło Warszawie oraz w jakich kierunkach planować niezbędne inwestycje. Po pierwsze – ważne jest znaczne przyspieszenie poprawy efektywności energetycznej budynków. Po drugie – konieczne jest zastępowanie węgla zeroemisyjnymi gazami, biomasą, wielkoskalowymi pompami i akumulatorami ciepła. Po trzecie, aby umożliwić elektryfikację ogrzewnictwa i transportu, niezbędny jest rozwój sieci dystrybucyjnych. W naszej analizie pokazujemy, że redukcja emisji o 96% do 2050 r. jest możliwa i wskazujemy kluczowe technologie oraz rozwiązania, które mogą się do tego przyczynić.

Mamy świadomość, że wojna za naszą granicą wiele zmienia, a sprawy się komplikują. Z drugiej strony jednak, takie zdarzenia są testem zdolności dostosowania się nowych warunków. Choć teraz, gdy wojna trwa, trudno to sobie wyobrazić, mogą być też szansą na zerwanie zależności energetycznej od innych krajów czy konkretnych surowców. Rozwiązania, które proponujemy, pozwolą nie tylko radykalnie zmniejszyć wpływ naszych działań na klimat, ale również zwiększyć niezależność energetyczną kraju. Chcemy tego czy nie – era węgla w Polsce kończy się.

Z poważaniem,
dr Joanna Maćkowiak Pandera
Prezeska Forum Energii

1. Wprowadzenie i tło analizy

Krajowy sektor ciepłowniczy, jeżeli nadal chce odgrywać ważną rolę w zaopatrzeniu w ciepło Polaków, musi się zmienić i dostosować do megatrendów takich jak:

- zielone gazy (biometan, zielony wodór),
- rosnąca presja społeczna na ochronę klimatu i środowiska,
- ograniczanie zależności surowcowej oraz importu paliw kopalnych,
- rozwój technologiczny w sektorze grzewczym i budowlanym.

Ciepło systemowe zasila dziś 42% gospodarstw domowych w Polsce. Przedsiębiorstwa koncesjonowane dysponują mocą zainstalowaną wynoszącą 53 GWt, dostarczając do odbiorców końcowych ok. 63 TWh energii cieplnej. Kluczowym celem będzie osiągnięcie neutralności klimatycznej w okresie najbliższych 30 lat. Tylko czyste ciepło, pochodzące z bezemisyjnych źródeł energii pierwotnej, będzie bowiem akceptowane do ogrzewania budynków w przyszłości. Dodatkowo rynek ciepła będzie się kurczył w wyniku przyspieszenia działań związanych z poprawą efektywności energetycznej istniejących budynków.

Pojawiają się zatem pytania o to, jak przedsiębiorstwa ciepłownicze powinny się wpisać w te ogólne trendy i jaką powinny przyjąć strategię modernizacji majątku, aby utrzymać się na rynku i jednocześnie osiągnąć zamierzony cel klimatyczny bez ryzyka przeinwestowania i poniesienia kosztów utopionych.

Sektor ciepłownictwa systemowego w Polsce dzieli się na dwie grupy. Pierwsza to systemy efektywne w dużych miastach, które stanowią jedynie 20% przedsiębiorstw koncesjonowanych. Druga grupa to systemy nieefektywne. To właśnie te małe, nieefektywne systemy ciepłownicze są w dziś w centrum uwagi krajowych decydentów, stając się beneficjentami różnych mechanizmów wsparcia. Paradoksalnie więc, pomimo trudnej sytuacji wyjściowej (w wyniku braku środków finansowych i opóźnienia technologicznego), to właśnie one mają większą szansę na osiągnięcie neutralności klimatycznej.

W małych systemach łatwiej zastosować technologie OZE wykorzystujące lokalne zasoby (np. biomasę, energię cieplną z wielkogabarytowych farm solarnych czy energię z biogazu powstałego z odpadów pochodzących z lokalnej produkcji rolnej). Mają one większą swobodę dysponowania terenami, a jednocześnie wymagają mniejszych inwestycji. W małych miejscowościach nie występują też zazwyczaj ograniczenia przestrzenne, utrudniające stosowanie technologii OZE. Tymczasem w dużych aglomeracjach miejskich ograniczenia terenowe i duże zapotrzebowanie na energię grzewczą (wysoka gęstość energetyczna obszaru miasta) uniemożliwiają swobodne zastosowanie technologii OZE. To, co jest proste do wykonania w małych systemach ciepłowniczych, często bywa niewykonalne w dużych także ze względów skalę ograniczeń technicznych oraz bardzo wysokie koszty modernizacji.

Forum Energii stoi na stanowisku, że nadszedł moment, aby wzmocnić dyskusję o transformacji dużych systemów ciepłowniczych, które właśnie wkraczają w proces modernizacji źródeł ciepła i zastępowania zdekapitalizowanych jednostek węglowych. Istnieje bowiem ryzyko, że ze względu na skalę wyzwań technicznych, nadmierne koncentrowanie się na technologiach gazowych oraz funkcjonowanie w dotychczasowym modelu biznesowym, ten relatywnie nowoczesny obecnie wycinek sektora ciepłowniczego, może w nadchodzących latach spowalniać proces transformacji energetycznej.

Skala wyzwań i wysokość wydatków kapitałowych w perspektywie trzydziestoletniej mogą powodować naturalny odruch odkładania trudnych decyzji inwestycyjnych. Mając to na uwadze, postanowiliśmy podjąć się analizy koncepcyjnej ukazującej duży system ciepłowniczy, który będzie neutralny klimatycznie w 2050 r. Wybraliśmy system warszawski, wychodząc z założenia, że jeżeli uda się wskazać drogę do neutralności klimatycznej w największym systemie ciepłowniczym w Europie, to będzie to również wykonalne we wszystkich mniejszych.

Główne cele projektu:

- Przedstawienie kierunkowego programu działań inwestycyjnych i organizacyjnych niezbędnych do osiągnięcia neutralności klimatycznej przez duży system ciepłowniczy.
- Identyfikacja kluczowych ograniczeń po stronie systemu ciepłego, elektroenergetycznego i gazowego oraz niezbędnych działań prowadzących do usunięcia tych ograniczeń.
- Wskazanie fundamentalnych przeszkód związanych z osiągnięciem neutralności klimatycznej przez system ciepłowniczy oraz kierunków działań umożliwiających pokonanie zidentyfikowanych barier.
- Wsparcie krajowej dyskusji na temat transformacji sektora ciepłownictwa systemowego.
- Transfer wiedzy i wsparcie koncepcyjne władz miejskich w zakresie planowania zaopatrzenia w ciepło, energię i gaz.

W ramach niniejszego projektu zidentyfikowaliśmy źródła energii odpadowej i odnawialnej, które mogą być wykorzystane do zasilenia warszawskiego systemu ciepłowniczego. Ich zalety to neutralność klimatyczna i relatywnie niski koszt zmienny. Wadą jest natomiast mały potencjał energetyczny mierzony temperaturą pozyskiwanego czynnika. Zatem, jeżeli chcemy wykorzystać czystą energię, koniecznym jest obniżenie temperatury pracy systemu ciepłowniczego. W naszych rozważaniach zaproponowaliśmy 65°C jako temperaturę maksymalną na wejściu do systemu ciepłowniczego. Pozwoli to na:

- 4
- zmniejszenie strat energii w samej sieci,
 - poprawę efektywności pracy pomp ciepła zaprzęgniętych do transferu ciepła odnawialnego i odpadowego,
 - relatywnie duży udział odnawialnego i odpadowego ciepła w pokrywaniu zapotrzebowania odbiorców.

Istotna rola termomodernizacji

Nieodłącznym elementem transformacji miejskiego systemu ciepłowniczego jest termomodernizacja budynków. Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło pozwala na zastosowanie czystych źródeł energii przy utrzymaniu kosztów ogrzewania gospodarstw domowych na racjonalnym poziomie. Jest to również niezbędny warunek skutecznego obniżenia temperatury pracy całego systemu ciepłowniczego.

W analizach oszacowano, że roczne tempo termomodernizacji w Warszawie może być zwiększone z obecnego poziomu 1,2% do 3% budynków, co jest zgodne ze strategiami zarówno na poziomie unijnym, jak i przygotowywanej krajowej strategii budynkowej. Do skutecznego przeprowadzenia procesu ocieplania budynków konieczna jest synchronizacja prac na wielu płaszczyznach, co wymaga zacieśnienia współpracy operacyjnej i planistycznej pomiędzy władzami miasta, operatorami przedsiębiorstw energetycznych oraz właścicielami lub zarządcami budynków.

Choć poprawa efektywności energetycznej budynków to ważny krok na drodze do neutralności klimatycznej systemu ciepłowniczego, to jest on dalece niewystarczający. Główny ciężar działań musi zostać skierowany na przemyślaną transformację źródeł wytwarzających ciepło oraz sieci ciepłowniczych. W naszej analizie opracowaliśmy dwa skrajne scenariusze (centralny i rozproszony) różniące się zastosowanymi technologiami i interakcjami z systemem elektroenergetycznym. W oparciu o analizę ograniczeń związanych z realizacją tych scenariuszy opracowano scenariusz pośredni (rekomendowany).

Wierzymy, że wnioski i przemyślenia płynące z prac przy niniejszym projekcie, skłonią interesariuszy warszawskiego systemu ciepłowniczego – to jest władze miasta Warszawy, operatorów przedsiębiorstw energetycznych, a także gestorów budynków – do dalszego zacieśnienia współpracy. Umożliwi to opracowanie długoterminowej wizji oraz

szczegółowego planu dochodzenia do wysokiej efektywności energetycznej i neutralności klimatycznej. Ścisła współpraca interesariuszy jest konieczna ze względu na złożoność zagadnień. Bez tego osiągnięcie założonego celu może być bardziej czasochłonne i niestety kosztowniejsze. Liczymy także na to, że niniejszy raport będzie inspiracją dla władarzy innych miast oraz operatorów systemów energetycznych i ciepłowniczych, zachęcając ich do działań modernizacyjnych w przekonaniu, iż niskoemisyjna transformacja jest możliwa i celowa, pod warunkiem, że przygotowania do niej rozpoczniemy już dzisiaj.

2. Wnioski i kluczowe liczby

1. Neutralność klimatyczna Warszawy jest możliwa

W perspektywie do 2050 r. w warszawskim systemie ciepłowniczym możliwe będzie wyeliminowanie źródeł wytwarzania ciepła spalających paliwa kopalne i zastąpienie ich źródłami wykorzystującymi neutralnie środowiskowo paliwo:

- energię odpadową pozyskaną z różnych źródeł (np. wentylacja metra, oczyszczalnie ścieków, serwerownie),
- biomasę,
- energię z odpadów komunalnych,
- energię odnawialną uzyskiwaną z naturalnych źródeł w tym m.in. płytkiej geotermii, Wisły oraz ciepła atmosfery.

Szacunki wskazują, że ciepło z systemu neutralnego klimatycznie może być atrakcyjną kosztowo alternatywą dla ciepła wytwarzanego w oparciu o paliwa kopalne, obciążonego wysokimi kosztami uprawnień do emisji CO₂.

2. Alternatywne opcje techniczne dla Warszawy – dwa scenariusze skrajne

Koncepcje zasilenia przyszłego systemu ciepłowniczego stolicy zawierają się pomiędzy dwoma skrajnymi scenariuszami. Pierwszy – tzw. **scenariusz centralny (S1)** – to wytwarzanie ciepła w jednostkach kogeneracyjnych spalających bezemisyjne gazy (np. biometan, zielony wodór), ulokowanych na terenie obecnych zakładów produkcyjnych. Wadą tego scenariusza jest duże zapotrzebowanie na zielone gazy (ok. 15 TWh/r), których podaż w przyszłości może być ograniczona. Natomiast bezdyskusyjną zaletą jest zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego miasta dzięki zwiększeniu produkcji energii elektrycznej w lokalnych jednostkach wytwórczych.

Alternatywnym kierunkiem jest **scenariusz rozproszony (S2)** bazujący na idei monizmu energetycznego, to znaczy przyjęciu założenia, że prąd będzie podstawowym źródłem energii wykorzystywanym przez urządzenia wytwórcze w ciepłownictwie (rozproszone pompy ciepła). Przyjęcie tego scenariusza wiąże się z koniecznością przeprowadzenia dwóch procesów:

- Pierwszy to intensywniejsza niż w scenariuszu centralnym termomodernizacja budynków i instalacji wewnętrznych oraz obniżenie temperatury wody w sieci ciepłowniczej w celu zwiększenia udziału niskoenergetycznej energii odpadowej i z OZE.
- Drugi to wzmocnienie energetycznej sieci przesyłowej i dystrybucyjnej w związku ze zwiększeniem zapotrzebowania na moc szczytową w Warszawie (wzrost o ok. 1 GWe). Dodatkowo pojawia się w tym rozwiązaniu duże uzależnienie systemu ciepłowniczego miasta od importu prądu z zewnętrznych źródeł położonych na terenie kraju i związane z tym ryzyko ograniczeń dostaw energii. Bezsporną zaletą tego scenariusza jest natomiast wysoka efektywność energetyczna całego procesu ogrzewania i możliwość wykorzystania lokalnych źródeł OZE oraz źródeł energii odpadowej z procesów technicznych.

3. Scenariusz rekomendowany (S3)

Mając na uwadze zarówno ograniczenia, jak i zalety scenariuszy skrajnych, opracowano dla potrzeb niniejszej analizy scenariusz pośredni, nazwany rekomendowanym (S3), który składa się z następujących jednostek:

- układów wysokosprawnej kogeneracji opalanych zielonym gazem o mocy ok. 900 MWt i 1560 MWe,
- układu kogeneracyjnego opalanego biomasą o mocy cieplnej ok. 80 MWt i 40 MWe,
- układu kogeneracyjnego w instalacji do termicznej utylizacji odpadów o mocy 54 MWt i 16 MWe (jak to jest obecnie planowane z wykorzystaniem 30% całego strumienia odpadów komunalnych),
- pomp ciepła o mocy ok. 720 MWt, pobierających ciepło odpadowe, ciepło płytkiej geotermii (gruntu) lub ciepło z atmosfery,
- dobowych i sezonowych magazynów ciepła o łącznej pojemności ok. 1 070 GWh (moc 5,35 GWt).

Zakładając, że energia elektryczna zużywana do zasilania pomp ciepła będzie wytwarzana bez emisji CO₂, rekomendowany scenariusz techniczny zapewni całkowitą neutralność klimatyczną warszawskiego systemu ciepłowniczego.

Kwestią otwartą pozostają jednak emisje CO₂ ze spalania biomasy i odpadów komunalnych, które dzisiaj są traktowane jako emisje zerowe i nie są objęte systemem ETS (handlu uprawnieniami do emisji CO₂). Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że w przyszłości emisja ze spalania biomasy i odpadów komunalnych zostanie objęta systemem ETS. Z przeprowadzonych analiz wynika, że rzeczywista redukcja emisji gazów cieplarnianych w 2050 r. w systemie ciepłowniczym Warszawy wyniesie 90%. Jeżeli zaistnieje konieczność całkowitego wyeliminowania emisji CO₂ (czyli również ze spalania biomasy i odpadów komunalnych), to należy rozważyć w przyszłości budowę instalacji wychwytu i utylizacji CO₂ (CCUS – ang. *Carbon Capture Utilisation Storage*) dla tych obiektów lub wyłączenie ich z eksploatacji, zastępując dodatkowymi pompami ciepła. Innym kierunkiem może być kompensowanie emisji nasadzeniami zieleni.

6

4. Bezpieczeństwo energetyczne miasta

Szacuje się, że w konsekwencji naturalnego rozwoju stolicy, elektryfikacji transportu kołowego oraz zwiększenia udziału energii elektrycznej do produkcji ciepła, zapotrzebowanie na energię elektryczną przez miasto w roku 2050 wzrośnie o ok. 62% w stosunku do stanu obecnego (z 7,5 TWh w 2020 r. do 12,2 TWh w 2050 r.). Dążąc do poprawy bezpieczeństwa energetycznego Warszawy, należy zadbać o to, aby w ramach przyszłego układu technologicznego miejskiego systemu ciepłowniczego znalazły się jednostki produkujące energię elektryczną. Praca tych jednostek będzie podporządkowana potrzebom systemu elektroenergetycznego, szczególnie w godzinach szczytowego poboru mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym. Elastyczna praca jednostek kogeneracyjnych z możliwie najwyższym współczynnikiem skojarzenia, a zatem możliwie najwyższą sprawnością ogólną, będzie osiągalna dzięki wykorzystaniu magazynów ciepła o dużej pojemności oraz użyciu sieci ciepłowniczego jako magazynu krótkookresowego.

5. Rozbudowa sieci elektroenergetycznej

Elektroenergetyczna infrastruktura przesyłowa wokół aglomeracji warszawskiej jest obecnie rozbudowywana. Łączna moc transformatorów i autotransformatorów (400/110 kV i 220/110 kV) wynosi ok. 4 GVA. Szacuje się, że zapotrzebowanie miasta na moc elektryczną w wyniku zainstalowania pomp ciepła (w scenariuszu rekomendowanym) i elektryfikacji transportu kołowego może wzrosnąć o ok. 700 MWe, czyli o 50–60% w stosunku do obecnie notowanych mocy szczytowych. W przypadku budowy jednostek kogeneracyjnych na terenie miasta, a także prosumenckich źródeł energii, nie należy przewidywać problemów z dostawami mocy i energii do aglomeracji warszawskiej.

Obecnie na terenie miasta występują ograniczenia w dystrybucji energii elektrycznej sieciami 110 kV i sieciami średniego napięcia. Sieci te są jednak systematycznie rozbudowywane. Tempo tej rozbudowy nie zagraża pewności dostaw i nie przewiduje się również takich ograniczeń w przyszłości, gdy energia elektryczna będzie wykorzystywana do zasilania pomp ciepła i transportu elektrycznego. W sytuacji, gdyby wykorzystano w pełni możliwość umieszczania instalacji PV na budynkach, w okresie letnim mogłyby występować chwilowe nadwyżki wytwarzanej energii elektrycznej nad jej bieżącym lokalnym poborem. Odbiór tych dodatkowych strumieni energii będzie wymagał jednak odpowiedniego dostosowania systemu dystrybucyjnego.

6. Pewność dostaw zielonych gazów

Jednostki kogeneracyjne opalane gazem w sposób bezemisyjny będą ważnym elementem przyszłego systemu zaopatrzenia w ciepło Warszawy, zapewniającym bezpieczeństwo energetyczne miasta. W scenariuszu rekomendowanym udział ciepła pochodzącego z jednostek kogeneracyjnych w całym strumieniu ciepła systemowego wynosi ok. 52%. Jednostki wytwórcze będą zużywały rocznie ok. 13,4 TWh zielonych gazów na wyprodukowanie ciepła i prądu. Jednym z większych ryzyk zidentyfikowanych w ramach niniejszego projektu jest ryzyko braku zielonych gazów do napędu jednostek kogeneracyjnych w Warszawie. Wynika ono zarówno z ograniczeń logistycznych, czyli niemożności budowy nowych magistral przesyłowych gazu (wodoru), jak i ograniczeń podaźowych. Należy zatem podejmować wszelkie możliwe działania w celu ograniczenia przyszłych zagrożeń. Główne kierunki działania to:

- Opracowanie planów rozwoju sieci przesyłowych wodoru do Warszawy, jak i wewnątrz miasta oraz zapewnienie rezerwacji terenów w stosownych dokumentach planistycznych. Pozwoli to w przyszłości na swobodny dostęp do korytarzy przesyłowych i budowę sieci.
- Systemowe działania prowadzące do pozyskania biometanu jako alternatywy dla zielonego wodoru. W przypadku tego gazu nie ma problemu z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury gazowej. Natomiast może wystąpić problem podaźowy, jeżeli nie zostaną wdrożone w kraju skuteczniejsze mechanizmy wsparcia rozwoju instalacji produkujących biometan.
- Przygotowanie do wydłużenia okresu wykorzystywania gazu ziemnego w źródłach kogeneracyjnych w Warszawie po roku 2050. Będzie to wiązało się z koniecznością ich doposażenia w instalacje do wychwytu CO₂. Z tego powodu nowe jednostki gazowe powinny być projektowane jako „CCS ready”, czyli dostosowane do współpracy z instalacją wychwytu CO₂. Oznacza to, że w ich bezpośrednim sąsiedztwie powinno się zapewnić teren pod przyszłą, opcjonalną instalację wychwytu CO₂. Należy śledzić rozwój i komercjalizację tej technologii, by w stosownym czasie podjąć decyzję o jej ewentualnym zastosowaniu w warszawskim systemie ciepłowniczym.

7

Pewną alternatywą dla dostaw zielonego wodoru spoza miasta może być jego produkcja w bezpośrednim sąsiedztwie elektrociepłowni. Jednak ze względu na konieczność przesyłu dużych ilości energii elektrycznej do Warszawy i wiążące się z tym znaczące wzmocnienie sieci energetycznych, a także konieczność budowy dużych magazynów wodoru w mieście, opcja lokalnej produkcji zielonego wodoru (drogą elektrolizy) może zapewnić jedynie 10–20% pokrycia potrzeb na zielone gazy.

7. Potencjał PV w Warszawie

Przeprowadzone analizy powierzchni dachów budynków wskazują, że istnieje możliwość zamontowania w Warszawie instalacji fotowoltaicznych (PV) o mocy ok. 3,5 GWe, które łącznie mogłyby wyprodukować około 3,9 TWh energii elektrycznej rocznie. Dążąc do jak najefektywniejszego wykorzystania pracy instalacji PV bez jednoczesnego negatywnego wpływu na warszawską sieć dystrybucyjną energii elektrycznej, należy odpowiednio sterować pracą pomp ciepła. Powinna ona przebiegać tak, aby pompy na bieżąco wykorzystywały wyprodukowaną w instalacjach PV energię elektryczną, wykorzystując przy tym dostępne magazyny ciepła.

8. Sezonowe akumulatory ciepła

Energia elektryczna wytworzona w miejskich instalacjach PV, o ile nie zostanie wykorzystana na bieżące potrzeby systemu energetycznego, powinna być magazynowana. Jednym z prostszych i tańszych rozwiązań jest przekształcenie jej w energię cieplną (przy pomocy pomp ciepła) i przechowanie w wielkoskalowych magazynach ciepła, które zostanie wykorzystane w okresie grzewczym. Sezonowe magazyny ciepła są także jedną z najtańszych form przechowywania energii. W rekomendowanym scenariuszu rozwoju zakłada się budowę magazynów ciepła (o pojemności ok. 1 TWh), które zajmą ok. 150–200 ha gruntów położonych w pobliżu sieci ciepłowniczych. Możliwość ich budowy należy przewidzieć w planach rozwoju miasta i systemu ciepłowniczego. Powinno to zostać uzgodnione pomiędzy władzami Warszawy a wytwórcą ciepła.

Alternatywnym sposobem wykorzystania nadwyżek energii elektrycznej wytworzonej na terenie miasta może być produkcja (w elektrolizerach) zielonego wodoru, np. dla celów transportu miejskiego. W związku z faktem, że w procesie elektrolizy powstaje ciepło odpadowe, urządzenia te powinny być budowane w bezpośrednim sąsiedztwie miejskiej sieci ciepłej.

9. Bilansowanie Krajowego Systemu Energetycznego (KSE) przez jednostki kogeneracyjne

Budowa magazynów ciepła w Warszawie powinna rozpocząć się jak najszybciej. Umożliwi to zwiększenie produkcji energii elektrycznej przy ograniczonym zapotrzebowaniu na ciepło w sezonie letnim. Wytwarzanie energii w jednostkach kogeneracyjnych opalanych gazem ziemnym z wykorzystaniem akumulatora ciepła pozwoli na uzyskanie emisji CO₂ nie większej niż 270 kg CO₂/MWh (czyli na poziomie wymaganym przez przygotowywane legislacje unijne dla efektywnych energetycznie systemów ciepłowniczych). Jest to ważne z perspektywy wykorzystania jednostek kogeneracyjnych do bilansowania krajowego systemu energetycznego bez ryzyka przekroczenia granicznej emisyjności energii.

10. Niskotemperaturowe sieci ciepłownicze

Efektywność wykorzystania energii odpadowej i odnawialnej odbieranej z atmosfery lub gruntu jest uzależniona od temperatury pracy systemu ciepłowniczego, czyli od temperatury, do której należy podgrzać wodę w sieci miejskiej. Im niższa temperatura wody, tym większe są możliwości i wyższa efektywność energetyczna i ekonomiczna wykorzystania dostępnych źródeł energii pierwotnej, a także mniejsze zużycie energii elektrycznej zasilającej pompy ciepła. Z tego powodu maksymalna temperatura wody sieciowej powinna zostać obniżona z obecnego poziomu 114°C do ok. 65°C na obszarze całej sieci lub w wydzielonych segmentach (jeżeli dla całości będzie to zbyt trudne do wykonania). Zmniejszenie temperatury czynnika oznacza:

- większy udział energii odpadowej i odnawialnej w pokrywaniu potrzeb grzewczych miasta,
- efektywniejszą pracę pomp ciepła (niezbędnych do transferu energii do sieci miejskiej),
- znaczące ograniczenie strat ciepła z sieci ciepłowniczej.

11. Adaptacja budynków do zasilania niskotemperaturowego

Wszelkie istotne modernizacje sieci ciepłowniczej oraz termomodernizacje istniejących budynków powinny być tak zaplanowane i wykonane, aby w przyszłości budynki te mogły być zasilane z sieci niskotemperaturowej. W szczególności należy odpowiednio dostosować wewnętrzne instalacje grzewcze w budynkach. Warto rozważyć wprowadzenie stosownego prawnego wymogu, aby instalacje wewnętrzne w nowych i termomodernizowanych budynkach były dostosowane do zasilania z niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej. Przystosowanie sieci ciepłowniczej do niskich parametrów jest procesem złożonym. Dlatego właśnie konieczna jest ścisła koordynacja planów działań pomiędzy przedstawicielami urzędu miasta, gestorami budynków oraz przedsiębiorstwami energetycznymi dostarczającymi nie tylko ciepło, ale również energię elektryczną i gaz.

12. Przyspieszenie tempa termomodernizacji budynków w Warszawie

Biorąc pod uwagę konieczność zmniejszenia zapotrzebowania na energię pierwotną przez budynki przyłączone do sieci miejskiej, należy zwiększyć liczbę termomodernizowanych budynków do poziomu 3% rocznie (obecnie poziom ten wynosi 1,2% rocznie). Budynki przyłączone do sieci ciepłowniczej powinny być zgodne ze standardem WT 2021¹ z przystosowaniem wewnętrznych instalacji ogrzewania do pracy niskotemperaturowej. Obniżenie zapotrzebowania budynków na energię ułatwi transformację systemu ciepłowniczego w kierunku neutralności klimatycznej i jest jednym z warunków obniżenia temperatury pracy sieci ciepłowniczej. W ramach termomodernizacji dachów i elewacji budynków należy też pamiętać o zapewnieniu możliwości instalowania ogniw fotowoltaicznych (PV).

1 Standard WT 2021 oznacza ze budynek spełnia wymagania odnośnie EP (wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną) i U (współczynników przenikania ciepła) dla przegród. Standardy obowiązują od 31 grudnia 2020 r. i są zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2019 r. poz. 1065).

13. Termiczna utylizacja odpadów komunalnych

Biorąc pod uwagę prognozowany niewielki wzrost liczby mieszkańców Warszawy oraz zaostrzoną strategię gospodarki w obiegu zamkniętym, wydaje się, że poza obecnie rozbudowywanym Zakładem Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych, nie będzie już możliwości budowy tego typu instalacji w stolicy. Główną przyczyną jest brak wystarczającej ilości paliwa. Warto jednak pamiętać, że emisja gazów cieplarnianych zakładu może zostać włączona do bilansu CO₂ w ramach systemu handlu uprawnieniami do emisji. Wskazuje na to kierunek rozważań strategicznych na szczeblu unijnym. Należy zatem rozważyć w przyszłości podjęcie stosownych działań eliminujących emisję CO₂.

14. Zmiana modelu biznesowego ciepłownictwa

Urzeczywistnienie przedstawionej wizji systemu ciepłowniczego wymagać będzie również zmian w sposobie taryfowania cen ciepła. Obecny model, gratyfikujący przedsiębiorstwo za ilość wyprodukowanego ciepła, nie stanowi zachęty do podejmowania działań poprawiających efektywność energetyczną po stronie odbiorcy i zmierzających do zmniejszenia zużycia ciepła. Nie zachęca też do zwiększenia wykorzystania bezemisyjnych źródeł energii pierwotnej. Należy zatem rozpocząć prace nad wprowadzeniem do polskiego prawa energetycznego nowego modelu taryfikacji usług ciepłowniczych, który będzie zachęcał przedsiębiorstwa i odbiorców ciepła do działań proefektywnościowych.

15. Plan dla Warszawy

Niniejszy raport jest wstępnym studium wskazującym możliwe kierunki działań i w związku z tym nie rozwiązuje wielu szczegółowych problemów związanych z transformacją ciepłownictwa. Wymagają one najczęściej dalszych analiz technicznych, a co najważniejsze – współpracy wszystkich interesariuszy. Mając tę myśl na uwadze, należy pilnie rozpocząć proces opracowywania szczegółowego **planu działania** prowadzącego do osiągnięcia neutralności klimatycznej przez warszawski system ciepłowniczy w sposób efektywny energetycznie i kosztowo. Taki plan powinien zawierać:

- propozycje szczegółowych działań technicznych,
- analizy kosztowe,
- identyfikację źródeł finansowania,
- specyfikację zagrożeń,
- sposoby ograniczenia ryzyk wraz z propozycjami stosownych korekt legislacji krajowej.

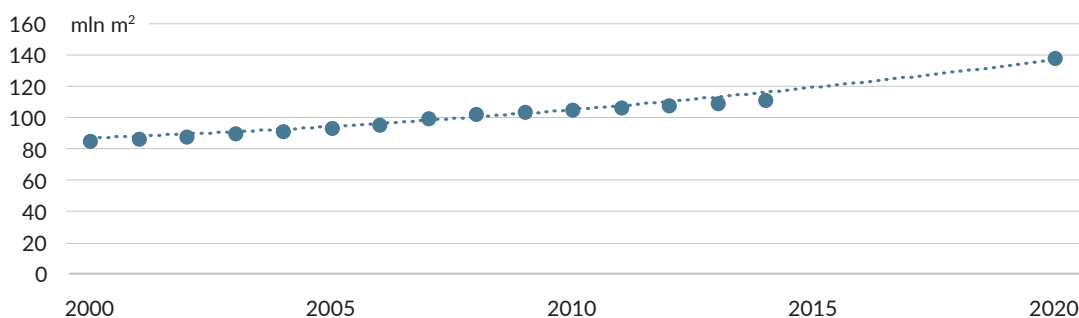
Wnioski płynące z tego planu powinny mieć charakter wiążący dla stron uczestniczących w projekcie, ponieważ w ich konsekwencji pojawią się zobowiązania i wydatki inwestycyjne po stronie dostawców i odbiorców energii. Mając to na uwadze, postuluje się powołanie zespołu odpowiednio umocowanego prawnie, który opracuje generalny plan energetyczny dla Warszawy. Uczestnikami zespołu powinni być przedstawiciele właściwych biur Urzędu Miasta, PGNiG Termika, Veolia Energia Warszawa, Stoen Operator, Gaz System oraz przedstawiciele reprezentujący wspólnoty i spółdzielnie mieszkaniowe, a także inwestorów budowlanych, instytucje finansowe oraz organizacje pozarządowe. Praca tak złożonego zespołu powinna być koordynowana i moderowana przez profesjonalny podmiot posiadający doświadczenie zarówno w wybranej tematyce, jak i negocjacjach społecznych.

3. Warszawa – miasto pełne energii

3.1. Odbiorcy ciepła

Warszawa jest relatywnie dużym miastem należącym do grupy 15 największych miast Europy. Jest również jednym z nielicznych miast w Polsce z prognozowanym dodatnim przyrostem ludności. Na przewidywany rozwój miasta ma wpływ wiele czynników, które mogłyby być przedmiotem odrębnych analiz. Ważna jest jednak świadomość, że miasto będzie dalej się rozwijać, a wraz z nim wzrośnie liczba budynków oraz zapotrzebowanie na energię. Powierzchnia miasta wynosi obecnie ok. 517,2 km². Oficjalnie miasto zamieszkuje ok. 1,794 mln osób. Rzeczywista liczba osób przebywających w Warszawie jest jednak zwykle większa o ok. 200 tys. Do grupy tej można zaliczyć m.in. osoby niezameldowane, przebywające czasowo lub dojeżdżające do pracy z miast satelickich, jak i dalej położonych. W 2020 r. oddano do użytkowania 23 543 mieszkania o łącznej powierzchni 1,4 mln m². Jest to kolejny rok wzrostowy w stosunku do minionego. Liczba mieszkań zwiększyła się o ok. 9%, a ich powierzchnia o ok. 8%² (rysunek 1).

Rysunek 1. Dynamika zmian powierzchni budynków w Warszawie



10

Źródło: opracowanie własne KAPE na podstawie *Założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla M.St. Warszawy* (Miasto Stołeczne Warszawa, 2019, <https://infrastruktura.um.warszawa.pl/archiwum/za-o-enia-do-planu-zaopatrzenia-w-ciep-o-energi-elektryczn-i-paliwa-gazo>) oraz mapy GIS (www.geoportal.gov.pl).

W Warszawie znajduje się ok. 150 tys. obiektów³, które zużywają rocznie ok. 16,3 tys. GWh ciepła⁴, z czego ok. 9 tys. GWh pochodzi z sieci ciepłowniczej. Tabela 1 zawiera informacje na temat budynków ogrzewanych ciepłem sieciowym oraz indywidualnie wraz z szacunkiem zapotrzebowania na energię.

Tabela 1. Zestawienie szacowanej liczby budynków, ich powierzchni i zużycia energii końcowej w całej Warszawie na 2020 r.

	Administracyjno-publiczne		Handlowo-usługowe		Wielorodzinne		Jednorodzinne		Przemysłowe		Suma	
	Waw*	w tym SC**	Waw	w tym SC	Waw	w tym SC	Waw	w tym SC	Waw	w tym SC	Waw	w tym SC
Liczba budynków (tys.)	3,4	1,6	39,4	4,2	22	14,6	82,3	2,3	2,4	0,2	149,4	23
Powierzchnia (mln m ²)	8,4	5,7	29	15,6	79,9	65,1	20,7	0,7	3	0,9	141	88
Zużycie energii (GWh)	1 195	808	3 746	2 008	7 545	5 968	3 219	95	576	155	16 280	9 035

* Waw – wszystkie budynki w mieście (w tym budynki zasilane z sieci ciepłowniczej SC) .

** SC – budynki zasilane z sieci ciepłowniczej.

Źródło: opracowanie własne.

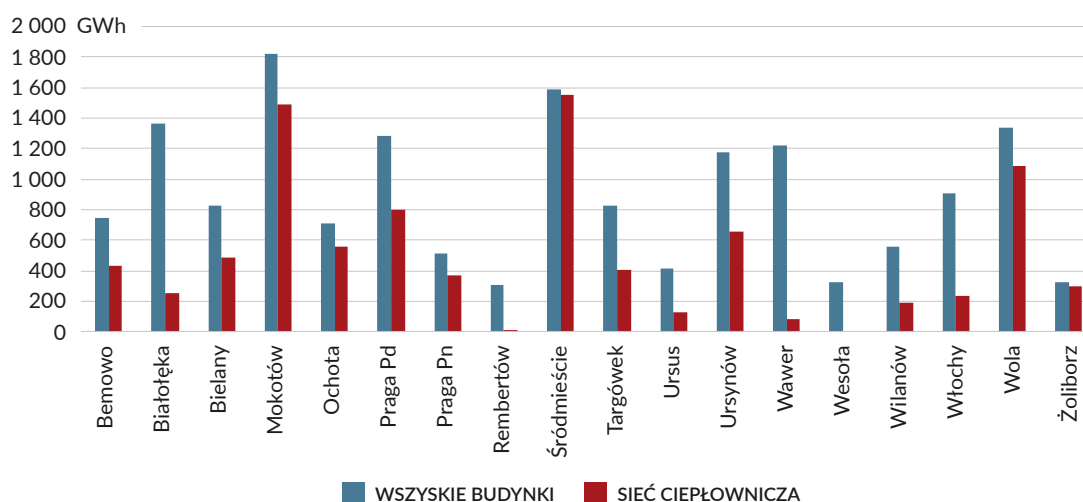
² Urząd Statystyczny w Warszawie, *Ze statystyką przez Warszawę 2021*, Warszawa 2021.

³ Zidentyfikowano na podstawie mapy GIS dostępnej na stronie www.geoportal.gov.pl.

⁴ Wartość oszacowano przy pomocy narzędzia THERMOS, umożliwiającego oszacowanie zapotrzebowania na ciepło dla budynków w zależności od kubatury, z uwzględnieniem stopniodni grzania. Uzyskane wyniki skorygowano, wykorzystując rzeczywiste wielkości sprzedaży ciepła dla obszaru budynków przyłączonych do sieci ciepłowniczej. W przypadku budynków ogrzewanych indywidualnie, wyniki szacunku i dostępne informacje wykazują rozbieżności ze względu na brak precyzyjnej metody pomiaru. Dopiero po wprowadzeniu budynków do centralnej ewidencji, zostanie określona rzeczywista wartość.

Zużycie ciepła przez budynki w Warszawie jest wyższe niż w poprzednich latach głównie ze względu na przyrost powierzchni budynków, który rekompensuje z nadwyżką oszczędności osiągnięte przez działania termomodernizacyjne. Wiele nowych budynków powstaje poza obszarem Warszawskiej sieci ciepłowniczej, stąd zwiększa się dysproporcja potrzeb ciepła zapewnianych z sieci ciepłowniczej względem pozostałych odbiorców.

Rysunek 2. Szacowane zużycie ciepła w Warszawie w 2020 r. w podziale na dzielnice



Źródło: opracowanie własne KAPE na podstawie danych od Veolia Warszawa.

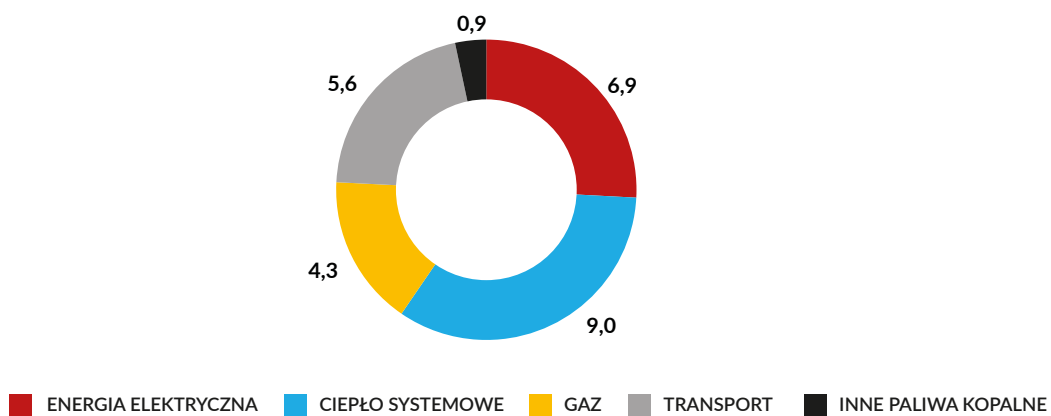
Sieć ciepłownicza pokrywa ok. 55% ogólnych potrzeb ciepłych Warszawy, a w sektorze gospodarstw domowych ponad 74%. Ciepło systemowe pochodzące z sieci miejskiej, wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej, stanowi istotną pozycję na mapie potrzeb energetycznych Warszawy (rysunek 3). Drugim co do wielkości strumieniem energii jest energia elektryczna (6,9 TWh/r).

Patrząc na wieloletnie krzywe zapotrzebowania na energię w mieście, można zauważyć dwa trendy. Pierwszy to powolny spadek zużycia ciepła systemowego w wyniku poprawy efektywności energetycznej budynków i ocieplenia klimatu. Drugi to wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w wyniku m.in. rosnącej liczby urządzeń grzewczych i klimatyzacyjnych, postępującej digitalizacji życia oraz powolnego rozwoju transportu elektrycznego.

Trzecią pozycją energetyczną miasta są paliwa transportowe. Z prowadzonych przez Urząd Miasta analiz wynika, że w roku 2017, po osiągnięciu szczytu zapotrzebowania wynoszącego 6,7 TWh, następuje stopniowe zmniejszenie zużycia paliw transportowych.

Ostatnim nośnikiem energetycznym jest gaz ziemny, obecnie wykorzystywany głównie do podgrzewania posiłków, ciepłej wody użytkowej oraz indywidualnego ogrzewania budynków. W ciągu ostatnich lat jego roczne zużycie zawiera się w granicach 5,3–4,3 TWh. Wraz z postępującą wymianą pieców węglowych, w konsekwencji walki ze smogiem oraz modernizacją parku wytwórczego elektrociepłowni warszawskich, zużycie tego paliwa w ciągu najbliższych lat ulegnie podwojeniu. Nie zmienia to jednak znacząco struktury źródeł energii pokazanej na rysunku 3, jako że w większości dodatkowy strumień gazu zostanie wykorzystany do produkcji ciepła systemowego (i będzie zaliczany na rysunku do ciepła systemowego).

Rysunek 3. Roczne końcowe zużycie energii (TWh) w Warszawie w 2020 r.



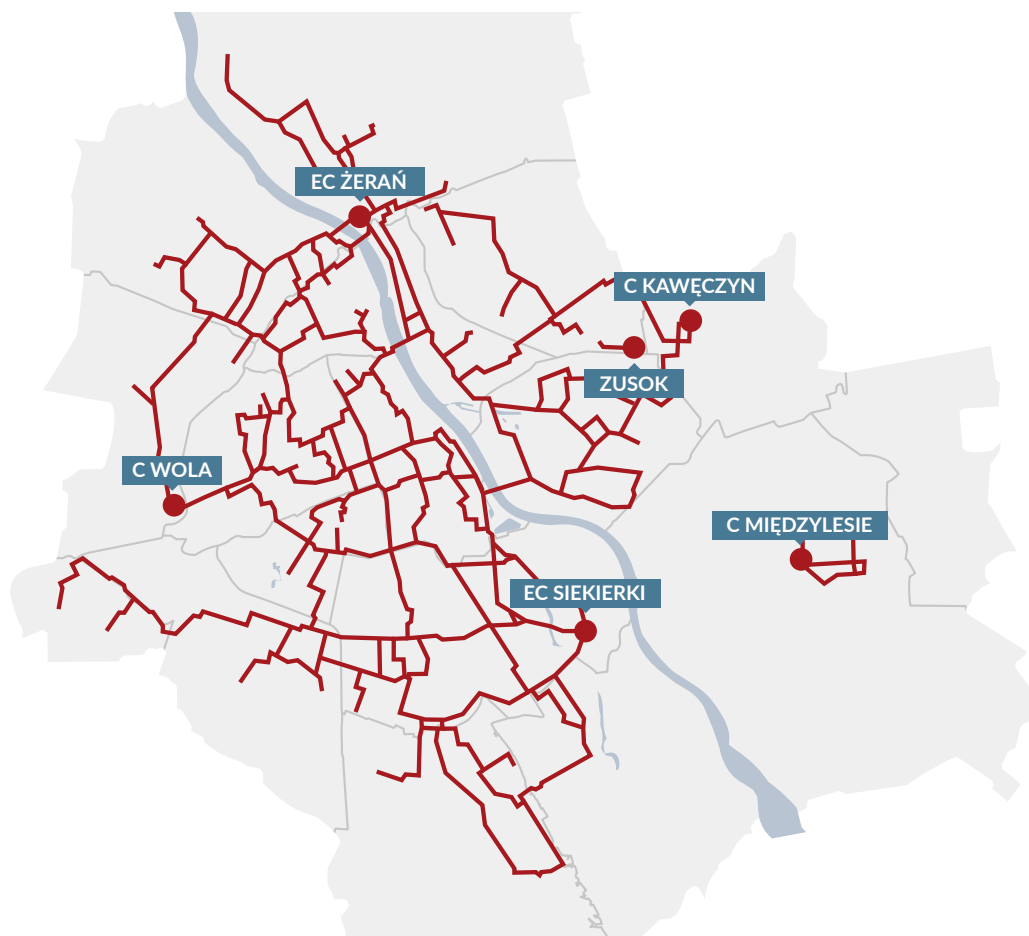
Źródło: Biuro Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy, *Analiza procesu wdrażania „Polityki energetycznej m.st. Warszawy do 2020 r.”. Wykonanie za rok 2019, 2020.*

Wytwarzanie ciepła dla miejskiej sieci ciepłej

Wytwarzanie ciepła sieciowego na potrzeby warszawskiego systemu ciepłowniczego realizowane jest przez spółkę PGNiG Termika oraz Zakład Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych (ZUSOK) – rysunek 4.

Rysunek 4. Schemat warszawskiej sieci ciepłowniczej

12



Źródło: Veolia Energia Warszawa, <https://energiadlwarszawy.pl/o-nas/o-firmie/warszawska-siec-cieplownicza>.

Głównymi źródłami ciepła są dwie elektrociepłownie: Siekierki i Żerań, zapewniające pokrycie warszawskiego zapotrzebowania na moc cieplną w 82%. Ponadto, system zasilany jest również przez ciepłownię Kawęczyn i Wola. Ze względu na możliwość generacji ciepła w skojarzeniu z produkcją energii elektrycznej, to obie elektrociepłownie stanowią podstawowe źródło ciepła dla miasta, ciepłownię uruchamiane są natomiast w okresie zimowym.

Tabela 2. Zestawienie mocy cieplnych (MWt) poszczególnych źródeł w 2021 r. z podziałem na rodzaj paliwa*

Źródło	Węgiel	Gaz	Biomasa	Olej	Odpady	SUMA
EC Siekierki	1 934	-	131	-	-	2 065
EC Żerań	1 400	716	-	-	-	2 116
C Kawęczyn	465	-	-	-	-	465
C Wola	-	-	-	348	-	348
ZUSOK	-	-	-	-	54	54
SUMA	3 799	716	131	348	54	5 048

* W tabeli uwzględniono moc rozpoczętych inwestycji w PGNiG Termika oraz planowaną moc ZUSOK (Warszawskiego Zakładu Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych).

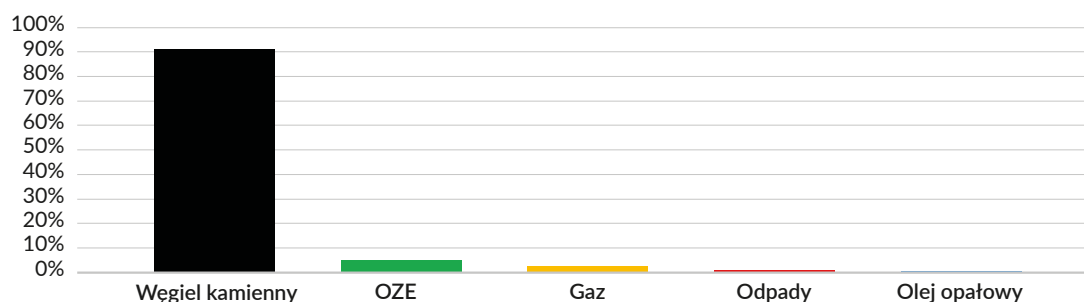
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez PGNiG Termika oraz ZUSOK.

W Elektrociepłowni Żerań trwa obecnie rozruch bloku gazowo parowego (326 MWt/496 MWe). W ramach procesu modernizacji zakładu uruchomiono także trzy gazowe kotły wodne o mocy 130 MW ciepłowniczych każdy. Spółka rozważa również wymianę mocy w EC Siekierki i budowę podobnych jednostek gazowych jak w EC Żerań. Szacuje się, że ta inwestycja może zostać ukończona do końca 2028 r. Nieco wcześniej, bo w do końca 2025 r., możliwe jest ukończenie zabudowy kotła wielopaliwowego (z możliwością spalania RDF, biomasy i węgla). Kocioł ten będzie elementem bloku kogeneracyjnego o mocy elektrycznej 75 MWe i mocy ciepłowniczej 140 MWt.

System warszawski zasilany jest również przez Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych (ZUSOK) będący jednostką kogeneracyjną, której paliwo stanowią odpady po procesie sortowania. Aktualnie moc zamówiona przez operatora systemu ciepłowniczego wynosi 10 MW, jednak trwająca modernizacja zaowocuje zwiększeniem wolumenu produkcji ciepła z tego źródła. Zaplanowane jest także zwiększenie możliwości utylizacji odpadów do ok. 300 tys. ton rocznie (obecnie ok. 50 tys. ton). Docelowa moc elektryczna zakładu będzie wynosić blisko 16 MWe, a ciepłownicza 54 MWt.

Z rysunku 5 wynika, że w warszawskim systemie ciepłowniczym podstawowym źródłem energii jest węgiel. Blisko 85% mocy ciepłowniczych w 2020 r. wykorzystywało węgiel kamienny jako paliwo podstawowe. Średnia emisja CO₂ na jeden GJ produkowanego ciepła kształtowała się na poziomie ok. 100–120 kg (w zależności od rozkładu obciążenia pomiędzy jednostki wytwórcze). Tak duża emisyjność ciepła zwiększa ryzyko wzrostu kosztu ogrzewania dla mieszkańców Warszawy wraz z zacieśnianiem polityki klimatycznej i wzrostem ceny zakupu uprawnień do emisji CO₂.

Rysunek 5. Udział poszczególnych paliw wykorzystywanych do wytworzenia ciepła systemowego w Warszawie w 2020 r.



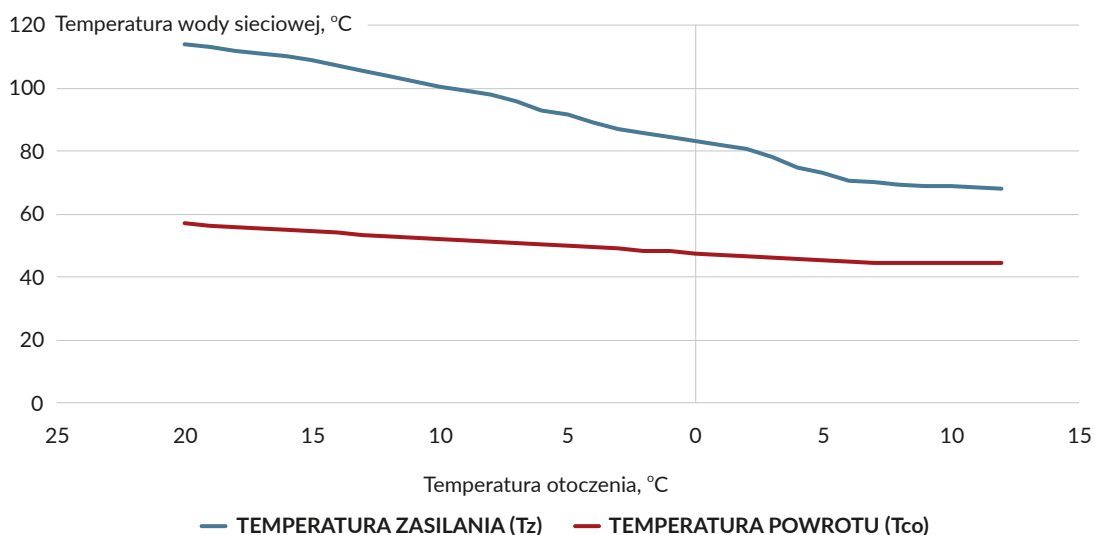
Źródło: Struktura paliw pierwotnych zużytych do wytworzenia ciepła sprzedanego przez Veolia Energia Warszawa S.A. w 2020 r., https://energiadlawarszawy.pl/wp-content/uploads/sites/4/2021/07/Zal_2_Struktura-paliw-2020_aktu.pdf.

Przesył i dystrybucja ciepła

Za przesył i dystrybucję ciepła sieciowego w Warszawie odpowiedzialna jest spółka Veolia Energia Warszawa S.A., która jest właścicielem sieci. Jak wspomniano, ciepło systemowe zapewnia ok. 55% zapotrzebowania na ciepło w Warszawie. Ilość energii dostarczanej wykazuje lekką tendencję spadkową, której główną przyczyną są wyższe temperatury powietrza w okresie sezonu grzewczego. Jednakże po przeliczeniu zużycia ciepła na warunki standardowe (przy pomocy wskaźnika stopniodni grzania), zauważalny jest nieznaczny wzrost sprzedaży ciepła z sieci, dzięki przyłączeniom kolejnych budynków. Wpływ przyłączenia nowych obiektów jest jednak częściowo niwelowany przez procesy ograniczające zużycie energii w pozostałych budynkach zasilanych przez warszawski system ciepłowniczy.

Parametry temperaturowe pracy sieci ciepłowniczej są określone w tzw. tabeli regulacyjnej, zawierającej zestawienie temperatur wody zasilającej i powrotnej w systemie w zależności od temperatury zewnętrznej. Przebieg temperatur wody sieciowej w funkcji temperatury zewnętrznej został przedstawiony na rysunku 6. Jak widać, wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej, rośnie temperatura na zasilaniu i powrocie.

Rysunek 6. Przebieg temperatur zasilania i powrotu indywidualnego węzła CO w funkcji temperatury

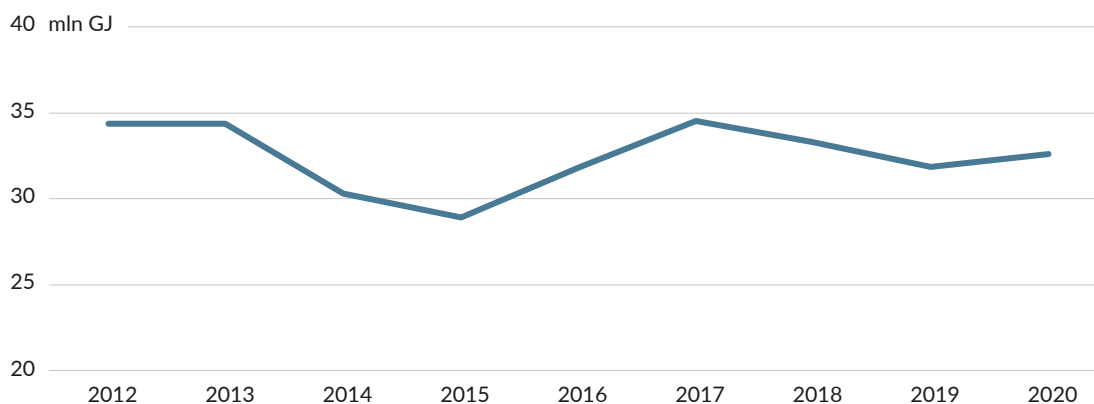


Źródło: Veolia Energia Warszawa.

Tabela regulacyjna kończy się dla tzw. temperatury obliczeniowej. Jest to minimalna temperatura, przy której system ciepłowniczy ma za zadanie utrzymać parametry ogrzewania budynków. Temperatura obliczeniowa jest zależna od położenia geograficznego systemu, a w przypadku Warszawy wynosi ona 20°C. Przy tej temperaturze źródła muszą wytwarzać ciepło o temperaturze 119°C, a odbiorca powinien otrzymać ciepło o temperaturze 114°C. Różnica wynika ze strat w przesyłach, które dla warszawskiego systemu wynoszą ok. 12% (straty ciepła i gorącej wody). Istotnym czynnikiem, który mógłby wpłynąć na redukcję strat ciepła, byłoby obniżenie temperatur wody zasilającej i powrotnej. Jednak, aby mogło do tego dojść, konieczne będą inwestycje po stronie odbiorców ciepła, pozwalające na zasilanie czynnikiem o niższej temperaturze (ocieplenie budynków i dostosowanie węzłów cieplnych oraz instalacji wewnętrznych).

Wolumen sprzedaży ciepła jest wartością zmienną i zależną od warunków pogodowych. Analizy danych meteorologicznych wykazują, że w trendzie długoterminowym liczba dni, w których konieczne jest wykorzystywanie ogrzewania, spada. Ponadto z danych dla Warszawy wynika, że charakterystyka sezonów grzewczych może się bardzo różnić na przestrzeni dwóch czy trzech lat. Nawet w tak krótkich okresach możliwe są sezony grzewcze długie czasowo, ale bez istotnego szczytu zapotrzebowania lub takie, w których występuje zapotrzebowanie bliskie projektowemu, ale sezon jest krótszy. Między innymi takie czynniki wpływają na wahania wolumenu sprzedaży ciepła (rysunek 7).

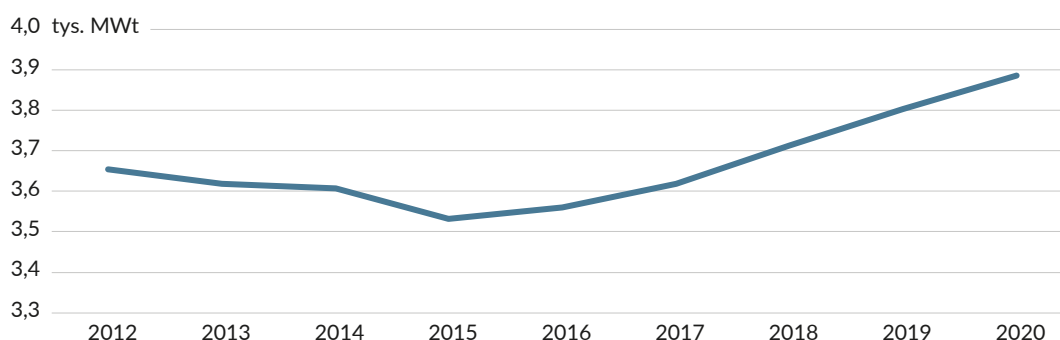
Rysunek 7. Wolumen sprzedaży ciepła sieciowego w Warszawie na przestrzeni lat



Źródło: dane udostępnione przez operatora warszawskiego systemu ciepłowniczego.

Kolejną cechą charakterystyczną dla systemów ciepłowniczych jest moc zamówiona. Jej wartość ma charakter handlowy i jest przedmiotem umów pomiędzy wytwórcami ciepła a jego dystrybutorem, jak również pomiędzy dystrybutorem ciepła a odbiorcą końcowym. Zmiany mocy zamówionej u wytwórcy w warszawskim systemie ciepłowniczym zostały przedstawione na rysunku 8. Jak widać od roku 2015 wzrasta ona w tempie ok. 2% rocznie. Jest to efekt boomu budowlanego i zwiększonej liczby budynków przyłączanych do sieci ciepłowniczej.

Rysunek 8. Moc zamówiona w źródłach ciepła systemowego



Źródło: dane udostępnione przez operatora warszawskiego systemu ciepłowniczego.

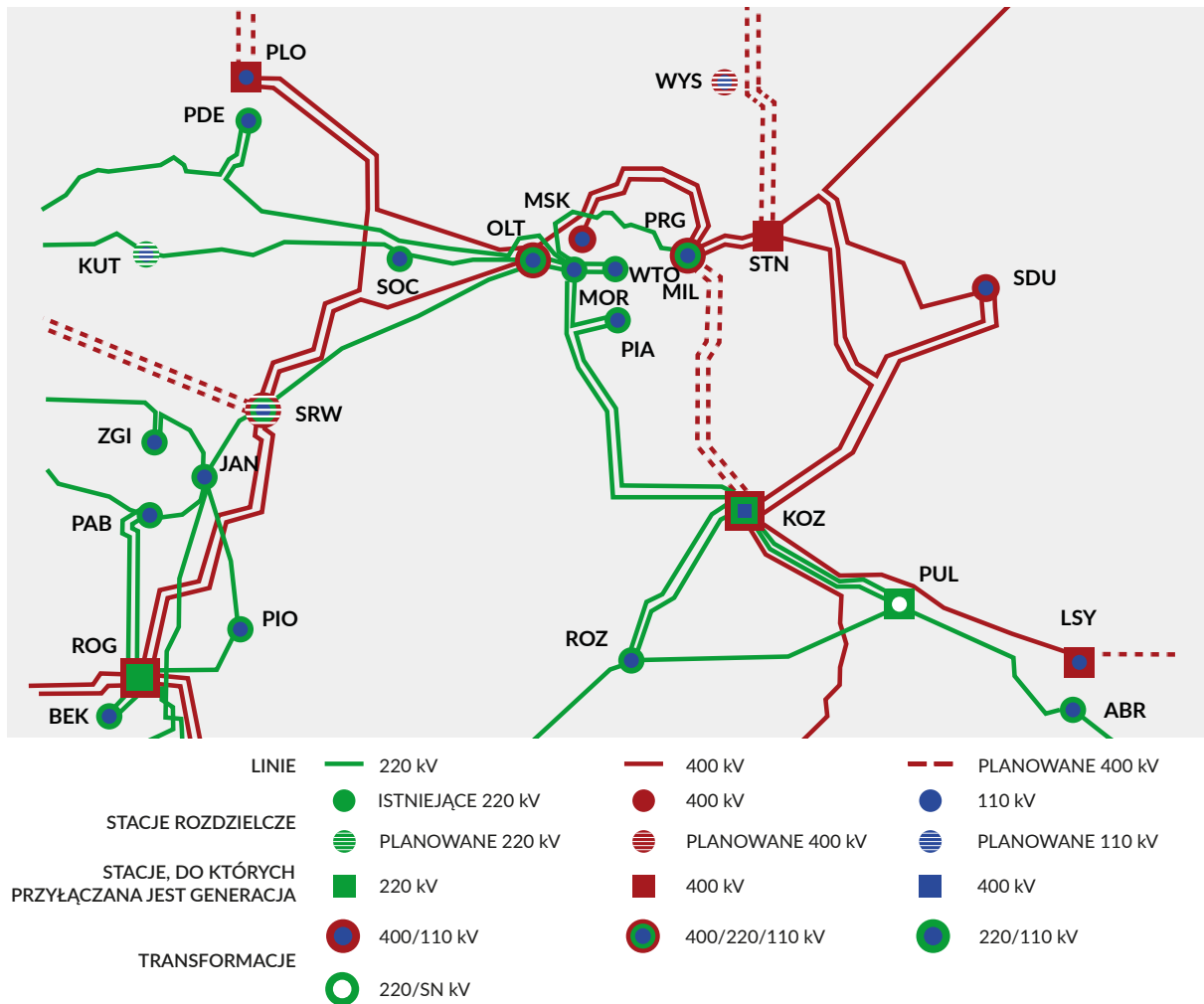
3.2. Warszawski Węzeł Elektroenergetyczny (WWE)

Aglomeracja warszawska jest zasilana w energię elektryczną doprowadzaną z krajowego systemu elektroenergetycznego. Około 45% zapotrzebowania uzupełnia energia produkowana w warszawskich elektrociepłowniach.

W trakcie budowy jest nowa stacja elektroenergetyczna 220/110 kV Praga (PRG), do której przyłączony zostanie blok gazowo-parowy uruchamiany w Elektrociepłowni Żerań. W pierwotnych planach operatora sieci przesyłowych (PSE) było wybudowanie linii 400 kV okalającej pierścieniowo Warszawę od południa. Miało to na celu poprawę bezpieczeństwa energetycznego miasta. Niestety brak synchronizacji inwestycji sieciowych z rozbudową miasta w latach 90 XX w. i pierwszej dekadzie XXI w. uniemożliwił realizację tej inwestycji, wobec czego pierścień sieci przesyłowych wokół Warszawy zamyka się w węźle Kozienice (KOZ) liniami 220 kV i 400 kV. Na terenie Warszawy energia elektryczna jest rozsyłana przez operatora systemu dystrybucyjnego – Stoen Operator Sp. z o.o.

Zasilanie aglomeracji z sieci przesyłowej najwyższych napięć (440 kV lub 220 kV) odbywa się przez stacje elektroenergetyczne zaznaczone kolorem niebieskim na rysunku 9 (obwódka czerwona oznacza transformację z 400 kV na 110 kV, zielona – z 220 kV na 110kV).

Rysunek 9. Schemat sieci przesyłowej z uwzględnieniem planowanych inwestycji wokół Warszawy



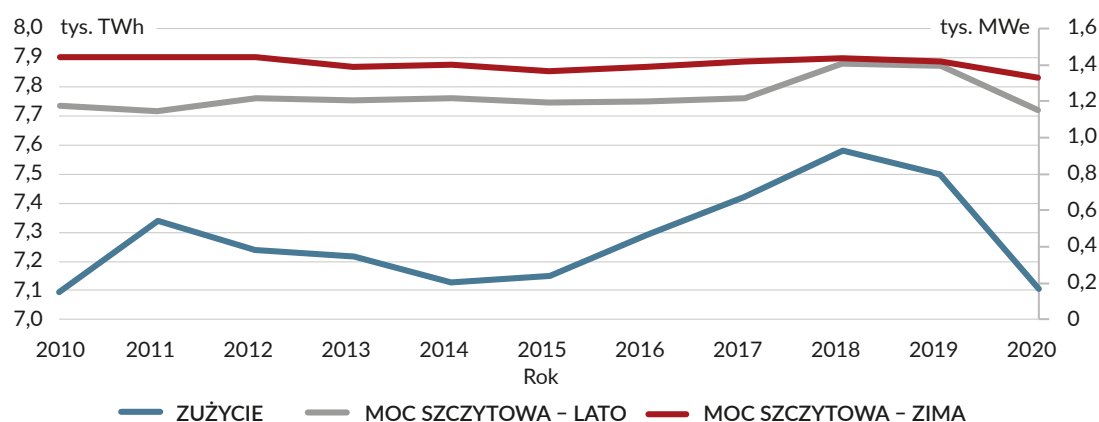
16

Źródło: Polskie Sieci Elektroenergetyczne, sierpień 2021 r., <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec/planowana>.

Warszawa, jak większość dużych miast w Polsce, jest importerem energii elektrycznej. Relatywnie blisko Warszawy położone są dwie największe polskie elektrownie: Bełchatów oraz Kozienice. Z tych kierunków odbywa się przesył energii.

Obecna infrastruktura umożliwia przesłanie do WWE energii o mocy maksymalnej 2,3 tys. MWe z zachowaniem kryteriów bezpieczeństwa i niezawodności systemu, co z pewną nadwyżką pokrywa obecne zapotrzebowanie szczytowe. Jak widać na rysunku 10, moc szczytowa WWE powoli rośnie. Tempo przyrostu zapotrzebowania na moc w okresie letnim jest szybsze niż w zimowym, co ma oczywisty związek liczbą instalowanych urządzeń klimatyzacyjnych.

Rysunek 10. Zapotrzebowanie na moc w szczyt letnim i zimowym oraz roczne zużycie energii w WWE



Źródło: dane z Urzędu Miejskiego w Warszawie.

Na kolejnym wykresie zobrazowano udział mocy lokalnych źródeł wytwórczych w pokryciu szczytowego zapotrzebowania na moc. Jak widać, uruchomienie nowego bloku gazowo-parowego (BGP) w EC Żerań zdecydowanie poprawi bilans mocy w okresie letnim, a w zimowym niemalże cała moc będzie mogła pochodzić z elektrociepłowni warszawskich. Warto zauważyć, że praca BGP latem po roku 2025 będzie uzależniona od dwóch istotnych czynników:

1. Optymalności produkcji energii w trybie kondensacyjnym (jak elektrownia).
2. Finalnych negocjacji związanych z propozycją dyrektywy o efektywności energetycznej, przedstawionej w unijnym pakiecie legislacyjnym Fit for 55⁵.

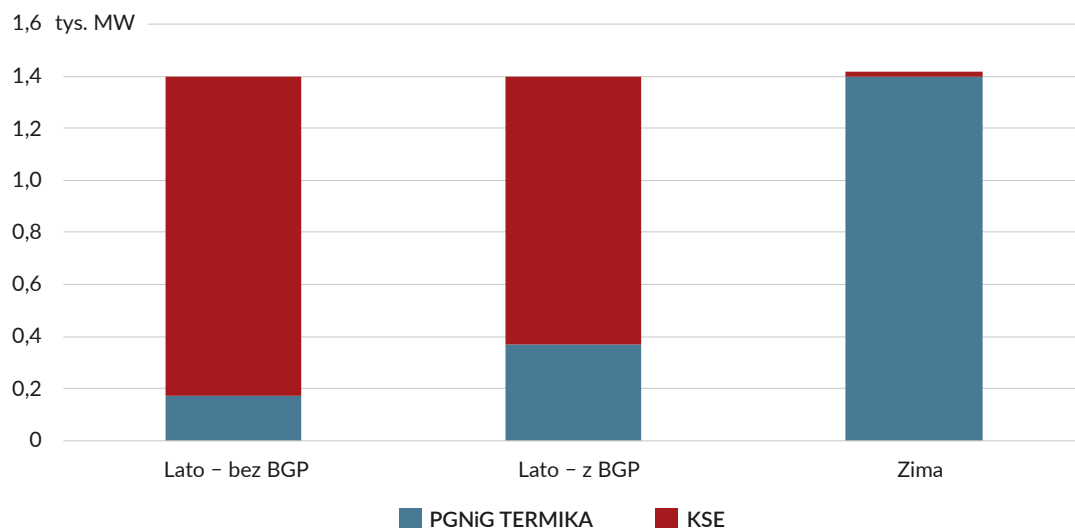
17

Jeżeli w dyrektywie utrzymany zostanie zapis, że wysokosprawna jednostka kogeneracyjna nie może emitować więcej CO₂ niż 270 kg/MWh, a efektywny system ciepłowniczy może być zasilany jedynie przez wysokosprawne jednostki kogeneracyjne (pod rygorem utraty finansowej pomocy publicznej), to praca nowego bloku gazowego w EC Żerań może zostać ograniczona tylko do pracy ciepłowniczej (ze względu na przekroczenie normy emisji podczas pracy w trybie kondensacyjnym). Rozwiązaniem technicznym, które mogłoby wyjść naprzeciw proponowanym w dyrektywie zmianom, może być budowa odpowiednio dużego akumulatora ciepła współpracującego z BGP. W takiej sytuacji jednostka będzie pracować jako wysokosprawna kogeneracja.

Innym kierunkiem działania, poprawiającym bilans energetyczny latem w mieście, może być zintensyfikowanie montażu instalacji fotowoltaicznych na warszawskich budynkach. Produkcja z tych instalacji doskonale bilansuje rosnące zapotrzebowanie na energię przez urządzenia klimatyzacyjne. Podjęcie tych działań wymaga jednak wspólnej polityki ze strony władz miasta oraz operatorów systemu przesyłowego i dystrybucyjnego.

⁵ Przyjęty przez Komisję Europejską pakiet propozycji mających na celu dostosowanie unijnej polityki klimatycznej, energetycznej, a także dotyczącej użytkowania gruntów, transportu i podatków do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% do 2030 r. w porównaniu z poziomami z 1990 r.

Rysunek 11. Zapotrzebowanie na moc w szczycie letnim i zimowym oraz udział PGNiG Termika w pokryciu tego zapotrzebowania z uwzględnieniem wpływu uruchamianego bloku gazowo-parowego (BGP)



Źródło: szacunki własne Instytutu Badań Stosowanych Politechniki Warszawskiej (IBS PW).

18

Szacuje się, że szczytowe zapotrzebowanie na moc elektryczną w Warszawie nie przekroczy w 2032 r. wartości ok. 2,2–2,3 tys. MWe. Można zatem uznać, że będzie ono pokryte przez obecną dyspozycyjną moc stacji elektroenergetycznych rozlokowanych wokół Warszawy, a podwyższona moc dyspozycyjna EC Żerań (po uruchomieniu bloku gazowo-parowego o mocy elektrycznej 496 MWe), praca EC Siekierki oraz powstające instalacje fotowoltaiczne dodatkowo poprawią dostępność mocy.

W dłuższym horyzoncie czasowym (do 2050 r.), wraz z dalszym wzrostem zapotrzebowania na moc w wyniku m.in. rozwoju transportu elektrycznego oraz rosnącej liczby zainstalowanych pomp ciepła, moc dyspozycyjna stacji systemowych zasilających Warszawę będzie musiała wzrosnąć. W związku z tym konieczne będzie zwiększenie przepustowości linii przesyłowych, a w szczególności linii dostarczających energię z kierunku północnego. Jest to spójne z założeniami planów rozwojowych sieci przygotowywanych przez PSE. Po roku 2040 zdolności przesyłowe będą prawdopodobnie dodatkowo wzmacniane poprzez mosty prądu stałego relacji północ–południe, które mają wyprowadzić moc przyszłych morskich elektrowni wiatrowych i elektrowni jądrowej na południe kraju.

Odrębnym problemem w zasilaniu aglomeracji warszawskiej jest dystrybucja energii sieciami 110 kV i średniego napięcia. Już teraz na terenie Warszawy występują ograniczenia w przesyłce energii siecią 110 kV. Sieci są więc sukcesywnie modernizowane, tak aby ich struktura oraz zdolności przesyłowe były dostosowane do przewidywanego poboru mocy odbiorców w mieście.

3.3. Przesył i dystrybucja gazu

Sieć gazowa w rejonie Warszawy

Aglomeracja warszawska zasilana jest gazem ziemnym grupy E. Wokół niej zlokalizowane są gazociągi przesyłowe wysokiego ciśnienia, które stanowią tzw. pierścień warszawski zasilany z kilku kierunków:

- z Hołowczyc (dostawa z Białorusi),
- z Włocławka (dostawa z gazociągu jamalskiego i magazynu gazu Mogilno),
- z rejonu Puław gazem z wydobycia krajowego i dostarczanego z kierunku Ukrainy.

Z sieci przesyłowej zasilani są odbiorcy o dużym zapotrzebowaniu na gaz, np. blok gazowo-parowy w elektrociepłowni Żerań. Natomiast poprzez kilkanaście stacji redukcyjno-pomiarowych zasilana jest sieć dystrybucyjna średniego i niskiego ciśnienia zasilająca mniejszych odbiorców (rysunek 12).

Rysunek 12. Sieć przesyłowa gazu ziemnego

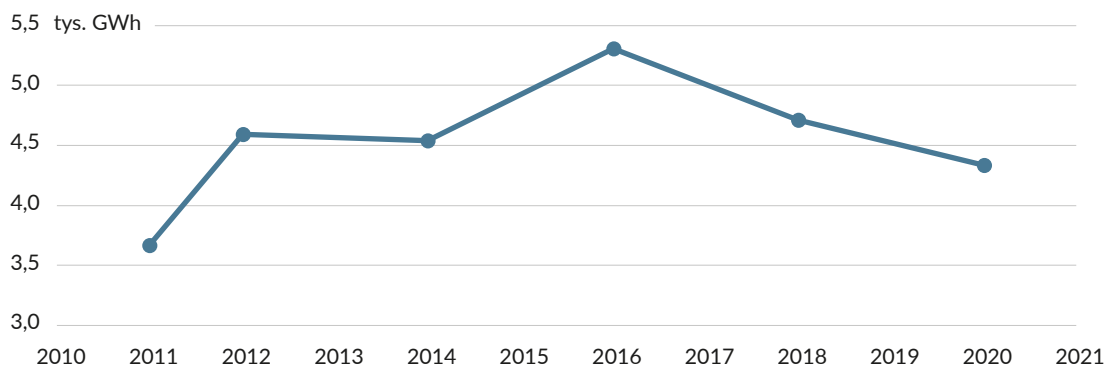


19

Źródło: Operator Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A., <https://swi.gaz-system.pl/swi/public/#!/gis/map/preview?id=10059&lang=pl>.

Operator gazowej sieci przesyłowej planuje w rejonie Warszawy budowę nowego układu gazociągów. W dziesięcioletnim planie rozwoju (w perspektywie do 2031 r.) przedstawił on planowaną budowę praktycznie nowego tzw. pierścienia warszawskiego wraz z nowym połączeniem do budowanego aktualnie gazociągu Gustorzyn–Wronów (Włocławek–Puławy). Planowane jest również przyłączenie Ciepłowni Kawęczyn do 2023 r. (moc 220 MWt) oraz EC Siekierki do 2030 r. (moc w gazie 1 000–1 500 MWt). Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na bardzo duże zurbanizowanie terenów wokół Warszawy oraz kolizje z chronionymi terenami zielonymi, występują poważne problemy z ulokowaniem tras gazociągów, tak aby zachować odpowiednie strefy ochronne na czas budowy i późniejszej eksploatacji.

Rysunek 13. Zmiana wielkości końcowego zużycia energii w MWh w latach dla gazu ziemnego dla kategorii: budynki, wyposażenie, urządzenia i przemysł



Źródło: Miasto Stołeczne Warszawa, *Plan działań na rzecz zrównoważonego zużycia energii dla Warszawy w perspektywie do 2020 r., 2011*, http://adaptcity.pl/wp-content/uploads/2016/09/Analiza_dokumentow_wg_metodologii.pdf.

Możliwość dostaw wodoru sieciami gazowymi

Operatorzy sieci przesyłowej (Gaz-System S.A.) oraz sieci dystrybucyjnej (Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o.) w swoich instrukcjach ruchu i eksploatacji nie mają zapisów dotyczących możliwości wprowadzania wodoru do sieci ani nie określają maksymalnej zawartości wodoru w gazie ziemnym grupy E. Obydwaj operatorzy prowadzą jednak badania możliwości transportu gazu zawierającego wodór.

20

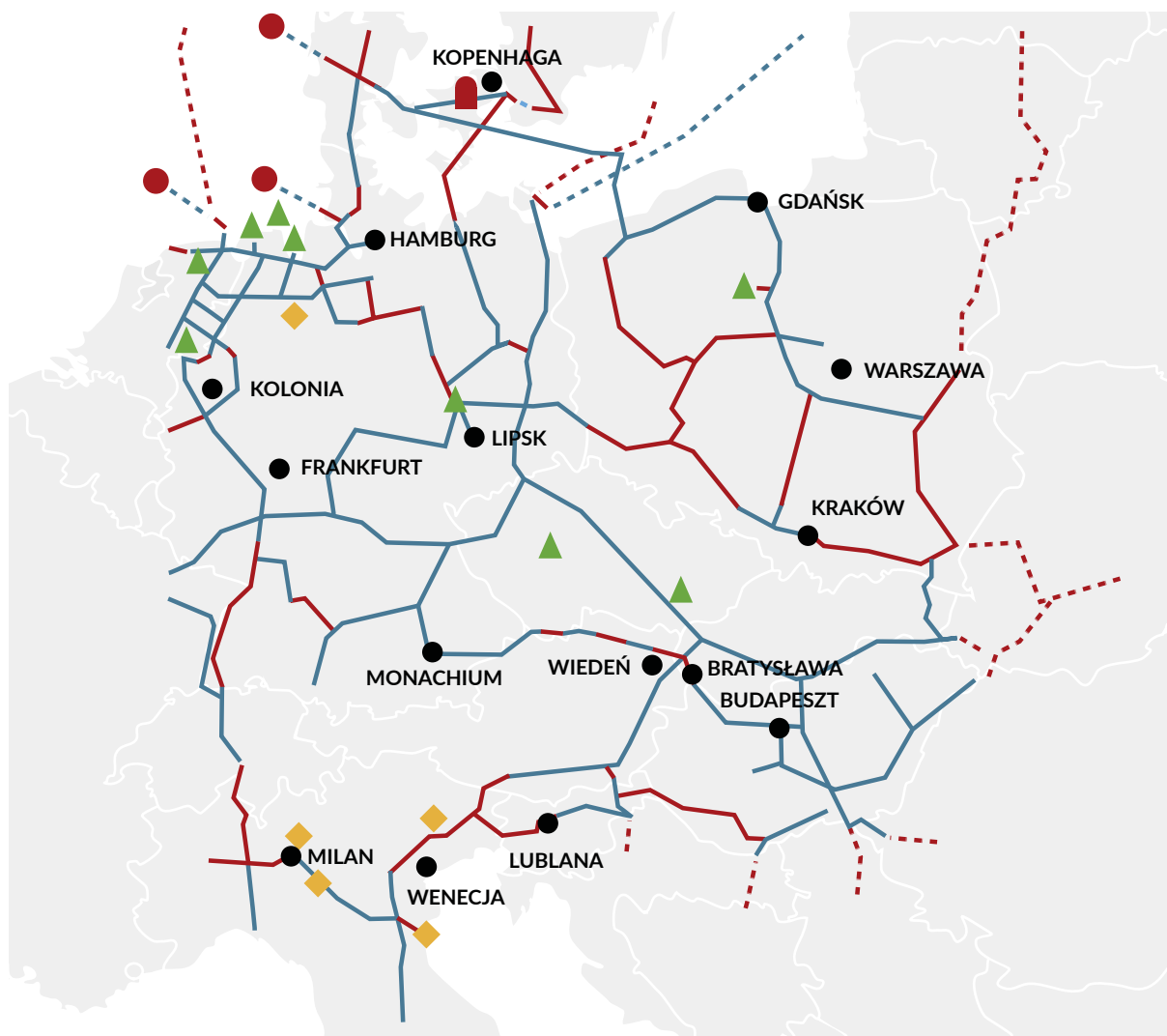
Obecnie jako bezpieczną granicę dla sieci przesyłowej nieformalnie określa się na 5–10% zawartości wodoru objętościowo. Oprócz problemów związanych z przenikaniem cząstek wodoru przez ścianki eksploatowanych rurociągów, dodatkowe zwiększanie zawartości wodoru w gazie ziemnym obniża jego ciepło spalania, co skutkuje zmniejszeniem zdolności instalacji gazowych do przesyłania odpowiedniej ilości energii w jednostce czasu (np. domieszka do 20% wodoru zmniejsza o 14% ciepło spalania). Wzrost zapotrzebowania na gaz ziemny, jaki będzie miał miejsce w Polsce w ciągu najbliższej dekady, wymaga maksymalizacji przepustowości istniejącej sieci przesyłowej, wobec czego dodawanie wodoru może przynosić skutek odwrotny od oczekiwanego, czyli ograniczenie podaży odpowiedniej ilości energii w niektórych obszarach sieci gazowej.

Zatem dla wielkoskalowego wykorzystania wodoru najbardziej pożądanym rozwiązaniem jest budowa wydzielonych sieci wodorowych. Takie rozwiązanie przygotowywane jest przez operatorów sieci w UE⁶. W Polsce planowane są w pierwszej kolejności rurociągi wodorowe z rejonu Gdańska do Płocka, a następnie rozwój sieci na terenie całej Polski (rysunek 14). Niezmiernie ważne jest, aby już teraz – przygotowując plany budowy i rozwoju sieci wodorowej – pozostawić w planach zagospodarowania przestrzennego „korytarze” do budowy rurociągów wodorowych. Aby to osiągnąć, konieczna jest jednak współpraca operatorów sieci z władzami centralnymi i samorządowymi w celu uzgodnienia oraz zabezpieczenia lokalizacji dla przyszłych sieci.

Dodatkowo konieczne będzie wykorzystanie terenów zielonych i uzyskanie, poza zgodami formalnymi, aprobaty społecznej na lokalizację inwestycji sieciowych, co wymaga dobrze przemyślanego współdziałania wymienionych wyżej podmiotów. Szansą może być także wykorzystanie tras już istniejących gazociągów, a przy odpowiednim przygotowaniu – wymiana lub dobudowa równoległej sieci.

⁶ Źródło: European Hydrogen Backbone, *Extending Hydrogen Backbone*, 2021, <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/04/European-Hydrogen-Backbone-2021-Webinar-slidedeck.pdf>. W analizie tej przedstawiono możliwe scenariusze rozwoju sieci wodorowej w poszczególnych obszarach krajów UE w perspektywie do 2040 r.

Rysunek 14. Sieć wodorowa – perspektywa rozwoju w 2040 r.



- | | |
|--|---|
| RUROCIĄGI H ₂ W MIEJSCE ISTNIEJĄCYCH TRAS GAZU ZIEMNEGO | NOWE RUROCIĄGI H ₂ |
| PODMORSKIE RUROCIĄGI H ₂ | RUROCIĄGI H ₂ EKSPORT/IMPORT |
| MAGAZYNY H ₂ W KAWERNACH SOLNYCH | MAGAZYNY H ₂ W WARSTWACH WODONOŚNYCH |
| MAGAZYNY H ₂ W WYCZERPANYCH ZŁOŻACH METANU | WYSPY ENERGETYCZNE - PRODUKCJA H ₂ |
| MIASTO | |

Źródło: European Hydrogen Backbone, *Extending Hydrogen Backbone*, 2021, <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/04/European-Hydrogen-Backbone-2021-Webinar-slidedeck.pdf>.

4. Bezemisyjne źródła energii pierwotnej

Ważną cechą neutralnego dla klimatu systemu ciepłowniczego jest zdolność do wykorzystania lokalnych bezemisyjnych źródeł energii pierwotnej. W obecnej praktyce ciepłowniczej relatywnie duże wolumeny energii odpadowej z procesów technicznych (np. chłodzenia i klimatyzacji) lub energii odnawialnej (energia słoneczna) pozostają niewykorzystane. Te tanie zasoby energetyczne powinny być coraz częściej używane do produkcji ciepła systemowego.

W ramach niniejszej pracy zidentyfikowano dostępność i możliwość wykorzystania dla celów grzewczych różnych źródeł energii pierwotnej, takich jak:

- odpady komunalne,
- biomasa odpadowa,
- biogaz (z biomasy z terenów zielonych, składowisk odpadów i oczyszczalni ścieków),
- energia geotermalna płytka i głęboka,
- odzysk ciepła (m.in. z serwerowni, oczyszczonych ścieków, przemysłu, metra warszawskiego i instalacji chłodzenia oraz wentylacji).

Podstawową zaletą wymienionych źródeł energii jest niski koszt zmienny produkcji ciepła. Wadą natomiast jest niska temperatura czynnika grzewczego (z wyjątkiem biomasy i biogazu, które w wyniku spalania mogą dostarczać ciepło wysokotemperaturowe). Zatem, aby skorzystać z energii odpadowej, należy zastosować pompy ciepła podnoszące temperaturę wody zasilającej system ciepłowniczy. W praktyce występuje zależność – im niższa temperatura pracy systemu, tym większa efektywność pracy pomp ciepła i niższe koszty eksploatacyjne.

22

Obecnie w okresie maksymalnych mrozów (przy temperaturze otoczenia spadającej do -20°C), temperatura gorącej wody na wejściu do sieci miejskiej wynosi 114°C . Stanowi to barierę dla wykorzystania dostępnych zasobów energii z OZE i energii odpadowej. Chcąc skorzystać z większej gamy bezemisyjnych źródeł energii odpadowej oraz zmniejszyć koszty operacyjne, należy systematycznie obniżać parametry pracy warszawskiego systemu ciepłowniczego.

W ramach niniejszej analizy założono obniżenie do 65°C temperatury wody sieciowej zasilającej system. Będzie to wykonalne na przestrzeni trzech najbliższych dekad. Do obniżenia temperatury pracy sieci niezbędna jest modernizacja instalacji wewnętrznych w budynkach, która powinna odbywać się w ramach planowanych termomodernizacji.

Zidentyfikowane źródła energii odnawialnej i odpadowej przedstawiono w tabelach 3 i 4. Tabela 3 zawiera zestawienie źródeł, które mogą być użyte do wytwarzania ciepła o wyższej temperaturze. Może być ono wykorzystane bezpośrednio do zasilenia sieci miejskiej. Tabela 4 przedstawia natomiast źródła energii niskotemperaturowej. Ich wykorzystanie jest możliwe tylko dzięki zastosowaniu pomp ciepła, które podniosą temperaturę czynnika grzewczego do poziomu 65°C , czyli zgodnego z potrzebami sieci ciepłowniczej. Zaletą tych źródeł jest podniesienie sprawności pracy pomp ciepła bez względu na panujące temperatury otoczenia. W przypadku ich braku, instalowane pompy ciepła czerpią energię z gruntu lub otoczenia. Wraz ze spadkiem temperatury otoczenia sprawność pomp obniża się. W skrajnym przypadku pompy ciepła pracują jak zwykłe grzejniki elektryczne.

Tabela 3. Źródła energii, które mogą być użyte do bezpośredniego zasilenia systemu ciepłowniczego Warszawy

Rodzaj źródła	Energia wsadowa (GWh)	Całkowita energia użytkowa		
		Ciepło		Energia elektryczna
		Energia cieplna (GWh)	Średnia moc cieplna (MW)	Energia elektryczna (GWh)
Odpady komunalne	514	288	33	144
Biomasa z terenów Warszawy	1 868	1 046	119	523
Biomasa odpadowa z okolic Warszawy	694	389	44	194
Biogaz z fermentacji traw	2	1	0	1
Biogaz ze składowiska odpadów	29	11	1	11
Biogaz z oczyszczalni ścieków	65	26	3	–
Geotermia głęboka	155	147	17	–
Suma	3 327	1 908	217	873

Źródło: IBS PW, KAPE.

Tabela 4. Źródła energii, które mogą być użyte do zasilenia systemu ciepłowniczego Warszawy z wykorzystaniem pomp ciepła (tzw. dolne źródło ciepła*)

Rodzaj źródła	Energia wsadowa (GWh)	Całkowita energia użytkowa		Energia elektryczna niezbędna do napędu pomp ciepła
		Ciepło		Energia elektryczna (GWh)
		Energia cieplna (GWh)	Średnia moc cieplna (MW)	
Serwerownie	438	526	50	-88
Odzysk ciepła z przemysłu	59	78	9	-19
Oczyszczalnia Czajka	565	731	83	-166
Oczyszczalnia Pruszków	10	13	2	-3
Oczyszczalnia Południe	13	17	2	-4
Odzysk ciepła z metra warszawskiego	500	700	80	-200
Razem	1 585	2 065	226	-480

23

* Identyfikacja nie obejmowała drobnych i rozproszonych źródeł ciepła niskotemperaturowego, takiego jak np. centra handlowe lub inne małe obiekty. Brak takiej identyfikacji wynika z braku danych oraz z faktu, że na tym poziomie dokładności analiz informacja ta nie wpływa znacząco na wyniki.

Źródło: IBS PW, KAPE.

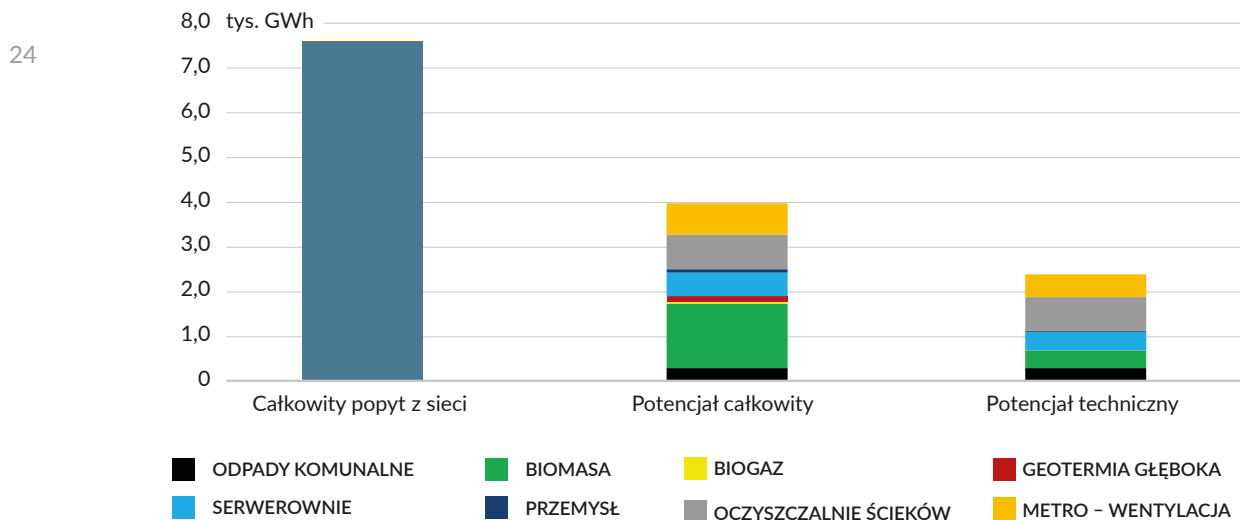
Tabele przedstawiają całkowity rozpoznany potencjał źródeł energii z OZE i odpadowej. Rzeczywista i ekonomicznie opłacalna wielkość strumienia energii użytkowej będzie mniejsza ze względu na pojawiające się ograniczenia. Przykładowo, pewne wątpliwości co do możliwości wykorzystania budziły biomasa i odpady komunalne. Obecnie tylko część energii uzyskiwanej z odpadów jest uważana za energię odnawialną. Zgodnie z celami strategii gospodarki cyrkularnej, świat będzie dążył do coraz większego stopnia odzysku surowców z odpadów. Uznano więc, że w perspektywie roku 2050 ok. 30% odpadów będzie mogło być termicznie utylizowanych, a reszta będzie podawana recyklingowi. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że instalacje spalające odpady komunalne zostaną włączone do systemu ETS, pomimo że spalaniu będzie podlegała jedynie część niemogąca być dalej poddana procesowi recyklingu, która nie będzie mogła być składowana.

Podobne wątpliwości budzi wykorzystanie biomasy. Dzisiaj jest ona uznawana za paliwo odnawialne. Legislacja europejska nakłada jednak coraz większe obostrzenia na biomasę wykorzystywaną do celów energetycznych. Założono więc ostrożnie, że tylko połowa biomasy, dostępnej w rejonie Warszawy jako odpady z produkcji sadowniczej, będzie mogła być uznana za biomasę spełniającą kryteria nałożone przez przyszłą legislację oraz tylko 20% biomasy z pozostałych zidentyfikowanych źródeł, spełni to kryterium.

W wyniku dalszych analiz ekonomicznie dostępnego potencjału energii ustalono, że z serwerowni będzie mogło być wykorzystane 80% ciepła, a z przemysłu tylko 20%. W przypadku oczyszczalni ścieków Czajka i Południe wykorzystanie ciepła może być na poziomie aż 98%. Oczyszczalnia Pruszków położona jest zbyt daleko od warszawskiej sieci ciepłowniczej, więc nie może być brana pod uwagę. Ustalono również, że można wykorzystać 75% ciepła pochodzącego z wentylacji metra.

Tak określoną ilość energii, uznanej za technicznie możliwą do pozyskania, przyjęto za podstawę do dalszych rozważań. Porównanie docelowego zapotrzebowania na ciepło przez system warszawski oraz ilości energii całkowitej i technicznej możliwej do wykorzystania przedstawiono na rysunku 15. Jak widać, technicznie dostępne źródła energii pokrywają ok. 31% przyszłego zapotrzebowania na ciepło przez system miejski. Brakująca część energii będzie musiała być dostarczona albo z elektrociepłowni zasilanej zielonym gazem (np. wodorem lub biometanem) albo z pomp ciepła. Należy jednak podkreślić, że każda forma energii odnawialnej lub odpadowej, możliwa do pozyskania do zasilania systemu, jest niezmiernie cenna, ponieważ ogranicza zużycie energii elektrycznej i zielonego gazu (którego podaż dla ciepłownictwa będzie w przyszłości ograniczona).

Rysunek 15. Porównanie wielkości dostępnej energii odnawialnej i odpadowej potrzebnej do zasilania systemu ciepłowniczego (całkowity i techniczny potencjał) na tle docelowego zapotrzebowania na ciepło z sieci



Źródło: KAPE.

Podczas identyfikacji źródeł energii odnawialnej przyjęto założenie, że energia słoneczna nie będzie wykorzystywana do bezpośredniego podgrzewania wody, tylko do produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych. Założenie to wynika z ograniczeń w dostępie do powierzchni dachów budynków lub gruntów, na których można budować te instalacje. Wykonane szacunki wskazują, że w Warszawie istnieje możliwość ulokowania na dachach budynków instalacji PV o mocy 3,5 GWe. Potencjał instalacji fotowoltaicznych obliczono na podstawie mapy GIS⁷.

7 Założenie do wycięcia PV: powierzchnia zabudowy wszystkich rozpatrywanych budynków wynosi 43 017 990 m². Przyjęto, że na 50% powierzchni zabudowy znajdują się budynki z dachami płaskimi, a pod instalacje PV będzie można wykorzystywać dachy o powierzchni równej 50% powierzchni zabudowy budynków o dachach płaskich. Na dachach płaskich panele PV będą zorientowane na południe pod kątem 30°, a ich powierzchnia będzie równa powierzchni zabudowy. Założono, że pozostałe budynki posiadają dachy dwuspadowe o kącie nachylenia 45°. Dla dachów dwuspadowych policzono powierzchnię dachów i przyjęto założenie, że panele fotowoltaiczne mogą być montowane na wszystkich dachach oprócz dachów zorientowanych na północ, północny zachód lub północny wschód. Ze względu na kominy i inne instalacje założono, że wykorzystane będzie 30% powierzchni dachów skośnych.

Roczny potencjał produkcji energii elektrycznej z instalacji PV obliczono, przyjmując wartości nasłonecznienia w zależności od kierunku skierowania połaci dachowej i kąta nachylenia paneli – wynosi on ok. 3,9 tys. GWh/r. Jednym z podstawowych warunków przyjętych w projekcie jest minimalizowanie negatywnego wpływu ogrzewania na bilans energii elektrycznej w Warszawie. Dlatego też założono, że pompy ciepła będą pracowały w okresach, kiedy jest nadmiar energii elektrycznej w systemie, czyli wtedy kiedy będzie dostępna energia słoneczna z ogniw fotowoltaicznych. Dzięki temu, że pompy ciepła współpracują z systemem ciepłowniczym o dużych zdolnościach akumulacyjnych, istnieje możliwość generacji ciepła tylko w okresach, w których będzie to korzystne dla systemu elektroenergetycznego.

5. Prognoza zapotrzebowania na ciepło systemowe w Warszawie

Wzrost efektywności energetycznej jest najlepszym sposobem zmniejszenia kosztów eksploatacji budynków, gdyż najtańsza jest po prostu ta energia, której się nie zużyje. Jedynym skutecznym sposobem wzrostu efektywności energetycznej w istniejących budynkach jest ich kompleksowa termomodernizacja. W realizacji strategii neutralności klimatycznej Unia Europejska przyjęła zasadę „*Energy efficiency first*”, co oznacza, że w pierwszej kolejności należy wykorzystać techniczno-ekonomiczny potencjał wzrostu efektywności energetycznej, a dopiero potem resztę potrzebnej energii wytworzyć w źródłach zeroemisyjnych. Budynki w UE odpowiadają za ok. 40% emisji CO₂, dlatego we wszystkich strategiach dekarbonizacji przywiązuje się dużą wagę do kompleksowej, głębokiej termomodernizacji.

W ramach inicjatywy Komisji Europejskiej pod nazwą Fala renowacji⁸ przyjęto wysokie tempo termomodernizacji (3%) oraz wsparcie z wykorzystaniem środków finansowych UE:

- dalszej elektryfikacji ogrzewania budynków (w szczególności za pomocą pomp ciepła),
- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w budynkach.

25

Krajowa strategia renowacji budynków⁹ mieszkalnych i niemieskalnych również określa ścieżkę osiągnięcia wielkoskalowej i głębokiej renowacji zasobów budowlanych w Polsce do 2050 r. Realizacja tej strategii będzie miała istotny wpływ na dalsze zmniejszanie się zapotrzebowania na ciepło w zasobach budowlanych.

W chwili obecnej można ocenić, że w Warszawie większość spółdzielni mieszkaniowych w 100% ociepiła swoje budynki. Gorzej jest w przypadku budynków będących własnością wspólnot mieszkaniowych i osób prywatnych – tu poziom termomodernizacji można określić na mniej niż 50%. Niemniej jednak i te ocieplone budynki, w perspektywie 2050 r., będą musiały być ponownie remontowane ze względu na ograniczoną trwałość wykorzystanych do tego rozwiązań technicznych (od 20 do 30 lat) oraz konieczność dostosowania ich instalacji grzewczych do niskotemperaturowych sieci ciepłowniczych i magazynowania energii. Aby zdążyć z ambitnymi planami władz Warszawy, dotyczącymi neutralności klimatycznej miasta¹⁰, należy więc przyspieszyć tempo termomodernizacji.

Prognoza demograficzna dla Warszawy

Na potrzeby analizy skorzystano ze scenariusza zmiany liczby ludności Warszawy pochodzącego z prognozy demograficznej przygotowanej przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN¹¹. W artykule tym opracowano sześć scenariuszy zmian demograficznych w Warszawie (rysunek 16).

8 Komisja Europejska, *Fala renowacji: podwojenie wskaźnika renowacji w celu ograniczenia emisji, pobudzenia ożywienia gospodarczego i ograniczenia ubóstwa energetycznego*, 2020, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/IP_20_1835.

9 Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii, *Długoterminowa Strategia Renowacji Budynków. Wspieranie Renowacji Krajowego Zasobu Budowlanego*, 2022, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/polska-przyjela-strategie-w-zakresie-renowacji-budynkow>.

10 Urząd m.st. Warszawy, *Co Warszawa robi dla klimatu*, 2021, <https://um.warszawa.pl/-/co-warszawa-robi-dla-klimatu>.

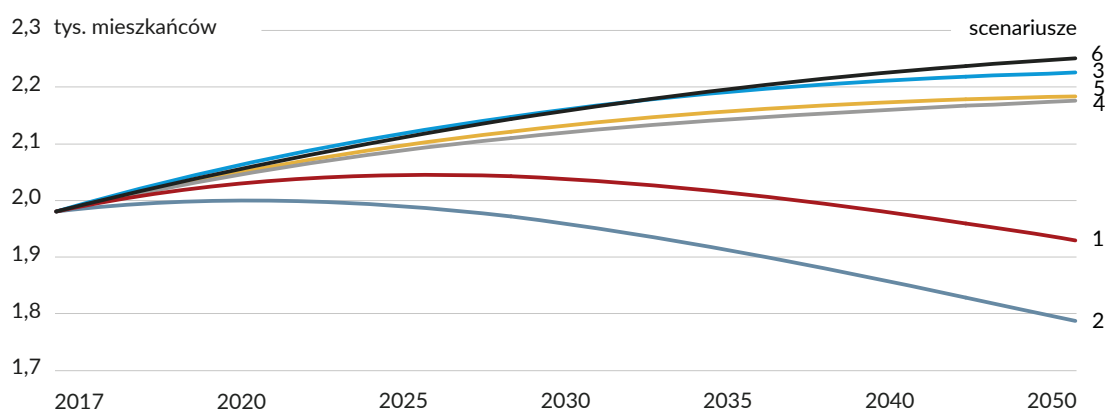
11 P. Śleszyński, Ł. Kubiak, E. Korcelli-Olejniczak, *Prognoza demograficzna dla Warszawy*, „Przegląd Geograficzny” 2020, 92(4), s. 475–497.

Pierwszym jest scenariusz kontynuacji zakładający zachowanie aktualnych trendów gospodarczych i społeczno-demograficznych, czyli:

- powolną polaryzację społeczno-gospodarczą kraju, powodującą utrzymanie się atrakcyjności Warszawy dla migrantów krajowych,
- podobny poziom imigracji zagranicznej,
- podobny poziom rozrostu dużych miast na okoliczne miejscowości bez zmian granic administracyjnych (w praktyce będzie to zmniejszenie liczby ludności w Warszawie wskutek zmian struktury wieku w mieście),
- utrzymanie poziomu dzietności na obecnym poziomie (współczynnik dzietności ogólnej TFR = 1,4).

Dla celów analizy zapotrzebowania na ciepło przez warszawski system ciepłowniczy wykorzystaliśmy jednak **scenariusz imigracyjny niski (5)**. Jest to odmiana scenariusza pierwszego, zakładająca znacznie większy napływ imigrantów zagranicznych. Nazwany został on niskim, bowiem zakłada się w nim, że do kraju napłyną osoby z tych kręgów kulturowych, w których dzietność jest porównywalna do dzietności w Polsce. W tym scenariuszu liczba ludności zamieszkująca Warszawę w 2050 r. osiągnęłaby ponad 2,18 mln. Prawdopodobieństwo takiej prognozy wydaje się wysokie, o czym świadczą kolejne prace naukowe na temat zmian demograficznych w Warszawie¹².

Rysunek 16. Scenariusze zmian liczby ludności Warszawy w latach 2017–2050 (tys.)



Źródło: P. Śleszyński, Ł. Kubiak, E. Korcelli-Olejniczak, *Prognoza demograficzna dla Warszawy*, „Przegląd Geograficzny” 2020, 92(4), s. 475–497.

Założenia do wyliczeń

W ramach niniejszej pracy opracowano dwa warianty termomodernizacji budynków:

- **Wariant zachowawczy (A)** – tempo termomodernizacji utrzymane na obecnym poziomie, czyli 1,2% budynków rocznie.
- **Wariant progresywny (B)** – tempo termomodernizacji na poziomie 3% budynków rocznie, zgodnie z Długoterminową Strategią Renowacji Budynków przedstawioną w propozycji unijnego pakietu legislacyjnego Fit for 55.

Założono, że bez względu na wybór wariantu, warszawska sieć ciepłownicza będzie pracowała w przyszłości z obniżonymi parametrami temperaturowymi (maks. 65°C). W konsekwencji 10% budynków, które nie zostaną poddane dodatkowej termomodernizacji, będzie trzeba dogrzewać w okresach bardzo niskich temperatur zewnętrznych przez indywidualne kotły elektryczne.

12 M. Anacka, A. Janicka, *Prognoza ludności dla Polski na podstawie ekonometrycznej prognozy strumieni migracyjnych*, „Wiadomości Statystyczne” 2018, nr 8, s. 5–27.

W analizie ekonomicznej uwzględniono dodatkowy wydatek 320 mln. zł na instalacje dogrzewające budynki. Moc elektryczna urządzeń grzewczych, która dodatkowo obciąży warszawski system energetyczny, wynosi ok. 170 MWe, jeżeli wystąpiłaby równoczesna praca wszystkich instalacji. W związku z krótkim czasem ich pracy, zużycie energii nie przekraczałoby 42 GWh/r.

Zapotrzebowanie na ciepło

Założenia przyjęte na potrzeby prognozy zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową (c.w.u.):

1. Zmiana zapotrzebowania na c.w.u. w 2050 r. jest proporcjonalna do prognoz zmiany liczby ludności w Warszawie.
2. Roczne zapotrzebowanie na c.w.u. wynosi 17% całkowitego rocznego zapotrzebowania na ciepło z sieci.
3. Zapotrzebowanie na c.w.u. zostało opracowane w podziale na dzielnice.

Założenia przyjęte na potrzeby prognozy zapotrzebowania na centralne ogrzewanie (c.o.) w budynkach istniejących:

1. Wskaźniki energii końcowej zużywanej na potrzeby grzewcze $E_{k_{co}}$ (zgodnie z tabelą 5).
2. Dwa warianty tempa termomodernizacji: wariant A – 1,2% oraz wariant B – 3% budynków rocznie.
3. Założenie, że termomodernizowane budynki średnio osiągają docelowe wskaźniki $E_{k_{co}}$.

Docelowe wskaźniki energii końcowej zużywanej na potrzeby grzewcze zostały określone w oparciu o wymagania zawarte w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie¹³. Część budynków ze względów technicznych i/lub ekonomicznych nie będzie mogła zostać doprowadzona do docelowego poziomu $E_{k_{co}}$. Będzie to jednak zrównoważone przez budynki poddawane głębokiej termomodernizacji, które osiągnąć będą wskaźniki $E_{k_{co}}$ jeszcze niższe niż docelowe.

27

Tabela 5. Obecne i docelowe wskaźniki energii końcowej zużywanej na potrzeby ogrzewania pomieszczeń

Budynki	$E_{k_{co}}$ (kWh/m ² /r)	
	obecnie	docelowo
administracyjne/publiczne	117	35
handlowo-usługowe	107	35
wielorodzinne	76	50
jednorodzinne	117	55
przemysłowe	85	55

Źródło: KAPE.

Prognoza przyrostu powierzchni budynków

Prognozę rozwoju budynków oparto na *Założeniach do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla M.St. Warszawy*¹⁴ (w dalszej części analizy używamy nazwy: *Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy*). Porównano prognozy rozwoju powierzchni budynków w Warszawie z *Założeń na rok 2020* i rzeczywistą powierzchnią budynków w mieście na podstawie jego aktualnej mapy. Jak wynika z zestawienia (tabela 6), prognoza ta była dość dokładna (15% błędu).

¹³ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2019 r. poz. 1065).

¹⁴ Miasto Stołeczne Warszawa, *Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla M.St. Warszawy*, 2019, <https://infrastruktura.um.warszawa.pl/archiwum/za-o-enia-do-planu-zaopatrzenia-w-ciep-o-energi-elektryczn-i-paliwa-gazo>.

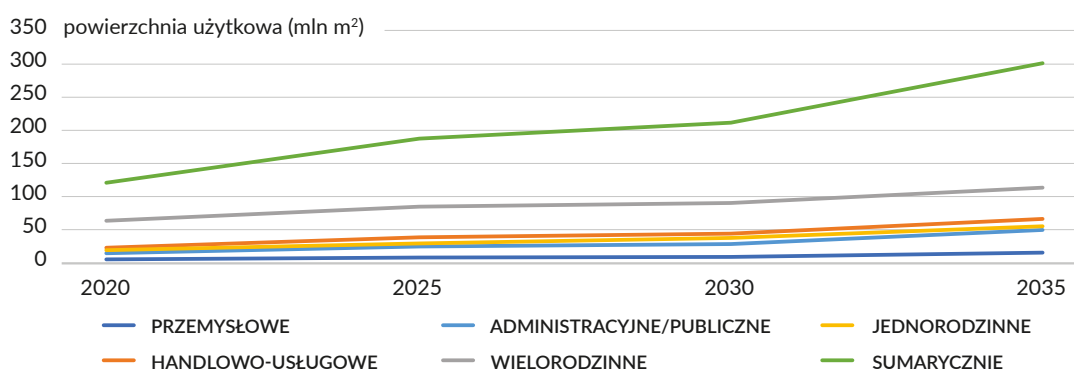
Tabela 6. Porównanie powierzchni użytkowej budynków według mapy GIS i Założeń do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy (m²)

Budynki	Mapa GIS Warszawy Powierzchnia użytkowa (m ²)	Założenia do planu* Powierzchnia użytkowa (m ²)
administracyjne/publiczne	8 770 909	15 168 463
handlowo-usługowe	25 633 598	22 716 274
wielorodzinne	80 209 790	63 725 613
jednorodzinne	20 406 806	19 420 421
przemysłowe	5 983 296	5 377 051
suma	141 004 399	121 030 771

* Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy.
Źródło: KAPE.

W Założeniach do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy zawarto również prognozę rozwoju zabudowy dla całego miasta w perspektywie lat 2020–2035 (rysunek 17), którą wykorzystano do wykonania prognozy dla roku 2050. Ustalono, że prognoza miasta jest zbyt optymistyczna i powierzchnia planowana do osiągnięcia w 2035 r. zostanie uzyskana dopiero w 2050 r.

Rysunek 17. Rozwój zabudowy dla całej Warszawy



Źródło: Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy.

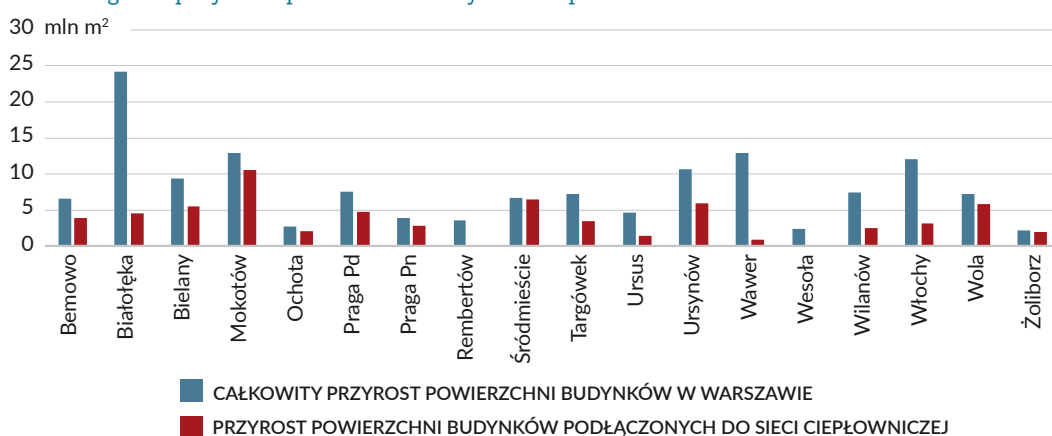
W celu oszacowania rozwoju zabudowy w obszarze sieci ciepłowniczej do 2050 r. wykonano następujące działania:

1. Określono powierzchnię użytkową budynków na terenie sieci ciepłowniczej.
2. Dokonano przeskalowania prognoz z Założeń do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy na teren sieci ciepłowniczej, przy czym:
 - a) Przyjęto, że przyrost powierzchni użytkowej na lata 2020–2035 zostanie rozłożony na lata 2020–2050.
 - b) Dobrano odpowiednie współczynniki korekcyjne dla budynków jednorodzinnych, przemysłowych i administracyjnych/publicznych (ze względu na to, że ich szacowany przyrost był bardzo optymistyczny).
 - c) Uwzględniono, że 38% powierzchni nowych budynków w Warszawie zostanie podłączonych do sieci ciepłowniczej. Na wysokość tego wskaźnika ma wpływ planowany duży przyrost powierzchni w obrębie dzielnic, w których sieć ciepłownicza jest dobrze rozwinięta (takich jak Śródmieście, Mokotów czy Wola). Założono, że dla każdej z dzielnic współczynnik przyłączenia budynków do miejskiej sieci ciepłowniczej będzie zróżnicowany i uzależniony od obecnego stopnia rozwoju tej sieci z uwzględnieniem wskaźników korekcyjnych wynikających z prognoz demograficznych.

- d) Przyjęto, że nowe budynki podłączane do sieci będą charakteryzowały się docelowymi wskaźnikami Ek_{co} (takimi samymi, jak budynki termomodernizowane). Dalsze obniżanie wskaźników przy zastosowaniu dodatkowych materiałów izolacyjnych i rozwiązań technicznych, wiązałoby się z istotnymi nakładami inwestycyjnymi, niewspółmiernymi do osiągniętych efektów.
- e) Założono liniowy trend zmian.

Wynik prognozy przyrostu powierzchni budynków w Warszawie oraz tych zasilanych z sieci ciepłowniczej w rozbiciu na poszczególne dzielnice do 2050 r. przedstawiono na rysunku 18. Natomiast na rysunku 19 ujęto prognozę zmian powierzchni budynków przyłączonych do sieci ciepłowniczej w latach 2020–2050.

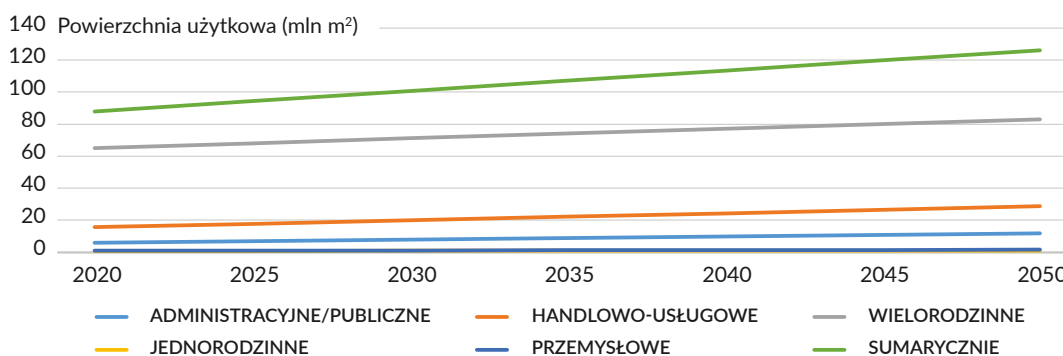
Rysunek 18. Prognoza przyrostu powierzchni budynków w podziale na dzielnice w Warszawie do 2050 r.



29

Źródło: Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy.

Rysunek 19. Prognoza rozwoju zabudowy przyłączonej do sieci ciepłowniczej w Warszawie



Źródło: analiza własna KAPE na podstawie Założeń do planu zaopatrzenia w ciepło dla Warszawy oraz mapy GIS.

Mimo zakładanego relatywnie niewielkiego wzrostu liczby ludności w Warszawie w perspektywie 2050 r., prognozowany jest ok. 40% wzrost powierzchni budynków w stosunku do roku 2020. Wynika to z zakładanego wzrostu powierzchni użytkowej przypadającej na jedną osobę poprzez:

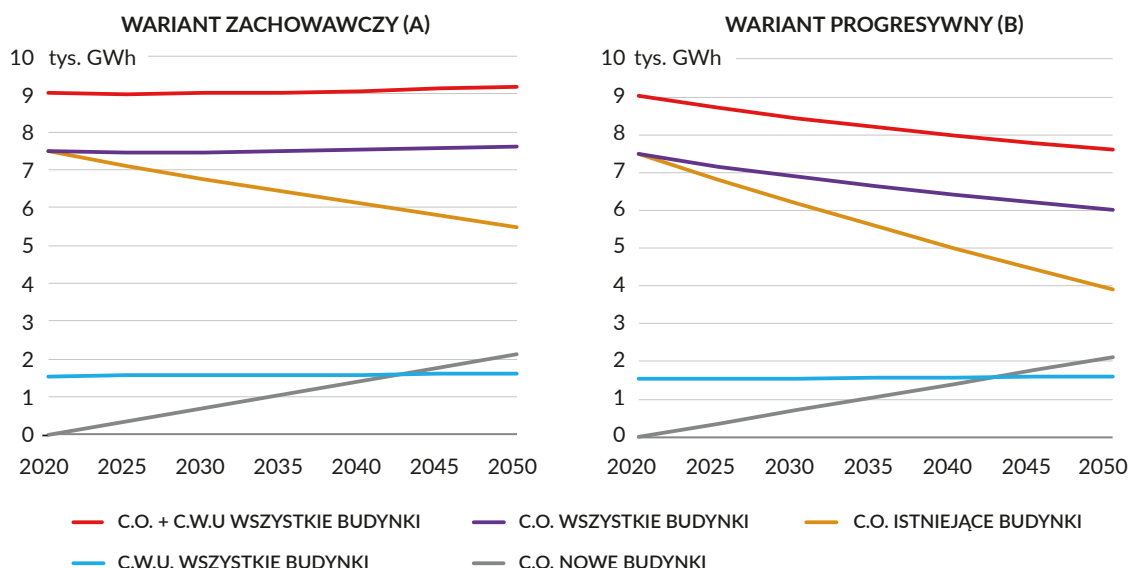
- zwiększanie się liczby jednoosobowych gospodarstw domowych,
- zwiększanie jednostkowej powierzchni użytkowej nowych mieszkań, biur itp.
- rosnącej liczby powierzchni nieużytkowanych, które i tak będą ogrzewane (np. poprzez zakup mieszkań pod wynajem, które okresowo nie będą użytkowane).

Zapotrzebowanie na ciepło systemowe w Warszawie

Na podstawie przyjętych założeń wyliczono zapotrzebowanie na energię cieplną w dwóch wariantach termomodernizacji: zachowawczym (A) i progresywnym (B). Jak widać na rysunku 20, w przypadku zbyt wolnego tempa termomodernizacji budynków w Warszawie (wariant A), zapotrzebowanie na ciepło z sieci miejskiej praktycznie nie ulegnie zmianie. Przyłączenia nowych budynków zniwelują efekt zmniejszenia zużycia energii w budynkach istniejących. Korzystniejszy obraz prezentuje progresywny model termomodernizacji (wariant B), gdzie przyrost zapotrzebowania na ciepło jest zdecydowanie mniejszy niż oszczędności energetyczne wynikające z programu termomodernizacji budynków istniejących. W konsekwencji łączne zapotrzebowanie na ciepło z sieci miejskiej spadnie o ok. 16%.

Zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową utrzymuje się na stałym poziomie w obu wariantach. Oceniamy, iż obecne opomiarowanie zużycia wody na cele sanitarne spowodowały istotne zmiany w modelu konsumpcji i oszczędności. Nie można wykluczyć dalszego zmniejszenia zużycia wraz ze wzrostem ceny wody i energii, ale wpływ tego zjawiska na ogólne zapotrzebowanie ciepła z sieci będzie pomijalny z perspektywy celu niniejszej analizy.

Rysunek 20. Prognoza zapotrzebowania na ciepło z sieci ciepłowniczej dla dwóch wariantów termomodernizacji – zachowawczego i progresywnego



Źródło: analiza własna KAPE.

Dla obu wariantów wykonano oszacowanie wielkości rzeczywistego zapotrzebowania na moc do ogrzewania budynków przyłączonych do sieci ciepłowniczej. Jest to moc niezbędna do pokrycia pełnego zapotrzebowania na ciepło przy tzw. temperaturze obliczeniowej, która obecnie wynosi dla Warszawy -20°C . Zgodnie z analizą przedstawioną w rozdziale 6.2., temperatura obliczeniowa budynków powinna zostać podwyższona z obecnego poziomu -20°C do -18°C i dla takiej wykonano szacunki.

Moc zamówiona w źródłach ciepła dla wariantów termomodernizacji wynosi odpowiednio:

- Wariant zachowawczy termomodernizacji – 3,83 tys. MW.
- Wariant progresywny termomodernizacji – 3,16 tys. MW.

Wartości te zostały oszacowane na podstawie jednostkowego zapotrzebowania na moc dla poszczególnych budynków. Prezentowane w dalszej części pracy roczne przebiegi zapotrzebowania na ciepło wskazują na niższe poziomy mocy cieplnej w systemie. Wynika to z wyższych temperatur otoczenia przyjętych do wyliczeń. Temperatury rzędu -18°C w przebiegach wieloletnich występują obecnie niezmiernie rzadko, a przeciętne temperatury w sezonie zimowym są istotnie wyższe.

5.1. Oszacowanie nakładów inwestycyjnych niezbędnych do realizacji programu termomodernizacji

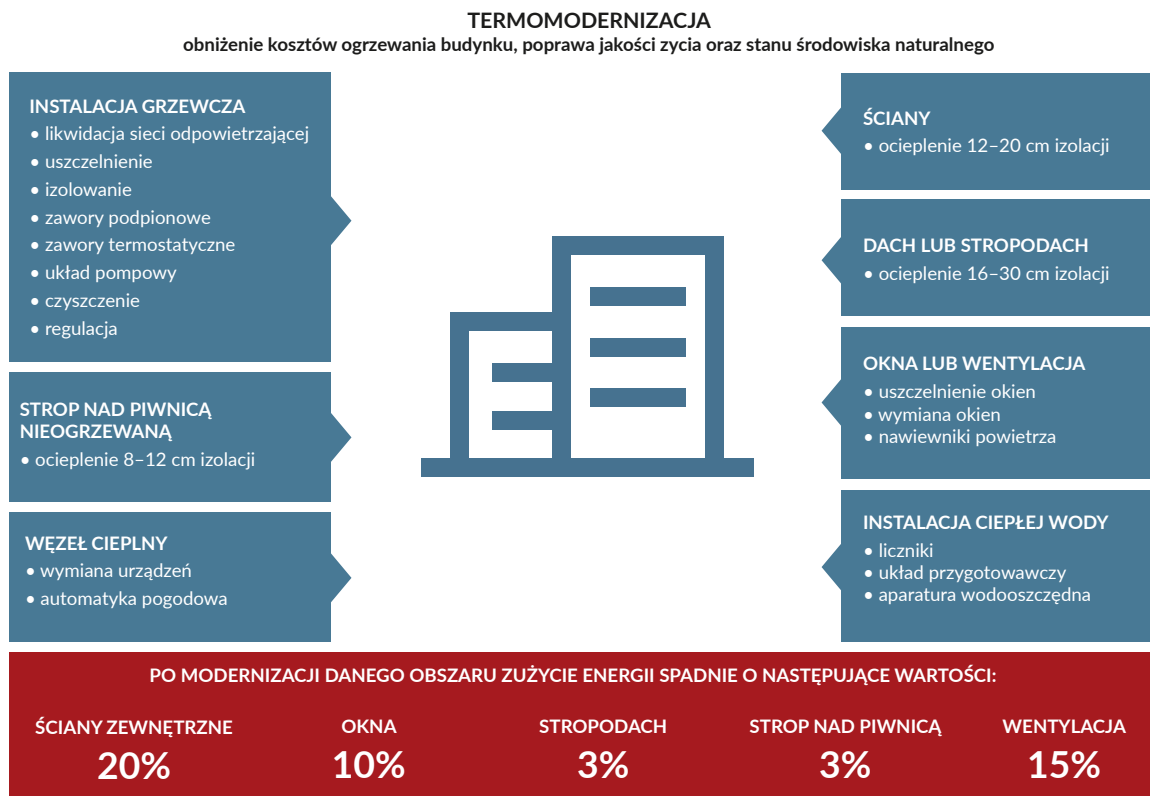
Koncepcja poprawy efektywności energetycznej budynków

Dostosowanie budynków do możliwości wykorzystania niższej temperatury zasilania z sieci może wymagać zmian na poziomie węzłów ciepłych, jak i instalacji wewnętrznych budynku. Przy średniej żywotności węzła ciepłego wynoszącej 30 lat, można przyjąć, że do roku 2050 wszystkie węzły będą wymieniane lub zmodernizowane. Należy więc zadbać o to, by każdy nowy węzeł mógł dostarczyć ciepło o niższej temperaturze do odbiorców końcowych bez dodatkowych istotnych modyfikacji.

W niektórych przypadkach ograniczeniem może być również wydajność instalacji wewnętrznych. W budynkach o wysokim jednostkowym wskaźniku zużycia energii w okresach szczytu zimowego powierzchnia wymiany ciepła grzejników wewnętrznych może być niewystarczająca, by zapewnić komfort cieplny. W takim wypadku konieczne jest przeprowadzenie prac termomodernizacyjnych w celu obniżenia wskaźnika zapotrzebowania na ciepło, takich jak wskazane na rysunku 21.

W przypadku braku takiej możliwości, np. ze względu na zaawansowany charakter budynku czy brak środków finansowych lub nieopłacalność inwestycji, możliwa jest modernizacja instalacji wewnętrznych. Dokonać jej można m.in. poprzez zwiększenie powierzchni wymiany ciepła w celu zwiększenia wydajności lub zastosowanie dodatkowych urządzeń dogrzewających, np. kotłów elektrycznych przy węźle ciepłym podnoszących parametry sieci wewnętrznej budynku, co umożliwi utrzymanie komfortu cieplnego użytkowników. Uzupełniające dogrzewanie będzie generowało jednak dodatkowe koszty operacyjne, dlatego takie rozwiązanie powinno być stosowane w wyjątkowych przypadkach, gdy nie jest możliwe wykorzystanie innych metod.

Rysunek 21. Typowe przedsięwzięcie termomodernizacyjne dla budynku wielorodzinnego



Źródło: *Kompleksowa termomodernizacja budynków jednorodzinnych*, praca zbiorowa pod red. S. Firląga, Fundacja Ziemia i Ludzie, 2019, http://termomodernizacjadomow.pl/wp-content/uploads/2019/05/KOMPLEKSOWA_TERMOMODERNIZACJA_BUDYNK%C3%93W_JEDNORODZINYCH_mala.pdf.

Tempo obniżania temperatury wody w warszawskiej sieci ciepłowniczej na przestrzeni lat 2020–2050 będzie uzależnione od tempa termomodernizacji budynków i ich przystosowania do nowych parametrów pracy sieci. W przypadku niewielkiego postępu termomodernizacji (wariant A) niezbędne będzie podjęcie działań modernizacyjnych na poziomie węzłów cieplnych lub instalacji wewnętrznych w budynkach, co będzie się wiązało z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Przyjmując jako cel nadrzędny utrzymanie kosztu ogrzewania gospodarstw domowych na akceptowalnym poziomie, należy dążyć do zwiększenia tempa termomodernizacji budynków, tak jak to przedstawiono w wariancie progresywnym (B). Dobrze ocieplone budynki to nie tylko zmniejszenie ilości zużywanej energii, ale również możliwość wykorzystania taniej energii odnawialnej i odpadowej.

Koszt termomodernizacji budynków w Warszawie

W tej części naszego raportu przedstawiamy wyniki analizy finansowej dwóch wariantów termomodernizacji budynków (zachowawczego i progresywnego) zasilanych ciepłem systemowym. Do wyznaczania wartości nakładów inwestycyjnych wykorzystano założenia opracowane w ramach projektu ASSET opisane w raporcie *Technology pathways in decarbonisation scenarios*¹⁵.

Dla każdego z typów budynków (jednorodzinne, wielorodzinne, administracyjne/publiczne, handlowo-usługowe, przemysłowe) wyznaczono sześć poziomów termomodernizacji zróżnicowanych pod względem kosztu jednostkowego. Dla 10% budynków założono konieczność zainstalowania kotła elektrycznego do dogrzewu, aby mogły korzystać one z niskotemperaturowego ciepła z sieci. Ponadto, dla zachowawczego wariantu termomodernizacji (A) założono dodatkowe koszty wynikające z konieczności dostosowania instalacji wewnętrznych w budynkach, których nie poddano termomodernizacji do wykorzystania ciepła niskotemperaturowego z sieci ciepłowniczej.

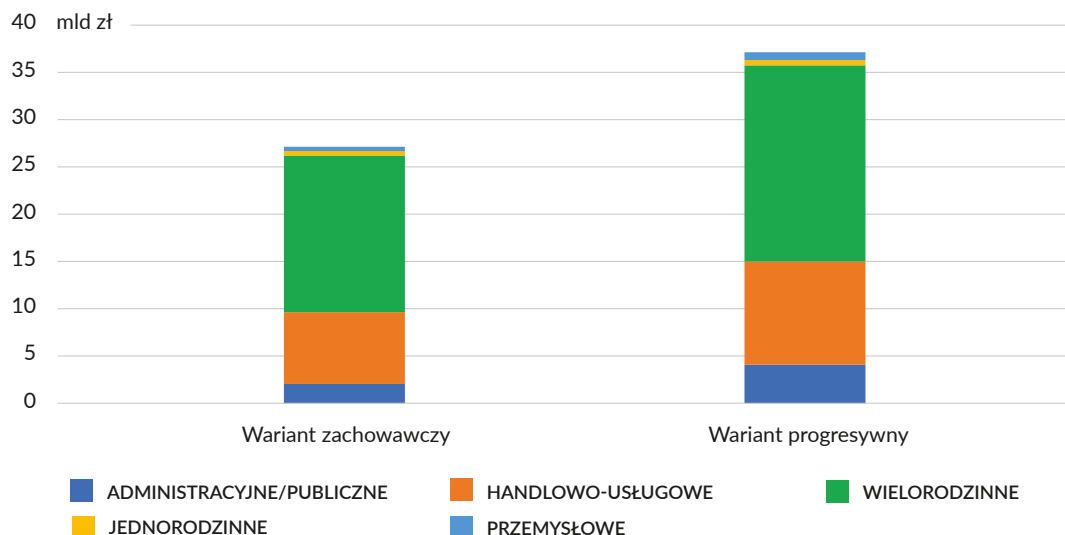
32 Jak wspomniano, obniżenie temperatury jest konieczne dla efektywnego wykorzystania większej ilości ciepła odpadowego i osiągnięcia wysokiej sprawności pomp ciepła. Instalacje centralnego ogrzewania w istniejących budynkach zazwyczaj zostały zaprojektowane na parametry wynoszące 90°C/60°C. Na takie parametry przyjmuje się moc grzejników zapewniającą komfort termiczny przy temperaturach obliczeniowych wynoszących w zimie -20°C. W wyniku obniżenia parametrów sieci ciepłowniczej w domach nieocieplonych obecne grzejniki przez kilka dni w roku nie wystarczą, aby utrzymać komfort cieplny. Możliwe są jednak trzy rozwiązania tego problemu:

1. Zwiększenie powierzchni grzejników.
2. Zastosowanie dogrzewania elektrycznego w poszczególnych pomieszczeniach.
3. Dogrzewanie wody w kotle elektrycznym za węzłem cieplnym.

Ostatnie rozwiązanie jest najbardziej korzystne pod względem ekonomicznym i komfortu użytkowników budynku. Część podłączonych budynków (10%), które z różnych powodów nie zostaną ocieplone (np. obiekty zabytkowe), będzie dogrzewana kotłami elektrycznymi na stałe. Reszta, w zależności od tempa termomodernizacji, będzie stosowała to rozwiązanie tymczasowo. Rysunek 22 przedstawia sumaryczne nakłady inwestycyjne w obu wariantach termomodernizacji budynków.

15 Advanced System Studies for Technology Transition (ASSET), *Technology pathways in decarbonisation scenarios*, 2018, s. 63, https://www.researchgate.net/profile/Pelopidas-Siskos-2/publication/328095638_Technology_pathways_in_decarbonisation_scenarios/links/5bb748334585159e8d86f164/Technology-pathways-in-decarbonisation-scenarios.pdf.

Rysunek 22. Zestawienie kosztów sumarycznych termomodernizacji w dwóch wariantach w podziale na grupy budynków



Źródło: analiza własna KAPE.

Jak widać, pomimo ponad dwukrotnego zwiększenia tempa modernizacji w progresywnym wariantcie termomodernizacji, całkowite nakłady inwestycyjne są większe jedynie o ok. 30%. Wynika to z konieczności dostosowania instalacji wewnętrznych w wariantcie zachowawczym do możliwości odebrania i wykorzystania ciepła niskotemperaturowego z sieci. Warto podkreślić, że szacunkowa analiza kosztowa wskazuje na zasadność przeprowadzenia procesu przyspieszonej termomodernizacji. Przy założeniu rozłożenia nakładów inwestycyjnych w obu wariantach termomodernizacji na okres piętnastu lat, oba warianty zrównają się kosztami całkowitymi (nakład inwestycyjny i koszt ciepła) w 2050 r. w przypadku, gdy średnia cena ciepła (w całym okresie 2021–2050) wyniesie ok. 68 zł/GJ. W przypadku wzrostu ceny ciepła, moment równowagi kosztów wystąpi wcześniej, zwiększając tym samym korzyści płynące z termomodernizacji.

33

6. Scenariusz transformacji warszawskiego systemu ciepłowniczego

6.1. Założenia

Metoda analizy

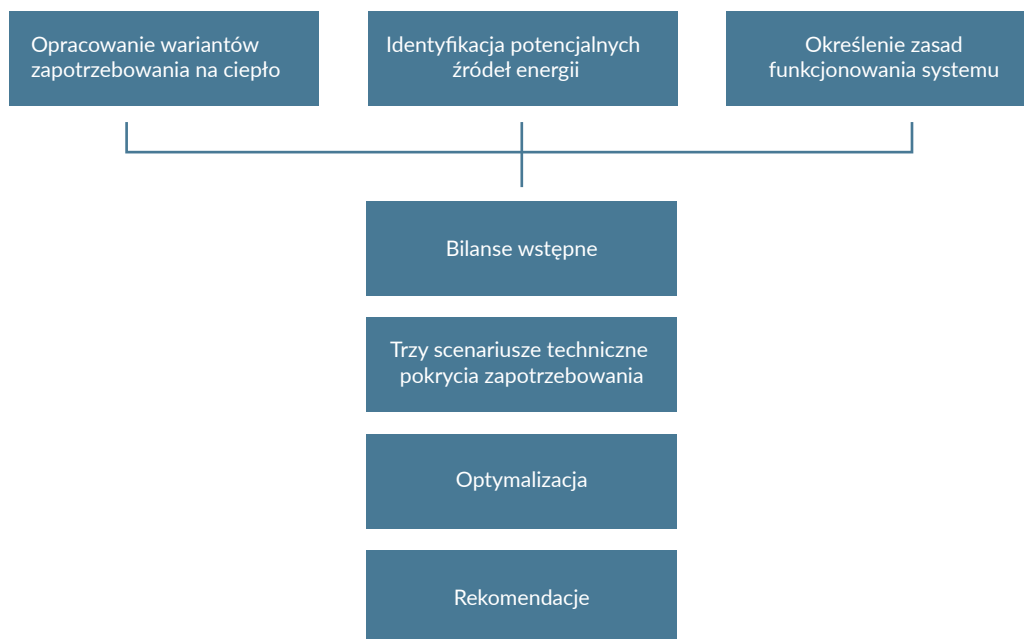
Schemat toku postępowania nad wypracowaniem wariantów przedstawiono na rysunku 23. W pierwszym kroku prowadzono prace nad trzema zagadnieniami:

- określenie neutralnych klimatycznie źródeł energii możliwych do zasilania systemu ciepłowniczego,
- oszacowanie wielkości zapotrzebowania na ciepło w systemie ciepłowniczym w roku 2050,
- zasady funkcjonowania systemu ciepłowniczego.

Na podstawie informacji uzyskanych z tych prac przygotowano propozycję dwóch zupełnie różnych scenariuszy transformacji systemu ciepłowniczego do neutralnego klimatycznie. Jeden z nich to scenariusz centralny (oparty o źródła centralne – jednostki kogeneracyjne na zielony gaz), a drugi to scenariusz rozproszony (bez źródeł centralnych, wykorzystujący tylko pompy ciepła).

W związku z przewidywanymi trudnościami w realizacji tych scenariuszy oraz ze względu na ograniczenia związane z dostawą energii pierwotnej, opracowano scenariusz rekomendowany. Zawiera on w sobie wszystkie technologie występujące w dwóch skrajnych scenariuszach, ale za to o mniejszych mocach cieplnych, przez co staje się bardziej realny i uzasadniony ekonomicznie. Końcowe rekomendacje oparte zostały na analizach technicznych i ekonomicznych scenariuszy.

Rysunek 23. Schemat postępowania przy wypracowaniu koncepcji neutralnego klimatycznie systemu ciepłowniczego



34

Źródło: IBS PW.

Założenia wyjściowe przy budowie scenariuszy

Przy budowaniu scenariuszy technicznych zasilania w ciepło przyjęto następujące założenia:

- Budynki będą musiały zostać poddane znacznej termomodernizacji w celu obniżenia zapotrzebowania na ciepło przez system ciepłowniczego. W pracy rozważane były dwa warianty, a do dalszych analiz przyjmuje się wariant progresywny (B) termomodernizacji budynków.
- Temperatura czynnika grzewczego w sieci ciepłowniczej zostanie obniżona do 65°C na wejściu do sieci w celu umożliwienia efektywnego wykorzystania do zasilania systemu ciepłowniczego ciepła odpadowego oraz pomp ciepła.
- Co do zasady, system ciepłowniczego powinien wspierać bezpieczeństwo pracy warszawskiego systemu elektroenergetycznego lub jak najmniej go obciążać energetycznie. Dlatego w scenariuszach centralnym i rekomendowanym jednostki kogeneracyjne są ważnym elementem zarówno systemu ciepłowniczego, jak i energetycznego. Podstawowym celem funkcjonowania układów kogeneracyjnych będzie bieżące bilansowanie zapotrzebowania na moc elektryczną w Warszawskim Węźle Elektroenergetycznym (WWE). Nie wyklucza się jednak ich okresowej pracy podporządkowanej wyłącznie zapotrzebowaniu na ciepło. Aby spełniać swoją funkcję, jednostki kogeneracyjne muszą być wyposażone w magazyny ciepła. Natomiast w scenariuszu rozproszonym, gdzie nie ma jednostek kogeneracyjnych, przyjęto zasadę jak najmniejszego obciążania WWE. W praktyce oznacza to, że pompy ciepła będą pracowały zgodnie z profilem produkcji zmiennych źródeł OZE (PV), zasilających WWE.

- Jednostki kogeneracyjne będą zasilane tzw. zielonymi gazami (zielony wodór, biometan). Nie zakłada się budowy magazynów zielonego wodoru w Warszawie. Ze względu na duże zapotrzebowanie przez elektrociepłownię na energię pierwotną, przyjmuje się, że paliwo będzie dostarczane krajowymi sieciami przesyłowymi. W przypadku zielonego wodoru będą to nowe sieci przesyłowe, które powinny zostać wybudowane do 2050 r.
- Ze względu na duże ilości energii niezbędne do zasilania elektrociepłowni zakłada się, że elektrolizery, jakie powstaną na terenie Warszawy, nie będą miały istotnego wpływu na bilans energii w sieci ciepłowniczej. Natomiast nie wyklucza się budowy małych elektrolizerów, np. do produkcji paliwa dla potrzeb transportu w stolicy. W takiej sytuacji ciepło odpadowe powinno być wykorzystane do zasilania sieci ciepłowniczej. Uwzględnienie powstania elektrolizerów będzie miało wpływ jedynie na wielkość średnią COP pomp ciepła. Liczba powstałych elektrolizerów nie powinna znacząco wpłynąć na wynik analiz.
- Pompy ciepła będą istotnym elementem w zasilaniu warszawskiego systemu ciepłowniczego. Z chwilą pełnej dekarbonizacji krajowej energetyki (100% energii w sieci elektroenergetycznej będzie odnawialne), ciepło produkowane przez pompy ciepła będzie w pełni bezemisyjne. W analizie pompy ciepła są tak bilansowane mocowo, aby korzystały głównie z energii elektrycznej generowanej z instalacji fotowoltaicznych (PV) na terenie miasta. Przyjęto takie założenie na potrzeby modelowania pracy systemu ciepłowniczego. Przewiduje się, że pompy ciepła będą pracować w zależności od dostępności energii elektrycznej, przy czym w zależności od potrzeb, będą one wykorzystywać sieć ciepłowniczą oraz magazyny krótkookresowe i długookresowe do magazynowania nadwyżek ciepła. Dzięki temu system ciepłowniczy będzie mógł zużywać również nadwyżki energii elektrycznej z systemu elektroenergetycznego kraju.
- Sezonowe magazyny ciepła muszą stać się elementem przyszłego systemu ciepłowniczego, pozwalającym na akumulację nadwyżek energii wygenerowanej w okresie letnim przez pompy ciepła wspierane instalacjami fotowoltaicznymi lub przez wyspy solarne (o ile takie powstaną). Decyzja o ich budowie pozostaje w gestii władz miasta i operatora systemu ciepłowniczego. Potencjalną lokalizacją mogą być zamknięte tereny w zakładach spółki ciepłowniczej oraz inne tereny niezabudowane. Możliwe jest także wkomponowanie magazynów w krajobraz miasta. Zakładając, że wszystkie magazyny byłyby wykonane w technologii magazynów typu PTES (ang. *Pit thermal energy storage* – gruntowy akumulator ciepła) szacuje się, że powierzchnia potrzebna pod ich budowę wynosi ok. 150–200 ha. Pojemność tych magazynów jest szacowana na ok. 15% rocznych potrzeb na ciepło warszawskiego systemu ciepłowniczego.
- Zakłada się duże wykorzystanie dostępnej powierzchni budynków do budowy instalacji fotowoltaicznych. Szacuje się, że maksymalna moc możliwa do zainstalowania na dachach może wynosić ok 3,5 tys. MWe mocy szczytowej. Instalacje PV będą budowane na potrzeby systemu elektroenergetycznego miasta (to będzie ich cel podstawowy), a jedynie część energii będzie wykorzystywana do zasilania pomp ciepła. W symulacjach założono, że energia elektryczna do napędu pomp ciepła będzie w 100% kupowana, dlatego nie uwzględniono nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji fotowoltaicznych. W modelu obliczeniowym zasymulowano pracę pomp ciepła zgodnie z profilem produkcji instalacji PV. Dzięki magazynom sezonowym nadwyżki produkcji ciepła latem będą wykorzystywane do zasilania sieci ciepłowniczej w okresie zimowym.
- Przyjęto, że wykorzystanie odpadów komunalnych będzie zgodne z zasadami gospodarki obiegu zamkniętego. Zatem nie przewiduje się budowy nowych instalacji termicznej utylizacji odpadów komunalnych (ZTUOK), zakładając jedynie ukończenie obecnego projektu rozbudowy zakładu przy ul. Zabranieckiej. Energia wytworzona przez cały zmodernizowany zakład jest brana pod uwagę w bilansach energetycznych, natomiast nakłady inwestycyjne nie zostały uwzględnione w kalkulacji kosztu wytworzenia ciepła (wydatki na ZTUOK to element gospodarki odpadami w Warszawie i tam są alokowane koszty). Zakłada się ciągłą pracę zakładu przez cały rok – odpady komunalne nie będą akumulowane.

- Biomasa pozyskiwana do celów energetycznych będzie spełniała kryteria biomasy zrównoważonej¹⁶. Dostępna biomasa może być magazynowana i używana w momentach, w których będzie ona potrzebna do zasilania elektrociepłowni.
- Na cele modelowania przyjęto, że elektrociepłownia będzie pracowała w sposób ciągły tylko w okresie zimowym, a maksymalizacja pracy pomp ciepła będzie następowała tylko w okresie letnim. Jest to pewne uproszczenie modelowe. W rzeczywistości będą występowały okresy z nadmiarem generacji energii elektrycznej w zimie i wtedy elektrociepłownia będzie odstawiana, a pompy ciepła dodatkowo będą mogły korzystać z nadmiaru energii elektrycznej. Natomiast w lecie będą występowały okresy niedoborów energii elektrycznej, podczas których elektrociepłownia będzie musiała pracować.

6.2. Transformacja warszawskiej sieci ciepłowniczej

Warszawski system jest typowym system ciepłowniczym, w którym ciepło przesyłane jest do odbiorców ze źródeł centralnych (cztery źródła ciepła przyłączone do wspólnej sieci). Innowacją na skalę polską jest to, że źródła te pracują na tzw. otwartą sieć, co oznacza, że nie ma ścisłego podziału obszaru Warszawy na rejony zasilane z poszczególnych źródeł (części sieci ciepłowniczej są fizycznie wydzielane poprzez zamknięcia zaworów). Możliwa jest dzięki temu dynamiczna zmiana tych obszarów poprzez odpowiednie sterowanie systemem.

Konieczność budowy systemu neutralnego klimatycznie wymusza głębokie zmiany dotyczące nie tylko źródeł wytwórczych, ale również parametrów pracy sieci ciepłowniczej. Systemy ciepłownicze przyszłości to systemy **czwartej i piątej generacji**. Podstawową cechą takich systemów jest niska temperatura zasilania, umożliwiającą łatwe wprowadzanie ciepła odpadowego i odnawialnego do sieci ciepłowniczej. Drugą cechą jest gotowość do współpracy z różnego rodzaju źródłami odnawialnymi (np. farmami fotowoltaicznymi czy wiatrowymi) i odbieranie nadwyżek produkcji energii elektrycznej w celu przetworzenia ich w ciepło użytkowe w pompach ciepła lub kotłach elektrycznych.

36

W systemach ciepłowniczych czwartej generacji istnieją jeszcze źródła centralne. Systemy ciepłownicze piątej generacji, to natomiast systemy o bardzo niskich temperaturach w sieci – brak w nich źródeł centralnych, a wytwarzanie ciepła jest realizowane głównie przez pompy ciepła współpracujące z magistralami ciepłymi i zimnymi. W systemach tych traci rację bytu pojęcie magistrali zasilającej i powrotnej, ponieważ nie ma źródeł centralnych, a zamiast tego są odpowiednio magistrale ciepłe i zimne.

Stworzenie neutralnego klimatycznie systemu ciepłowniczego wymaga budowy co najmniej systemu czwartej generacji. Wizja systemu ciepłowniczego piątej generacji wydaje się dziś bardzo odległa, ale istnieją już komercyjne rozwiązania takich systemów. Przykładem jest Ectogrid – sieć o temperaturach tzw. szyny ciepłej na poziomie 30–40°C, a szyny zimnej na poziomie 10–20°C. Sieć nie jest izolowana, a dodatkowo do jej pracy wykorzystuje się akumulację gruntu.

W niniejszej pracy przyjęto, że warszawski system ciepłowniczy musi przejść do poziomu czwartej generacji. W związku z tym niezbędne są:

- obniżenie temperatury w sieci z obecnego poziomu 110–118°C do poziomu około 65°C,
- umożliwienie przez sieć współpracy wielu rozproszonych źródeł.

Obniżenie temperatury pracy sieci ciepłowniczej jest najtrudniejszym elementem w transformacji systemu. Wymaga ono dopasowania wewnętrznych instalacji odbiorczych do zasilania wodą o znacznie niższych temperaturach niż obecnie. Rozpoczęcie modernizacji krajowego ciepłownictwa w kierunku poprawy efektywności energetycznej i dekarbonizacji wymaga także pilnej korekty przepisów budowlanych. Należy wprowadzić zapisy, które wymuszają dostosowanie

¹⁶ Nowe zasady zrównoważonego wykorzystania biomasy przewiduje propozycja dyrektywy o wsparciu energii ze źródeł odnawialnych (RED III), która jest elementem pakietu legislacyjnego Fit for 55. Źródło informacji: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en#documents.

instalacji wewnętrznych nowych i modernizowanych budynków do współpracy z siecią niskotemperaturową. Działania takie muszą być podjęte niemal natychmiast, jeżeli cel dekarbonizacji ciepłownictwa ma zostać osiągnięty do 2050 r.

Jesteśmy świadomi, że nie wszystkie instalacje uda się zmodernizować w taki sposób, aby możliwe było zasilanie wewnętrznych instalacji odbiorczych przy tak niskich parametrach. W takim przypadku zakłada się konieczność instalowania elektrycznych podgrzewaczy, które przy najniższych temperaturach będą dogrzewały wodę podawaną do instalacji wewnętrznej. Z punktu widzenia bilansu energii elektrycznej nie będzie to miało dużego znaczenia, ponieważ taka konieczność będzie istniała tylko przy najniższych temperaturach średniodobowych, np. poniżej -15°C .

Dodatkowo zmiana taka wymusi modyfikację sposobu regulacji pracy systemu ciepłowniczego. Obecny system regulacji to tzw. regulacja jakościowo-ilościowa. Ilość ciepła dostarczana do odbiorców regulowana jest głównie poprzez zmianę parametrów (temperaturę wody zasilającej). Przy obniżeniu temperatury do poziomu 65°C regulacja w systemie ciepłowniczym będzie musiała być ilościowa. Oznacza to, że ze względu na potrzebę wytwarzania ciepłej wody użytkowej, temperatura w sieci musi być utrzymana na poziomie ok. $60\text{--}65^{\circ}\text{C}$ przez cały rok, a ilość ciepła będzie regulowana wielkością przepływu.

Przy zmianie temperatury zasilania pojawia się kolejne wyzwanie. Obecnie różnica temperatur w sieci (między magistralą gorącą a zimną) w okresie zapotrzebowania szczytowego wynosi ok. 60°C . Ta różnica temperatur determinuje wielkości przepływów, co z kolei determinuje średnicę rurociągów. Przy przejściu na parametry $65/40^{\circ}\text{C}$ różnica temperatur będzie wynosiła zaledwie 25°C , co przy takim samym zapotrzebowaniu ciepła, wymusiłoby ponad dwukrotnie większe średnice rurociągów. Obniżenie tej temperatury będzie jednak możliwe, ponieważ:

- zakłada się istotne zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło przez poszczególne budynki, co zmniejsza przepływy w sieci,
- w każdym z wariantów zakłada się mniejsze lub większe rozproszenie wytwarzania ciepła, co będzie wpływało na zmniejszenie ilości ciepła transportowanego przez poszczególne odcinki sieci ciepłowniczej.

37

Sprawą drugorzędną, o której należy już jednak zacząć myśleć, jest modernizacja węzłów ciepłowniczych. Dobory tych urządzeń na tak niskie parametry będą musiały być prowadzone w zupełnie inny sposób niż obecnie. Zakłada się, że wymiana węzłów nastąpi na drodze naturalnego procesu wymiany zużytych urządzeń.

Pozytywnym skutkiem wynikającym z obniżenia temperatury pracy sieci jest zmniejszenie strat ciepła z sieci ciepłowniczej. W tabeli 7 przedstawiono wartości strat obecnie i szacunki ich zmian po obniżeniu parametrów pracy sieci. Z przedstawionego porównania wynika, że wielkość strat zmniejszy się o $27\%^{17}$. Średnia moc niezbędna do pokrycia strat z sieci spadnie z 113 MWt do 83 MWt. Będzie ona niezależna od wybranego scenariusza wytwarzania ciepła oraz prawie niezależna od pory roku (moc na pokrycie zależy od wielkości sieci ciepłowniczej i średniej temperatury pracy sieci w ciągu roku, a te elementy w obu scenariuszach są takie same).

Tabela 7. Porównanie wielkości strat ciepła z sieci ciepłowniczej obecnie i po obniżeniu parametrów

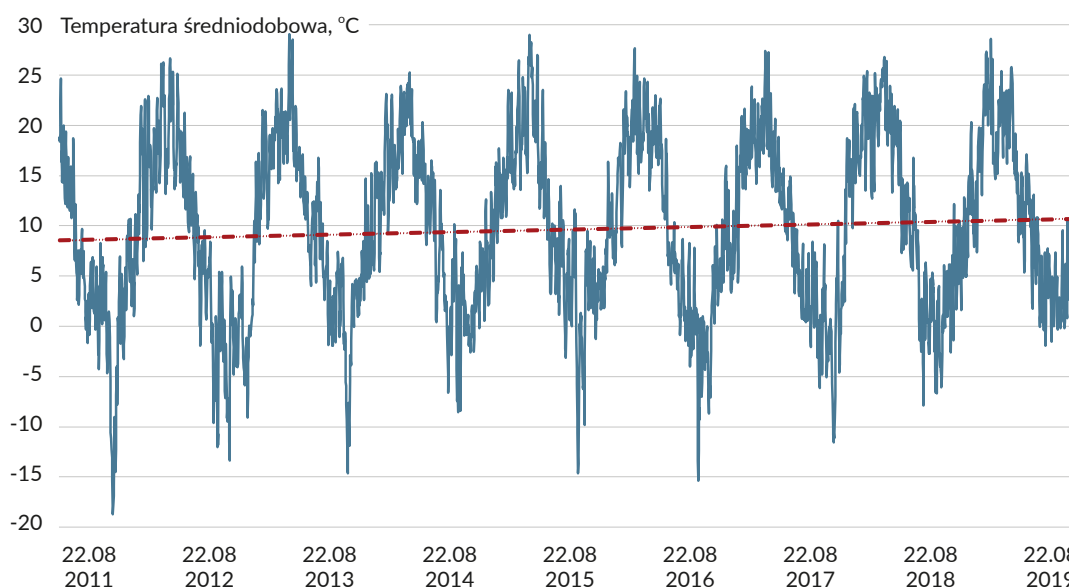
	Temperatury zasilania i powrotu	Średnia roczna temperatura (zasilanie i powrót)	Roczne straty energii	Średnia moc strat
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	GWh	MW
Obecne	114/57	55	994	113
Po obniżeniu parametrów	65/40	44,5	727	83

Źródło: opracowanie własne.

17 Szacunku dokonano w oparciu o zmniejszenie średniorocznej temperatury pracy sieci wynikającej z obniżenia parametrów. Założono także 10% poprawę efektywności pracy sieci.

Ważnym zagadnieniem w analizach pracy systemu jest moc maksymalna, która musi być zapewniona przez dostawców ciepła w warunkach obliczeniowych. Warunki obliczeniowe dla Warszawy to średniodobowa temperatura zewnętrzna wynosząca -20°C . Na rysunku 24 przedstawiono wieloletni przebieg zmienności średniodobowej temperatury. Widać, że w ciągu dekady praktycznie nie wystąpiły sytuacje, gdy temperatura zewnętrzna osiągnęła wartość -20°C . Ciągłe utrzymywanie w przepisach budowlanych, pomimo ewidentnego ocieplenia klimatu, zbyt niskiej temperatury obliczeniowej budynków, wymusza zwiększenie nakładów inwestycyjnych na ocieplenie budynków oraz na źródła ciepła, które w praktyce mogą nigdy nie zostać użyte.

Rysunek 24. Zmienność średniodobowej temperatury zewnętrznej w latach 2011–2019



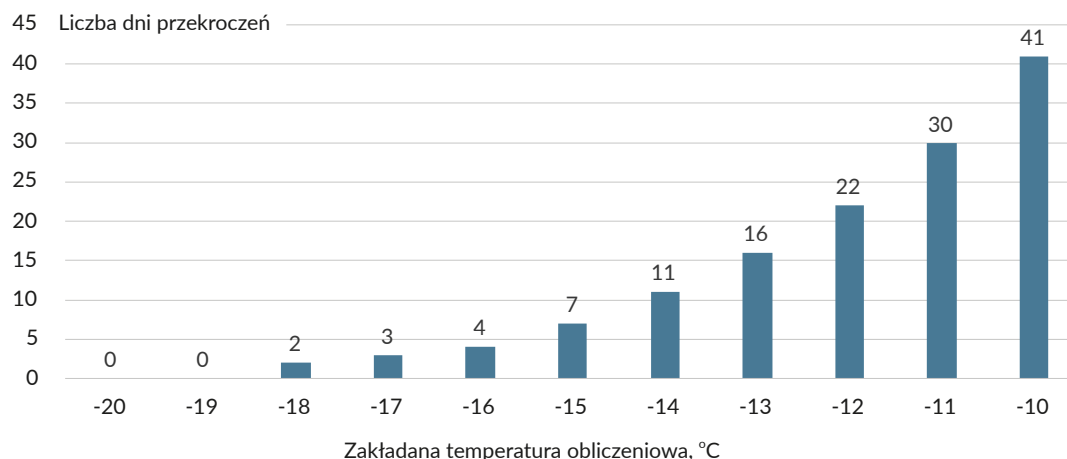
38

Źródło: szacunki własne IBS PW.

Aby przyjąć w niniejszej analizie temperaturę obliczeniową budynków wynoszącą -18°C , dokonano szacunku, ile razy w roku nastąpiłoby jej przekroczenie, stwarzające ryzyko pewnego niedogrzenia budynku. Wyniki przedstawiono na rysunku 25. Jak widać, przy temperaturze obliczeniowej równej -18°C , w ciągu 10 lat wystąpiłyby jedynie dwa dni z niższymi temperaturami zewnętrznymi. Warto jednocześnie zwrócić uwagę, że budynki posiadają dużą zdolność do akumulacji ciepła, wobec czego niewielkie przekroczenia temperatury obliczeniowej nie będą miały wpływu na komfort cieplny mieszkańców.

Problem może pojawić się przy dłuższych okresach trwania niskich temperatur – przez dwa lub więcej dni z rzędu. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w rozpatrywanym okresie nie było jednak takiej sytuacji, gdy średniodobowa temperatura zewnętrzna była niższa niż -18°C przez dwa kolejne dni. Mając na uwadze wyniki przeprowadzonych analiz, przyjęto do dalszych prac, że temperatura obliczeniowa wyniesie -18°C .

Rysunek 25. Liczba przekroczeń temperatury średniodobowej w ciągu 10 lat w zależności od zakładanej temperatury obliczeniowej



Źródło: szacunki własne IBS PW.

6.3. Układy technologiczne w zmodernizowanym systemie ciepłowniczym

W niniejszym rozdziale przedstawiono technologie, które mogą mieć zastosowanie przy produkcji ciepła w Warszawie.

Elektrociepłownia z turbiną wodorową

Turbina wodorowa jest alternatywą dla turbin gazowych spalających gaz ziemny w układach CCGT (ang. *Combined Cycle Gas Turbine*). Pozwala ona na bezemisyjną produkcję energii elektrycznej i ciepłej. Wodór, w porównaniu do gazu ziemnego, jest paliwem trudniejszym w spalaniu, przechowywaniu i transporcie. Postęp prac badawczych nad technologiami wodorowymi pozwala jednak na przyjęcie bloków wodorowych jako pewnej technicznie i operacyjnie opcji czystego źródła ciepła. Większość producentów deklaruje dostępność turbin gotowych do zasilania w 100% wodorem od 2030 r.

39

Elektrociepłownia z turbiną gazową + CCU

Technologia CCU (ang. *Carbon Capture and Utilization*) polega na wychwytcie CO₂ ze spalin celem następnego wykorzystania go, np. do wytworzenia produktów o zastosowaniu w budownictwie lub przemyśle chemicznym. Technologia ta może współpracować z elektrociepłownią z turbiną gazową spalającą gaz ziemny, minimalizując emisje CO₂. Wykorzystanie tego typu połączenia technologii może być konieczne w przypadku deficytu zielonego wodoru i dostępności metanu. Rozwiązanie to nie jest jednak rozważane w tym opracowaniu. Jego wadą jest to, że w sposób istotny pogarsza sprawność jednostki wytwórczej (gdyż znaczna ilość energii jest zużywana na wychwyty CO₂), ciągle nie ma też skutecznych sposobów wykorzystania CO₂.

Pompy ciepła

Pompa ciepła jest urządzeniem służącym do transportu ciepła od źródła o niższej temperaturze (dolne źródło) do odbiornika o wyższej temperaturze (nazywanego górnym źródłem). Do jej napędu można wykorzystać energię elektryczną (sprężarkowa pompa ciepła) bądź ciepło (sorpcyjna pompa ciepła). Pompy ciepła znajdują zastosowanie tam, gdzie dysponuje się dużą ilością czynnika (np. wody, powietrza) o podwyższonej temperaturze, która jednak nie jest wystarczająco wysoka, by wykorzystać ją w inny sposób. Pompa ciepła pozwala m.in. na wykorzystanie energii odpadowej zawartej w ściekach i układach chłodzenia centrów danych. Poza wspieraniem sieci ciepłowniczej, pompy ciepła mogą być zastosowane do bezpośredniego ogrzewania budynków oraz ciepłej wody użytkowej przy wykorzystaniu powietrza bądź gruntu jako dolnego źródła ciepła. Rozproszony charakter wytwarzania ciepła z wykorzystaniem pomp ciepła sprzyja zastosowaniu OZE – zarówno energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych czy elektrowni wiatrowych, jak też ciepła z kolektorów słonecznych. Wydajność pomp ciepła określa się współczynnikiem COP (ang. *Coefficient of Performance*), który dla sprężarkowych pomp ciepła określa stosunek uzyskanego ciepła do mocy włożonej celem jego uzyskania.

Kotły elektrodowe

Kotły elektrodowe to urządzenia zamieniające energię elektryczną na energię cieplną przez umieszczenie w specjalnym płynie grzewczym elektrod, między którymi następuje przepływ prądu. W płynie grzewczym występuje zjawisko elektrolizy. Energia może być następnie odebrana od ogrzanego płynu grzewczego. Znajdują one zastosowanie w systemach centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej. Sprawność urządzenia wynosi prawie 100%. Typowe moce urządzeń dla domów jednorodzinnych zawierają się w przedziale od kilku do kilkunastu kilowatów (z uwagi na wysoką sprawność są to zarówno moce cieplne, jak i elektryczne). Istnieją również instalacje o wyższych mocach przeznaczone do zasilania większych budynków. Kotły elektrodowe bardzo dobrze nadają się do wykorzystania nadmiarowej energii elektrycznej produkowanej z OZE.

Wielkoskalowe solarne podgrzewacze wody

Wielkoskalowe solarne podgrzewacze wody (centralne ogrzewanie słoneczne) to jednostki wytwórcze miejskiego systemu ciepłowniczego wykorzystujące energię słoneczną. Produkcja ciepła odbywa się w kolektorach słonecznych umieszczonych blisko siebie na dużej powierzchni (produkcja scentralizowana). Zazwyczaj stosuje się magazynowanie ciepła w pobliżu jednostki wytwórczej (wyspy solarnej), uzyskując 6–7 MW maksymalnej mocy cieplnej i 5 tys. MWh rocznie z hektara powierzchni kolektorów słonecznych. Wartości te są kilkukrotnie niższe, gdy zamiast hektara powierzchni kolektorów, rozważy się hektar powierzchni gruntu. W tym przypadku uzyskuje się około 1,5 MWh z hektara gruntu. Typowe sprawności średnioroczne wykorzystania energii słonecznej wynoszą ok. 40%.

Elektrolizery

Elektrolizery to urządzenia służące do przeprowadzenia procesu rozkładu wody na tlen i wodór pod wpływem przepływu prądu. Elektrolizer typu PEM wymaga do pracy temperatury czynnika wynoszącej ok. 80°C. Ciepło procesowe może (a wręcz powinno) zostać wykorzystane w systemie ciepłowniczym, zwiększając tym samym efektywność energetyczną całego procesu elektrolizy z poziomu 60–70% (tylko energia wodoru) do 85% (energia wodoru + ciepło odpadowe). W niniejszej analizie nie uwzględniono wykorzystania ciepła z elektrolizera ze względu na trudność w zdefiniowaniu jego wielkości i polityki Warszawy w zakresie wykorzystania zielonego wodoru. Najbardziej prawdopodobnym zastosowaniem tego paliwa będzie wykorzystanie go do napędu ciężkich pojazdów w transporcie miejskim. W przypadku podjęcia decyzji o produkcji lokalnej zielonego wodoru, należy zapewnić odbiór ciepła przez warszawską sieć ciepłowniczą.

Biogazownia

Biogazownia to zakład produkujący biogaz – mieszaninę gazów będącą produktem fermentacji beztlenowej materii organicznej. Jej źródłem mogą być m.in. odpady domowe, przemysłowe, pochodzenia zwierzęcego, rolniczego oraz osad kanalizacyjny. Biogaz składa się głównie z metanu (50–75%) oraz CO₂ (20–40%). Może zostać wykorzystany jako paliwo w silnikach gazowych bądź turbinach gazowych. Osiąga się sprawności rzędu 45% (elektryczna) oraz ponad 80% (kogeneracja). Rozwiązanie nie jest rozważane w opracowaniu, ponieważ zidentyfikowany potencjał biogazu jest pomijalnie mały.

Elektrociepłownia na odpady komunalne

Odpady komunalne mogą zostać wykorzystane jako paliwo w lokalnej elektrociepłowni – spalarni odpadów. Odpady są mieszane i rozdrabniane celem zwiększenia jednorodności paliwa. Stosuje się do tego kotły rusztowe oraz kotły ze złożem fluidalnym. Gorące spaliny służą do wytworzenia pary, która jest kierowana na turbinę parową, a następnie wymienniki ciepłownicze. Efektywne oczyszczanie spalin umożliwia spełnienie wszystkich norm emisji. Przyjęto osiągalną sprawność w kogeneracji 84%. W opracowaniu rozważono elektrociepłownię o mocy ciepłowniczej 54 MWt i 16 MWe mocy elektrycznej.

Elektrociepłownia na biomasę

Biomasa to paliwo organiczne w formie stałej. Może pochodzić ze specjalnej uprawy roślin energetycznych bądź być efektem zagospodarowania odpadów, np. z tartaku. Biomasa przyjmuje często formę brykietu (zbitą) oraz pelletu (granulatu), które są produkowane z trocin, wiórów czy też słomy. Spalanie biomasy celem wytworzenia energii elektrycznej i ciepła pozwala na osiągnięcie sprawności rzędu 70–90% w kogeneracji. Przyjęto osiągalną sprawność w kogeneracji 84%. Moc elektryczna elektrociepłowni rozważanej w opracowaniu wynosi 40 MWe, a cieplna 81 MW.

Elektrociepłownia jądrowa

Wytwarzanie ciepła w kogeneracji jest możliwe dla większości technologii reaktorowych, jest to jednak rozwiązanie rzadkie. Typami reaktorów, jakie mogą być rozważane są PWR, HTGR i SMR. Pierwszy z nich to obecnie budowane elektrownie jądrowe na cele generacji energii elektrycznej, które mogą posiadać moduł ciepłowniczy. Reaktory HTGR są w fazie rozwoju i ze względu na możliwość produkcji ciepła o wysokich parametrach, rozważane są w celu zasilania odbiorów przemysłowych. Obecnie największe nadzieje wiązane są z SMR (*Small Modular Reactor*), ale ta technologia jest na wczesnym etapie rozwoju. W opinii autorów nie ma możliwości zlokalizowania reaktora na terenie Warszawy lub w technicznie akceptowalnej odległości od miasta (nawet reaktora typu SMR). Jego budowa mogłaby jednak kompletnie rozwiązać problemy zasilania sieci ciepłowniczej. Ze względu na brak możliwości lokalizacji, energetyka jądrowa nie będzie rozważana w dalszej części pracy.

Akumulatory ciepła sezonowe (gruntowe PTES)

Akumulatory PTES (ang. *Pit Thermal Energy Storage*) to wielkoskalowe rozwiązanie polegające na przechowywaniu gorącej wody w zaizolowanym cieplnie zbiorniku umieszczonym w wykonanym w ziemi wykopie. Na zbiornik nałożone jest izolacyjne przykrycie. Spotykane są typowe pojemności zbiornika od 15 do 200 tys. m³, co przekłada się na energię magazynowaną wynoszącą do ok. kilkunastu GWh. Często współpracują one z wielkoskalowymi solarnymi podgrzewaczami wody.

Akumulatory ciepła sezonowe (gruntowe BTES)

Akumulatory BTES (ang. *Borehole Thermal Energy Storage*) to dużych rozmiarów magazyny energii cieplnej wykorzystujące pojemność cieplną gruntu, w który wpuszczone jest wiele podłużnych wymienników ciepła. Energia z ciepłego czynnika tłoczonego w głąb ziemi jest przekazywana do gruntu podczas ładowania, a odzyskiwana w procesie rozładowywania. Akumulator pracuje w cyklu rocznym, ogrzewając grunt latem i pobierając energię zimą. Często magazyn ten wykorzystuje się jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła. Osiąga się w ten sposób pojemności rzędu kilku GWh i objętości nawet 300 tys. m³.

41

Niskotemperaturowa sieć ciepłownicza

To sieć ciepłownicza, w której woda sieciowa ma temperaturę nawet poniżej 50°C. Z założenia w sieci takiej istotny jest wysoki udział wytwarzania prosumenckiego z OZE, jednak scentralizowana produkcja ciepła nie jest wykluczana. Zalety niskotemperaturowych sieci to m.in. niższe straty przesyłu ciepła z uwagi na niższą temperaturę, możliwość wykorzystania źródeł niskotemperaturowych oraz podniesienie sprawności w układach kogeneracyjnych.

Centra danych (DC)

Zidentyfikowano, że na terenie tzw. dawnej huty ma powstać centrum przetwarzania danych, moc elektryczna takiego centrum to ok. 50 MW, a temperatura ciepła wynosi ok. 40°C. Tego typu odbiory ciepła o stałych parametrach, ciągłej pracy i tak wysokiej temperaturze pozwalają na pracę pomp ciepła przy bardzo wysokich współczynnikach COP wynoszących 6. W związku z tym zdecydowano, że tego typu źródła ciepła powinny pracować inaczej niż inne pompy ciepła, tj. w sposób ciągły. To spowodowało, że takie źródło ciepła jest rozważane oddzielnie w dalszych analizach.

6.4. Scenariusze transformacji ciepłownictwa systemowego w Warszawie

W ramach niniejszej analizy opracowano dwa skrajne scenariusze technologiczne zapewniające produkcję ciepła dla warszawskiego systemu ciepłowniczego – **scenariusz centralny (S1)** i **rozproszony (S2)**. Różnią się one od siebie diametralnie technologiami wytwarzania ciepła oraz wielkością bilansu zużycia i produkcji energii elektrycznej.

Scenariusz centralny to maksymalizacja produkcji ciepła w jednostkach kogeneracyjnych opalanych zielonym gazem i dopełniających źródłach szczytowych oraz brak konieczności budowania magazynu ciepła. Jednostki wytwórcze są w tym przypadku zlokalizowane głównie w istniejących elektrociepłowniach. W tym scenariuszu wraz z produkcją ciepła powstaje energia elektryczna, która będzie wykorzystywana przez Warszawski Węzeł Elektroenergetyczny (WWE) lub eksportowana do KSE.

Z kolei scenariusz rozproszony do produkcji ciepła, zamiast syntetycznych gazów, wykorzystuje energię elektryczną, która napędza pompy ciepła ulokowane w wybranych węzłach sieci ciepłowniczej. W niniejszej analizie zaproponowano wykorzystanie warszawskich budynków do zabudowy instalacji fotowoltaicznych (PV). Produkcja energii elektrycznej w instalacjach PV jest konsumowana przez pompy ciepła. Nadmiarowe ciepło wyprodukowane latem jest akumulowane w sezonowych magazynach ciepła do wykorzystania podczas okresu grzewczego.

Mając świadomość, że oba scenariusze przedstawiają skrajnie różne kierunki transformacji warszawskiego systemu ciepłowniczego, a także biorąc pod uwagę wiedzę o ograniczeniach, jakie wynikają z analiz tych scenariuszy, opracowano **scenariusz rekomendowany (S3)**, będący mieszanką technologii występujących w S1 i S2.

Scenariusz rekomendowany (S3)

Ocena scenariuszy centralnego i rozproszonego wskazuje, że mogą być one trudne do realizacji z dwóch podstawowych przyczyn:

1. Potrzeba znaczących ilości zielonego gazu do napędu jednostek kogeneracyjnych w scenariuszu centralnym. W przypadku braku wystarczającej podaży zielonych gazów oraz trudności z budową magistral gazowych o wystarczającej przepustowości, cel neutralności klimatycznej warszawskiego systemu ciepłowniczego nie zostanie osiągnięty.
2. Drugą przyczyną, utrudniającą realizację pełnego scenariusza rozproszonego, to ograniczone możliwości przesłania wystarczających wolumenów energii elektrycznej do Warszawy z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Należy pamiętać, że równolegle do elektryfikacji ciepłownictwa, będzie następowała elektryfikacja transportu w mieście, co może razem doprowadzić do podwojenia zapotrzebowania na energię przez WWE.

42

Wszystkie zaprezentowane scenariusze odnoszą się do popytu na ciepło wynikającego z progresywnego wariantu termomodernizacji, czyli 3% budynków ocieplanych rocznie do standardu WT 2021.

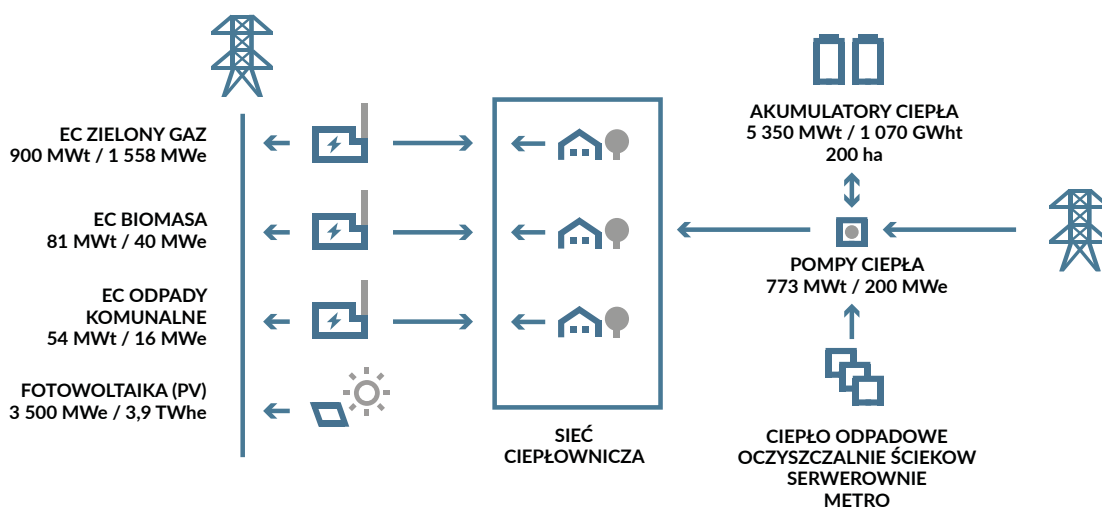
Na etapie tego opracowania nie określono szczegółowo lokalizacji poszczególnych źródeł ciepła. Ich umiejscowienie będzie wynikać z warunków hydraulicznych pracy sieci ciepłowniczej, dostępności terenu i możliwości doprowadzenia mediów. Lokalizację jednostek kogeneracyjnych będzie determinowała głównie możliwość wyprowadzenia mocy ciepłowniczej (zakłada się, że będą to jednostki o znaczącej mocy ciepłowniczej) oraz możliwość doprowadzenia paliwa. W związku z tym naturalne wydają się być obecne lokalizacje źródeł ciepła warszawskiego systemu ciepłowniczego. Lokalizacja pomp ciepła, niezbędnych do pracy w tym wariantcie, będzie determinowana głównie przez dostępność terenu.

Główne założenia do budowy scenariusza rekomendowanego (S3):

- Jednostki kogeneracyjne opalane zielonym gazem (1 558 MWe/901 MWt) są podstawowym źródłem ciepła. Czas wykorzystania mocy wynosi 5 tys. godzin rocznie.
- Jednostka kogeneracyjna na biomasę (40 MWe/81 MWt) pracuje w sezonie grzewczym.
- Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych (16 MWe/54 MWt) pracuje w podstawie.
- Pompy ciepła (723 MWt) pracują jako urządzenia do wykorzystania nadmiarów energii elektrycznej w okresie letnim i zmagazynowania jej w postaci ciepła.
- Sezonowy magazyn ciepła (1 070 GWh) gromadzi nadmiar ciepła generowanego w okresie letnim w celu wykorzystania go w okresie zimowym. Powierzchnia terenu potrzebna do budowy magazynu wynosi ok. 150–200 ha.

Symboliczną wizualizację podstawowych elementów systemu przedstawia rysunek 26.

Rysunek 26. Główne elementy składowe warszawskiego systemu ciepłowniczego w 2050 r.



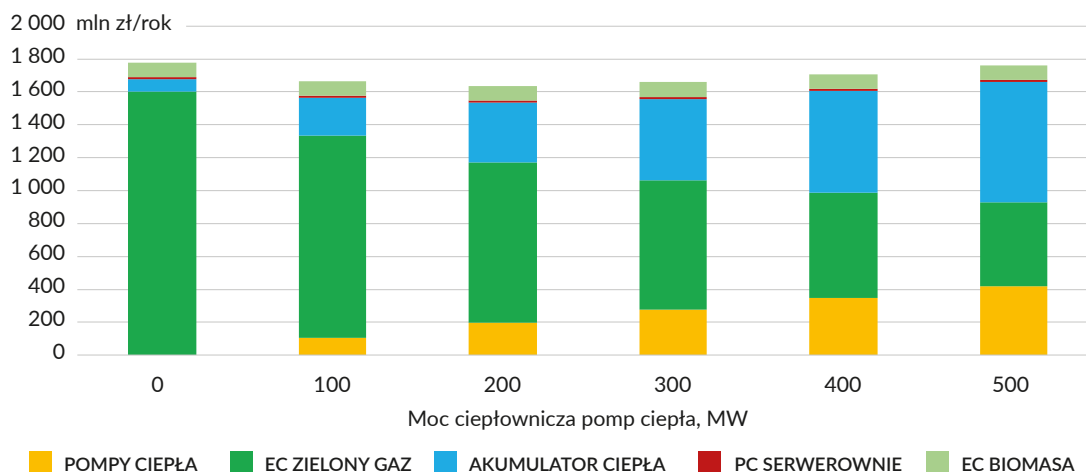
Źródło: opracowanie Forum Energii.

Należy zaznaczyć, że w opisywanym scenariuszu przyjęto tylko podstawowy zestaw urządzeń, w jakie będzie wyposażony system ciepłownicz. Jednak zaproponowany układ technologiczny jest oczywiście wystarczający dla zapewnienia odpowiedniej ilości ciepła na potrzeby systemu ciepłowniczego. W rzeczywistości przewiduje się, że układy technologiczne będą bardziej skomplikowane, a ich dobór będzie wynikiem bieżącej optymalizacji ekonomicznej. Przykładem tego mogą być kotły elektrodowe pozwalające wykorzystać nadwyżki taniej energii elektrycznej, która już nie będzie mogła być przetworzona na ciepło w pompach ciepła. Nie wyklucza się również powstania w przyszłości farm kolektorów słonecznych (wysp solarnych) służących do podgrzewu wody sieciowej. W niniejszej pracy założono jednak, że nie będą one stosowane, ponieważ konkurowałyby o miejsce z magazynami ciepła. Dodatkowo dają one znacznie mniejszą elastyczność operacyjną niż ogniwa fotowoltaiczne. Obserwując też tendencje cenowe, należy się spodziewać, że instalacje ogniów fotowoltaicznych w przyszłości będą znacznie tańsze od kolektorów słonecznych.

43

W ramach przeprowadzonych wyliczeń wykonano analizę optymalizacyjną w celu znalezienia minimum nakładów inwestycyjnych dla trzech zmiennych – mocy pomp ciepła, mocy jednostek kogeneracyjnych i pojemności akumulatora ciepła. Na rysunku 27 przedstawiono wyniki obliczeń.

Rysunek 27. Średnioroczne zdyskontowane koszty stałe wynikające nakładów inwestycyjnych w zależności od mocy pomp ciepła



Źródło: analiza własna IBS PW.

Z przedstawionych wyliczeń wynika, że minimum nakładów inwestycyjnych występuje przy wielkości mocy zainstalowanej pomp ciepła na poziomie 200 MWe. W związku z tym, do dalszych analiz przyjęto moc 200 MWe pomp ciepła jako wartość wymagającą najmniejszych nakładów finansowych.

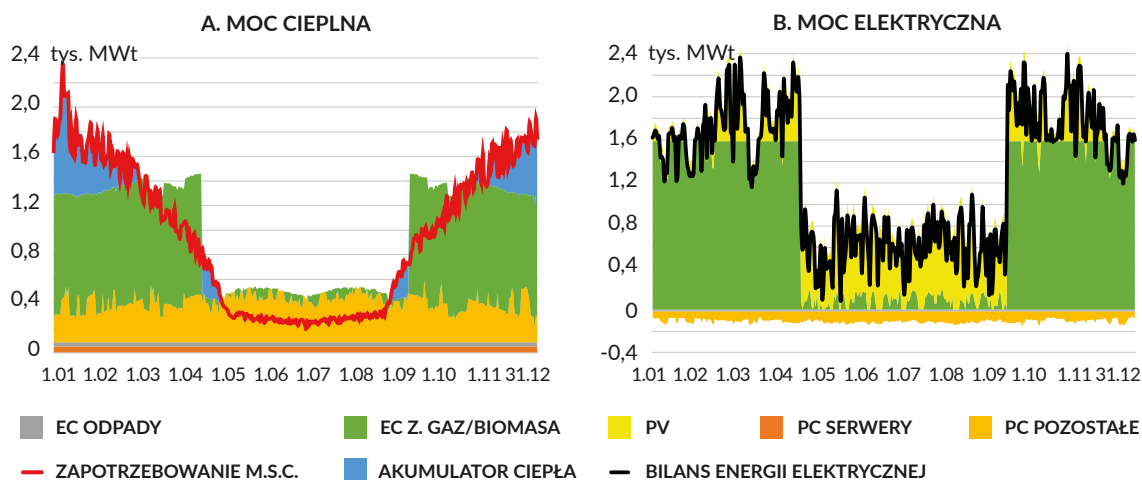
W scenariuszu rekomendowanym praca pomp ciepła podąża za profilem produkcji energii z fotowoltaiki. W konsekwencji średniodobowy bilans energii elektrycznej związanej z zaopatrzeniem w ciepło sieciowe jest zawsze dodatni (rysunek 28B). Elektrociepłownia pracuje głównie w sezonie grzewczym dla zbilansowania potrzeb cieplnych. Jednocześnie, dzięki możliwości akumulacji ciepła, praca jednostek kogeneracyjnych podporządkowana jest również bieżącym potrzebom KSE. Zakłada się, że biomasa może być akumulowana, a jednostki kogeneracyjne opalane biomasą pracują podobnie jak turbiny gazowe. Jednostka zasilana odpadami komunalnymi pracuje w podstawie, czyli ze stałą średnią mocą przez cały rok (oczywiście z uwzględnieniem okresów remontowych). Wynika to z faktu, że magazynowanie odpadów jest kosztowne.

W okresie jesienno-zimowym następuje rozładowanie sezonowych akumulatorów energii zasilonych w okresie letnim. Ze względu na wysoką sprawność termiczną akumulatorów oraz dzięki obniżeniu temperatury wody w sieci ciepłowniczej Warszawy, powstanie możliwość bezpośredniego wykorzystania ciepła z akumulatorów praktycznie bez użycia pomp ciepła (rysunek 28A). Magazyn ciepła służy nie tylko jako magazyn, ale również jako źródła szczytowe ciepła, przez co nie ma konieczności budowy dodatkowych urządzeń szczytowych.

W scenariuszu rekomendowanym uwzględniono również to, że okresach nadmiaru energii elektrycznej generowanej z energetyki wiatrowej, praca elektrociepłowni powinna być ograniczana, a w okresach letnich, kiedy występują niedobory energii elektrycznej generowanej ze źródeł wiatrowych, powinny one wspierać system.

Rysunek 28. Dobowa średnia moc cieplna i elektryczna jednostek w ciągu roku*

44

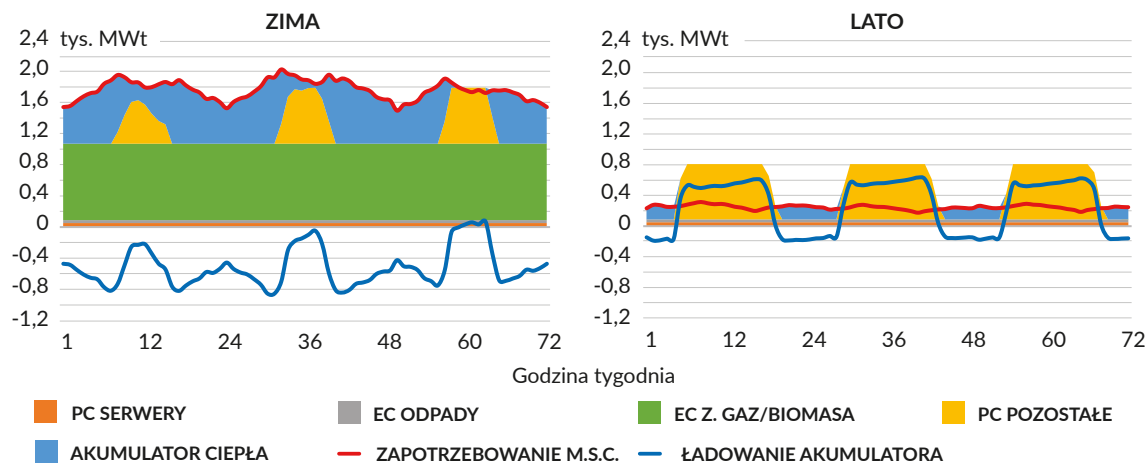


* Bilans energii elektrycznej uwzględnia wyłącznie produkcję energii elektrycznej we wszystkich elektrociepłowniach oraz instalacjach PV na terenie Warszawy, a także zużycie energii elektrycznej w pompach ciepła.

Źródło: analiza własna IBS PW.

Specyfikę pracy urządzeń cieplnych przedstawia rysunek 29. Widać tutaj, że w okresie zimowym ciepło produkowane jest w jednostkach kogeneracyjnych oraz przez pompy ciepła. Brakująca nocą ilość ciepła, jest pobierana z sezonowego magazynu ciepła. Podczas dnia pompy ciepła zasilane są energią z PV i wspomagają pracę układu. Podczas słonecznych okresów mogą zdarzyć się także dni z nadprodukcją ciepła z pomp i wtedy nadwyżki ciepła kierowane są do magazynu ciepła. Latem ciepło jest produkowane przez pompy ciepła zasilane energią z PV. Nadwyżki ciepła wyprodukowane w ciągu dnia służą do ładowania akumulatorów ciepła. Nocą ciepło nie jest produkowane przez pompy, ale pobierane z akumulatorów.

Rysunek 29. Dobowa produkcja ciepła przez poszczególne urządzenia oraz praca akumulatora ciepła w wybranych dniach zimą oraz latem



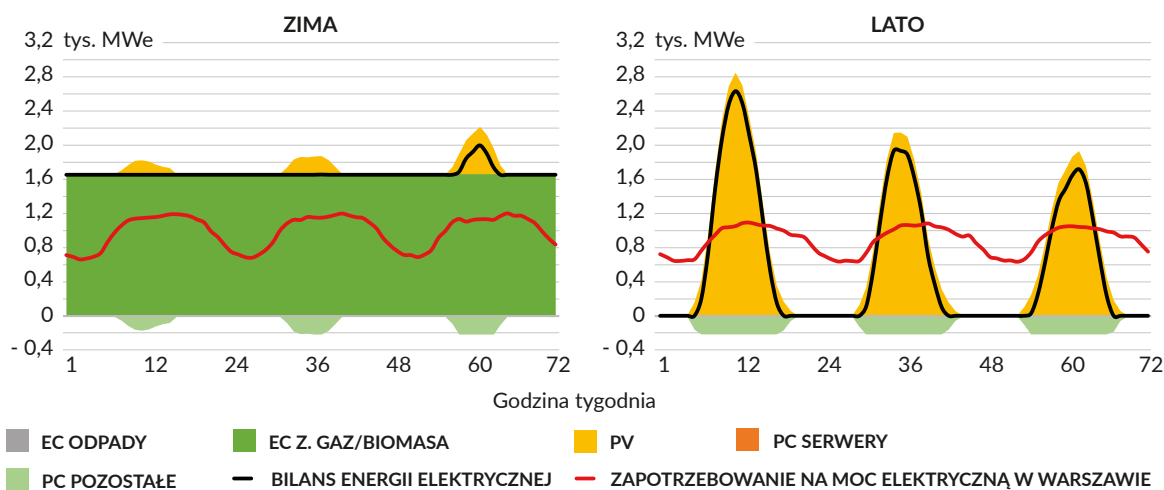
Źródło: analiza własna IBS PW.

Profil produkcji energii elektrycznej został zobrazowany na rysunku 30. W okresie zimowym moc jednostek kogeneracyjnych zdecydowanie przekracza zapotrzebowanie na moc pomp ciepła, wobec czego bilans energii elektrycznej związanej z zaopatrzeniem w ciepło jest dodatni. Dalszą poprawę bilansu zapewnia produkcja energii przez instalacje PV, które również zimą pozostają czynne. W konsekwencji chwilowa generacja mocy w godzinach dziennych może przekraczać 2 tys. MWe, przekraczając o ok. 800–700 MWe szczytowe zapotrzebowania na energię elektryczną dla Warszawy, jakie notujemy obecnie zimą.

45

Oznacza to, że w godzinach okołopołudniowych miasto będzie generowało nadwyżki energii, które muszą być wyeksportowane do KSE. Wymaga to odpowiedniego wzmocnienia i zmodernizowania infrastruktury energetycznej. Bilans ten będzie silnie zależał od tego, jak słoneczny będzie dzień. Jako dni zimowe wybrano te o mniejszej generacji energii ze słońca. W okresie letnim PV może generować do około 3,5 tys. MWe (na rysunku w wybranych dniach na poziomie 2 tys. MW), przekraczając o ok. 2 tys. MWe obecne potrzeby miasta. Natomiast w nocy miasto stanie się importerem energii. Widać, że pełne wykorzystanie potencjału powierzchni dachów budynków może wymagać silnego przekonstruowania Warszawskiego Węzła Elektroenergetycznego.

Rysunek 30. Bilans energii elektrycznej w wybranych dniach zimą oraz latem*



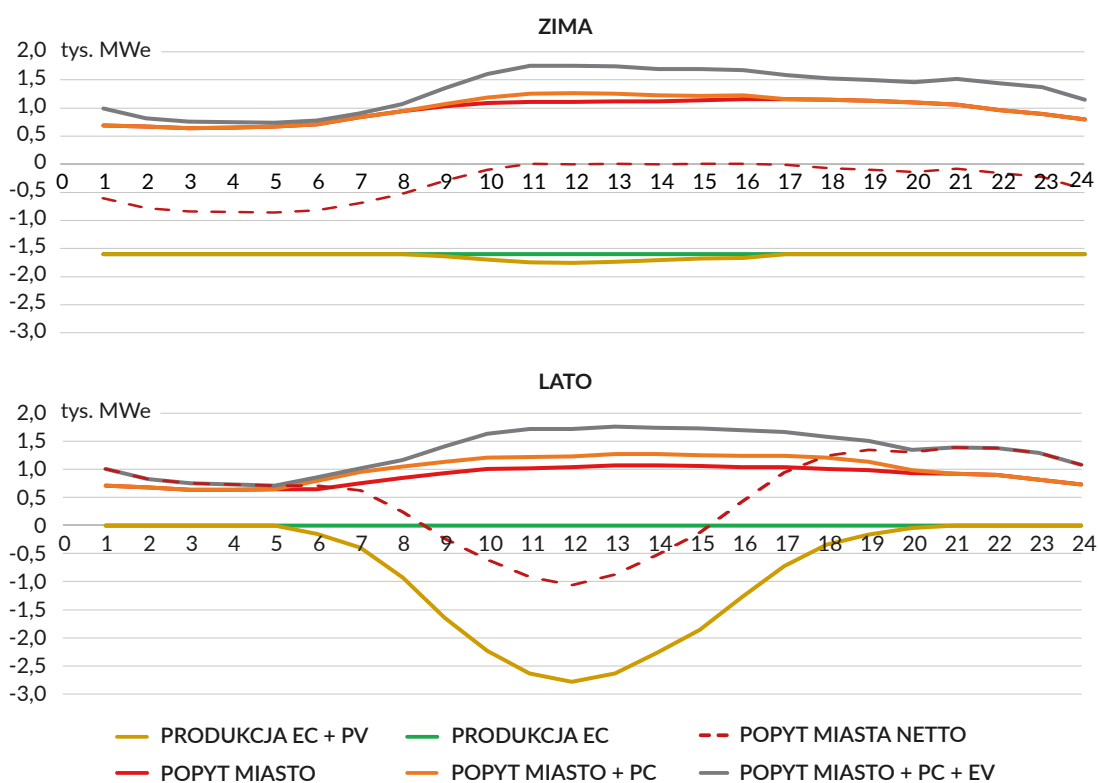
* Bilans energii elektrycznej uwzględnia wyłącznie produkcję energii elektrycznej we wszystkich elektrociepłowniach oraz instalacjach PV na terenie Warszawy, a także zużycie energii elektrycznej w pompach ciepła.

Źródło: analiza własna IBS PW.

W rzeczywistości moc instalacji PV będzie zapewne mniejsza, więc naszkicowany tutaj problem nie będzie aż tak poważny. Pojawią się również dodatkowe odbiory energii w wyniku rozwoju transportu elektrycznego oraz rozbudowy miasta, które skonsumują nadwyżki, co zobrazowano na kolejnym wykresie (rysunek 31).

Dobowy bilans mocy z perspektywy Warszawskiego Węzła Elektroenergetycznego ma wygląd nieco bardziej złożony. Na dotychczasowy dobowy profil zapotrzebowania na moc przez miasto nałożono prognozowany profil zapotrzebowania na energię przez pojazdy elektryczne w Warszawie w 2050 r. (opracowany we wcześniejszej analizie Forum Energii¹⁸) oraz zapotrzebowanie na moc przez pompy ciepła. Po stronie wytwarzania energii w źródłach lokalnych przedstawiona jest moc jednostek kogeneracyjnych w systemie ciepłowniczym Warszawy oraz lokalne instalacje PV.

Rysunek 31. Bilans energii elektrycznej uwzględniający lokalną produkcję i dotychczasowe zapotrzebowania miasta, dodatkowe zasilanie samochodów elektrycznych oraz pomp ciepła w wybranej dobie zimowej i letniej



Źródło: analiza własna IBS PW.

Jak widać, wprowadzenie transportu elektrycznego oraz wykorzystywanie pomp ciepła w systemie ciepłowniczym wywoła wzrost zapotrzebowania na moc szczytową w czasie szczytu dziennego o ok. 60% – z poziomu 1 100 MWe do 1 750 MWe. Należy pamiętać, że duża część budynków w Warszawie też będzie przechodziła na bezemisyjne źródła ogrzewania i chłodzenia, czyli zapewne pompy ciepła. Warto podkreślić, że pompami ciepła pracującymi na potrzeby zasilania systemu ciepłowniczego, będzie można sterować na użytek systemu elektroenergetycznego dzięki zastosowaniu magazynów ciepła. Takiej możliwości mogą nie mieć pompy ciepła zasilające indywidualnych odbiorców. Zatem poważnym wyzwaniem stanie się w przyszłości zapewnienie właściwej podaży mocy do Warszawskiego Węzła Elektroenergetycznego.

18 Forum Energii, Polska neutralna klimatycznie 2050. Elektryfikacja i integracja sektorów, 2020, <https://www.forum-energii.eu/public/upload/articles/files/analiza%20-%20Polska%202050%20neutralna%20klimatycznie.pdf>.

Jednym ze sposobów na pokrycie potrzeb energetycznych będzie budowa instalacji PV na budynkach w mieście oraz jednostek kogeneracyjnych. Wykresy na rysunku 31 pokazują, że dzięki lokalnym źródłom energii elektrycznej miasto może być dobrze zbilansowane, a czasami stać się eksporterem energii. Warunkiem jest jednak zwiększenie tempa budowy instalacji PV na dachach budynków lub wzrost mocy jednostek kogeneracyjnych (co przy spodziewanych deficytach podaży zielonych gazów może okazać się trudne do wykonania). Przyrost mocy w PV powinien być skorelowany z przyrostem mocy zarządzanych pomp ciepła, pozwalających na wykorzystanie generacji ze zmiennych źródeł OZE.

W dalszej części niniejszego rozdziału zaprezentowane zostały (w sposób nieco bardziej uproszczony) skrajne scenariusze, które wyznaczają maksymalne parametry dla jednostek kogeneracyjnych (S1) i pomp ciepła oraz sezonowych magazynów energii (S2).

Scenariusz centralny (S1)

Główne założenia:

- W tym scenariuszu jednostki kogeneracyjne opalane zielonym gazem są podstawowym źródłem ciepła (3657 MWe/2116 MWt).
- Jednostka kogeneracyjna na biomasę pracuje jako wsparcie (81 MWe/40 MWt).
- Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych pracuje w podstawie (16 MWe/54 MWt).
- Pompy ciepła pracują w takim zakresie, aby nie było potrzeby magazynowania ciepła (1012 MWt).
- Pompy ciepła pobierają ciepło z serwerowni (50 MWt).
- Kotły elektrodowe wykorzystywane są do zapewnienia mocy szczytowej (321 MWt).
- Brak sezonowych magazynów ciepła.

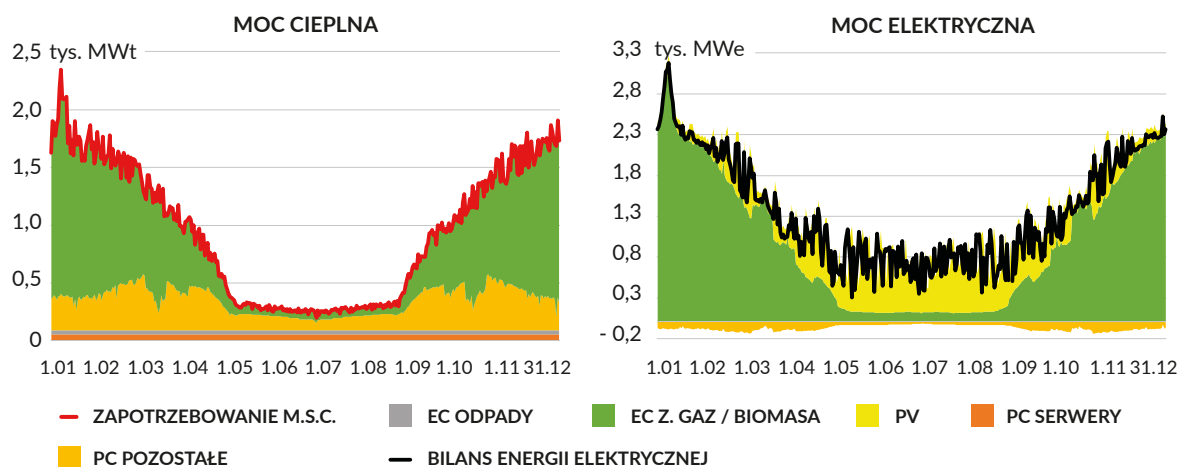
47

Scenariusz ten będzie wymagał najmniejszych zmian w systemie ciepłowniczym. Podstawą zasilania staną się wówczas centralne jednostki kogeneracyjne spalające zielony wodór lub biometan. Jednostki te stanowiąc będą równocześnie wsparcie systemu elektroenergetycznego. Dopuszcza się, że źródłami wytwórczymi w przyszłości mogą być nie tylko turbiny gazowo-parowe, ale także silniki tłokowe (ze względu na większą elastyczność pracy). Do dalszych analiz przyjęto, że będą to turboszespoły parowo-gazowe na wodór lub biometan. Praca tych jednostek odbywałaby się głównie poza sezonem letnim. W warunkach operacyjnych elektrociepłownia będzie mogła być uruchamiana również w okresie letnim w przypadku deficytu energii elektrycznej. W proponowanym układzie technicznym, oprócz jednostek zasilanych zielonym gazem, pracować będzie także jednostka spalająca biomasę oraz jednostka wykorzystująca odpady komunalne.

Na rysunku 32 przedstawiono średniodobowy wykres pracy urządzeń w ciągu roku (dla progresywnego wariantu termomodernizacji). Zielony gaz i biomasa prezentowane są razem jako elektrociepłownia (EC). W podstawie systemu ciepłowniczego pracują zakład termicznego przekształcania odpadów oraz pompy ciepła odzyskujące energię odpadową z serwerowni. Pompy ciepła bilansowane energią z instalacji PV dobrane są tak, aby produkcja ciepła w okresie letnim nie wymagała magazynowania sezonowego.

Bilans energii elektrycznej zobrazowany jest z perspektywy procesu związanego z wytwarzaniem ciepła, to znaczy – uwzględnia produkcję energii elektrycznej w jednostkach kogeneracyjnych oraz w instalacjach PV w Warszawie, a także zużycie energii elektrycznej przez pompy ciepła zasilające sieć ciepłowniczą.

Rysunek 32. Dobowa średnia moc cieplna i elektryczna jednostek w ciągu roku*



* Bilans energii elektrycznej uwzględnia wyłącznie produkcję energii elektrycznej we wszystkich elektrociepłowniach oraz instalacjach PV na terenie Warszawy, a także zużycie energii elektrycznej w pompach ciepła.

Źródło: analiza własna IBS PW.

Scenariusz rozproszony (S2)

Główne założenia:

48

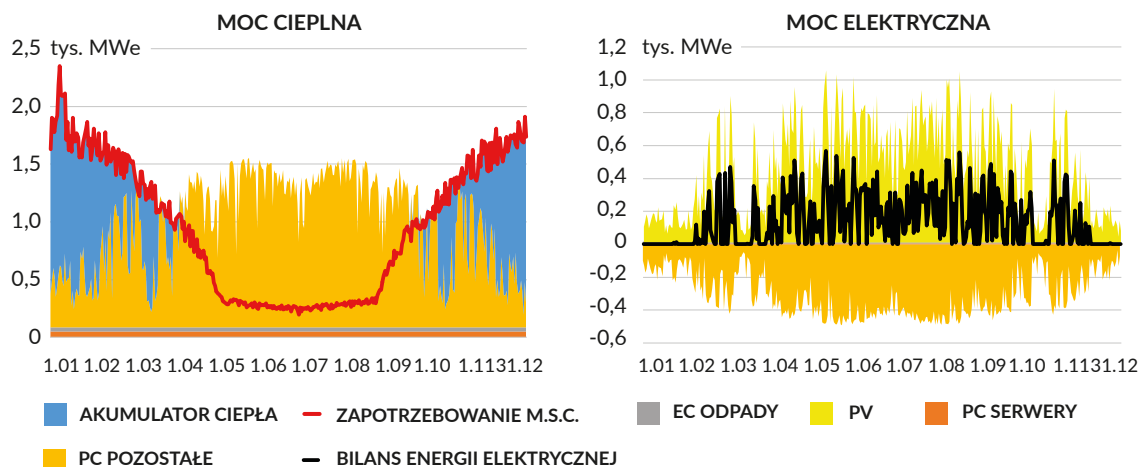
- Rozproszone pompy ciepła zasilane energią odnawialną ze zmiennych źródeł OZE jako podstawowe źródło ciepła (2 982 MWt).
- Pompy ciepła pobierające ciepło z serwerowni (50 MWt).
- Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych pracuje w podstawie (16 MWe/54 MWt).
- Sezonowy magazyn ciepła o pojemności około 3 840 GWh gromadzi nadmiar ciepła generowanego w okresie letnim w celu wykorzystania go w okresie zimowym.
- Brak jednostek kogeneracyjnych opalanych biomasą oraz jednostek gazowych (wodorowych).

W scenariuszu rozproszonym przyjęto podstawowe założenie, że nie ma centralnych źródeł ciepła, a jego wytwarzanie jest całkowicie rozproszone. Pozostają źródła takie, jak termiczne przekształcanie odpadów oraz odzysk ciepła z centrów danych. Praktycznie całe ciepło niezbędne do zasilania systemu ciepłowniczego wytwarzane jest w rozproszonych pompach ciepła. Do modelowania przyjęto, że pompy ciepła korzystają głównie z energii elektrycznej generowanej przez miejskie instalacje PV. W warunkach rzeczywistych energia będzie pochodziła z krajowego systemu elektroenergetycznego, czyli część energii pochodzić będzie ze źródeł PV zamontowanych w Warszawie, a część z innych zmiennych źródeł OZE.

W opisywanym scenariuszu system ciepłowniczy będzie mógł przejmować bardzo duże nadwyżki energii elektrycznej z generacji ze słońca w postaci ciepła. Realizacja takiego scenariusza wymaga jednak budowy bardzo dużych sezonowych magazynów ciepła. Objętość takiego magazynu szacowana jest na 3,8 TWh (około 80 mln m³). Obszar pod budowę takiego magazynu to ok. 500 ha (w technologii PTES – akumulatory zakopane w gruncie). Zakłada się, że ze względów operacyjnych magazyny te będą rozproszone i budowane tam, gdzie ich lokalizacja będzie możliwa. Z pewnością do lokowania największych magazynów sezonowych ciepła wykorzystać można tereny obecnych elektrociepłowni. Przykładowy roczny przebieg pracy układu pokazano na rysunku 33 (dla progresywnego wariantu termomodernizacji W2).

Tak jak poprzednio, bilans energii elektrycznej zobrazowany jest z perspektywy procesu związanego z wytwarzaniem ciepła, to znaczy uwzględnia produkcję energii elektrycznej w jednostce kogeneracyjnej (TPOK) oraz w instalacjach PV w Warszawie, a także zużycie energii elektrycznej przez pompy ciepła zasilające sieć ciepłowniczą.

Rysunek 33. Dobowa średnia moc cieplna i elektryczna jednostek w ciągu roku*



* Bilans energii elektrycznej uwzględnia wyłącznie produkcję energii elektrycznej we wszystkich elektrociepłowniach oraz instalacjach PV na terenie Warszawy, a także zużycie energii elektrycznej w pompach ciepła.

Źródło: analiza własna IBS PW.

Porównanie przyjętych scenariuszy

W tabeli 8 przedstawiono kluczowe parametry techniczne i operacyjne pozwalające na łatwiejsze porównanie opisanych scenariuszy i ich ocenę. Scenariusze S1 i S2 wyznaczają granice technologiczne, w jakich może się rozwijać budowanie systemu ciepłowniczego w przyszłości i dobór urządzeń wytwórczych. Scenariusz rekomendowany (S3) jest próbą znalezienia optimum techniczno-ekonomicznego, będącego mieszanką technologii zastosowanych w skrajnych scenariuszach S1 i S2.

Każdy ze scenariuszy pokrywa zapotrzebowanie na ciepło, którego poziom został wyliczony w progresywnym wariacie termomodernizacji budynków w Warszawie. Odmiennie wielkości produkcji w scenariuszach są konsekwencją różnych poziomów strat energii w akumulatorach ciepła i sieci przesyłowej.

Tabela 9 ukazuje istotne różnice koncepcyjne scenariuszy, które mają wspólny cel, jakim jest osiągnięcie neutralności klimatycznej ciepłownictwa w Warszawie.

Tabela 8. Zestawienie podstawowych danych o mocach i wielkości produkcji w scenariuszach

Rodzaj źródła	Scenariusz centralny (S1)		Scenariusz rozproszony (S2)		Scenariusz rekomendowany (S3)	
	Moc	Produkcja	Moc	Produkcja	Moc	Produkcja
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Ciepło						
Odzysk ciepła z serwerowni	50	438	50	438	50	438
Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych	54	317	54	317	54	317
Pompy ciepła	1 012	2 269	2 982	8 072	723	2 901
Elektrociepłownia – biomasa	81	404	0	0	81	404
Elektrociepłownia – wodór	2 116	4 858	0	0	901	4 507
Kocioł elektrodowy	321	0	0	0	0	0
Razem	3 634	8 286	3 086	8 827	1 809	8 566
Magazyn energii	-	-	19 200	3 840	5 350	1 070
Energia elektryczna						
Odzysk ciepła z serwerowni	-8	-73	-8	-73	-8	-73
Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych	16	94	16	94	16	94
Pompy ciepła	-300	-673	-994	-2 691	-200	-803
Elektrociepłownia – biomasa	40	202	0	0	40	202
Elektrociepłownia – wodór	3 657	8 397	0	0	1 558	7 789
Razem (bilans energii elektrycznej)	3 405	7 947	-986	-2 670	1 406	7 209
Produkcja energii elektrycznej z PV	3 545	3 900	3 545	3 900	3 545	3 900
Całkowity bilans wraz z produkcją z PV	6 950	11 847	2 559	1 230	4 951	11 109
Zużycie paliwa (GWh)						
Zielony wodór	14 478		0		13 430	
Biomasa	721		721		721	
Odpady komunalne	514		514		514	

Źródło: opracowanie własne IBS PW.

Tabela 9. Zestawienie zalet i wad realizacji scenariuszy centralnego i rozproszonego

	Scenariusz centralny (S1)	Scenariusz rozproszony (S2)
Zalety	<ul style="list-style-type: none"> Nie wymaga zmian w systemie ciepłowniczym (m.in. nie jest tak bardzo istotne obniżenie parametrów pracy sieci ciepłowniczej), duża generacja energii elektrycznej ze źródeł sterowalnych (EC na zielony gaz) daje możliwość istotnej poprawy bilansu energii elektrycznej miasta 	<ul style="list-style-type: none"> Duża zdolność przyjmowania nadwyżek energii z układów PV ze względu na dużą moc pomp ciepła i istnienie dużych magazynów ciepła, rozproszenie daje możliwość zmniejszenia wielkości przepływów w sieci ciepłowniczej, możliwość elastycznej pracy i oferowania usługi DSR na rzecz systemu elektroenergetycznego, możliwość pracy w formie sieci wyspowych zasilanych indywidualnymi źródłami, co zmniejszy straty energii w przesyłce ciepła
Wady	<ul style="list-style-type: none"> Duże zużycie zielonych gazów, których może w przyszłości brakować, problemy związane z budową nowych magistral wodorowych – ryzyko braku sieci przesyłowych (problem nie występuje w przypadku użycia biometanu) 	<ul style="list-style-type: none"> Negatywny wpływ na bilans energii elektrycznej miasta, szczególnie w okresie zimowym, konieczność obniżenia temperatury w sieci, ponieważ większość ciepła dostarczana jest przez pompy, potencjalny problem z brakiem możliwości lokalizacji dolnych źródeł ciepła

Źródło: opracowanie własne IBS PW.

6.5. Koszt ogrzewania

Założenia ekonomiczne

Do obliczeń nakładów inwestycyjnych przyjęto wielkości takie, jak pokazano w tabeli 10.

Tabela 10. Zestawienie założeń do obliczeń nakładów inwestycyjnych oraz kosztów stałych

Rodzaj urządzeń	Koszt jednostkowy		Okres naliczania raty kapitałowej	Stopa stałych kosztów operacyjnych w relacji do kosztów inwestycyjnych
Sezonowy magazyn ciepła	3 905	zł/MWh	20	0,2%
Blok gazowo-parowy na paliwa syntetyczne	10,5	mln zł/MWt	15	2,0%
Blok gazowo-parowy na gaz ziemny	9,45	mln zł/MWt	15	2,0%
Pompy ciepła	2	mln zł/MWt	10	1,9%
Elektrociepłownia biomasowa	12,5	mln zł/MWt	20	2%
Kocioł gazowy	0,6	mln zł/MWt	15	2%

Źródło: opracowanie własne IBS PW.

Do obliczeń kosztów ciepła przyjęto założenia przedstawione w tabeli 11. W analizie założono jedną cenę energii jako cenę sprzedaży energii elektrycznej z elektrociepłowni oraz zakupu, ponieważ zakłada się, że operatorem systemu będzie jeden podmiot. Energia do zasilania pomp ciepła będzie musiała być obciążona kosztami przesyłu i dystrybucji, ponieważ przesył energii będzie odbywał się z wykorzystaniem publicznej sieci elektroenergetycznej. Należy jednak mieć świadomość, że w roku 2050 rynek energii może wyglądać zupełnie inaczej, co może istotnie wpłynąć na koszty i przychodu systemu.

Tabela 11. Zestawienie kosztów jednostkowych nośników energii i kosztów uprawnień do emisji CO₂

Paliwo	Maksymalny koszt	Jednostka
Wodór*	245	zł/MWh
Cena za energię elektryczną	450	zł/MWh
Koszty przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej (na potrzeby zasilania pomp ciepła)	284	zł/MWh
Gaz ziemny	234	zł/MWh
CO ₂	200	euro/Mg

* T. Adamczewski, M. Jędra, *Zielone gazy. Biometan i wodór w Polsce*, Forum Energii, 2021, https://forum-energii.eu/public/upload/articles/files/41_Zielone_gazy_10.pdf.

Źródło: opracowanie własne IBS PW.

Na rysunku 34 przedstawiono całkowite zestawienie nakładów inwestycyjnych związanych z budową poszczególnych scenariuszy układów wytwarzania i magazynowania ciepła. W nakładach tych ujęto następujące typy źródeł:

- jednostki kogeneracyjne zasilane zielonym gazem,
- pompy ciepła do odzysku ciepła niskoenergetycznego,
- pompy ciepła do odzysku ciepła z serwerowni,
- elektrociepłownia biomasowa,
- magazyny ciepła.

52

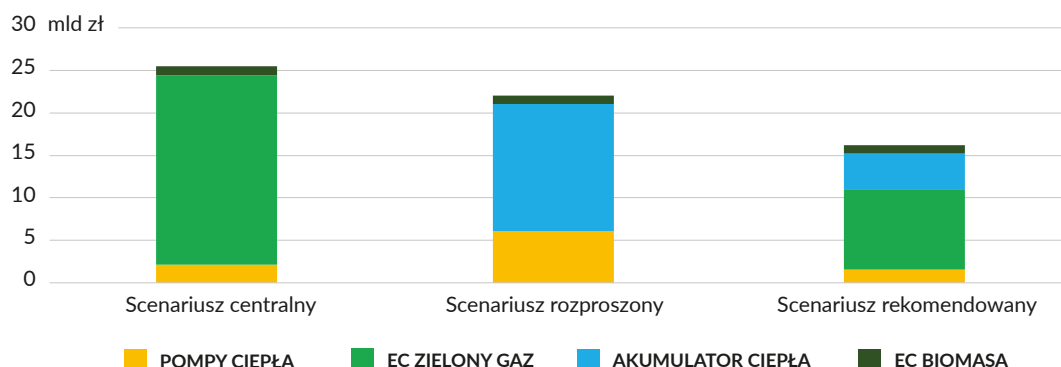
W nakładach inwestycyjnych nie ujęto kosztów budowy Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych, ponieważ budowa ZTPOK jest finansowana ze środków miejskich przeznaczonych na realizację gospodarki odpadami. Produkowane ciepło zostało oczywiście uwzględnione w bilansach energetycznych systemu ciepłowniczego.

Należy również zwrócić uwagę na to, że do analizy CAPEX przyjęto 100% nakładów na budowę jednostek kogeneracyjnych, pomimo że jednostki te będą budowane głównie na potrzeby bilansowania energii elektrycznej w Warszawie lub Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. W związku z tym znaczna część kosztów budowy powinna być przypisana do energii elektrycznej, a tylko część do produkcji ciepła. W analizie kosztów wytworzenia ciepła przychody ze sprzedaży energii elektrycznej pomniejszają koszty wytworzenia ciepła zgodnie z obecną metodologią wyliczania.

W nakładach inwestycyjnych nie ujęto też kosztu budowy instalacji PV ani kosztu wzmocnienia infrastruktury energetycznej, ponieważ te wydatki będą elementem rynku energii i zostaną odzwierciedlone w cenie energii elektrycznej.

Rysunek 34 pokazuje, że scenariusz centralny jest najdroższy. Głównym wydatkiem jest koszt budowy jednostek kogeneracyjnych opalanych zielonym gazem. Koszt realizacji scenariusza rozproszonego jest niższy od scenariusza centralnego, mimo budowy bardzo dużych magazynów ciepła. W wyniku przeprowadzonej analizy optymalizacyjnej nakładów inwestycyjnych udało się znaleźć pewne optimum kosztowe, które odzwierciedla scenariusz rekomendowany.

Rysunek 34. Zestawienie całkowitych nakładów inwestycyjnych na budowę źródeł ciepła



Źródło: analiza własna IBS PW.

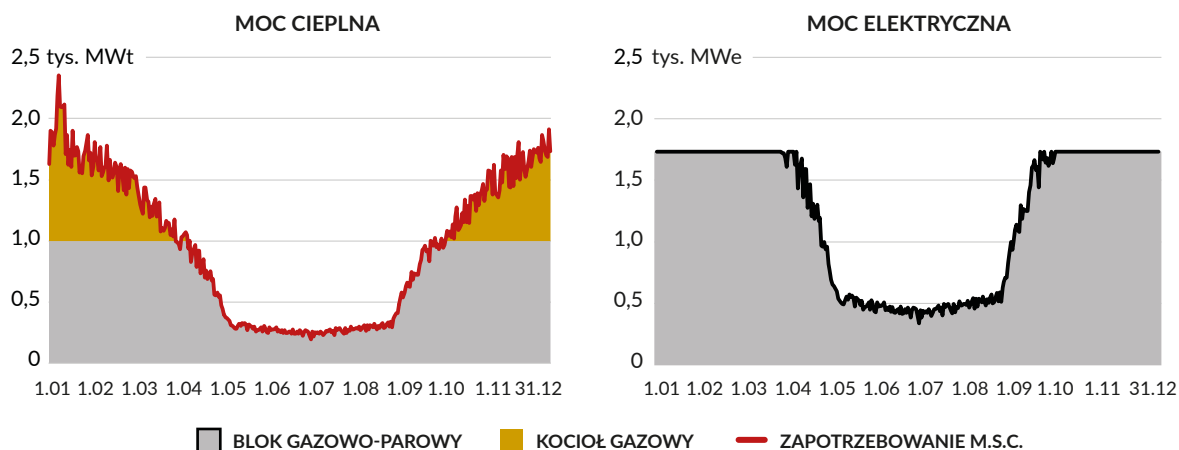
Roczny koszt wytworzenia ciepła

W celu oszacowania rocznych kosztów wytwarzania ciepła przyjęto, że nakłady inwestycyjne będą uwzględniane w postaci stałej rocznej zdyskontowanej raty ze stopą dyskonta równą 6%. Oprócz kosztów kapitałowych uwzględniono stałe roczne koszty funkcjonowania obiektu, takie jak remonty czy koszty obsługi. Koszty te określono jako procent całkowitych kosztów inwestycyjnych. Przyjęte wartości zestawiono w tabeli 10. W kosztach uwzględniono również roczne koszty zakupu energii elektrycznej i zakupu paliw (woduru i biomasy). Przychody ze sprzedaży energii elektrycznej z jednostek kogeneracyjnych pomniejszają koszty wytworzenia ciepła. W wynikach nie uwzględniono kosztów związanych z Zakładem Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych.

Dla porównania kosztów wytworzenia ciepła z hipotetyczną sytuacją trwania przy obecnych technologiach wytwórczych, opracowano scenariusz odniesienia. Zakłada on spalanie gazu ziemnego w jednostkach kogeneracyjnych (1 730 MWe/1 000 MWt) i w szczytowych kotłach wodnych (2 630 MWt). Jednostki kogeneracyjne zapewniają pokrycie 75% potrzeb cieplnych. Turbozespół gazowy produkuje rocznie 6 240 MWh ciepła i 10 780 MWh energii elektrycznej. Pozostała ilość ciepła wytwarzana jest w kotłach. W scenariuszu odniesienia założono, że ze względu na dekapitalizację obecnie wykorzystywanego majątku wytwórczego w warszawskim systemie ciepłowniczym, w okresie do 2050 r. zostaną wybudowane nowe jednostki wytwórcze. Koszty zostały przypisane do kosztów wytwarzania ciepła zgodnie z tymi samymi zasadami, jak w przypadku scenariuszy S1 i S3. Przykładowy wykres pracy urządzeń w scenariuszu odniesienia przedstawiono na rysunku 35.

53

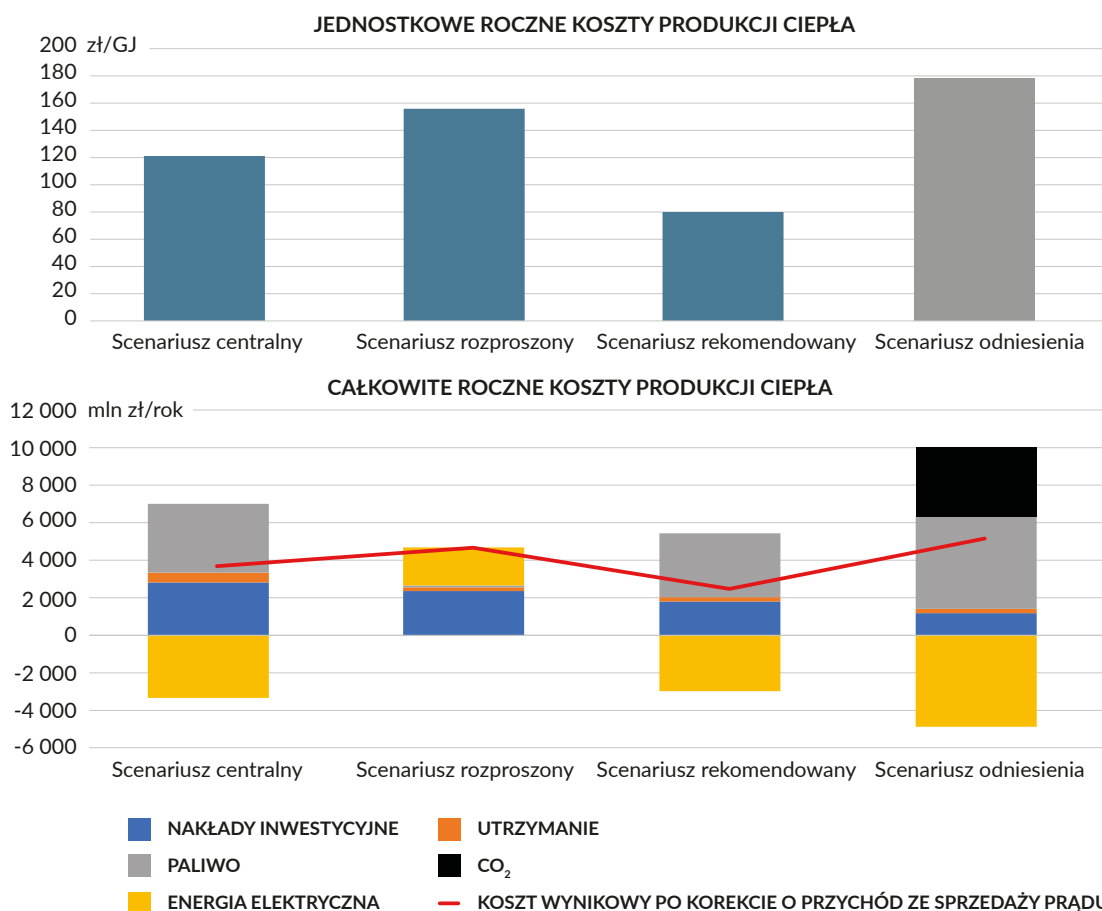
Rysunek 35. Dobowa średnia moc cieplna i elektryczna jednostek w ciągu roku dla scenariusza odniesienia



Źródło: analiza własna IBS PW.

Na rysunku 36 przedstawiono wyniki analizy kosztów produkcji we wszystkich scenariuszach. Jak widać, największe roczne oraz jednostkowe koszty wytwarzania ciepła występują w scenariuszu odniesienia. Jest to efekt konieczności poniesienia znaczących wydatków na zakup uprawnień do emisji CO₂. Scenariusz centralny, po odjęciu przychodu ze sprzedaży energii elektrycznej, wykazuje podobne koszty, jak scenariusz rozproszony. Najniższy wynikowy koszt wytwarzania ciepła jest w scenariuszu rekomendowanym.

Rysunek 36. Całkowite i jednostkowe roczne koszty wytwarzania ciepła pomniejszone o przychody ze sprzedaży energii elektrycznej (poziome cen w 2020 r.)



54

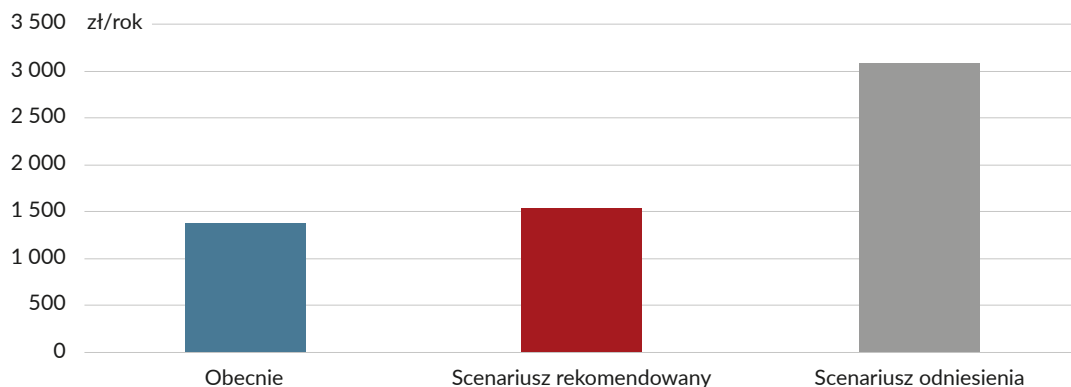
Źródło: analiza własna IBS PW.

Roczny koszt ogrzewania mieszkania

W celu zobrazowania wpływu transformacji warszawskiego systemu ciepłowniczego (lub jej braku) na budżet gospodarstw domowych odbiorców ciepła oszacowano¹⁹ średni roczny koszt ogrzewania mieszkania o powierzchni 50 m². Wyniki obliczeń dla wariantu progresywnego termomodernizacji przedstawiono na rysunku 37. Jak widać, w przypadku scenariusza rekomendowanego średni koszt ogrzewania mieszkania jest nieznacznie wyższy od obecnego. Jest to skumulowany efekt niższych kosztów środowiskowych oraz mniejszych strat energetycznych, a także wykorzystania taniej energii odpadowej. Wysokie koszty scenariusza odniesienia wynikają przede wszystkim z wysokich opłat za emisję CO₂ oraz kosztów gazu ziemnego. W przypadku zachowawczego wariantu termomodernizacji koszt ogrzewania wzrasta o 15% w wyniku zwiększenia zużycia energii przez cały system ciepłowniczy.

19 Założenia: koszty przesyłu ciepła jak obecnie – taryfa Veolia Energia Warszawa dla grupy taryfowej A3B1C1 (indywidualne węzły Veolia Energia Warszawa S.A.) z 1.10.2021 r. Koszty ogrzewania w scenariuszach rekomendowanym (S3) i odniesienia oszacowano, wykorzystując wyliczone wartości średniego kosztu wytwarzania ciepła. Obecne koszty ogrzewania wyliczono dla dzisiejszej wartości średniego zapotrzebowania na ciepło. Zużycie ciepła w scenariuszach rekomendowanym i odniesienia wynika z progresywnego wariantu termomodernizacji (B).

Rysunek 37. Roczny koszt ogrzewania mieszkania o powierzchni 50 m² dla obecnych warunków oraz dla scenariusza rekomendowanego i odniesienia przy progresywnym i zachowawczym wariacie termomodernizacji



Źródło: analiza własna IBS PW.

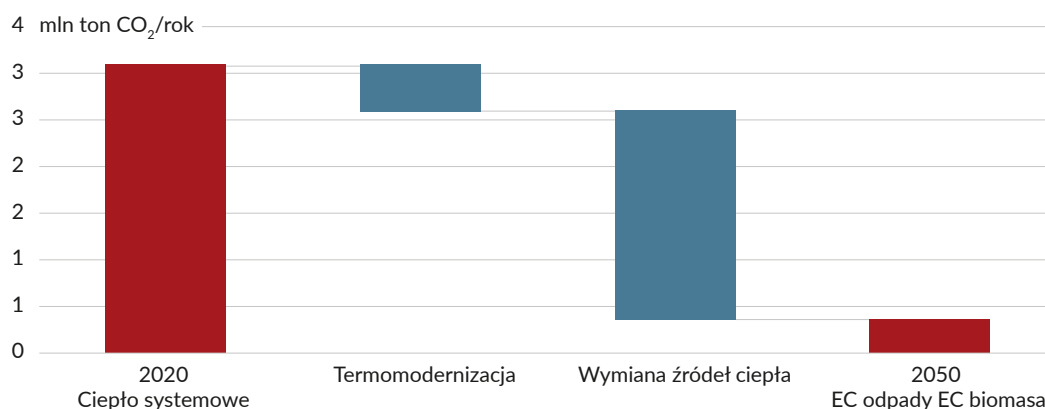
6.6. Ocena wpływu sektora ogrzewania na środowisko

Wytwarzanie ciepła w warszawskim systemie ciepłowniczym generowało w 2020 r. emisję CO₂ na poziomie ok. 3,1 mln ton²⁰. Z przeprowadzonych analiz wynika, że zaproponowana termomodernizacja budynków (bez zmiany struktury paliw w źródłach) spowodowałaby spadek emisji o 16%. Jest to praktycznie wartość graniczna, którą można osiągnąć w wyniku procesu ocieplania budynków. Oczywiście możliwe byłyby dalsze redukcje emisji, ale wymagałyby to bardzo kosztownych działań termomodernizacyjnych, nieprzynoszących pożądanych efektów w przeliczeniu na zainwestowane środki.

55

Dążąc do optymalizacji kosztowej, należy skoncentrować się przede wszystkim na modernizacji źródeł wytwórczych i wprowadzeniu technologii bezemisyjnych. Rysunek 38 przedstawia zmiany poziomu emisji CO₂ w wyniku wdrożenia zaproponowanych działań na poziomie budynków i źródeł wytwórczych. Jak widać, w przyszłości jedynymi źródłami emisji CO₂ będą spalanie odpadów komunalnych i biomasy. Obecnie emisje te nie są brane pod uwagę w oficjalnych bilansach, ale ponieważ mamy do czynienia z prawdziwymi fizycznymi emisjami, nie można wykluczyć, iż w niedalekiej przyszłości i one będą uwzględniane w krajowych bilansach, a źródła wytwórcze zostaną objęte systemem ETS (handlu emisjami CO₂). W przypadku uwzględnienia tych emisji w bilansie CO₂, należy poszukiwać działań generujących „ujemną” emisję, czyli np. pochłanianie równoważnych ilości CO₂ przez nowopowstałe obszary leśne lub wychwyty emisji CO₂ do wykorzystania przemysłowego (CCU).

Rysunek 38. Zmiana poziomu emisji CO₂ w wyniku modernizacji warszawskiego systemu ciepłowniczego



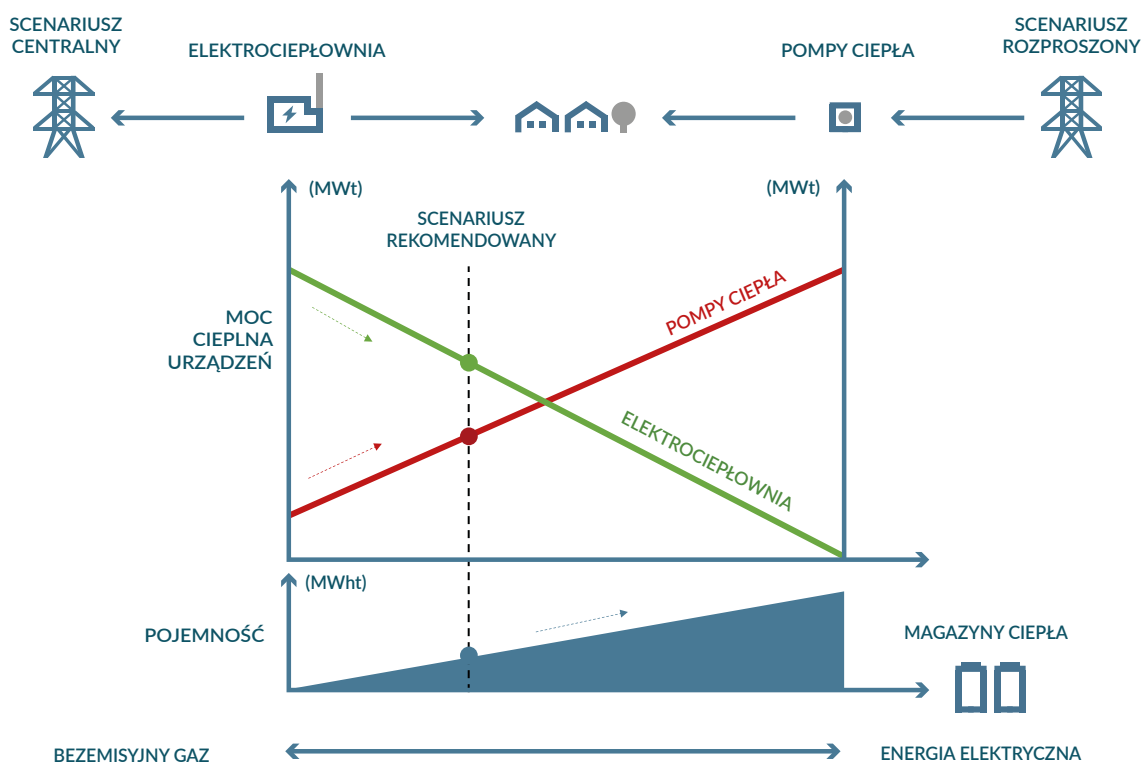
Źródło: analiza własna IBS PW.

7. Podsumowanie

Jeżeli wykluczyć nagłe pojawienie się w przyszłości nowoczesnej technologii, która radykalnie zmieni zasady gry (np. w postaci małych ciepłowniczych reaktorów jądrowych), to można stwierdzić, że przyszły zestaw urządzeń wytwórczych w warszawskim systemie ciepłowniczym będzie znajdował się pomiędzy rozwiązaniami brzegowymi (rysunek 39). Jedno to zasilanie sieci ciepłowniczej jednostkami kogeneracyjnymi opalonymi bezemisyjnymi gazami, a drugie – zasilanie pompami ciepła sieci podzielonej na mniejsze obszary.

Scenariuszowi związanemu z wykorzystaniem pomp ciepła będzie towarzyszyć budowa sezonowych akumulatorów ciepła w celu optymalizacji pracy pomp ciepła zimą i maksymalizacji wykorzystania energii z OZE. Jak już wcześniej wspomniano, scenariusz rekomendowany jest zbiorem technologii zawartych w scenariuszach skrajnych, dobranych na podstawie optymalizacji wydatków inwestycyjnych.

Rysunek 39. Wielkość mocy elektrycznej elektrociepłowni (EC) i mocy ciepłowniczej pomp ciepła (PC) w funkcji wielkości magazynu



56

Źródło: opracowanie Forum Energii.

Trudno dziś przesądzić, czy w przyszłości przewaga mocy ciepłych w systemie skupi w jednostkach kogeneracyjnych spalających zielony gaz czy też w pompach ciepła. Wszystko będzie zależało od tego, czy intensywniej będą rozwijały się sieć elektroenergetyczna i nowe moce wytwórcze w KSE wykorzystujące energię z OZE czy też krajowa produkcja zielonych gazów wraz z infrastrukturą przesyłową. Wydaje się, że w perspektywie do 2050 r. dostawa energii pierwotnej w postaci zielonych gazów do zasilenia systemów ciepłowniczych jest obciążona większym ryzykiem niż dostawa energii elektrycznej do zasilenia pomp ciepła. Na ryzyko dostępności zielonych gazów składają się dwa czynniki:

- trudności związane z budową nowej infrastruktury gazowej (jeżeli rozpatrujemy wykorzystywanie zielonego wodoru),
- niewystarczająca podaż bezemisyjnych gazów.

Patrząc z perspektywy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, można spodziewać się presji na budowę jednostek sterowalnych potrzebnych do elastycznego bilansowania produkcji energii elektrycznej przez zmienne źródła OZE. Takimi jednostkami mogą właśnie być bloki kogeneracyjne opalane bezemisyjnymi gazami. Potrzeba KSE może zatem wpłynąć na rozwój infrastruktury produkcyjnej i dystrybucyjnej zielonych gazów. Należy mieć to na uwadze, tworząc długoterminowy plan rozwoju warszawskiego systemu ciepłowniczego.

Bez wątpienia udział pomp ciepła w ogrzewaniu budynków w stolicy będzie systematycznie wzrastał, wobec czego elektroenergetyczna sieć przesyłowa i dystrybucyjna powinna być systematycznie wzmocniana.

Innym działaniem, które już teraz warto planować, jest budowa wielkoskalowych akumulatorów ciepła. Pozwolą one na większą elastyczność pracy kogeneracyjnych jednostek opalanych gazem ziemnym. Umożliwią także oferowanie usługi bilansowania krajowego systemu elektroenergetycznego przy zachowaniu emisyjności energii na poziomie 270 kg CO₂/MWh, co może być standardem dla przyszłych efektywnych systemów ciepłowniczych.

Ważne jest też zmapowanie źródeł energii odpadowej w Warszawie i przygotowywanie planów na pozyskanie jej do celów grzewczych. Analizy wykonane w ramach projektu wykazują, że udział energii odpadowej w strumieniu ciepła systemowego Warszawy może osiągnąć nawet 20%.

Jednym z ważniejszych warunków osiągnięcia neutralności klimatycznej systemu ciepłowniczego jest poprawa efektywności energetycznej budynków. Prawdłowo przeprowadzony proces termomodernizacji pozwoli nie tylko na zmniejszenie zapotrzebowania na energię pierwotną, ale również na obniżenie temperatury pracy sieci ciepłowniczej.

Niższa temperatura ciepła systemowego przekłada się na większą zdolność do absorpcji niskoenergetycznych źródeł OZE oraz źródeł energii odpadowej. W konsekwencji pozwoli to ograniczyć wzrost kosztów ogrzewania gospodarstw domowych.

Obniżenie temperatury czynnika grzewczego w miejskiej sieci wiąże się z koniecznością zwiększenia przepływu wody w celu dostarczenia odpowiedniej porcji energii. Wymaga to albo zwiększenia średnic rurociągów przesyłowych, albo zmniejszenia zużycia ciepła przez odbiorców końcowych. I właśnie ten kierunek należy rozwijać. Jeżeli budynki w sposób znaczący zmniejszą konsumpcję ciepła, przepustowość istniejących magistral może okazać się wystarczająca.

57

Podsumowując, warto podkreślić, że transformacja systemu ciepłowniczego w kierunku jego neutralności klimatycznej jest korzystna zarówno z perspektywy budżetów gospodarstw domowych, jak i środowiska. Wpływa też pozytywnie na krajowy bilans paliwowy, co staje się coraz ważniejszym zagadnieniem. Modernizacja całego systemu jest jednak procesem bardzo złożonym. Pomimo, że cel zerowej emisyjności ustawiono na rok 2050, to prace związane ze stopniowym zwiększaniem udziału bezemisyjnych źródeł energii powinny rozpocząć się już teraz.

Tylko systematyczne i dobrze zaplanowane działania pozwolą na dojście do mety bez ryzyka nadmiernych wydatków lub pozostawienia wysokich kosztów osieroconych w wyniku podjęcia błędnych decyzji inwestycyjnych.

8. Bibliografia

1. Adamczewski T., Jędra M., *Zielone gazy. Biometan i wodór w Polsce*, Forum Energii, 2021, https://forum-energii.eu/public/upload/articles/files/41_Zielone_gazy_10.pdf.
2. Advanced System Studies for Technology Transition (ASSET), *Technology pathways in decarbonisation scenarios*, 2018, s. 63, https://www.researchgate.net/profile/Pelopidas-Siskos-2/publication/328095638_Technology_pathways_in_decarbonisation_scenarios/links/5bb748334585159e8d86f164/Technology-pathways-in-decarbonisation-scenarios.pdf.
3. Anacka M., Janicka A., *Prognoza ludności dla Polski na podstawie ekonometrycznej prognozy strumieni migracyjnych*, „Wiadomości Statystyczne” 2018, nr 8, s. 5–27.
4. Badyda K., Miller A., *Energetyczne turbiny gazowe i układy z ich wykorzystaniem*, Kaprint, Lublin 2014.
5. Biuro Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy, *Analiza procesu wdrażania „Polityki energetycznej m.st. Warszawy do 2020 r.”. Wykonanie za rok 2019, 2020*, <https://transport.um.warszawa.pl/documents/62470/27144658/1.+Polityka+energetyczna+Warszawy+do+2020+r.+--+karta+wynik%C3%B3w+za+2019+r.+cz.+l.pdf/21f0ac76-9d3a-5af6-30af-03b8609d6643?t=1626772536351.\>.
6. Cyranka M., Jurczyk M., *Uwarunkowania energetyczne, ekonomiczne i prawne odzysku energii z odpadów komunalnych w ramach układów kogeneracji*, „Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal” 2016, t. 19, z. 1, s. 99–114.
7. ETN Global, *Hydrogen Gas Turbines the Path Towards a Zero-Carbon Gas Turbine*, 2020, <https://etn.global/wp-content/uploads/2020/01/ETN-Hydrogen-Gas-Turbines-report.pdf>.
8. European Hydrogen Backbone, *Extending Hydrogen Backbone*, 2021, <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/04/European-Hydrogen-Backbone-2021-Webinar-slidedeck.pdf>.
9. Forum Energii, *Polska neutralna klimatycznie 2050. Elektryfikacja i integracja sektorów*, 2020, <https://www.forum-energii.eu/public/upload/articles/files/analiza%20-%20Polska%202050%20neutralna%20klimatycznie.pdf>.
10. Górny A., Śleszyński P., *Exploring the spatial concentration of foreign employment in Poland under the simplified procedure*, „Geographia Polonica” 2019, t. 92(3), s. 331–345.
11. Jaworski J., *Niskotemperaturowe sieci ciepłownicze i analiza polskich systemów ciepłowniczych zasilanych z elektrociepłowni. Materiały XXX Konferencji z cyklu Zagadnienie surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej*, 2016, https://se.min-pan.krakow.pl/pelne_teksty30/k30_mk_z/k30mk_jaworski_z.pdf.
12. *Kompleksowa termomodernizacja budynków jednorodzinnych*, praca zbiorowa pod red. S. Firląga, Fundacja Ziemia i Ludzie, 2019, http://termomodernizacjadomow.pl/wp-content/uploads/2019/05/KOMPLEKSOWA_TERMODERNIZACJA_BUDYNK%C3%93W_JEDNORODZINYCH_mala.pdf.
13. Komisja Europejska, *Fala renowacji: podwojenie wskaźnika renowacji w celu ograniczenia emisji, pobudzenia ożywienia gospodarczego i ograniczenia ubóstwa energetycznego*, 2020, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/IP_20_1835.
14. Komisja Europejska, *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, COM(2020) 301, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>.
15. Komisja Europejska, *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Ambitniejszy cel klimatyczny Europy do 2030 r. Inwestowanie w przyszłość neutralną dla klimatu z korzyścią dla obywateli*, COM(2020) 562, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=COM:2020:562:FIN>.
16. Lipka M., Rajewski A., *Regress in nuclear district heating. The need for rethinking cogeneration*, “Progress in Nuclear Energy” 2020, vol. 130, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149197020302663>.

17. Miasto Stołeczne Warszawa, *Plan działań na rzecz zrównoważonego zużycia energii dla Warszawy w perspektywie do 2020 r.*, 2011, http://adaptcity.pl/wp-content/uploads/2016/09/Analiza_dokumentow_wg_metodologii.pdf.
18. Miasto Stołeczne Warszawa, *Program ochrony środowiska dla m.st. Warszawy na lata 2021–2024*, 2021, https://bip.warszawa.pl/NR/rdonlyres/CA8EF8BF-F40C-4511-8C7A-1EBF054EE365/1611408/14702021_program_ochrony_srodowiska_warszawa_20212.pdf.
19. Miasto Stołeczne Warszawa, *Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla M.St. Warszawy*, 2019, <https://infrastruktura.um.warszawa.pl/archiwum/za-o-enia-do-planu-zaopatrzenia-w-ciep-o-energi-elektryczn-i-paliwa-gazo>.
20. Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii, *Długoterminowa Strategia Renowacji Budynków. Wspieranie Renowacji Krajowego Zasobu Budowlanego*, 2022, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/polska-przyjela-strategie-w-zakresie-renowacji-budynkow>.
21. Urząd m.st. Warszawy, *Co Warszawa robi dla klimatu*, 2021, <https://um.warszawa.pl/-/co-warszawa-robi-dla-klimatu>.
22. Urząd Statystyczny w Warszawie, *Ze statystyką przez Warszawę 2021*, Warszawa 2021.
23. Veolia Energia Warszawa, <https://energiadlawarszawy.pl/o-nas/o-firmie/warszawska-siec-cieplownicza>.
24. *Yearly thermal performances of solar heating plants in Denmark – Measured and calculated*, "Solar Energy" 2018, vol. 159, s. 186–196.
25. Żogała A. i in., *Ścieki jako źródło ciepła odpadowego – studium przypadku*, „Inżynieria Ekologiczna” 2016, t. 49, s. 208–212.

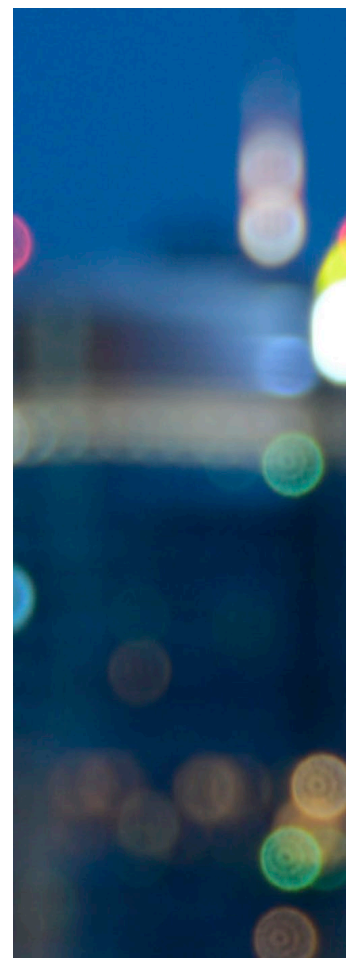
Akty prawne

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie efektywności energetycznej, COM(2021) 558.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2019 r. poz. 1065).

Notatki



Miasto z klimatem
Neutralny klimatycznie system
ciepłowniczy w Warszawie



FORUM ENERGII
ul. Wspólna 35/10, 00-519 Warszawa
NIP: 7010592388, KRS: 0000625996, REGON: 364867487

www.forum-energii.eu