



Danfoss

Studium przypadku

# Wykorzystanie ciepła odpadowego

Jak Metro Warszawskie może przyspieszyć  
zieloną transformację stolicy

# Spis treści

- 4 Informacja na temat wizyty królewskiej
- 6 Ciepło odpadowe: największe niewykorzystane źródło energii w Polsce?
- 8 Transformacja Warszawy w bezemisyjnej przyszłości
- 12 Studium przypadku: Wychwytywanie ciepła odpadowego z warszawskiego metra
- 14 To tylko wierzchołek góry lodowej
- 16 Pokonywanie barier ograniczających wykorzystanie ciepła odpadowego
- 18 Załącznik
- 20 Dokumenty źródłowe
- 22 Podziękowania





# Informacja na temat wizyty królewskiej

W dniach 31 stycznia oraz 1 lutego 2024 roku król Fryderyk X będzie przebywał w Polsce z pierwszą zagraniczną wizytą jako król Danii. Podczas tej wizyty, Danfoss oraz partnerzy firmy z Polski i Danii podpiszą porozumienie oraz rozpoczną współpracę w zakresie wykorzystywania ciepła odpadowego z warszawskiego metra. Oznacza to początek nowego partnerstwa, którego forma może być powielana i dostosowywana do podobnych projektów w całej Europie mających na celu wykorzystanie potencjału ciepła odpadowego – nie tylko ze stacji metra, ale także z oczyszczalni ścieków, zakładów produkcji wodoru oraz wielu innych miejsc.

Z okazji wizyty królewskiej oraz nawiązania nowej współpracy, Danfoss przygotował studium przypadku przedstawiające potencjał ponownego wykorzystania ciepła odpadowego ze stacji metra w Warszawie. Jest to jedynie wstępna analiza, aczkolwiek planuje się przygotowanie dogłębnego studium wykonalności w celu obliczenia dokładnego potencjału przedsięwzięcia oraz określenia tych stacji metra, które wezmą udział w programie jako pierwsze ze względu na najwyżej oceniony potencjał. Jeżeli studium zostanie przeprowadzone pomyślnie, powinno się ono zakończyć w połowie 2025 roku. Co więcej, studium przypadku wskazuje na ogromny potencjał wykorzystania ciepła odpadowego pochodzącego nie tylko ze stacji metra czy sieci ciepłowniczych zarówno w Polsce jak i w Europie.



# Ciepło odpadowe: największe niewykorzystane źródło energii w Polsce?

Praca silnika zawsze generuje ciepło. Zakłady przemysłowe, oczyszczalnie ścieków, centra danych, supermarkety, stacje metra i budynki użytkowe generują duże ilości energii. Niestety, jedynie część z niej jest ponownie wykorzystywana. Pozostała energia uwalniana jest do atmosfery jako ciepło odpadowe i znika bezpowrotnie. Ten rodzaj ciepła, nazywany również ciepłem nadwyżkowym, to drżący olbrzym efektywności energetycznej.

Ogrzewnictwo jest jednym z największych odbiorców energii, w szczególności w zimniejszych regionach Europy oraz w tych o klimacie umiarkowanym. W samej tylko Europie ogrzewanie pomieszczeń i podgrzewanie wody użytkowej odpowiada za 79% końcowego zużycia energii w sektorze mieszkaniowym,<sup>1</sup> a większość z niej nadal wytwarzana jest ze źródeł kopalnych, takich jak węgiel czy gaz ziemny.

Dzieje się to w momencie, gdy wszystkie obszary miejskie w Europie mają dostęp do wielu źródeł ciepła odpadowego. Ciepło odpadowe dostępne jedynie w UE to ok. 2860 TWh energii rocznie. Większość mogłaby zostać przechwycona przy pomocy technologii odzysku ciepła i wykorzystana ponownie np. w procesach ogrzewania budynków czy

podgrzewania wody.<sup>2</sup> Aby pokazać skalę wystarczy wspomnieć, że ilość tego ciepła odpadowego jest niemal równa całkowitemu zapotrzebowaniu UE na ogrzewanie oraz ciepłą wodę w budynkach mieszkalnych i użytkowych, które wynosi 3180 TWh rocznie w 27 krajach UE oraz w Wielkiej Brytanii.<sup>3</sup>

Polska posiada silnie rozbudowany sektor przemysłowy, a co za tym idzie znaczną podaż ciepła odpadowego. Oznacza to, że możliwości dekarbonizacji procesów ogrzewania w obszarach miejskich są łatwe do zrealizowania. Ponowne wykorzystanie ciepła odpadowego może również obniżyć koszty po stronie konsumenta, ponieważ dużo

# 2860

TWh/rocznie

ilość ciepła odpadowego w UE, co jest  
niemal równe całkowitemu zapotrzebowaniu  
UE na ogrzewanie oraz ciepłą wodę

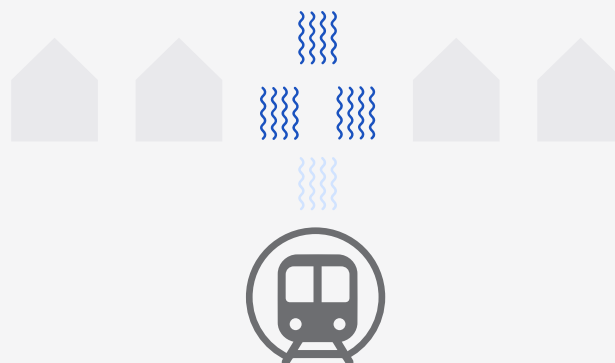
taniej jest ponownie wykorzystać energię niż ją kupić lub wyprodukować na nowo. Ciepło odpadowe może zwiększyć efektywność energetyczną i zastąpić paliwa kopalne. W ten sposób może pomóc zmniejszyć obciążenie sieci elektrycznych ułatwiając przejście na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii.

Niniejsze opracowanie koncentruje się na Warszawie i ma na celu zbadanie potencjału ciepła odpadowego pozwalającego na dokonanie zmian krajobrazu energetycznego w obszarze ogrzewania w stolicy. Zawiera także wstępną analizę nowego projektu polegającego na wychwytywaniu ciepła odpadowego z warszawskiego metra i ponownym jego wykorzystaniu przez miejską sieć ciepłowniczą. Dzięki realizacji tego typu nowoczesnych projektów Warszawa może stać się pionierem w obszarze wychwytywania ciepła odpadowego, które pozwoli na obniżenie ogólnego zapotrzebowania na energię, pobudzając lokalną gospodarkę i przyspieszając zieloną transformację miasta.

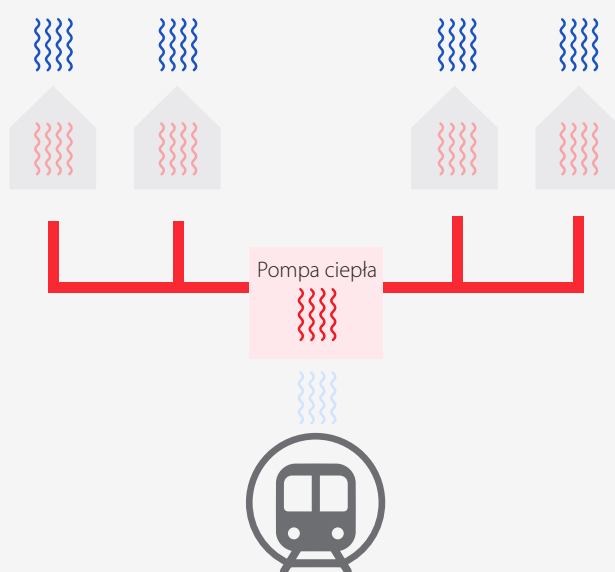
### Rys. 1: Wykorzystanie ciepła odpadowego pochodzącego z warszawskiego metra





Metro posiada wiele źródeł ciepła odpadowego, takich jak silniki wentylatorów i klimatyzatorów, czy nawet ruch oraz hamowanie wagonów pociągu. Wytworzenie ciepła wiąże się z produkcją energii, generowaniem emisji i tworzeniem kosztów. Aby zwiększyć zwrot z takiej inwestycji, musimy maksymalnie rozszerzyć spektrum wykorzystania ciepła odpadowego. Zamiast uwalniać je do atmosfery, możemy je wychwycić i wykorzystać w procesach ogrzewania budynków i podgrzewania wody użytkowej, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na energię i torując drogę do pełnej bezemisyjności miejskiego ogrzewnictwa.

#### Standardowa praktyka: ciepło odpadowe jest marnowane



#### Najlepsza praktyka: ciepło odpadowe jest wykorzystywane w sieciach ciepłowniczych



-  **Ciepło o wysokiej temperaturze**  
Wystarczające do wykorzystania w sieciach ciepłowniczych
-  **Ciepło o średniej temperaturze**  
Odpowiednie do ogrzania mieszkań
-  **Ciepło o niskiej temperaturze**  
Może zostać podgrzane za pomocą pomp ciepła
-  **Ciepło o bardzo niskiej temperaturze**  
Uwalniane do atmosfery

# Transformacja Warszawy w kierunku **bezemisyjnej** **przyszłości**

Polska to potęga europejskiej energetyki. Posiadając piąty co do wielkości sektor energetyczny w Unii Europejskiej, Polska produkuje ponad 4,2 miliona teradżuli (TJ) energii – dwukrotnie więcej niż Belgia i cztery razy więcej niż Węgry.<sup>4</sup> Częściowo ze względu na historyczne znaczenie przemysłu węglowego w regionie, Polska odznacza się jednak największym udziałem węgla w całkowitej podaży i popycie na energię ze wszystkich krajów członkowskich Międzynarodowej Agencji Energetycznej (MAE).<sup>5</sup>

Aby rozwiązać ten problem, polski rząd przyjął dokument zatytułowany „Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (PEP2040)”, który stanowi kompleksowy plan przejścia na bezemisyjny system energetyczny. Jednym z kluczowych celów PEP2040 jest obniżenie poziomu zależności kraju od węgla prowadzące do „zaspokojenia zapotrzebowania na ciepło we wszystkich gospodarstwach domowych w sposób charakteryzujący się zerową lub niską emisją”.<sup>6</sup>

Licząca 1,7 miliona mieszkańców Warszawa jest największym miastem w Polsce. Dlatego też odgrywa niebagatelną rolę w zapewnieniu Polsce osiągnięcia celów opisanych w PEP2040. Warszawa jest również miastem członkowskim Misji Miast Komisji Europejskiej – projektu mającego na celu utworzenie 100 neutralnych klimatycznie i inteligentnych miast w UE do 2030 roku. Inicjatywa ta zapewnia finansowanie i wsparcie, dzięki którym miasta te mogą pełnić rolę centrów eksperymentalno-innowacyjnych na rzecz zielonej transformacji. W związku z tym, oczy Europy zwrócone są na Warszawę, a samo miasto ma doskonałą okazję do przekształcenia swojej sieci energetycznej w zmodernizowany i wydajny system przygotowany na nadejście ery odnawialnych źródeł energii.

Jakie zatem szanse dla sektora energetycznego Warszawy faktycznie stworzy ta transformacja?



## Największa miejska sieć ciepłownicza Europy

Warszawa posiada największą miejską sieć ciepłowniczą w Europie, a jej początki sięgają czasów komunistycznych.<sup>7</sup> Sieć ta obejmuje wiele źródeł ciepła odpadowego, w tym stacje metra.<sup>8</sup> Łącznie na stacjach metra marnuje się rocznie 62 GWh ciepła, z czego duża część może zostać wykorzystana przez sieć ciepłowniczą do ogrzania warszawskich budynków. Miks energetyczny Polski generuje najwięcej emisji CO<sub>2</sub> w Europie.<sup>9</sup> Dlatego też wszelkie wysiłki podjęte w celu zwiększenia wydajności systemu energetycznego mogą mieć ogromny wpływ na środowisko.

Obecnie ciepłownictwo miejskie w Warszawie zasilane jest głównie przez dwie elektrociepłownie: Siekierki z 1961 r. i Żerań z 1954 r., opalane odpowiednio węglem i gazem.<sup>10,11,12</sup> Siekierki są w stanie ogrzać 55% budynków w Warszawie i dysponują mocą cieplną rzędu 2065 MWt i elektryczną rzędu 620 MWe. Innymi słowy, oznacza to, że produkcja ciepła wynosi 2065 MW a prądu elektrycznego 620 MW. Żerań jest w stanie ogrzać 43% budynków w Warszawie i dysponuje mocą cieplną rzędu 1736 MWt i elektryczną rzędu 882 MWe.



Źródło: Veolia

---

## Decentralizacja ogrzewnictwa w Warszawie

W Augustówce, dzielnicy na południu Warszawy położonej tuż przy zachodnim brzegu Wisły, wznoszą się trzy niemal 200-metrowe kominy w czerwono-białe paski. Elektrociepłownia Siekierki – relik z czasów komunistycznych, a dziś integralna część krajobrazu każdego warszawiaka – dostarcza ciepło i prąd mieszkańcom stolicy od 1961 roku.

Z kolei na północnym krańcu miasta, położona jest Elektrociepłownia Żerań. Wybudowana w 1954 roku, jest starszą i mniejszą z dwóch warszawskich elektrociepłowni.

Siekierki i Żerań dysponują łącznie mocą cieplną wynoszącą ponad 3800 MW. Ponad pół wieku po wybudowaniu, obie elektrociepłownie wykorzystujące węgiel oraz gaz ziemny nadal pozostają siłą napędową warszawskiej sieci ciepłowniczej, dostarczając ciepłą wodę oraz ciepło zarówno dla budynków mieszkalnych, jak i przemysłowych. W najmroźniejsze zimowe dni Warszawa uruchamia także dwie

dodatkowe elektrociepłownie: Wolę i Kawęczyn, położone odpowiednio na zachodzie i wschodzie miasta.

Obiekty te zapewniają łącznie około 80% ciepła wykorzystywanego przez miejską sieć ciepłowniczą, dostarczanego za pomocą labiryntu rur o łącznej długości ponad 1800 kilometrów przesyłającego ciepłą wodę do i z budynków w mieście.<sup>13</sup> Jednakże pomimo dużej zalety warszawskiej sieci ciepłowniczej jaką jest zapewnianie energooszczędnego ogrzewania, fakt, że jest ona niemal w pełni zależna od czterech elektrociepłowni wykorzystujących paliwa kopalne, staje się dość problematyczny w momencie, gdy Polska stawia sobie za cel nieprzekraczanie poziomu 56% udziału węgla w produkcji energii elektrycznej do 2030 roku,<sup>14</sup> (w 2022 było to 75%).<sup>15</sup> Aby można było osiągnąć ten cel, elektrociepłownie takie jak Siekierki czy Żerań muszą wkrótce być w stanie korzystać ze zdecentralizowanych, lokalnych źródeł energii, a w dłuższej perspektywie będą musiały zostać



wycofane z eksploatacji i zastąpione przez elementy systemu ciepłowniczego zasilanego głównie ze źródeł odnawialnych. Jak przedstawiono w pierwszej części dokumentu, ciepło odpadowe tworzy jedną z największych szans na decentralizację sieci ciepłowniczych przy jednoczesnym obniżeniu kosztów oraz emisji. Przyjrzyjmy się jednemu konkretnemu przypadkowi z Warszawy.



# Studium przypadku: Wychwytywanie ciepła odpadowego z warszawskiego metra

W obrębie warszawskiej sieci ciepłowniczej zlokalizowanych jest wiele potencjalnych źródeł ciepła odpadowego, czekających na efektywne wykorzystanie. Są to między innymi dziesiątki stacji warszawskiego metra.<sup>16</sup> Każdego roku na stacjach metra marnuje się łącznie 62 GWh ciepła. To równowartość rocznego zapotrzebowania na ciepło w gospodarstwach domowych zamieszkiwanych przez ponad 14 tys. Polaków.<sup>17</sup> Jednakże większość ciepła odpadowego pochodzącego z metra można odzyskać i rozprowadzić za pomocą sieci ciepłowniczej w celu ogrzewania mieszkań i pomieszczeń komercyjnych oraz podgrzewania ciepłej wody użytkowej w stolicy.

Ciepło odpadowe powstaje w wyniku pracy silników urządzeń klimatyzacyjnych, ruchu i hamowania wagonów, przebywania w nich pasażerów i z wielu innych źródeł. To darmowe źródło energii, które tylko czeka na to, by zostać wykorzystane. Aby można było wychwycić ciepło odpadowe, a następnie rozprowadzić je za pomocą sieci ciepłowniczej, na stacjach metra konieczne będzie zainstalowanie, m.in. pomp ciepła. Pompy ciepła mogą zwiększyć temperaturę medium grzewczego o niskiej temperaturze pozyskanego ze stacji metra do 90-120°C, czyli do temperatury jakiej wymaga warszawska sieć ciepłownicza. Pompy ciepła są w stanie wytworzyć od trzech do pięciu jednostek ciepła wykorzystując jedną jednostkę energii elektrycznej. W kontekście warszawskiego metra oznacza to, że 62 GWh ciepła odpadowego o niskiej temperaturze można przekształcić w 93 GWh ciepła o parametrach spełniających wymagania sieci ciepłowniczej przy wykorzystaniu 31 GWh energii elektrycznej.

Obecnie ciepło pozyskiwane jest głównie ze spalania węgla i gazu, co generuje ogromny ślad klimatyczny

i powoduje zanieczyszczenie powietrza. Jeśli Warszawa wychwyci i wykorzysta ciepło odpadowe ze stacji metra, będzie w stanie ograniczyć ilość paliw kopalnych spalanych przez elektrociepłownię z Siekierok i Żerania. Obecnie głównym zadaniem tych elektrociepłowni jest wytwarzanie energii elektrycznej w drodze spalania paliw kopalnych. Duża część ciepła odpadowego powstającego w tym procesie jest wychwytywana i rozprowadzana za pomocą sieci ciepłowniczej. Samo wychwytywanie ciepła odpadowego i zasilanie pomp niskoemisyjną energią elektryczną nie będzie jednak wystarczające – konieczne będzie także zastąpienie energii elektrycznej, produkowanej dotychczas przez elektrociepłownię Siekierki i Żerań, energią niskoemisyjną.

**Warszawa może zmniejszyć emisje o ok. 42 tys. ton CO<sub>2</sub>e (ekwiwalent emisji CO<sub>2</sub>) rocznie, wychwytyując ciepło odpadowe z sieci metra, pod warunkiem, że energia elektryczna wykorzystywana do zasilania pomp ciepła oraz zastępująca tę pozyskiwaną do tej pory z elektrociepłowni, będzie pochodzić z odnawialnych źródeł energii. Odpowiada to rocznemu śladowi węglowemu generowanemu przez ok. 6300 mieszkańców Polski.**

Obliczenia dotyczące tej wstępnej analizy znajdują się w załączniku. Aczkolwiek planuje się przygotowanie studium wykonalności w celu obliczenia dokładnego potencjału przedsięwzięcia oraz określenia tych stacji metra, które wezmą udział w projekcie jako pierwsze ze względu na najwyższej oceniony potencjał.<sup>18</sup> Planuje się, że studium zostanie zakończone w połowie 2025 roku.

# To tylko wierzchołek góry lodowej

Warszawa jawi się jako pionier w procesie badania potencjału ciepła odpadowego w obszarze redukcji emisji, oszczędzania energii i obniżania kosztów. To jednak dopiero pierwszy krok – potencjał wychwytywania i ponownego wykorzystywania ciepła odpadowego wykracza daleko poza stacje metra i sieci ciepłownicze. Wykracza również poza Warszawę czy Polskę.



## Nie tylko stacje metra

Według danych Uniwersytetu w Aalborg dotyczących źródeł ciepła odpadowego w Europie, w samej tylko Warszawie znajduje się 11 centrów danych i 42 oczyszczalnie ścieków, w których można by skutecznie wychwytywać ciepło odpadowe.<sup>19</sup> Zarówno centra, jak i oczyszczalnie, to miejsca, w których generuje się bardzo duże ilości tego rodzaju ciepła. Nadwyżka potencjału cieplnego wytwarzanego przez oczyszczalnie ścieków jest ponad 20 razy większa niż w przypadku stacji metra.<sup>20</sup> I choć w kwestii wychwytywania ciepła odpadowego z tychże źródeł istnieją pewne wyzwania natury politycznej (opisujemy je w kolejnej części dokumentu), które należy przezwyciężyć, pokazuje to niesamowity potencjał tego rodzaju ciepła, który wciąż czeka na wykorzystanie w Warszawie.

## Nie tylko sieci ciepłownicze

Ciepło odpadowe jest przydatne nie tylko w połączeniu z sieciami ciepłowniczymi. Jak pisaliśmy w drugim wydaniu Danfoss Impact – serii dokumentów prezentującej ogromny potencjał efektywności energetycznej w procesie transformacji naszych sieci – ciepło odpadowe można wychwytywać i ponownie wykorzystywać w budynkach i procesach przemysłowych, w których zostało ono wytworzone. Dla przykładu, ciepło odpadowe z zamrażarek w supermarketach można wychwycić i ponownie wykorzystać do ogrzewania tego samego supermarketu lub podgrzewania wody w budynku, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie supermarketu na energię z sieci. W 2019 roku jeden

z duńskich supermarketów pokrył 78% własnego zapotrzebowania na energię grzewczą dzięki ponownemu wykorzystaniu ciepła wytwarzanego w procesie chłodzenia.<sup>21</sup> Warszawskie supermarkety mogą dokonać tego samego.

Kolejnym sposobem na wykorzystanie ciepła odpadowego jest planowanie klastrów przemysłowych łączących producentów ciepła przemysłowego z sąsiadującymi z nimi konsumentami w celu dalszej dekarbonizacji systemów energetycznych. Podczas jednego z projektów realizowanego w duńskim Kalundborg oszacowano, że ciepło pochodzące z procesów produkcyjnych może zapewnić energię ciepłą nawet dla 40 tys. gospodarstw domowych.<sup>22</sup>

## Nie tylko Warszawa

Wiele miast mogłoby powtórzyć wysiłki podjęte w Warszawie. Dla przykładu, Praga ma największą sieć ciepłowniczą w Czechach, dostarczającą ciepło do ponad 230 tys. gospodarstw domowych.<sup>23</sup> Jedną z przeprowadzonych tam analiz wykazała, że nadwyżka ciepła z miejskiej oczyszczalni ścieków (ÚČOV) może zapewnić ciepło nawet 100–200 tysiącom gospodarstw domowych w ciągu najbliższych 10–15 lat.<sup>24</sup> Według danych pozyskanych z Uniwersytetu w Aalborg, potencjał niewykorzystanego ciepła odpadowego Pragi kryje się również w 53 stacjach metra, 12 centrach danych i 62 supermarketach.<sup>25</sup>

Sieci ciepłownicze w Budapeszcie i Bukareszcie znajdują się aktualnie w fazie dużych projektów budowlanych i renowacyjnych,<sup>26,27</sup> co sprawia, że jest to idealny moment na rozpoczęcie planowania wykorzystania ciepła odpadowego. Jedno z przeprowadzonych badań wykazało, że „wykorzystywanie tego typu szans na zastosowanie ciepła odpadowego w sieciach energetycznych ma ogromne znaczenie”<sup>28</sup> potwierdzając, że w wielu przypadkach „budowa lub planowanie sieci ciepłowniczej może być okazją na wskazanie źródeł ciepła odpadowego, które następnie można przesłać

za pomocą tychże sieci”.<sup>29</sup> Jeśli nasi liderzy nie zaczną działać szybko i zdecydowanie, miasta planujące renowację, rozbudowę lub budowę zupełnie nowych sieci ciepłowniczych mogą przespać tę pojawiającą się na krótką chwilę szansę na podłączenie producentów ciepła odpadowego do sieci energetycznych.



Ciepło odpadowe to największe na świecie źródło niewykorzystanej energii. Jednak tylko nieliczne z podejmowanych inicjatyw związane są z bardziej efektywnym wykorzystaniem ogromnych ilości marnowanej energii, choć technologie, które umożliwiają odzysk ciepła są już dziś dostępne. Musimy jak najszybciej podjąć konkretne środki prawne umożliwiające wykorzystanie ciepła odpadowego w różnych sektorach, aby zarówno mieszkańcy, jak i przedsiębiorstwa mogły cieszyć się niższymi kosztami korzystania z energii oraz abyśmy mogli przyspieszyć zieloną transformację.



Kim Fausing,  
Prezydent i CEO, Danfoss

# Pokonywanie barier ograniczających wykorzystanie ciepła odpadowego

Jednym z kluczowych czynników wpływających na możliwość zakrojonego na szerszą skalę procesu wychwytywania ciepła odpadowego w Warszawie – czy w każdym innym mieście – będzie wyeliminowanie barier ekonomicznych, prawnych czy tych utrudniających nawiązywanie współpracy.

## Bariery ekonomiczne

Aby jeszcze bardziej poprawić efektywność energetyczną poprzez wykorzystanie marnowanej dziś energii, konieczne jest usunięcie barier finansowych oraz prawnych. Aktualna struktura rynku energetycznego tworzy w wielu miejscach bariery niepozwalające na integrację sektorów albo poprzez utrudnianie wdrażania technologii związanych z integracją albo poprzez niebranie pod uwagę pozytywnych i negatywnych konsekwencji wykorzystywania pewnych technologii, np. pod względem ich nisko- i wysokoemisyjności. Ważne jest, aby ustawodawstwo podatkowe sprzyjało wykorzystaniu ciepła odpadowego oraz aby rozważone zostało wprowadzenie odpowiednich taryf sieciowych. Ponadto należy usunąć bariery administracyjne, aby zachęcić użytkowników do przyłączania się do sieci ciepłowniczych, co spowoduje, że zakłady ciepłownicze będą bardziej skłonne do zwiększenia własnej efektywności.

## Bariery prawne

Ciepło odpadowe musi być traktowane jako źródło energii odnawialnej, a nie jako odpad, którego należy się pozbyć. Obecnie istnieje szereg barier, które uniemożliwiają podmiotom wykorzystanie potencjału ciepła odpadowego. Właściwe regulacje prawne mogą usunąć te bariery, na przykład poprzez wspieranie równego traktowania ciepła odpadowego i odnawialnych źródeł energii wykorzystywanych w sieciach ciepłowniczych. Decydenci muszą zacząć postrzegać ciepło odpadowe jako pomoc w osiąganiu celów związanych z wykorzystywaniem energii odnawialnej – także wtedy, gdy jest ono wykorzystywane w miejscu wytworzenia – i dopilnować, aby stanowiło ono o efektywności energetycznej sieci ciepłowniczych i chłodniczych. Wymagajmy większego wykorzystania nadwyżki energii, nakładając na odpowiednie podmioty przemysłowe obowiązek planowania wykorzystania ciepła odpadowego.

## Bariery utrudniające nawiązywanie współpracy

Bardziej powszechne wykorzystanie ciepła odpadowego wymaga współpracy pomiędzy sektorami i zainteresowanymi stronami. Partnerstwa między władzami lokalnymi, dostawcami energii oraz jej źródłami, takimi jak sieci metra, supermarkety, centra danych, oczyszczalnie ścieków i przedsiębiorstwa przemysłowe, mogą pomóc w wykorzystaniu pełnego potencjału ciepła odpadowego. Współpracę mogłoby ułatwić



powoływanie jednostek odpowiedzialnych za dostarczanie informacji i łączenie producentów ciepła odpadowego z potencjalnymi jego odbiorcami. Mogłyby one również pomóc w identyfikacji i usuwaniu ewentualnych przeszkód w realizacji projektów. Pomogłyby to rozwiązać problemy dotyczące tego, który podmiot ponosi dane koszty i w jakiej wysokości.

Kompleksowy plan działania dotyczący stworzenia właściwego krajobrazu politycznego niezbędnego dla skutecznego odzyskiwania ciepła odpadowego znajduje się w drugim wydaniu Danfoss Impact dot. tego rodzaju ciepła na stronie [whyee.com](http://whyee.com).



Kompleksowy plan działania dotyczący stworzenia właściwego krajobrazu politycznego niezbędnego dla skutecznego odzyskiwania ciepła odpadowego znajduje się w drugim wydaniu Danfoss Impact na stronie [www.whyee.com](http://www.whyee.com)



Źródło: Veolia

# Załącznik

Warszawa posiada największą miejską sieć ciepłowniczą w Europie, a jej początki sięgają czasów komunistycznych.<sup>30</sup> Sieć ta obejmuje wiele źródeł ciepła odpadowego, w tym stacje metra.<sup>31</sup> Łącznie na stacjach metra marnuje się rocznie 62 GWh ciepła, z czego duża część może zostać wykorzystana przez sieć ciepłowniczą do ogrzania warszawskich gospodarstw domowych. Miks energetyczny Polski generuje najwięcej emisji CO<sub>2</sub> w Europie.<sup>32</sup> Dlatego też wszelkie wysiłki podjęte w celu zwiększenia wydajności jej systemu energetycznego mogą mieć ogromny wpływ na środowisko.

Obecnie ciepłownictwo miejskie w Warszawie obsługiwane jest głównie przez dwie elektrociepłownie: Siekierki z 1961 r. i Żerań z 1954 r., opalane odpowiednio węglem i gazem.<sup>33,34,35</sup> Siekierki są w stanie ogrzać 55% budynków w Warszawie i dysponują mocą cieplną rzędu 2065 MWt i elektryczną rzędu 620 MWe. Oznacza to, że ich moc cieplna wynosi 2065 MW, a elektryczna 620 MW. Żerań jest w stanie ogrzać 43% budynków w Warszawie i dysponuje mocą cieplną rzędu 1736 MWt i elektryczną rzędu 882 MWe.

Elektrociepłownie te były na przestrzeni lat remontowane. Założono więc, że efektywność Siekierki wykorzystujących węgiel ( $\eta$ ) wynosi 85%, a Żerania spalającego gaz 90%.<sup>36</sup> Zdolność węgla MW (moc wejściowa) do dostarczenia określonej ilości MWh i MWe może zostać obliczona w następujący sposób:

$$MW_{\text{moc wejściowa}} = \frac{MW_t + MWe}{\eta} \cdot 100$$

Korzystając z tego równania MW<sub>moc wejściowa</sub> Siekierki i Żerania można wyliczyć odpowiednio jako 3159 i 2909 MW. Zatem łączna moc cieplna wynosząca 3801 MWt wymaga mocy wejściowej o wartości 6068 MW.

Według ReUseHeat<sup>37</sup> potencjał ciepła odpadowego z sieci metra wynosi 62 GWh rocznie, a do jego wykorzystania wymagane są pompy ciepła. Aby zapewnić spójność ze zbiorem danych ReUseHeat, zastosowano współczynnik COP równy 3. Oznacza to, że praca pomp ciepła wymagać będzie 31 GWh energii elektrycznej, a łączna ilość ciepła pozyskana ze stacji metra wyniesie 93 GWh. 93 GWh ciepła dostarczonego do sieci ciepłowniczej odpowiada 24,5 godzinom pracy obu elektrociepłowni, co wymagałoby wykorzystania 148 GWh energii pochodzącej głównie z paliw kopalnych.

Ciepło odpadowe ze stacji metra można wykorzystać tylko wtedy, gdy występuje zapotrzebowanie na ogrzewanie. Latem, gdy jest najniższe, zapotrzebowanie na ciepło znacznie przekracza 500 GJ na godzinę.<sup>38</sup> Zakładając, że 93 GWh ciepła pozyskanego ze stacji metra oraz pomp ciepła będzie rozłożone równomiernie na przestrzeni roku i poszczególnych dni, Warszawa będzie w stanie uzyskać 38 GJ ciepła na godzinę. Oznacza to, że sieć może z łatwością pobierać ciepło ze stacji metra.

## Zapotrzebowanie na energię ze źródeł alternatywnych

Aby osiągnąć cele klimatyczne, Warszawa musi zaprzestać korzystania z węgla i gazu ziemnego. Głównym celem elektrociepłowni, takich jak Siekierki i Żerań, jest zazwyczaj produkcja energii elektrycznej. Ciepło odpadowe powstające w wyniku produkcji energii elektrycznej jest następnie wykorzystywane przez sieć ciepłowniczą do ogrzewania pomieszczeń na terenie miasta i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Wykorzystanie ciepła odpadowego ze stacji metra może pomóc sprostać zapotrzebowaniu na ciepło w Warszawie bez konieczności korzystania z elektrociepłowni. Istnieje jednak również zapotrzebowanie na energię elektryczną, które w tym momencie zaspokajane jest przez te elektrociepłownie.

Wyprodukowanie takiej ilości ciepła jaką można pozyskać ze stacji metra wymagałoby 24,5 godziny pracy na pełnych obrotach obu elektrociepłowni łącznie. W takim bowiem czasie są one w stanie wytworzyć 37 GWh energii elektrycznej. Aby można było wykorzystać ciepło odpadowe pozyskane ze stacji metra, konieczne jest doprowadzenie prądu do pomp ciepła. Zakładając współczynnik COP równy 3, zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 31 GWh rocznie. Tak więc całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną jest równe 68 GWh.

### Czynniki emisyjne

Bezpośrednia emisja CO<sub>2</sub> z Siekierok wynosi 320,2 kg na MWh.<sup>39</sup> Dokładne dane na temat emisji CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O z elektrociepłowni nie są dostępne, dlatego stosuje się współczynniki emisji z DEFRA. Część paliwa wykorzystywanego w elektrociepłowniach to gaz ziemny, jednak przeważającą jego część stanowi węgiel. Ostrożne szacunki mówią, że połowę paliwa stanowi węgiel, a drugą połowę gaz ziemny, ponieważ emisje spowodowane przez gaz ziemny są niższe niż te generowane przez węgiel. Oznacza to 0,185 kg CO<sub>2</sub>e metanu (CH<sub>4</sub>) na MWh i 1 kg CO<sub>2</sub>e tlenku azotu (N<sub>2</sub>O) na MWh ze spalania. Daje to całkowity współczynnik emisji wynoszący 321,4 kg CO<sub>2</sub>e na MWh ze spalania (zakres 1). W przypadku emisji pośrednich (zakres 3) stosuje się współczynniki emisji DEFRA.<sup>40</sup> Emisje określa się również przyjmując stosunek 50/50 pomiędzy gazem ziemnym a węglem i wynoszą one wtedy 45,1 kg CO<sub>2</sub>e na MWh.

Elektrociepłownia Żerań wykorzystuje gaz ziemny. Według DEFRA, gaz ziemny podczas spalania emituje 202,3 kg CO<sub>2</sub>e na MWh (dolna wartość opałowa – NCV) ze spalania (zakres 1), a emisja pośrednia (zakres

3) wynosi 34,4 kg CO<sub>2</sub>e na MWh (NCV).

Aby Warszawa mogła osiągnąć swoje cele klimatyczne, konieczne będzie dostarczanie miastu oraz wspomnianym pompom ciepła energii elektrycznej pochodzącej z innych źródeł niż elektrociepłownie. Może ona być dostarczana ze źródeł niskoemisyjnych. Największym emitentem spośród tego typu źródeł jest energia słoneczna – 41 ton CO<sub>2</sub>e/GWh w całym cyklu życia.<sup>41</sup> Ten współczynnik emisji służy do obliczenia śladu węglowego alternatywnego źródła energii. W rzeczywistości niskoemisyjna energia elektryczna będzie dostarczana z różnych źródeł, w związku z czym ślad będzie mniejszy.

### Korzyści klimatyczne z wykorzystywania ciepła odpadowego

Warszawa musi być w stanie wyprodukować 68 GWh niskoemisyjnej energii elektrycznej na potrzeby pomp ciepła oraz w celu zrekompensowania zmniejszonej produkcji energii przez elektrociepłownie. Na potrzeby kalkulacji zakłada się, że alternatywna energia elektryczna pochodzić będzie z energii słonecznej, ponieważ generuje ona najwyższe poziomy emisji spośród odnawialnych źródeł energii.<sup>42</sup> Przy takim założeniu powiązana emisja wyniesie 2 778 ton CO<sub>2</sub>e. Zmniejszenie produkcji energii elektrycznej w elektrociepłowniach o 37 GWh oznacza łączną redukcję emisji CO<sub>2</sub>e ze spalania oraz emisji pośrednich o 45 171 ton. Oznacza to, że łączna redukcja CO<sub>2</sub>e spowodowana wykorzystaniem ciepła odpadowego ze stacji metra warszawskiego może wynieść 42 393 ton CO<sub>2</sub>e. Ślad węglowy na jednego mieszkańca w Polsce spowodowany zużyciem energii wynosi 6,72 ton CO<sub>2</sub>e rocznie.<sup>43</sup> Oznacza to, że wykorzystanie ciepła odpadowego wygeneruje ślad węglowy równy temu wytwarzanemu przez 6 308 obywateli Polski rocznie.

# Dokumenty źródłowe

1. Eurostat (2021) Konsumpcja energii w gospodarstwach domowych.
2. Connolly, D. i in. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Wydział Rozwoju i Planowania Uniwersytetu w Aalborg.
3. Connolly, D. i in. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Wydział Rozwoju i Planowania Uniwersytetu w Aalborg.
4. MAE (2020). Całkowity popyt na energię z podziałem na regiony – Europa.
5. MAE (2022). Streszczenie sprawozdania – Polska.
6. Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2021). Polityka energetyczna Polski do roku 2040.
7. The Guardian (2015). How Warsaw's district heating system keeps the capital cleaner than Krakow.
8. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
9. EOG (2023). Greenhouse has emission intensity in electricity generation in Europe.
10. Wikipedia (2023). Elektrociepłownia Siekierki. Dostęp dn. 6.12.2023.
11. Wikipedia (2023). Elektrociepłownia Żerań. Dostęp dn. 6.12.2023.
12. WNP (2023). Inwestycje gazowe w Ec Żerań zakończone – ruszyła druga kotłownia gazowa.
13. The Guardian (2015). How Warsaw's district heating system keeps the capital cleaner than Krakow.
14. Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2021). Polityka energetyczna Polski do roku 2040.
15. MAE (2022). Energy Statistics Data Browser (wyszukiwarka danych statystycznych dot. energii). Podaż energii – Produkcja elektryczności z podziałem na źródła – Polska.
16. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
17. Ilość ciepła odpadowego wytwarzanego każdego roku przez stacje metra w Warszawie to 92 988 MWh. Średnia powierzchnia mieszkaniowa na osobę w Polsce wynosi ok. 37m<sup>2</sup> (Statista, 2023) a średnie zużycie ciepła to 172 kWh/m<sup>2</sup> (EOG, 2015), lub 6378 MWh rocznie na mieszkanie o powierzchni 37m<sup>2</sup>. Oznacza to, że mieszkania 14 582 Polaków będą mogły być ogrzewane przez rok przy wykorzystaniu ciepła odpadowego z warszawskiego metra.
18. NIRAS. EIFO Green Accelerator: søg tilskud til modning af dit grønne eksportprojekt.
19. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
20. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
21. Danfoss (2022). Danfoss Impact nr 2. Największe na świecie niewykorzystane źródło energii: Ciepło odpadowe.
22. Intelligent Energi (2023). Kalundborg jagter bæredygtige løsninger på tværs af sektorer.
23. Pražská teplárenská (2023) I want warmth | Pražská teplárenská a.s. (ptas.cz).
24. Ratusz Miasta Pragi, Wydział Ochrony Środowiska (2021) Plan klimatyczny dla Pragi do 2030 roku: Praga na drodze do neutralności emisyjnej. Str. 54.
25. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
26. Energy Industry Review (2021). EC to Support Rehabilitation of District Heating System in Bucharest.
27. Think Geoenergy (2021). Budapest, Hungary plans geothermal district heating project.
28. Fritz i in. (2022). Usage of excess heat for district heating – Analysis of enabling factors and barriers. Journal of Cleaner Production. 363, str. 10.
29. Fritz i in. (2022). Usage of excess heat for district heating – Analysis of enabling factors and barriers. Journal of Cleaner Production. 363, str. 9.
30. The Guardian (2015). How Warsaw's district heating system keeps the capital cleaner than Krakow.
31. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
32. EEA (2023). Greenhouse has emission intensity in electricity generation in Europe.

33. Wikipedia (2023). Elektrociepłownia Siekierki. Dostęp dn. 6.12.2023.
34. Wikipedia (2023). Elektrociepłownia Żerań. Dostęp dn. 6.12.2023.
35. WNP (2023). Inwestycje gazowe w Ec Żerań zakończone – ruszyła druga kotłownia gazowa.
36. EPA (2021). Metody obliczania efektywności elektrociepłowni.
37. Moreno, D., i in. (2022). The European Waste Heat Map ReUseHeat project, Uniwersytet w Aalborg.
38. Kurek, T. i in. (2021). Algorytm prognozujący zapotrzebowanie na ciepło dla warszawskiej sieci ciepłowniczej, str. 4, rys. 1.
39. Veolia Energia Warszawa (2022). Wpływ na środowisko - zanieczyszczenia wyemitowane do powietrza ze źródeł przy wytworzeniu.
40. DEFRA (2023). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2022.
41. COWI (2023). Comparing CO<sub>2</sub> Emissions from Different Energy Sources.
42. COWI (2023). Comparing CO<sub>2</sub> Emissions from Different Energy Sources.
43. Komisja Europejska (2021). Consumption Footprint Platform.

# Podziękowania

Specjalne podziękowania dla dr Konrada Wojdana (adiunkta w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej), dr Konrada Świrskiego (profesora w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej) oraz dr Teresy Kurek (analityczki danych w Transition Technologies) za ich cenny wkład oraz

komentarze do pierwszych wersji tego dokumentu. Poglądy wyrażone w tym opracowaniu są poglądami firmy Danfoss. Ich kompletności i dokładności nie należy przypisywać żadnym zewnętrznym recenzentom ani innym podmiotom.





Więcej informacji:

[www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

[www.danfoss.pl](http://www.danfoss.pl)

Data publikacji: 19 stycznia 2024 r.

Danfoss Poland

Dział Komunikacji i Public Affairs

ul. Chrzanowska 5

05-825 Grodzisk Mazowiecki

Polska

tel. +48 22 755 07 00

e-mail: [komunikacja@danfoss.com](mailto:komunikacja@danfoss.com)