Danfoss Impact
Wydanie nr 4

Efektywność energetyczna 2.0

Projektowanie systemu energetycznego przyszłości

Czas zdefiniować efektywność energetyczną na nowo

Przedmowa: Jürgen Fischer

President, Danfoss Climate Solutions

Większość z nas nie zastanawia się nad tym, jak działają sieci energetyczne, czyli infrastruktura zapewniająca nam dostawy energii elektrycznej. To dość paradoksalne, ponieważ prąd elektryczny jest nam dziś niezbędny. Funkcjonowanie fabryk, szpitali, portów, policji, armii, przemysłu transportowego czy systemów komunikacyjnych zależy od efektywności działania sieci energetycznych. Brak oświetlenia to tak naprawdę najmniej poważny skutek przerw w dostawach prądu. Przerwy te zdarzają się coraz częściej i trwają dłużej. Jednakże to nic w porównaniu do wyzwań, przed którymi stanie system energetyczny świata w przyszłości, kiedy zapotrzebowanie na energię elektryczną drastycznie wzrośnie. Jeśli natychmiast nie zmienimy naszego podejścia do efektywności energetycznej, jeśli nie uczynimy jej najważniejszą częścią naszej polityki energetycznej i działań zapobiegających zmianom klimatycznym, przerwy w dostawach prądu będą tylko jednym z wielu problemów, którym będziemy musieli stawić czoła.

Jeżeli chcemy osiągnąć neutralność emisyjną netto oraz cele Porozumienia paryskiego, do roku 2050 energia pochodząca ze źródeł odnawialnych musi stanowić ok. 70% miksu energetycznego.[1] Jednak nie zwraca się uwagi na to, co to oznacza dla systemu energetycznego. Czy będziemy mieli możliwości oraz odpowiednią infrastrukturę pozwalającą na efektywne wykorzystanie całej energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, gdy już będziemy w jej posiadaniu? Jakie działania należy podjąć już dziś, aby mieć pewność, że zdekarbonizowany system energetyczny przyszłości rzeczywiście powstanie?

Zacznijmy od energii słonecznej i wiatrowej, czyli od najczęściej omawianych zagadnień podczas dyskusji na temat energii ze źródeł odnawialnych. Większość energii produkowanej przez te źródła występuje w formie prądu elektrycznego. Lecz jeśli nie będziemy w posiadaniu właściwej infrastruktury pozwalającej na efektywne wykorzystanie tej energii elektrycznej w transporcie, budynkach czy przemyśle, produkowanie tak dużej ilości nie ma większego sensu. Abyśmy mogli wykorzystać energię elektryczną pozyskiwaną ze źródeł odnawialnych, **musimy dokonać rewolucji polegającej na elektryfikacji wszelkich możliwych części składowych naszego systemu energetycznego.**

W pełni zelektryfikowane społeczeństwo byłoby w stanie obniżyć poziom końcowego zużycia energii nawet o 40%, ponieważ technologie elektryczne marnują mniej energii niż ich odpowiedniki wykorzystujące paliwa kopalne.[2] Jednocześnie działania mające na celu zwiększenie efektywności energetycznej mogą przyspieszyć elektryfikację sektorów. Na przykład zwiększenie wydajności pojazdów ciężkich ma bezpośrednie przełożenie na zmniejszenie rozmiaru akumulatorów wymaganych do ich elektryfikacji. Dlatego też musimy zacząć postrzegać elektryfikację jako formę efektywności energetycznej.

Zgranie w czasie jest w tym przypadku kluczowe. System energetyczny przyszłości będzie wymagał od nas nie tylko wykorzystywania właściwych rodzajów źródeł energii, ale również wykorzystywania jej w odpowiednim czasie. Nasze zachowania i przyzwyczajenia determinują okresy zapotrzebowania na energię. Gdy jesteśmy aktywni,

zużywamy większe jej ilości, a gdy śpimy, jest odwrotnie. Natomiast to natura dyktuje, kiedy wieje wiatr i świeci słońce. Niestety nasze zwiększone zapotrzebowanie na energię nie zawsze zbiega się z właściwą prognozą pogody, przez co korzystamy ze źródeł kopalnych, gdy dostawy energii odnawialnej znajdują się na niskim poziomie. Prowadzi to nie tylko do wyższych kosztów wytwarzania energii, lecz także do znacznie większego śladu węglowego w godzinach szczytu. Na szczęście, efektywność energetyczna osiągana dzięki większej elastyczności rozwiązań wykorzystywanych po stronie odbiorców energii pozwala na lepsze zarządzanie zależnościami pomiędzy podażą a popytem. Takie podejście jest niezbędne w procesie eliminowania okresów zwiększonego zapotrzebowania charakteryzujących się dużym śladem węglowym. Dzięki dostępnym dziś elastycznym rozwiązaniom wykorzystywanym przez odbiorców energii, możemy oszczędzać pieniądze, obniżać poziom emisji CO_2 oraz stabilizować funkcjonowanie sieci energetycznych.

W przyszłości nie wszystko będzie napędzane jedynie prądem elektrycznym. Wciąż będziemy potrzebować alternatywnych czystych źródeł w celu przeprowadzenia głębokiego procesu dekarbonizacji takich sektorów jak przemysł ciężki, lotnictwo czy transport na długich trasach. Najbardziej obiecującą alternatywę stanowi tutaj wodór. Będzie on niezwykle ważnym elementem systemu energetycznego przyszłości doświadczającego okresów nadwyżki energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Jednakże proces elektrolizy, czyli wytwarzania wodoru przy pomocy prądu elektrycznego, stworzy ogromne zapotrzebowanie na energię elektryczną, przez co znacząco obciąży przestarzałą już sieć energetyczną. Na szczęście, **połączenie efektywności energetycznej i elektryfikacji może pomóc utrzymać zapotrzebowanie na wodór na realistycznym i osiągalnym poziomie oraz produkować go w sposób najbardziej efektywny energetycznie.** Jeśli mamy zrealizować ten plan, musimy już teraz powziąć właściwe polityczne decyzje, które pozwolą na efektywną energetycznie produkcję wodoru w przyszłości.

Produkcja energii ze źródeł odnawialnych z pewnością nie będzie wystarczająca do tego, aby sprostać zapotrzebowaniu zelektryfikowanego systemu energetycznego obsługującego populację 9,8 miliarda ludzi w 2050 roku. Ciepło odpadowe będzie naszym największym sprzymierzeńcem w procesie zaspokajania potrzeb energetycznych. W roku 2030 do 53% wyprodukowanej na świecie energii zostanie zmarnowane jako ciepło odpadowe[3]. **Odzyskane i wykorzystane ponownie ciepło odpadowe może zastąpić znaczne ilości prądu elektrycznego, gazu i innych paliw, które byłyby potrzebne do produkcji ciepła.** W ten sposób może ono pomóc ustabilizować sieci elektryczne w przyszłości oraz wspierać zieloną przemianę.

Jak wskazuje powyższe, efektywność energetyczna nie jest jedynie dodatkiem do odnawialnych źródeł energii. W systemie energetycznym przyszłości **efektywność energetyczna musi zająć centralne miejsce i działać w harmonii z wykorzystywaniem odnawialnych źródeł energii** abyśmy mogli osiągnąć nasze cele klimatyczne, zapewnić światu bezpieczeństwo energetyczne, pobudzić gospodarkę i zasadniczo zmienić sposób zarządzania energią i jej wykorzystaniem. Na nowo zdefiniowana efektywność energetyczna, którą nazywamy „efektywnością energetyczną 2.0", to najszybszy i najbardziej efektywny kosztowo sposób na realizację scenariusza zerowej emisji netto do 2050 roku. Dobra wiadomość jest taka, że już jesteśmy w posiadaniu wymaganych technologii. Nie potrzebujemy magii, ale natychmiastowych decyzji politycznych, które pozwolą nam na wprowadzenie tych rozwiązań na szerszą skalę.

„Używanie słowa *blackout* w odniesieniu do przerwy w dostawie prądu jest czymś niewłaściwym. Brak oświetlenia to w rzeczywistości najmniej poważny skutek niewydolności naszych systemów energetycznych".

Gretchen Bakke, The Grid[4]

„Każda wystarczająco zaawansowana technologia nie różni się niczym od magii".

Arthur C. Clarke,
Hazards of Prophecy[5]

Masz tylko 2 minuty?

To jest Efektywność Energetyczna 2.0

1. Elektryfikujmy wszystko, co możliwe

Przechodząc z systemu energetycznego wykorzystującego paliwa kopalne na w pełni zelektryfikowany, możemy obniżyć końcowe zużycie energii nawet o 40%[6]**.** Elektryfikacja sama w sobie jest formą efektywności energetycznej, ponieważ większość technologii elektrycznych charakteryzuje się niższym współczynnikiem strat energii, podczas wykonywania tych samych czynności co ich odpowiedniki wykorzystujące paliwa kopalne.

2. Wdrażajmy rozwiązania zwiększające elastyczność

Zdefiniowana na nowo efektywność energetyczna nie oznacza zużywania mniejszej ilości energii, lecz zużywanie jej we właściwym czasie. Maksymalizując potencjał elastyczności po stronie odbiorców energii, **UE i Wielka Brytania mogą zmniejszyć emisje CO_2 o 40 milionów ton rocznie oraz obniżyć poziom wytwarzania energii elektrycznej z gazu ziemnego o 106 TWh**, czyli o około jedną piątą ilości tego gazu wykorzystanego do wytwarzania energii elektrycznej w UE w 2022 roku. Co więcej, do roku 2030 roczne oszczędności w zakresie kosztów społecznych mogą wynieść 10,5 miliarda euro. Ponadto, **gospodarstwa domowe mogłyby obniżyć rachunki za energię elektryczną średnio o 7%**.

3. Mądrze korzystajmy z wodoru

Zasilanie naszego przyszłego systemu energetycznego energią ze źródeł odnawialnych będzie wymagało szybkiego zwiększenia poziomu wykorzystania wodoru. Jednakże konwersja wodoru wymaga ogromnych ilości energii. Do 2050 roku **do produkcji wodoru potrzebna będzie ponad połowa aktualnego całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną.**[7,8,9,10] Wykorzystanie wysokoefektywnych procesów elektrolizy będzie niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa i stabilności energetycznej, a także obniżenia zapotrzebowania na energię używaną do produkcji wodoru.

4. Integrujmy sektory

Strategicznie integrując sektory i wykorzystując ciepło odpadowe, możemy obniżyć zapotrzebowanie na produkcję energii oraz zmaksymalizować wydajność. **Do 2030 roku aż 53% energii wyprodukowanej na świecie będzie marnowane w postaci ciepła odpadowego**[11]. **Ciepło to można jednak wychwycić i ponownie wykorzystać** do zasilania urządzeń, a także ogrzewania budynków oraz wody dzięki daleko idącej integracji sektorów.

Efektywność energetyczna 2.0

Projektowanie systemu energetycznego przyszłości

W scenariuszu zerowej emisji netto zmiany muszą dotyczyć nie tylko źródeł energii, lecz także sposobów przesyłania, przetwarzania, przechowywania i wykorzystywania energii, również ponownego.

Dokument ten tworzy nową narrację dotyczącą efektywności energetycznej, pokazując, że **elektryfikacja, elastyczność po stronie odbiorców energii, konwersja, magazynowanie i integracja** sektorów muszą zająć centralne miejsce w przyszłym systemie energetycznym, umożliwiając utworzenie sieci energetycznej zasilanej przez odnawialne źródła energii.

7 Wielka transformacja sieci

11 Przyszłość jest elektryczna

19 Elastyczność: zgranie w czasie jest kluczowe

25 Konwersja to klucz do zerowej emisji netto

31 Magazynowanie energii w przyszłości

35 Ponowne wykorzystanie energii dzięki integracji sektorów

41 Rekomendowane działania prawne

Opierając się na dowodach empirycznych i danych z różnych wiarygodnych źródeł, w czwartym wydaniu Danfoss Impact zaprezentowano, jak alternatywne rozumienie efektywności energetycznej, określane w opracowaniu jako „Efektywność Energetyczna 2.0" (EE 2.0), będzie miało kluczowe znaczenie dla w pełni zelektryfikowanego i zdekarbonizowanego systemu energetycznego.

W literaturze termin „inteligentna sieć" jest szeroko stosowany do opisywania wzajemnie połączonych części składowych systemu energetycznego przyszłości. W inteligentnej sieci elektryfikacja, integracja sektorów, elastyczność, konwersja oraz magazynowanie energii będą uzupełniać się nawzajem w bardziej wydajnym systemie, który dostarcza właściwą energię we właściwym czasie. Właśnie to mamy na myśli mówiąc w tym dokumencie o „systemie energetycznym przyszłości".

Produkcja wodoru w przyszłości musi opierać się na zdekarbonizowanym wytwarzaniu energii elektrycznej. W niniejszym dokumencie wodór wytwarzany z odnawialnej energii elektrycznej nazywany jest „wodorem niskoemisyjnym", zgodnie z World Energy Outlook opublikowanym przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (MAE). Termin ten jest wymienny z określeniem „zielony wodór", który jest szeroko stosowany w literaturze, ale nie posiada standardowej definicji.

Specjalne podziękowania dla prof. Nicka Eyre (profesora ds. polityki energetycznej i klimatycznej na Uniwersytecie Oksfordzkim oraz starszego pracownika badawczego w dziedzinie energii w Instytucie Zmian Środowiskowych), dr. Jana Rosenowa (dyrektora ds. programów europejskich w Projekcie Pomocy Regulacyjnej, honorowego pracownika badawczego w Instytucie Zmian Środowiska Uniwersytetu Oksfordzkiego), Frederika Dahla Nielsena (doktoranta na wydziale Sustainable Energy Planning na Uniwersytecie w Aalborg) i dr. Briana Vadowa Mathiesenowa (profesora wydziału Sustainable Energy Planning na uniwersytecie w Aalborg) za cenny wkład i uwagi do wstępnych 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.

Wydanie nr 4 Danfoss Impact zostało przygotowane przez Group Analysis w Group Communication & Public Affairs w Danfoss przy nieocenionej pomocy Helge Vandela Jensena, Director Business Development, Electrification, Ditte Lykke Wehner, Portfolio Manager, Digital Services, oraz Andrei Voigt, Head of Global Public Affairs and Communications w Danfoss Climate Solutions.

Komentarze oraz pytania prosimy przesyłać do Sary Vad Sørensen, Head of Analysis na adres sara.sorensen@danfoss.com.

Wielka transformacja sieci

„Jesteśmy świadkami początku końca ery paliw kopalnych i musimy przygotować się na kolejną epokę".
Fatih Birol, dyrektor Międzynarodowej Agencji Energetycznej[12]

W systemie energetycznym przyszłości charakteryzującym się zerowym poziomem emisji netto światowe dostawy energii muszą spaść o 15% w latach 2021–2050 wraz z szybkim rozwojem odnawialnych źródeł energii (Rys. 1).

W 2021 roku, 79% wyprodukowanej na świecie energii pochodziło z paliw kopalnych. Do roku 2050 udział tego rodzaju energii należy obniżyć do przynajmniej 18%, z czego 8% należy zmniejszyć poprzez wychwytywanie i magazynowanie dwutlenku węgla. Choć nadal toczy się debata na temat potencjału wychwytywania i składowania dwutlenku węgla, naukowcy są zgodni co do tego, że musimy drastycznie ograniczyć naszą zależność od paliw kopalnych. Tymczasem energia ze źródeł odnawialnych stanowiła 11% ogółu energii wyprodukowanej w 2021 roku. Liczba ta musi wzrosnąć do 70% do roku 2050, przy czym energia słoneczna i wiatrowa będą musiały stanowić łącznie 39%. Nie jest być może zaskoczeniem, że musimy prowadzić więcej działań aniżeli sugerują to aktualnie przyjęte polityki, a nawet więcej niż te wynikające ze zobowiązania do osiągnięcia zerowej emisji netto w 2050 roku. **Innymi słowy, aby stworzyć system energetyczny kompatybilny z celami zerowej emisji netto, należy przeprowadzić rewolucję na pełną skalę w obszarze dostaw energii**.

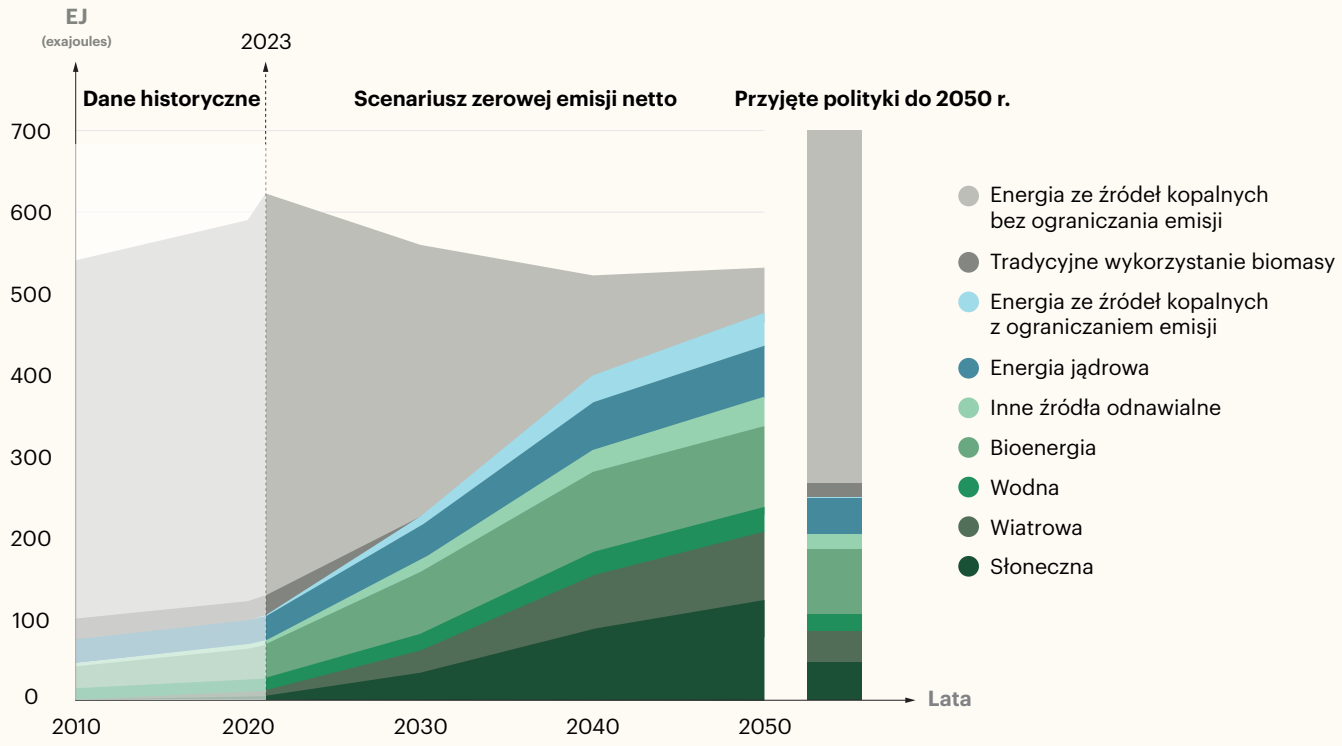
Z punktu widzenia jedynie dostaw energii, będziemy potrzebowali znacznych inwestycji w energię słoneczną, wiatrową i inne odnawialne źródła energii, wykraczających poza to, co obecnie się deklaruje czy obiecuje. Oczywiście musi to iść w parze z jednoczesnym ograniczaniem korzystania ze źródeł kopalnych[13]. Na szczęście **w ostatnich latach koszt wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych znacząco spadł, a największy rozwój odnotowały obszary energii słonecznej i wiatrowej pozyskiwanej na lądzie**[14]**.** W tym samym czasie ceny węgla stabilizowały się, a ceny energii jądrowej znacznie wzrosły, głównie z powodu zaostrzenia przepisów bezpieczeństwa.

Podsumowując, bardziej opłaca się inwestować w odnawialne niż w kopalne źródła energii. Staną się one jeszcze bardziej atrakcyjne, gdy technologie takie jak konwertery energii wiatrowej czy inwertery fotowoltaiczne zwiększą wydajność, z jaką te odnawialne źródła energii mogą wytwarzać czystą energię elektryczną. Oznacza to, że możemy dostarczać światu energię niskoemisyjną, która jest jednocześnie najtańszą i najbardziej efektywną opcją. **Przejście na energię odnawialną wiąże się jednak z koniecznością restrukturyzacji naszej sieci energetycznej.**

Tworzenie świata zasilanego energią elektryczną

Aby można było zdekarbonizować system energetyczny przyszłości, energia odnawialna musi zastąpić paliwa kopalne, a system musi zostać w pełni zelektryfikowany. Tego typu elektryfikacja na pełną skalę nie tylko doprowadzi do znacznego obniżenia poziomu emisji gazów cieplarnianych, lecz także do znacznego zmniejszenia zapotrzebowania na energię u użytkownika końcowego oraz do dużych oszczędności finansowych[15].

Transformacja źródeł energii na świecie



Rys 1: Niezbędna transformacja dostaw energii na świecie prowadząca do osiągnięcia zerowej emisji netto zestawiona z sytuacją z 2050 roku, będącą rezultatem realizacji obecnie przyjętych polityk. Źródło: World Energy Outlook 2022 autorstwa MAE[16]

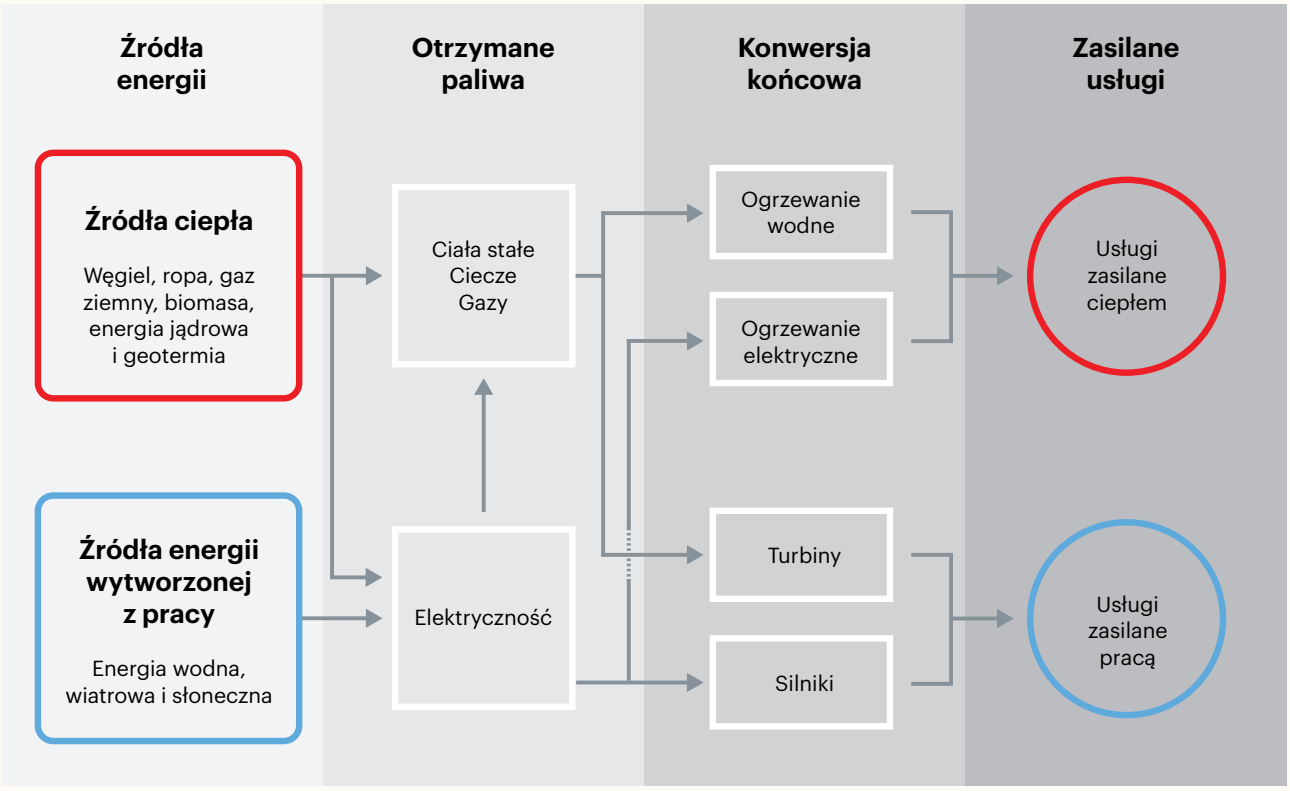
W celu opisania wielkiej transformacji sieci, profesor Uniwersytetu Oksfordzkiego Nick Eyre wyjaśnił, dlaczego przejście od źródeł energii wytwarzających ciepło do źródeł energii wytworzonej z pracy jest konieczne do osiągnięcia celów Porozumienia paryskiego.

Wszystkie elementy naszych gospodarek i społeczeństw są zasilane albo ciepłem, albo pracą. Paliwa kopalne są głównym źródłem energii cieplnej. Podczas spalania zamieniają się w ciepło, które jest wykorzystywane do różnorakich celów – od ogrzewania pomieszczeń po napędzanie pojazdów. Praca polega natomiast na wykorzystywaniu ruchu, takiego jak obracanie się łopat wirnika turbiny wiatrowej, do generowania energii. Jak widać na powyższym Rys. 1, w przyszłości stanie się to jednym z głównych sposobów wytwarzania energii, obok wykorzystywania innych źródeł energii wytworzonej z pracy, takich jak energia słoneczna i wodna.

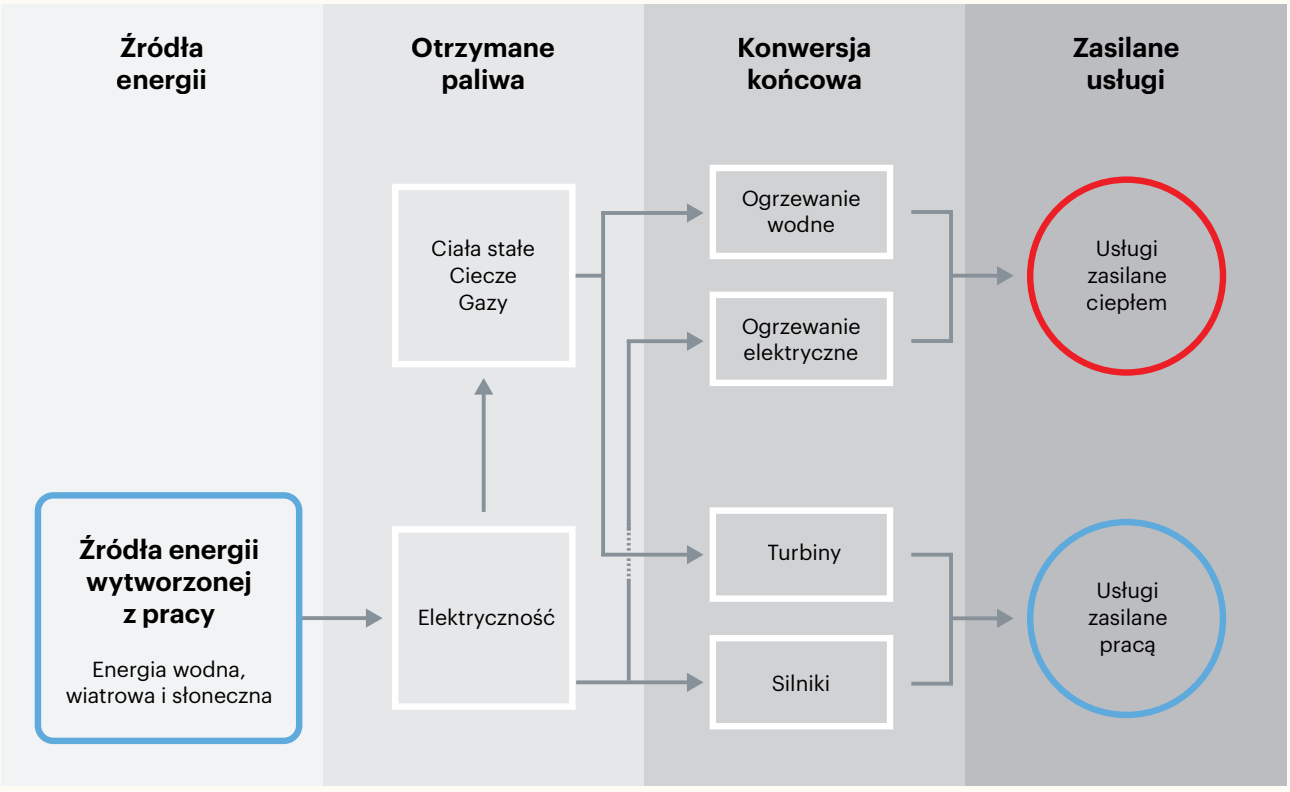
Obecnie większość elementów składowych naszych społeczeństw zasilana jest źródłami wytwarzającymi ciepło, które wymagają spalania paliw kopalnych. W celu dekarbonizacji systemu energetycznego, będziemy musieli zasadniczo przekształcić większość źródeł – z producentów ciepła w producentów pracy.

Głównym wyzwaniem w procesie przejścia od ciepła do pracy nie jest wytwarzanie energii elektrycznej, ale umożliwienie zasilania energią elektryczną odbiorcy końcowego. **Około 80% energii końcowej nie pochodzi z energii elektrycznej.**[17] Zmiana, przed którą stoimy, jest zasadniczo odwróceniem zmian wprowadzonych przez rewolucję przemysłową – zamiast wykorzystywać energię cieplną do zasilania usług wymagających pracy, będziemy dostarczać energię wytworzoną z pracy do zasilania niemal wszystkich usług. Innymi słowy, praca będzie stanowić źródło energii dla usług obecnie zasilanych zarówno ciepłem, jak i pracą. Oznacza to, że sposób, w jaki do tej pory postrzegaliśmy nasz system energetyczny, zostanie wywrócony do góry nogami – odejdziemy od przekształcania ciepła w pracę na rzecz przekształcania pracy w ciepło.

Ciepło i praca w obecnym systemie energetycznym



Ciepło i praca w przyszłym systemie energetycznym



Rys. 2: Rysunek zaadaptowany z Eyre, N. (2021). Źródłami ciepła są biomasa, węgiel, ropa, gaz ziemny, reaktory jądrowe oraz geotermia. Źródłami pracy są energia wodna, wiatrowa i słoneczna. W systemie odnawialnej energii elektrycznej przewiduje się pewną ilość energii jądrowej i geotermalnej, aczkolwiek będą to źródła mało istotne w skali światowej. Działania zasilane ciepłem to np. ogrzewanie pomieszczeń, mycie, gotowanie, suszenie, generowanie pary. Działania zasilane energią wytworzoną z pracy to np. zasilanie stacjonarne, transport, oświetlenie, przetwarzanie danych oraz elektrochemia. Źródło: Eyre, N. (2021). Od ciepła do pracy – redefinicja drogi do osiągnięcia zerowego poziomu emisji. Efektywność energetyczna. 14:77, 1-20.

Etapy elektryfikacji sieci energetycznej

W scenariuszu zerowej emisji netto zmiany muszą dotyczyć nie tylko źródeł energii, lecz także sposobów jej wykorzystywania. Nasza sieć energetyczna musi przejść transformację pozwalającą jej na świadczenie usług energetycznych bez obniżania naszego poziomu komfortu, bezpieczeństwa energetycznego czy wzrostu gospodarczego. Taka transformacja wymaga następujących kroków:

1. **Elektryfikujmy wszystko, co możliwe.** Większość źródeł odnawialnych wytwarza prąd elektryczny. Abyśmy mogli wykorzystać wciąż rozwijane źródła odnawialne niezbędne do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto, należy znacząco poszerzyć zakres i zasięg procesu elektryfikacji. Zostanie to omówione w kolejnej części opracowania.

2. **Odejdźmy od wytwarzania ciepła za pomocą paliw. Zamiast tego wytwarzajmy je za pomocą zielonej energii elektrycznej** – wykorzystując sieci ciepłownicze, ogrzewanie elektryczne lub pompy ciepła (jak zostało to omówione na stronie 13). Energia elektryczna jest bardziej wydajna niż paliwa w przypadku wytwarzania temperatur poniżej 100°C, a to jest więcej niż wystarczające do ogrzewania pomieszczeń, a także przeprowadzania wielu procesów przemysłowych.[18]

3. **Elektryfikujmy pośrednio w sektorach, w których ograniczanie emisji jest trudne.** Chociaż nie sporządzono jeszcze kompletnej strategii, będziemy musieli przyjrzeć się alternatywnym rozwiązaniom w takich sektorach, jak loty i żegluga na długich trasach oraz procesy przemysłowe wymagające zastosowania wysokich temperatur. Jedną z najbardziej obiecujących alternatyw jest niskoemisyjny wodór, o którym piszemy na stronie 15.

Przyszłość jest elektryczna

Przejście na w pełni zelektryfikowany system energetyczny mogłoby obniżyć końcowe zużycie energii aż o 40%[19].

Wiek XX był złotym okresem dla elektryfikacji. Dzięki znaczącym przełomom w kwestiach wydajności, niezawodności oraz zastosowań, energia elektryczna stała się i pozostaje do dziś podstawowym składnikiem niemal wszystkich nowoczesnych technologii[20]. Większość wszystkich przełomów inżynieryjnych, jakie wydarzyły się od tamtego czasu, nie byłaby możliwa bez wykorzystania elektryczności. Nie byłoby ani internetu, ani lodówki czy żarówki.

Skoro elektryfikacja to fundament XX wieku, czego możemy spodziewać się w wieku XXI? Okazuje się, że **do tej pory wykorzystaliśmy potencjał elektryczności do zrewolucjonizowania naszego życia w bardzo ograniczonym stopniu**. Choć elektryfikacja umożliwiła już zastosowanie milionów nowych technologii, które znacznie poprawiły zdrowie ludzkie i jakość naszego życia, musimy ponownie wykorzystać ją do przeprowadzenia radykalnej transformacji naszych społeczeństw i gospodarek. W taki sam sposób jak paliwa kopalne, takie jak węgiel czy gaz, umożliwiły rewolucję przemysłową, elektryfikacja umożliwi stworzenie systemu energetycznego przyszłości.

Drogi do elektryfikacji

Kiedy mówimy o elektryfikacji, zazwyczaj mamy na myśli przekształcenie maszyn napędzanych obecnie paliwami kopalnymi – takich jak samochody osobowe – w takie, które moglibyśmy ładować, najlepiej wykorzystując do tego odnawialne źródła energii. Tego typu działania nazywamy elektryfikacją bezpośrednią.

Jednakże elektryfikacja to nie tylko podłączanie urządzeń do gniazdka. W obszarze transportu podążanie tą samą drogą, co w przypadku samochodów osobowych, może wydawać się łatwe – wyposażenie wszystkich pojazdów w akumulator oraz ładowanie go energią pochodzącą ze źródeł odnawialnych. Jednakże w przeważającej części sektora transportowego nie jest to takie proste.

Przyjrzyjmy się na przykład pojazdom ciężkim. Po pierwsze, w porównaniu z samochodami osobowymi, wiele z nich musi pracować znacznie ciężej i dłużej pomiędzy ładowaniami, co oznacza, że potrzebują one wyjątkowo dużych akumulatorów, aby móc dorównać wydajnością swoim odpowiednikom zasilanym olejem napędowym. Po drugie, ograniczenia operacyjne i logistyczne często komplikują wymianę akumulatorów, np. podczas pracy w terenie lub na dużych placach budowy. I po trzecie, energia odnawialna w sieci energetycznej nie jest nieograniczona, a ilość dodatkowej energii tego typu wymaganej do elektryfikacji floty koparek jest ogromna. Z przybliżonych szacunków wynika, że gdyby wszystkie koparki na świecie zostały zelektryfikowane, zużywałyby tyle samo energii, ile obecnie wytwarzane jest przez wszystkie morskie turbiny wiatrowe na świecie[21]. W takich przypadkach pewne elementy maszyn napędzanych paliwami kopalnymi, takie jak pompy hydrauliczne, powinny zostać zelektryfikowane, aby zwiększyć wydajność silnika spalinowego. Taka forma hybrydowej elektryfikacji pojazdów jest bardzo użytecznym krótko- i średnioterminowym rozwiązaniem w przypadku ciężkich maszyn, szczególnie w przypadku zastosowań przemysłowych, budowlanych oraz związanych z transportem morskim. Jak zostało to przedstawione na stronie 12, poprawa efektywności pracy pojazdów toruje również drogę do pełnej ich elektryfikacji.

Przykład: Dekarbonizacja pojazdów ciężkich

Maszyny budowlane na całym świecie emitują 400 MT CO_2 rocznie[22], czyli tyle, ile loty międzynarodowe[23]. 50% tej emisji generują koparki[24]. Te dziś używane są wydajnie tylko w 30%, co oznacza, że 70% energii wytwarzanej przez ich silniki nie jest wykorzystywane do wprawiania w ruch łyżek, lecz po prostu marnowane. Aby określić straty energii w pojeździe ciężkim, nie wystarczy przeanalizować jedynie pracę jego silnika. Układ hydrauliczny maszyn budowlanych składa się z pompy, która tłoczy płyny pod ciśnieniem w celu przeniesienia mocy z silnika na elementy wykonujące określoną pracę, taką jak podnoszenie czy kopanie. Niezależnie od tego, czy pojazd jest wyposażony w silnik elektryczny czy spalinowy, jego zużycie energii można znacznie zmniejszyć, wykorzystując rozwiązania z obszaru efektywności energetycznej. Na przykład zużycie energii podczas przestoju w pracy można znacznie zmniejszyć dzięki rozwiązaniom takim jak pompy o zmiennej wydajności, cyfrowe pompy wyporowe, pompy o zmiennej prędkości i napędy zdecentralizowane.

Tego typu rozwiązania zwiększające efektywność energetyczną umożliwiają koparkom wykonywanie większej ilości pracy przy mniejszym silniku i mniejszym zużyciu paliwa. Zmniejszają także pojemność akumulatora wymaganą do elektryfikacji maszyny nawet o 24,8%[25]. **Technologia ta rozwija się szybko, a niektóre z rozwiązań pozwalają na oszczędności paliwa rzędu 15–30% w przypadku koparek powyżej 15 ton oraz jednoczesne zwiększenie wydajności pracy tych maszyn[26].** Wkrótce możliwe będzie zastosowanie tego typu technologii w koparkach każdej wielkości i uzyskanie oszczędności paliwa nawet rzędu 50%[27].

Oszczędności paliwa rzędu
15-30%
dzięki większej efektywności energetycznej

Wreszcie, wiele elementów naszego systemu energetycznego nie będzie można przekształcić w maszyny w pełni elektryczne lub hybrydowe – a przynajmniej nie w najbliższym czasie. Mowa tu o sektorach takich jak lotnictwo, transport na długich trasach oraz produkcja cementu i stali. Bezpośrednia elektryfikacja tych sektorów wymagałaby wytwarzania akumulatorów o zbyt dużych rozmiarach dla maszyn, przez które byłyby używane (np. w lotnictwie) lub wymagałaby wytwarzania ogromnych ilości ciepła (np. w przypadku produkcji cementu i stali). Sektory te stanowią główne źródła emisji gazów cieplarnianych i choć bardzo trudno zelektryfikować je bezpośrednio w efektywny sposób, ich elektryfikacja w znacznym stopniu przyczyniłaby się do ograniczenia emisji tychże gazów oraz osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto. To właśnie tutaj z pomocą przychodzi elektryfikacja pośrednia.

Elektryfikację pośrednią przeprowadza się głównie za pomocą elektrolizy wodoru. Wykorzystując energię elektryczną do produkcji wodoru, można ją pośrednio magazynować lub wykorzystywać jako paliwo podczas przeprowadzania procesów trudnych do zelektryfikowania. Szerzej rozwiniemy tę kwestię w części zatytułowanej „Konwersja to klucz do zerowej emisji netto", ale poruszymy ją również tutaj, ponieważ stanowi ona podstawowy element pełnoskalowej elektryfikacji naszego przyszłego systemu energetycznego.

Przykład: Efektywne ogrzewanie elektryczne

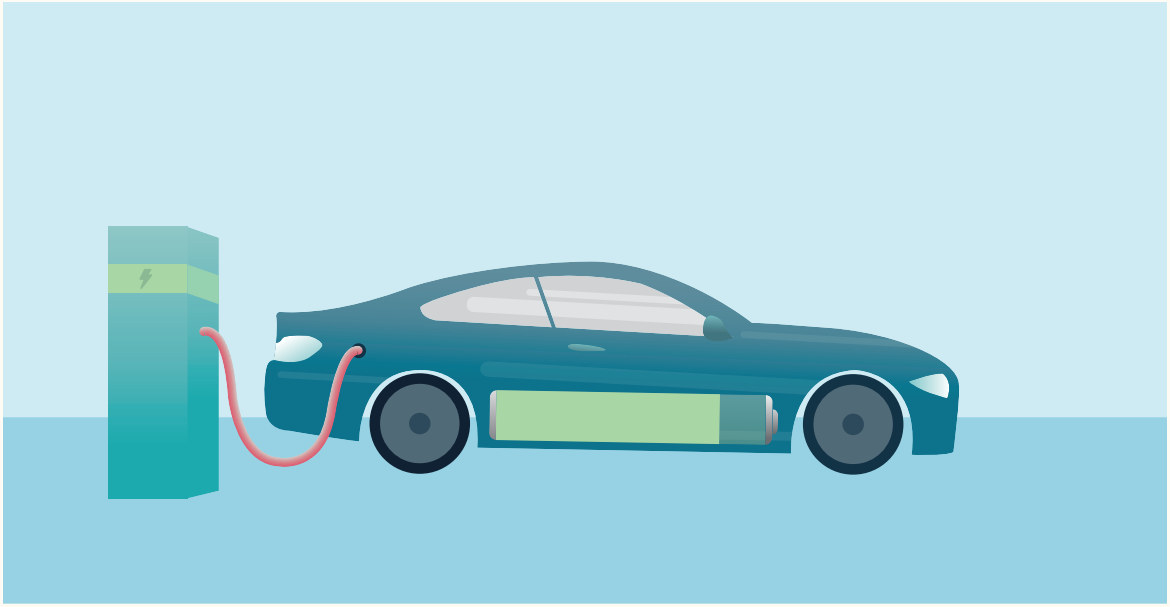
Około 60% całkowitego zapotrzebowania na ogrzewanie na świecie jest obecnie zaspokajane przez paliwa kopalne[28], co przekłada się na około cztery gigatony emisji CO_2 rocznie, czyli 10% ogółu emisji na świecie.[29]. Dzieje się tak dlatego, że wiele budynków mieszkalnych i komercyjnych korzysta z przestarzałych technologii grzewczych, takich jak kotły gazowe. Jednakże pompy ciepła mogą zapewnić te same temperatury ogrzewania przy zużyciu mniejszej ilości energii oraz przy niższym poziomie emisji dwutlenku węgla. W rzeczywistości ilość wyprodukowanej przez pompy energii w postaci ciepła jest czterokrotnie większa niż energia elektryczna używana do jej zasilania w typowym gospodarstwie domowym[30]. **Pompy ciepła, w zależności od ich typu, są od 3 do 5 razy bardziej efektywne energetycznie niż systemy zasilane paliwem lub energią elektryczną**[31]**.** Dzieje się tak dlatego, że wykorzystują one energię elektryczną w procesie pozyskiwania ciepła z powietrza, wody lub gruntu zamiast zużywania gazu czy energii elektrycznej do jego wytwarzania. Innymi słowy, ponownie wykorzystują ciepło obniżając w ten sposób ilość energii wymaganej do ogrzania tej samej wielkości pomieszczenia. Ponadto pompy ciepła są w stanie pomóc w obniżeniu rachunków za energię w dużo większym stopniu niż kotły gazowe, w zależności od cen gazu i rodzaju zainstalowanej pompy ciepła (do 45% w Niemczech, a we Francji aż do 60%)[32]. Dobrą alternatywę dla pomp ciepła w przypadku indywidulanych budynków stanowi sieć ciepłownicza – szczególnie na obszarach miejskich. Pozwala ona różnym źródłom ciepła, takim jak energia odnawialna czy ciepło odpadowe, na głębsze przenikanie do sieci energetycznej. Pompy ciepła mogą być również uzupełnieniem sieci ciepłowniczych. Dla przykładu, pompy ciepła pomagają zwiększyć temperaturę w sieci energetycznej, jeśli jest ona niższa od wymaganego poziomu.

Pompy ciepła są od

3 do 5 razy

bardziej efektywne niż systemy elektryczne oporowe

Przykład: Pojazdy elektryczne obniżają poziomy emisji



Transport drogowy odpowiada za ponad 15% światowych emisji związanych z energią[33]. Jednakże powszechnie przyjmuje się, że pojazdy elektryczne stanowią naszą największą szansę na zmniejszenie emisji generowanych przez transport drogowy zgodnie ze scenariuszem zerowego poziomu emisji netto do 2050 roku. Co znaczące, według MAE, cele dotyczące zwiększania udziału procentowego pojazdów elektrycznych to jedne z nielicznych, które rzeczywiście są na dobrej drodze do realizacji w kontekście zerowego poziomu emisji netto[34]. Ale co takiego mają pojazdy elektryczne, co może pomóc w ogromnym stopniu obniżyć poziom emisji CO_2?

Oczywistym jest, że nie emitują gazów cieplarnianych bezpośrednio do atmosfery, a energię elektryczną można dekarbonizować. Jednakże inną kluczową siłą napędzającą dekarbonizację tego sektora jest fakt, że **elektryczne układy napędowe są po prostu bardziej wydajne niż ich spalinowe odpowiedniki. Utrata energii w ich przypadku to zaledwie 15-20%, a w przypadku silników benzynowych to 64-75%**[35]. Ponadto, stratę tę można jeszcze bardziej obniżyć poprzez wdrożenie energooszczędnych modułów mocy, torując drogę do zmniejszenia rozmiaru akumulatora o 5-10% lub zwiększenia zasięgu pojazdu o 4-10%.[36,37,38,39] Innymi słowy, pokonując ten sam dystans samochodem elektrycznym marnujemy mniejszą ilość energii, co oznacza, że kierowcy mogą zużywać jej mniej, osiągając ten sam wynik.

A co z produkcją? Choć ze względu na wysokoemisyjny proces produkcji akumulatorów wytwarzanie pojazdów elektrycznych może generować więcej emisji CO_2 niż produkcja pojazdów z silnikami spalinowymi, badania przeprowadzone przez MIT wskazują, że emisje te zostaną zrekompensowane w ciągu 6 do 18 miesięcy, w zależności od źródła energii używanego do ładowania samochodu[40]. Jeśli rozwój technologiczny w tym obszarze będzie kontynuowany, pojazdy elektryczne staną się jeszcze lepszą alternatywą dla pojazdów z silnikami spalinowymi.

Przykład: Dekarbonizacja sektorów, w których ograniczanie emisji jest trudne

Tam, gdzie elektryfikacja nie jest jeszcze możliwa, przeprowadzajmy dekarbonizację. Dla przykładu, produkcja stali i cementu wymaga niezwykle wysokich temperatur – tak wysokich, że piece elektryczne nie są jeszcze w stanie wydajnie wytwarzać tych materiałów. I choć obserwujemy postępy technologiczne w zakresie elektryfikowania procesów wysokotemperaturowych, nie są one obecnie stosowane na szeroką skalę, przez co nie pozostaje nam wiele opcji innych niż paliwa kopalne. W sektorach takich jak lotnictwo czy transport na długich trasach silniki elektryczne również są w stanie wytworzyć wystarczającą moc. Wymagają jednak akumulatorów, które są zdecydowanie za ciężkie i zajmują zbyt dużo miejsca, aby były praktyczne. W obu tych przypadkach wodór jest naszą największą nadzieją na dekarbonizację.

W procesie zwanym elektrolizą energia elektryczna wykorzystywana jest do podziału wody na wodór i tlen. Otrzymany tlen można uwolnić do atmosfery, natomiast wodór można wychwycić, przechować lub przekształcić na paliwa alternatywne, takie jak syntetyczne: amoniak, nafta i metanol. Można je następnie wykorzystać do napędzania gałęzi przemysłu lub procesów wymagających wysokich temperatur lub pokonywania dużych odległości.

Na każdym etapie procesu konwersji następuje strata energii. Dla przykładu, podczas przetwarzania energii elektrycznej na wodór strata energii wynosi około 30%[41]. Podczas przekształcania wodoru z powrotem w formę energii możliwej do ponownego wykorzystania (np. e-paliwa) następuje dodatkowa strata energii, w wyniku czego całkowita efektywność energetyczna wynosi 18-42%[42]. Z powodu tak dużych strat energii, e-paliwa najczęściej nie są bardziej efektywne energetycznie niż paliwa kopalne. Zakładając jednak, że energia elektryczna wykorzystana do wytworzenia wodoru będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych, tak jak zdecydowana większość w naszym systemie energetycznym w roku 2050, jest to realna droga do dekarbonizacji energochłonnych sektorów, w których do niedawna dekarbonizację postrzegano jedynie w kategoriach marzeń.

Podstawy dekarbonizacji

Powyższe przykłady pokazują, jak bardzo elektryfikacja i efektywność energetyczna są ze sobą powiązane. Dzięki zwiększeniu efektywności energetycznej, proces elektryfikacji staje się łatwiejszy i tańszy. Jednocześnie elektryfikacja pozwala na mniejsze straty energii, co w rezultacie czyni ją formą efektywności energetycznej. Ponadto, wszystkie powyższe rozwiązania stają się jeszcze bardziej wydajne, gdy funkcjonują w systemie energetycznym zasilanym wyłącznie ze źródeł odnawialnych. Niestety, pojawia się tu również problem – **wszystko to jest możliwe jedynie w systemie, który w wystarczającym stopniu zmniejsza zapotrzebowanie na energię za pomocą rozwiązań z zakresu efektywności energetycznej oraz elektryfikacji w celu zapewnienia, że podaż energii odnawialnej będzie w stanie nadążyć za popytem.**

Prowadzi nas to z powrotem do punktu wyjścia tej części dokumentu, który mówi, że przejście z systemu opartego na paliwach kopalnych na system w pełni zelektryfikowany może zmniejszyć końcowe zużycie energii aż o 40%.[43] Dla przykładu, w normalnych warunkach, pompa ciepła jest bardziej wydajna niż kocioł gazowy, nawet jeśli energia elektryczna wykorzystywana do zasilania pompy ciepła pochodzi z paliw kopalnych - choć stopień wydajności różni się w zależności od użytego paliwa. Stosując technologie elektryczne, nawet w naszym obecnym systemie energetycznym, jesteśmy w stanie zmniejszyć poziom emisji CO_2 poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię pochodzącą ze źródeł kopalnych. Jednakże w przyszłości, gdy energia elektryczna będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych, wydajność pompy ciepła gwałtownie wzrośnie, ponieważ w kolejnych częściach systemu, podczas spalania paliw w celu wytworzenia prądu, nie będą występowały straty energii. To samo dotyczy ładowania pojazdów elektrycznych lub wszelkich innych procesów, w których głównym źródłem energii jest elektryczność.

Jeśli do 2050 roku mamy przejść na źródła odnawialne, musimy zmniejszyć zapotrzebowanie na energię, wprowadzając rozwiązania z obszaru efektywności energetycznej, a także przeprowadzić kompleksową modernizację naszej infrastruktury w zakresie elektryfikacji, aby przygotować ją do przyszłej roli. Ponadto, jeśli zainstalujemy miliony pomp ciepła oraz stacji ładowania pojazdów elektrycznych, będziemy potrzebować energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, która umożliwi ich całkowitą dekarbonizację. Jeśli chcemy w pełni zdekarbonizować nasz system energetyczny, efektywność energetyczną, odnawialne źródła energii i technologie elektryczne należy rozpatrywać łącznie. W pojedynkę żadne z nich nie będzie wystarczające do osiągnięcia celu.

Rys. 3: Jeśli chcemy osiągnąć zerowy poziom emisji netto do 2050 roku, efektywność energetyczną, odnawialne źródła energii i technologie elektryczne należy rozpatrywać łącznie.

„Bardziej wydajne zelektryfikowane technologie umożliwią odnawialnym źródłom energii zdobycie większego udziału w rynku energii znacznie szybciej”.

Dr. Jan Rosenow & Prof. Nick Eyre,

Zdefiniowanie efektywności energetycznej na nowo w celu osiągnięcia zerowej emisji netto[44]

Elektryfikujmy wszystko, co możliwe

1 Efektywność energetyczna może przyspieszyć elektryfikację

Zwiększona efektywność energetyczna może przyspieszyć proces elektryfikacji. Na przykład w przypadku samochodów osobowych, pojazdów ciężarowych i transportu morskiego rozwiązania w zakresie efektywności energetycznej mogą przyczynić się do zmniejszenia wymaganych rozmiarów akumulatorów. Zmniejsza to następnie ilość mocy wymaganej do naładowania akumulatora oraz ilość wykorzystywanej energii odnawialnej, umożliwiając w ten sposób elektryfikację pojazdów i obniżając jej koszty. Poprawa efektywności energetycznej może również zmniejszyć zapotrzebowanie na stacje ładowania, jak również zwiększyć poziom produktywności oraz zasięg pojazdów.

2 Elektryfikacja to efektywność energetyczna

Elektryfikacja prowadzi do redukcji emisji zarówno poprzez zastąpienie energii z paliw kopalnych tą ze źródeł odnawialnych, jak i poprzez oszczędności energii możliwe dzięki większej wydajności technologii elektrycznych. Badanie przeprowadzone na Uniwersytecie Oksfordzkim sugeruje, że **przejście z systemu bazującego na paliwach kopalnych na w pełni zelektryfikowany mogłoby zmniejszyć końcowe zużycie energii aż o 40%.**[45]
To dlatego, że wytwarzając energię elektryczną ze źródeł odnawialnych, a nie ze źródeł wytwarzających ciepło, takich jak węgiel czy gaz ziemny, nie marnujemy energii w postaci ciepła (patrz Rys. 2).

Elastyczność: zgranie w czasie jest kluczowe

Sposób, w jaki wykorzystujemy energię w ciągu dnia, zależy od naszych zachowań. Wczesnym rankiem większość z nas śpi. Latarnie uliczne są włączone, a pociąg przejeżdża jedynie co pół godziny. Ale kiedy budzimy się, aby rozpocząć nowy dzień, woda zaczyna płynąć do budynków, gaz do kuchenek, a prąd do naszych gniazdek. Dzieci idą do szkoły, dorośli do pracy, a nasze domy przestają zużywać energię. Gdy wiele domów w ciągu dnia stoi pustych, reszta miasta budzi się do życia. Otwierane są sklepy, biura zaczynają zapełniać się pracownikami, a pociągi kursują dużo częściej. Po krótkim szczycie w porze obiadowej i walce z popołudniowym upałem przy pomocy klimatyzatorów, szkoła i praca kończą się, a rodziny wracają do domów. To właśnie wtedy następuje zwiększony popyt na energię. Przygotowujemy kolację, robimy pranie, oglądamy filmy i włączamy światła, gdy dzień zamienia się w noc. Po zwykłym wieczorze w domu przychodzi czas na nocny odpoczynek zarówno dla nas, jak i dla naszego systemu energetycznego.

Jest to przykład tego, jak wyglądają cykle zapotrzebowania na energię w trakcie normalnego dnia powszedniego w stosunkowo rozwiniętej sieci energetycznej. W systemie energetycznym przyszłości opartym na odnawialnych źródłach energii również następować będą wzrosty i spadki intensywności wytwarzania energii. Gwałtowny wzrost zużycia energii, którego doświadcza sieć energetyczna, w momencie gdy ludzie budzą się lub wracają do domów po długim dniu w pracy, nie zawsze pokrywa się idealnie z okresami jasnego nasłonecznienia lub intensywnie wiejącego wiatru (patrz Rys. 7 na str. 32).

To niedopasowanie stanowi jedno z głównych wyzwań dla naszego przyszłego systemu energetycznego. **Obecnie nawet w krajach o dużym udziale odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym paliwa kopalne są nadal wykorzystywane jako źródła energii dodatkowej w godzinach szczytu, co oznacza, że w tych okresach emitujemy znacznie więcej CO_2, niż jest to konieczne.** Jednakże w świecie, w którym nie będziemy mogli uruchamiać elektrowni zasilanych gazem ziemnym w celu zaspokojenia szczytowego zapotrzebowania na energię, będziemy musieli opracować nowe sposoby na bardziej elastyczne zarządzanie energią. W tej części dokumentu przedstawiono sposoby na stworzenie bardziej elastycznego systemu energetycznego, a także nowe dane na temat możliwych oszczędności energii oraz kosztów, które wynikają z wdrożenia rozwiązań zapewniających elastyczność po stronie odbiorców energii na większą skalę.

„Oszczędność jednostki energii elektrycznej w godzinach szczytu w dniu, w którym wytwarzana jest niewielka ilość energii odnawialnej, zapewnia znacznie większą oszczędność emisji dwutlenku węgla oraz więcej korzyści dla środowiska niż zaoszczędzenie tej samej jednostki w porze zwiększonego wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych”.

Prof. Nick Eyre, Zdefiniowanie efektywności energetycznej na nowo w celu osiągnięcia zerowej emisji netto[46]

Czym jest elastyczność po stronie odbiorców energii?

Elastyczność po stronie odbiorców energii polega na wykorzystaniu energii odnawialnej, gdy jest jej pod dostatkiem, i obniżeniu zapotrzebowania w godzinach szczytu. Chodzi o wyrównywanie poziomów zużycia energii, abyśmy nie doświadczali okresów dużego zapotrzebowania i niskiej podaży. Podstawowymi metodami osiągnięcia tego celu są rozwiązania zapewniające elastyczność po stronie odbiorców energii, takie jak przesuwanie obciążenia lub eliminowanie szczytów. Obie te metody polegają na zmniejszeniu szczytowego zapotrzebowania na energię albo poprzez przesunięcie zużycia energii z okresów szczytowych, albo poprzez unikanie tworzenia szczytów dzięki zmniejszeniu zużycia energii wykorzystywanej na potrzeby jednej czynności, aby można było wykorzystać ją do realizacji innej. Dla przykładu, dane urządzenie można wyłączyć lub ograniczyć jego pracę w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię i skorzystać z niego w innym czasie. Nawet jeśli proces ten może w niektórych przypadkach prowadzić do większego zużycia energii przez urządzenie, jest on w gruncie rzeczy mniej problematyczny – a czasem nawet tańszy i bardziej ekologiczny – ponieważ energia wykorzystywana jest poza okresem szczytowego zapotrzebowania. Zmniejsza to obciążenie sieci energetycznej i pozwala zmniejszyć koszty, ponieważ energia jest tańsza w okresach pozaszczytowych. **W USA poprawa efektywności energetycznej, zwiększenie elastyczności po stronie odbiorców energii oraz elektryfikacja budynków mogą wygenerować oszczędności sięgające 107 miliardów dolarów rocznie przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji CO_2 generowanej przez budynki o 91% do roku 2050.**[47]

Rozwiązania zapewniające elastyczność po stronie odbiorców energii stają się jeszcze bardziej skuteczne w połączeniu z wydajnymi mechanizmami magazynowania energii (patrz str. 31), ponieważ mogą one automatyzować procesy magazynowania energii w okresach niskiego zapotrzebowania, po to aby mogła być wykorzystana, gdy zapotrzebowanie jest wyższe. Umożliwia to konsumentom korzystanie z taniej energii odnawialnej w czasach, gdy energia jest droga i pociąga za sobą emisję dużej ilości dwutlenku węgla.

Przykład: Sterowanie predykcyjne

Zarówno procesy przesuwania obciążenia, jak i eliminowania szczytów można zautomatyzować za pomocą technologii cyfrowych, które kontrolują, w jaki sposób i kiedy sprzęt lub maszyny zużywają energię. Osiąga się to przede wszystkim poprzez wdrażanie narzędzi cyfrowych znanych pod hasłem sterowanie predykcyjne. **Dla przykładu, tego typu technologie oparte na sztucznej inteligencji mogą pomóc w zaoszczędzeniu do 20% wydatków na energię zużywaną przez budynek, analizując dane dotyczące tego budynku, jego użytkowników oraz pogody w celu przewidzenia zapotrzebowania na ogrzewanie i wentylację.** Dzięki takiemu sterowaniu budynki mogą zostać wstępnie ogrzane przed godzinami szczytu, a gdy słońce świeci na fasady budynków, ogrzewanie może zostać zmniejszone w celu zaoszczędzenia energii. Z analizy 100 tys. mieszkań wyposażonych w tę technologię, zlokalizowanych głównie w Finlandii, wynika, że maksymalne zużycie energii uległo zmniejszeniu o 10-30%.[48] Przesuwając zużycie na najbardziej ekonomiczną porę dnia, system zapewnia oszczędności sięgające 20% bez obniżania poziomu komfortu mieszkańców budynku.[49] W 2021 roku władze lokalne Londynu zainstalowały sterowanie predykcyjne w ośmiu budynkach mieszkalnych. Początkowa inwestycja zwróciła się w ciągu pierwszych 11 miesięcy, a technologia pozwoliła zaoszczędzić 600 MWh ciepła, czyli ilości wymaganej do ogrzania 50 domów w Wielkiej Brytanii przez rok.

Przykład: Elastyczność energetyczna w Wielkiej Brytanii i Unii Europejskiej

Wyobraźmy sobie przyszłość, w której nasze samochody automatycznie rozpoczynają ładowanie, gdy prądu jest pod dostatkiem, a gdy energii brakuje, same ją dostarczają. Gdzie procesy ogrzewania i chłodzenia są zautomatyzowane i uruchamiają się w godzinach optymalnego zapotrzebowania, bez wpływu na nasz komfort. Przyszłość, w której meble chłodnicze w supermarketach automatycznie schładzają się do znacznie niższej temperatury niż wymagana, gdy prąd jest najtańszy. Ten opis daleki jest od scenariusza science-fiction. Wiele z rozwiązań zwiększających elastyczność już istnieje i jest gotowych do wdrożenia nawet dziś (patrz przykład: „Sterowanie predykcyjne").

Dzięki elastyczności po stronie odbiorców energii, potencjał jej oszczędzania, zmniejszania poziomu emisji i obniżania kosztów przy jednoczesnym zwiększeniu bezpieczeństwa energetycznego jest ogromny. Wiele podmiotów rządowych, w tym w UE, ma świadomość, że elastyczność po stronie odbiorców energii jest ważna dla powodzenia procesu integracji odnawialnych źródeł energii na dużą skalę.[50] Lecz mimo, że świadomość ta jest wysoka, działania polityczne mające na celu zachęcanie do wdrażania na pełną skalę rozwiązań z zakresu elastyczności po stronie odbiorców energii nie idą z nią w parze.

Nowa analiza zlecona przez Danfoss bada potencjał elastyczności po stronie odbiorców na hurtowym rynku energii w UE i Wielkiej Brytanii.[51] Ujawnia ona, że ambitny, choć nadal realistyczny poziom wdrożenia tego typu rozwiązań, przyniesie znaczne korzyści społeczne i środowiskowe, a także obniży rachunki za energię. Rzeczywisty potencjał jest prawdopodobnie jeszcze większy, gdyż analiza ta nie uwzględnia oszczędności związanych z inwestycjami w sieć dystrybucyjną oraz wewnętrzną sieć przesyłową, jak również ewentualnych przychodów ze sprzedaży usług dodatkowych operatorom systemów.

Elastyczność po stronie odbiorców energii jest ważnym narzędziem umożliwiającym wycofywanie paliw kopalnych z procesu wytwarzania energii elektrycznej. Już do roku 2030

roczna produkcja energii elektrycznej z gazu ziemnego może zostać znacząco zmniejszona – o 106 TWh, co stanowi około jedną piątą zużycia gazu ziemnego do wytwarzania energii elektrycznej w UE w 2022 roku.[52] **Unia Europejska i Wielka Brytania mogą również zmniejszyć emisję CO_2 o 40 milionów ton rocznie do roku 2030. To więcej niż ślad klimatyczny Danii w roku 2021.**[53] Oprócz tego **UE i Wielka Brytania mogą wygenerować roczne oszczędności w obszarze kosztów społecznych w wysokości 10,5 miliarda euro do 2030 roku i 15,5 miliarda euro do 2050 roku**, co pokrywa znaczną część kosztów wdrożenia elastyczności po stronie odbiorców energii. Część z oszczędności w 2050 roku wynikać będzie ze zmniejszenia inwestycji w linie energetyczne o 21%.

€10,5 miliarda
rocznych oszczędności w zakresie kosztów społecznych do roku 2030

Podczas niedawnego kryzysu energetycznego Wielka Brytania przeznaczyła 103 miliardy euro, a kraje UE 681 miliardów euro na zmniejszanie jego skutków.[54] Wszystkie kraje UE i Wielka Brytania mogą wdrożyć technologie zapewniające elastyczność po stronie odbiorców energii i zwiększyć odporność sieci na podobne kryzysy. Mogą one znacznie zmniejszyć ryzyko konieczności uruchamiania dotacji rządowych w tak wysokich kwotach, a także obniżyć koszty korzystania z energii zarówno na poziomie społecznym, jak i konsumenckim. **Przeciętny konsument w UE i Wielkiej Brytanii może zaoszczędzić 7% na rachunkach za energię elektryczną do 2030 roku i 10% do 2050 roku**.

Aby osiągnąć cele Porozumienia paryskiego, UE i Wielka Brytania muszą zelektryfikować swoje systemy energetyczne. Będzie to wymagało znacznej rozbudowy infrastruktury wytwarzającej energię elektryczną, w tym dużej liczby akumulatorów. Jednakże dzięki wdrożeniu rozwiązań w zakresie elastyczności po stronie odbiorców energii na pełną skalę, ilość wymaganej energii elektrycznej będzie można zmniejszyć przed rokiem 2050 o 313 GW, czyli o około 10%.

Obejmuje to znaczne obniżenie zapotrzebowania w obszarze pojemności sieciowych akumulatorów energii z 298 GW do mniej niż 2 GW. Dla porównania, globalna pojemność akumulatorów w 2022 roku wynosiła 28 GW.[55] Świat już teraz stoi przed wyzwaniami związanymi z dostarczaniem wystarczającej ilości rzadkich surowców mineralnych do produkcji akumulatorów.[56] Zmniejszając popyt na akumulatory, odciążymy łańcuchy dostaw kluczowych minerałów i ograniczymy negatywny wpływ ich wydobycia na środowisko.

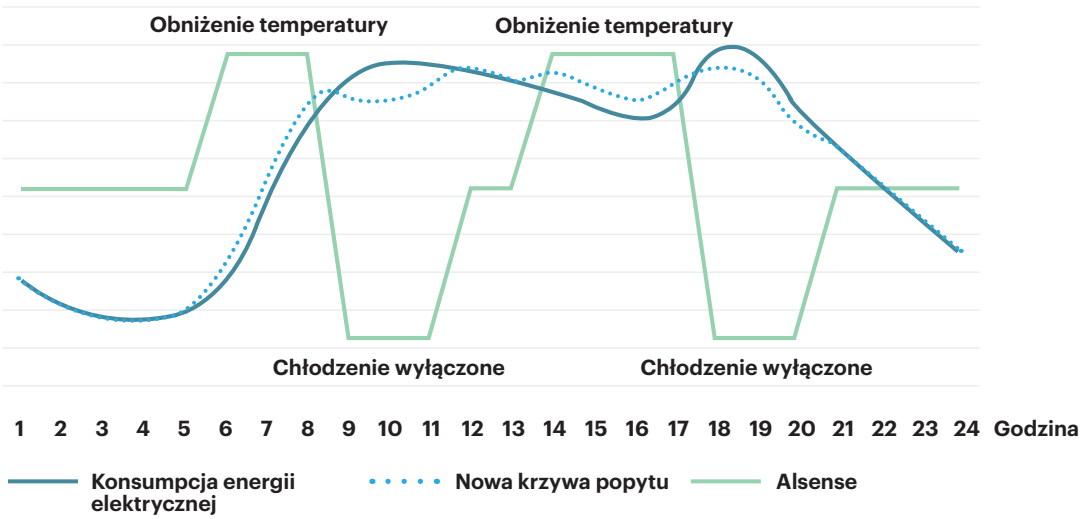
Zaniechanie wprowadzenia rozwiązań z zakresu elastyczności po stronie odbiorców energii na odpowiednią skalę może mieć poważne konsekwencje społeczne i środowiskowe. **Obecnie płacimy producentom energii odnawialnej setki milionów rocznie za wstrzymywanie produkcji w okresach, w których występuje zbyt dużo wiatru lub słońca.**[57] **Jednakże elastyczność po stronie odbiorców energii może skrócić te przestoje o 25% już do roku 2030.**[58] **Ponadto, jeśli nie zaprojektujemy systemu opartego na źródłach odnawialnych w sposób, który pomoże nam rozwiązać kwestię okresów charakteryzujących się niższą ilością produkowanej energii, ryzykujemy przerwami w dostawie prądu, które mogą wiązać się z ogromnymi kosztami gospodarczymi.**[59,60,61] Elastyczność po stronie odbiorców energii będzie ważnym narzędziem pozwalającym na uniknięcie tego typu kosztownych przerw.

Emisja CO_2 niższa o
40 million
ton rocznie do roku 2030

To powinno pozostawić decydentów z jedym pytaniem: „czy możemy pozwolić sobie na przegapienie możliwości, jakie daje elastyczność po stronie odbiorców energii?”

Przykład: Instalacja chłodnicza w supermarketach

Rys. 4: Jak Alsense obniża zapotrzebowanie szczytowe



Supermarkety odpowiadają za 3% całkowitego zużycia energii elektrycznej w krajach uprzemysłowionych.[62] Natomiast w supermarketach systemy chłodnicze mają zdecydowanie najwyższy udział w całkowitym zużyciu energii. Można jednak obniżyć zapotrzebowanie supermarketów na energię w godzinach szczytu poprzez optymalizację lub przesunięcie obciążenia w okresach zapotrzebowania.

Dzięki technologiom cyfrowym, takim jak Alsense, przesunięcie obciążenia można zautomatyzować, aby schładzać meble chłodnicze w supermarketach do znacznie niższej temperatury niż wymagana – poza godzinami szczytowego zapotrzebowania, ponieważ działają one efektywnie jak akumulatory magazynujące energię. Dzięki temu meble chłodnicze można wyłączyć w godzinach szczytowego zapotrzebowania na energię, zmniejszając tym samym obciążenie sieci i oszczędzając pieniądze. Chociaż taki system zużywa więcej energii elektrycznej niż konwencjonalne systemy lodówek, wykorzystując energię odnawialną dostępną w dużych ilościach, supermarkety mogą pomagać w ograniczaniu konieczności uciekania się do źródeł energii charakteryzujących się wysoką emisją dwutlenku węgla, obniżając zapotrzebowanie szczytowe. Dowiedz się więcej ze studium przypadku Danfoss: „Konstruowanie lepszych supermarketów dla świata”.[63]

Supermarkety odpowiadają za

3%

całkowitego zapotrzebowania na energię w krajach rozwiniętych

Wdrażajmy rozwiązania zwiększające elastyczność

1 Elastyczne zapotrzebowanie na energię ogranicza emisje

Wdrażając rozwiązania w zakresie elastyczności po stronie odbiorców energii, można lepiej dostosowywać okresy zapotrzebowania na energię elektryczną do godzin szczytu. W UE i Wielkiej Brytanii **przesunięcie korzystania z energii ze szczytów charakteryzujących się wysoką emisyjnością może zapobiec emisjom 40 milionów ton CO_2 rocznie do roku 2030**, czyli ilości większej niż krajowy ślad klimatyczny Danii w 2021 roku. Ponadto, **roczna produkcja energii elektrycznej z gazu ziemnego może zostać znacząco zmniejszona do 2030 roku** – o 106 TWh, co stanowi około jedną piątą zużycia gazu ziemnego do wytwarzania energii elektrycznej w UE w 2022 roku.

2 Zwiększona elastyczność przyniesie znaczne korzyści gospodarcze zarówno społeczeństwom, jak i pojedynczym gospodarstwom domowym

Nowa analiza pokazuje, że ambitne, choć nadal realistyczne wdrożenie rozwiązań w zakresie elastyczności po stronie odbiorców energii przyniesie znaczne korzyści gospodarcze zarówno konsumentom, jak i ogółowi społeczeństwa. **UE i Wielka Brytania mogą wygenerować 10,5 miliarda euro rocznych oszczędności w zakresie kosztów społecznych do roku 2030. Ponadto, przeciętny konsument może zaoszczędzić 7% na rachunkach za energię elektryczną do roku 2030.**

3 Zmniejszajmy potrzebę korzystania z magazynów energii

Dzięki wdrożeniu rozwiązań w zakresie elastyczności po stronie odbiorców energii na pełną skalę, ilość wymaganej energii elektrycznej w UE będzie można zmniejszyć przed rokiem 2050 o 313 GW, czyli o około 10%. Obejmuje to znaczne **obniżenie zapotrzebowania w obszarze pojemności sieciowych akumulatorów energii z 298 GW do mniej niż 2 GW**. Dla porównania, globalna pojemność akumulatorów w 2022 roku wynosiła 28 GW.

Konwersja to klucz do zerowej emisji netto

Odnawialne źródła energii mogą wytwarzać ogromne ilości energii elektrycznej charakteryzującej się niskim poziomem emisji. Jednakże w okresach, gdy podaż energii elektrycznej przewyższa zapotrzebowanie, infrastruktura OZE – taka jak turbiny wiatrowe i panele słoneczne – jest wyłączana z eksploatacji. Dostawy zbyt dużej ilości energii elektrycznej destabilizują częstotliwości sieci, stwarzając ryzyko przerw w dostawie prądu, w przypadku gdy operatorzy systemów nie ograniczą dostaw. Producenci energii odnawialnej czasami otrzymują rekompensatę finansową za czasowe wstrzymanie produkcji. W Niemczech odszkodowania za wstrzymanie produkcji energii w 2019 roku osiągnęły kwotę 710 mln euro.[64]

Jednakże zgodnie z analizą przedstawioną na stronie 22, elastyczność po stronie odbiorców energii może obniżyć te ograniczenia o 25% jeszcze przed 2030 rokiem.[65] Dwie najważniejsze metody osiągnięcia tego celu to konwersja i magazynowanie energii. W tej części dokumentu omówimy wyzwania i szanse związane z konwersją, a w kolejnej skupimy się na kwestii magazynowania.

Czym jest konwersja?

Konwersja jest zarówno bardzo prosta, jak i zdumiewająco złożona. Mówiąc najprościej, oznacza zmianę formy, w jakiej występuje energia. Może to być zamiana energii wiatrowej na elektryczność, elektryczności na wodór lub dowolna inna kombinacja. Jednak w praktyce pomyślna konwersja energii wymaga wykorzystania skomplikowanych osiągnięć inżynieryjnych. Opanowanie wiedzy oraz umiejętności przeprowadzania konwersji energii będzie miało fundamentalne znaczenie dla dekarbonizacji naszego systemu energetycznego.

W systemie energetycznym przyszłości praktycznie całość wykorzystywanej przez nas energii będzie pochodzić z konwersji źródeł odnawialnych, takich jak słońce czy wiatr, na energię elektryczną.

Ponadto konwersja wodoru będzie ważnym mechanizmem pozwalającym na magazynowanie energii. Przyjrzyjmy się bliżej sposobom umożliwiającym dostarczanie wystarczającej ilości energii elektrycznej do wsparcia procesu produkcji wodoru oraz temu, w jaki sposób jego produkcja może wspomóc proces stabilizacji sieci energetycznej.

Zapotrzebowanie na wodór w przyszłości będzie ogromne

Aby osiągnąć cele Porozumienia paryskiego, będziemy potrzebowali bardzo dużych ilości niskoemisyjnego wodoru. Z jednej strony, wodór jest użytecznym narzędziem pozwalającym na magazynowanie nadwyżek energii odnawialnej. Jest jednak również niezbędny w gałęziach przemysłu produkujących niskoemisyjną stal, syntetyczny amoniak i metanol oraz inne paliwa syntetyczne, w których to procesach zastępuje paliwa kopalne. Co więcej, może również posłużyć jako zrównoważone, niskoemisyjne paliwo w sektorach, w których ograniczenie emisji jest wyjątkowo trudne, takich jak międzynarodowy transport na długich trasach, pojazdy ciężkie, a nawet lotnictwo. I chociaż dokładne szacunki różnią się w zależności od badań, ostateczny wniosek jest taki, że udział wodoru w miksie energetycznym będzie nadal wzrastał.[66,67,68,69]

Jak jednak osiągnąć te ambitne cele w obszarze dostaw wodoru? W przyszłości elektroliza wody, czyli proces przekształcania energii elektrycznej w wodór poprzez rozbicie wody na wodór i tlen, będzie stosowana na znacznie szerszą skalę. Jeżeli energia elektryczna wykorzystywana do przeprowadzania tego procesu będzie wytwarzana ze

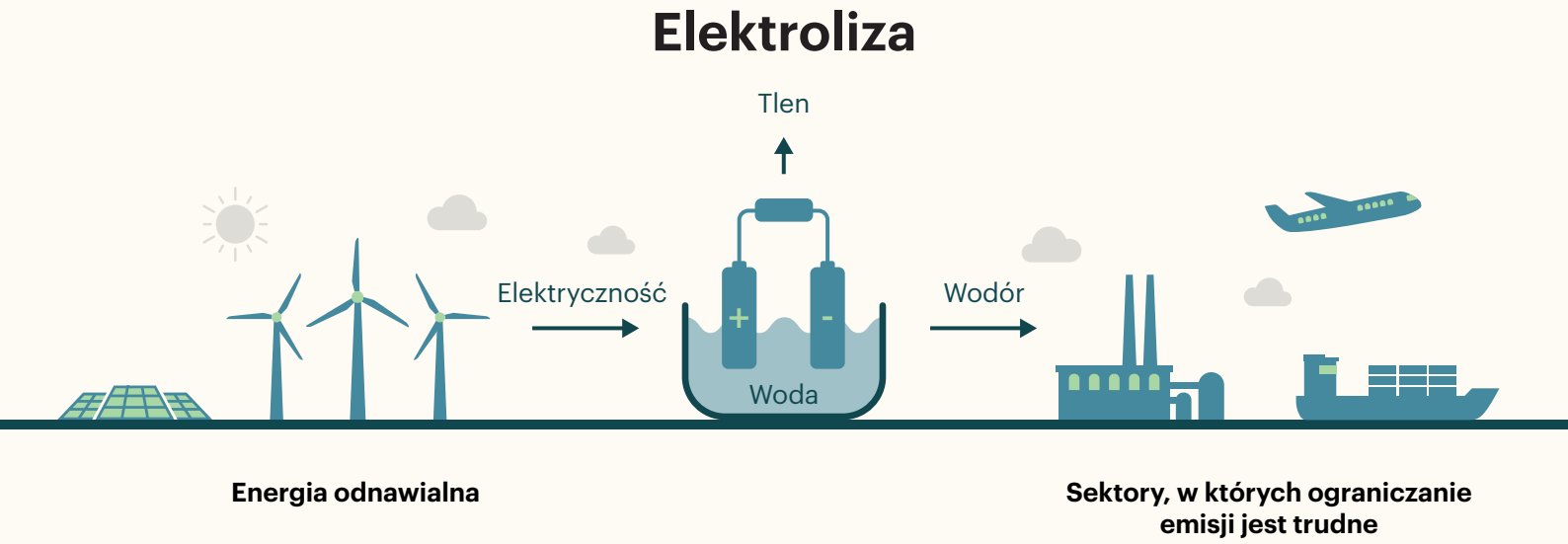
źródeł odnawialnych, możemy pośrednio zelektryfikować i zdekarbonizować wszystko, co może być zasilane wodorem lub e-paliwami wytwarzanymi przy pomocy wodoru. Elektroliza wymaga jednak ogromnych dostaw energii elektrycznej – MAE szacuje, że będziemy potrzebować dodatkowych 11 eksadżuli wodoru do 2030 roku i 54 eksadżuli do roku 2050.[70] Dla porównania, **produkcja wodoru będzie wymagała ponad połowy dzisiejszego całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną.**[71,72,73,74] Nieuchronnie stworzy to potrzebę szybkiego zwiększania dostaw niskoemisyjnej energii elektrycznej, a zaopatrzenie sieci w tego typu energię może okazać się jednym z największych wyzwań przyszłości.

Wytwarzanie niskoemisyjnego wodoru w ilościach potrzebnych w 2050 roku będzie wymagało znacznych inwestycji.[75] Ale ile wodoru będziemy faktycznie potrzebować? UE planuje wyprodukować i zaimportować ogółem 666 TWh wodoru do 2030 roku. Całość będzie wytwarzana ze źródeł niskoemisyjnych.[76] Odpowiada to energii wyprodukowanej przez około 140 elektrowni jądrowych.[77] Jedna z analiz sugeruje, że **UE może być w stanie zmniejszyć zapotrzebowanie na wodór do około 116 TWh, czyli do mniej niż jednej piątej, poprzez skoncentrowanie się na efektywności energetycznej i elektryfikacji, przy jednoczesnym zwiększaniu wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej, miejskich sieci ciepłowniczych i wysoce wydajnych pomp ciepła na masową skalę.**[78] Mimo to, wytworzenie 116 TWh wodoru do 2030 roku jest nadal ambitnym celem i będzie wymagało ogromnych ilości energii elektrycznej i przez co stanowi poważne wyzwanie dla stabilności i bezpieczeństwa sieci energetycznej.

Produkcja wodoru może ustabilizować sieć energetyczną

Całość systemu energetycznego, łącznie z gniazdkami elektrycznymi w naszych domach, jest ustawiona na określonym i stabilnym poziomie napięcia i częstotliwości. Utrzymanie tej częstotliwości wymaga ogromu prac projektowych. Jednakże ta idealnie dopasowana częstotliwość może uleć destabilizacji, w momencie braku równowagi pomiędzy podażą a popytem na energię elektryczną. Taka sytuacja może prowadzić do problemów w obszarze dostaw energii. Elektrownie cieplne utrzymują duże ilości energii w ogromnych turbinach, które skutecznie funkcjonują jako stabilizatory sieci. Innymi słowy, gdy zapotrzebowanie wzrasta, elektrownia może w krótkim okresie dostarczyć do sieci więcej mocy, dając przedsiębiorstwu zarządzającemu siecią wystarczająco dużo czasu na wprowadzenie większej ilości pary do turbin. Działa to podobnie jak mocniejsze wciśnięcie pedału gazu w celu utrzymania tej samej prędkości, gdy samochód zbliża się do wzniesienia.

W systemie energetycznym przyszłości zamienimy scentralizowane elektrownie na zdecen-



Rys. 5: Konwersja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych na wodór przy pomocy elektrolizy

tralizowane źródła odnawialne. Nowe źródła nie posiadają stabilizujących elementów w postaci ogromnych turbin, dlatego musimy opracować inne sposoby stabilizacji sieci energetycznej. Energia z akumulatorów może w krótszych okresach efektywnie wypełniać powodującą destabilizację sieci lukę pomiędzy podażą a popytem. Jednakże w przypadku dłuższych okresów, takich jak kilkudniowe lub kilkutygodniowe okresy silnego wiatru, w sieci znajdować się będzie zbyt dużo energii elektrycznej. W takich okresach zwiększenie produkcji wodoru może wspomagać proces dostosowywania podaży do popytu, a więc sama produkcja tego gazu może działać jako mechanizm stabilizujący.

Oprócz korzyści, jakie wodór może przynieść w obszarze stabilności sieci i bezpieczeństwa energetycznego, może on również pomagać w utrzymywaniu niskich kosztów energii. Zgodnie z podstawowym prawem podaży i popytu, energia elektryczna jest tania, gdy produkuje się jej dużo, a droga, gdy produkuje się jej mało, czyli gdy popyt przewyższa podaż. Jednakże produkcję wodoru można intensyfikować lub ograniczać w zależności od aktualnej ceny energii elektrycznej. Dlatego też, po stworzeniu pełnej niezbędnej infrastruktury, produkcja wodoru w okresach nadwyżki produkcji energii elektrycznej i niskiego zapotrzebowania na nią będzie opłacalna, zapewniając ekonomiczne kosztowo wykorzystanie nadwyżki energii odnawialnej.

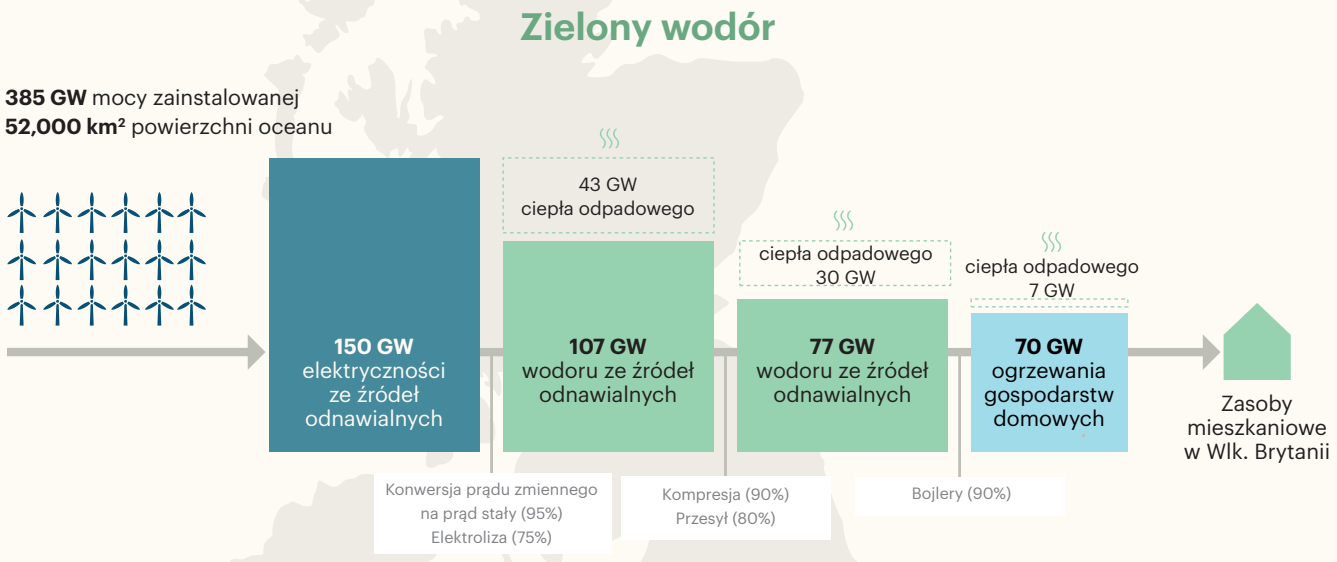
Wykorzystanie wodoru we właściwy sposób

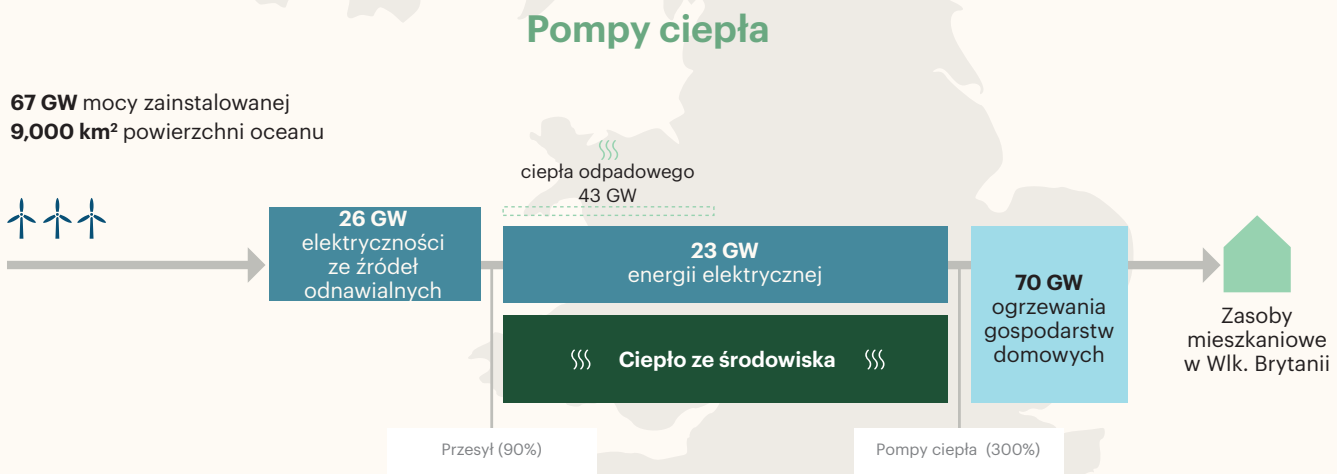
Wodór jest efektywnym nośnikiem energii mającym wiele zastosowań. Jednakże, podobnie jak w przypadku wszystkich innych form energii, wodór musi być wykorzystywany w możliwie najbardziej efektywny sposób, jeśli przeprowadzana przez nas transformacja w kierunku wykorzystywania odnawialnych źródeł energii ma być kompletna.

Przykładem nieefektywnego wykorzystania wodoru jest ogrzewanie pomieszczeń. Jeśli chcielibyśmy zapewnić gospodarstwom domowym w Wielkiej Brytanii ogrzewanie pochodzące z niskoemisyjnego wodoru produkowanego przez morskie farmy wiatrowe, potrzebowalibyśmy 385 GW mocy, aby wyprodukować wystarczającą ilość tego gazu. Oczekuje się jednak, że w ciągu najbliższych dziesięciu lat produkcja mocy przez morskie elektrownie wiatrowe na całym świecie wzrośnie jedynie o 380 GW.[79] Ogrzewając domy w Wielkiej Brytanii za pomocą pomp ciepła czy sieci ciepłowniczych, potrzebowalibyśmy znacznie mniejszej mocy. W przypadku pomp ciepła zasilanych przez morskie farmy wiatrowe wystarczyłoby jedynie 67 GW, a gdybyśmy zdecydowali się ogrzewać gęściej zaludnione obszary przy pomocy sieci ciepłowniczej, potrzebowalibyśmy jeszcze mniej mocy, ponieważ istniałaby również możliwość wykorzystania ciepła odpadowego z otaczających budynków oraz procesów przemysłowych do ogrzania okolicznych domów. Morskie farmy wiatrowe obsługujące rozwiązanie z wykorzystaniem wodoru zajęłyby 52 tys. km² powierzchni. Natomiast te zasilające pompy ciepła zajęłyby jedynie 9 tys. km². Zasadniczo, do ogrzania Brytyjczyków przez całą zimę przy użyciu pomp ciepła zamiast wodoru potrzebne byłoby sześć razy mniej mocy[80], a nawet jeszcze mniej, w przypadku jednoczesnego wykorzystania sieci ciepłowniczych.

Jednakże, jak wspomniano powyżej, wodór ma wiele innych pozytywnych zastosowań. W sektorach, gdzie ograniczenie emisji jest znacznie trudniejsze, nie możemy polegać na akumulatorach, ponieważ te konieczne do zastosowania w kontenerowcach czy samolotach realizujących połączenia międzynarodowe byłyby po prostu zbyt duże. Możemy jednak produkować e-paliwa z wodoru, co przyczyni się do obniżenia poziomu emisji w sektorze transportowym. Spodziewamy się, że w przyszłości statki będą wykorzystywać jako paliwo e-amoniak i e-metanol, a samoloty e-naftę. Wszystko to będzie produkowane przy użyciu wodoru, a nie paliw kopalnych. Inne gałęzie przemysłu, takie jak produkcja stali, wymagają wyjątkowo wysokich temperatur, więc wodór może odegrać kluczową rolę w procesie dekarbonizacji również w tym przypadku.

Ogrzewanie Wielkiej Brytanii przy pomocy pomp ciepła lub zielonego wodoru



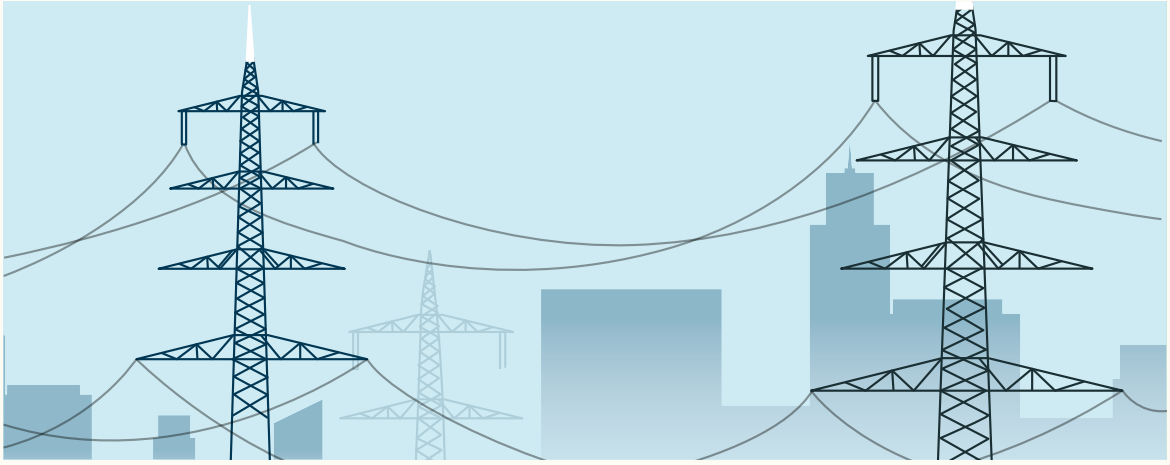


6

Wykorzystanie wodoru zamiast pomp ciepła wymagałoby sześć razy więcej mocy pochodzącej z morskich farm wiatrowych

Rys. 6: Źródło: Hydrogen Science Coalition[81].

Przykład: Efektywne konwertery pozwalają zaoszczędzić energię elektryczną i pieniądze



Produkcja wodoru będzie w przyszłości w dużym stopniu obciążać sieć energetyczną. Dlatego też musimy zadbać o możliwie najbardziej efektywny proces produkcji tego gazu oraz unikać niepotrzebnych zakłóceń w sieci. Wodór wytwarzany jest w elektrolizerze, który za pomocą prądu elektrycznego rozbija wodę na tlen i wodór. Wszystkie elektrolizery wykorzystują prąd stały, natomiast sieć energetyczna zasilana jest prądem przemiennym. Prąd stały znajduje się m.in. w bateriach AAA i płynie zawsze w jednym kierunku. Natomiast prąd przemienny okresowo zmienia swój kierunek. Oznacza to, że istnieje potrzeba konwersji prądu przemiennego na prąd stały w celu wytworzenia wodoru. Konwerter niskiej jakości będzie zakłócać prąd przemienny w sieci, a do przywrócenia jakości zasilania potrzebny będzie sprzęt kompensacyjny.

Tego typu zakłócenia sieci pochodzące z konwerterów niskiej jakości stanowią coraz większy problem w kontekście produkcji wodoru. Ponadto, taki konwerter będzie dostarczał prąd stały niskiej jakości do instalacji elektrolizy. Na szczęście na rynku znajdują się już efektywniejsze konwertery. Nie powodują one niemal żadnych zakłóceń w sieci, sprawiając, że sprzęt kompensacyjny staje się zbędny, a jednocześnie zapewniają bezproblemowe zasilanie instalacji do elektrolizy prądem stałym. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie ogólnej efektywności produkcji wodoru o około 1%.[82] Choć wydawać się może, że to niewiele, jest to ilość wystarczająca do zasilania Londynu w energię elektryczną przez prawie cztery lata, przy obniżeniu kosztów energii elektrycznej w całej sieci.[83] Ponadto, część kosztów zakupu konwerterów wyższej jakości może zostać zrównoważona przez mniejsze zapotrzebowanie na sprzęt kompensacyjny i konserwację, której taki sprzęt wymaga. Czasami lepszej jakości sprzęt może uprościć pracę systemu oraz podwyższyć stopień odporności sieci.

Wysokiej jakości konwertery są w stanie zaoszczędzić ilość energii elektrycznej wystarczającą do zasilania Londynu przez

4 lata

Mądrze korzystajmy z wodoru

1 Przekształcanie energii elektrycznej w wodór będzie warunkiem przeprowadzenia głęboko sięgającej dekarbonizacji

Nadmiar energii odnawialnej można przekształcić i zmagazynować w postaci wodoru. I choć konwersja ta wiąże się ze stratami energii, wodór będzie stanowił klucz do dekarbonizacji sektorów, w których trudno jest ograniczyć emisje, takich jak produkcja stali czy loty i transport na długich trasach.

2 Efektywna produkcja wodoru jest niezbędna

Produkcja wodoru będzie w przyszłości w dużym stopniu obciążać sieć energetyczną. Dlatego też musimy zadbać o możliwie najbardziej efektywny proces produkcji tego gazu oraz unikać niepotrzebnych zakłóceń w sieci. Efektywne konwertery pozwalają zaoszczędzić energię elektryczną i pieniądze.

3 Wodór należy wykorzystywać do właściwych celów

Wykorzystanie wodoru do ogrzewania jest wysoce nieefektywne. Jeśli chcielibyśmy zapewnić gospodarstwom domowym w Wielkiej Brytanii ogrzewanie pochodzące z niskoemisyjnego wodoru produkowanego przez morskie farmy wiatrowe, potrzebowalibyśmy 385 GW mocy, aby wyprodukować wystarczającą ilość tego gazu. W przypadku wykorzystania pomp ciepła zasilanych przez morskie farmy wiatrowe wystarczyłoby jedynie 67 GW, a gdybyśmy zdecydowali się ogrzewać gęściej zaludnione obszary przy pomocy sieci ciepłowniczej, potrzebowalibyśmy jeszcze mniej mocy.

Magazynowanie energii

Magazynowanie energii będzie miało kluczowe znaczenie w inteligentnej sieci energetycznej przyszłości. W przypadku bardziej zdecentralizowanej sieci istnieje większe zapotrzebowanie na magazynowanie energii, którą moglibyśmy dostarczać, gdy natura nie zapewnia sprzyjających warunków do jej produkcji. Oczekuje się, że pojemność magazynów energii na świecie wzrośnie o 56% w latach 2020-2026. Stanie się to głównie ze względu na większe zapotrzebowanie na rozwiązania zapewniające elastyczność oraz przechowywanie energii w celu zwiększenia udziału źródeł odnawialnych w miksie energetycznym.[84]

Magazynowanie energii nie jest zadaniem prostym ani tanim. Dlatego też przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu danej technologii należy rozważyć właściwe rozwiązania, które zależeć będą od wielu czynników, takich jak położenie geograficzne, rodzaj źródła energii, użytkowanie gruntów, czas przechowywania oraz czas pobierania energii elektrycznej z magazynu. W obszarze magazynowania energii istnieje możliwość wykorzystania wielu technologii. Pozycja niektórych z nich jest już ugruntowana, a inne są bardziej nowatorskie. Na kolejnej stronie prezentujemy kilka kluczowych technologii oraz ich potencjał.

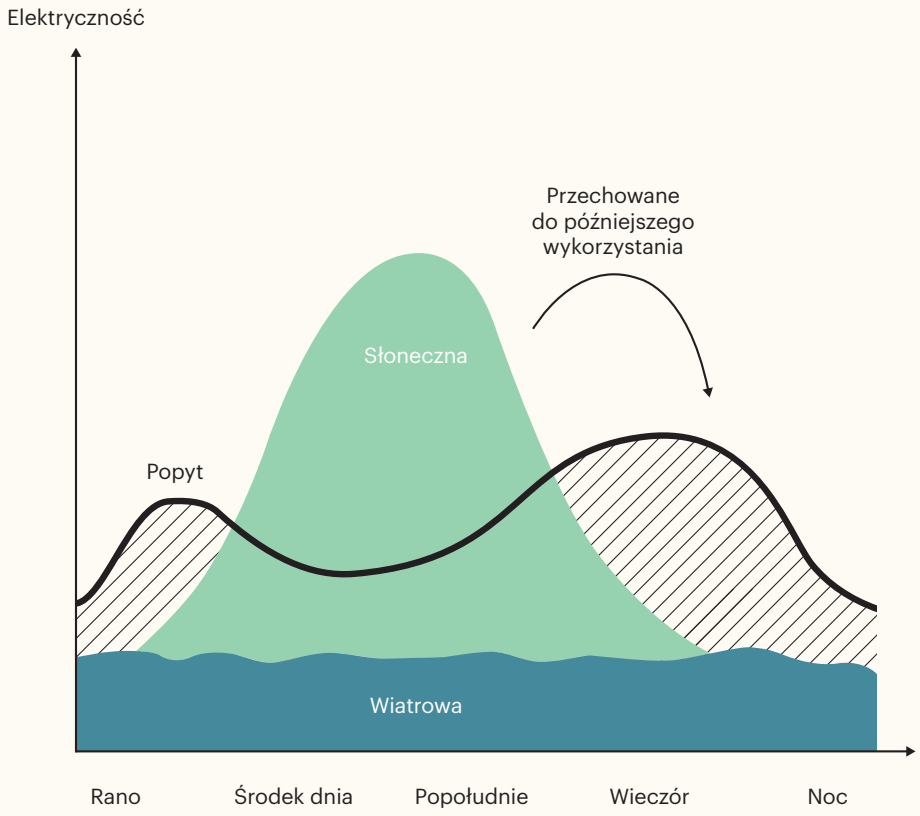
Magazynowanie krótkoterminowe vs. długoterminowe

Słońce codziennie wytwarza nadwyżkę energii elektrycznej przed szczytem zapotrzebowania (patrz Rys. 7). Będziemy mogli w pełni polegać na odnawialnych źródłach energii tylko wtedy, gdy będziemy magazynować tę nadwyżkę do wykorzystania wieczorem i w nocy. Do idealnych rozwiązań w zakresie krótkoterminowego magazynowania energii zaliczają się akumulatory litowo-jonowe oraz przechowywanie termiczne, na przykład w sieciach ciepłowniczych. **Sieci te stanowią doskonałe rozwiązanie dla magazynowania energii cieplnej, w momencie gdy w sieci energetycznej znajduje się duża ilość zielonej energii elektrycznej.** Mogą one dostarczać ogrzewanie lub chłodzenie na żądanie, jak również służyć jako magazyny energii przez wiele godzin, a nawet miesięcy, co czyni je doskonałym elementem składowym sieci energetycznej zapewniającym elastyczność po stronie odbiorców energii (więcej informacji na stronie 20).

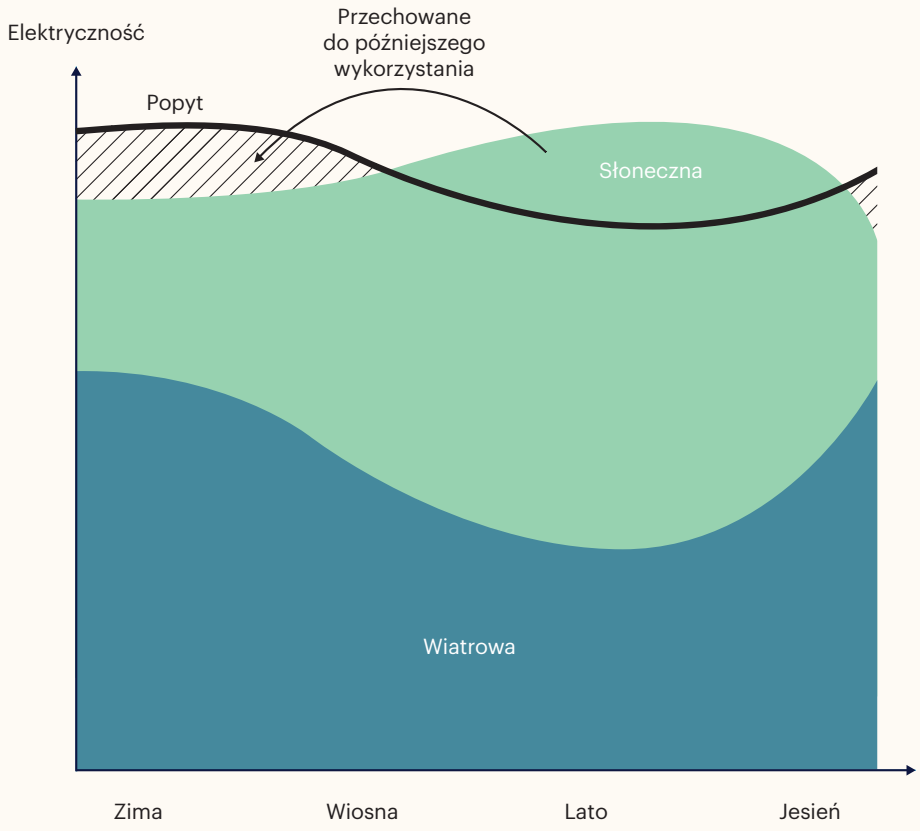
Tak jak istnieją dzienne szczyty zużycia energii elektrycznej, istnieją również wahania sezonowe. Na wyższych szerokościach geograficznych konieczne jest ogrzewanie domów zimą, podczas gdy w krajach zlokalizowanych na średnich i niskich szerokościach zapotrzebowanie na klimatyzowanie pomieszczeń latem będzie znacznie większe. Ponadto, w przypadku krajów położonych na wyższych szerokościach geograficznych będzie istniała rozbieżność pomiędzy wytwarzaniem większej ilości energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych latem a największym zapotrzebowaniem na energię elektryczną w okresie zimowym. Aby wypełnić tę lukę, musimy przyjrzeć się opcjom długoterminowego przechowywania energii. Ze względu na koszty i obniżanie się pojemności magazynów z biegiem czasu – dokładnie tak samo jak w przypadku dobrze nam znanych baterii AAA – akumulatory nie będą w tym przypadku skutecznym rozwiązaniem. Znacznie lepsze warunki do długoterminowego magazynowania energii zapewniają przechowywanie termiczne, wodór czy elektrownie szczytowo-pompowe, które mogą magazynować duże ilości energii przy bardzo małych stratach i niskim koszcie przechowywania na MWh.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest koszt. Ceny magazynowania różnią się w zależności od technologii, ale ogólna zasada jest taka, że im większy magazyn, tym niższy koszt przechowywania jednostki mocy. Oczekuje się, że w przyszłości wszystkie technologie będą tańsze, jednakże przechowywanie termiczne, wodór i elektrownie szczytowo-pompowe są obecnie najtańszymi rozwiązaniami i przewiduje się, że pozostaną stosunkowo tanie również w przyszłości.[85] Ceny akumulatorów litowo-jonowych prawdopodobnie spadną, ale są one w dużym stopniu zależne od dostępności i cen kluczowych do ich produkcji minerałów.[86]

Magazynowanie krótkoterminowe



Magazynowanie długoterminowe



Rys. 7: Magazynowanie krótkoterminowe vs. długoterminowe

Magazynowanie ciepła w systemach ciepłowniczych

Magazynowanie energii cieplnej oznacza ogrzewanie lub schładzanie danego czynnika w celu późniejszego wykorzystania energii. W najprostszej formie może to oznaczać wykorzystanie zbiornika, w którym woda podgrzewana jest w przypadku nadmiaru energii w sieci, dzięki czemu w wodzie magazynowana jest energia, którą następnie wykorzystuje się, gdy ilość energii w sieci spada. Magazynowanie ciepła może być również wykorzystywane w procesie równoważenia konsumpcji energii pomiędzy porą dzienną i nocną.

Nowoczesne sieci ciepłownicze posiadają elastyczną infrastrukturę cieplną, do której można „podłączyć" dostępne źródła energii. Energia w postaci gorącej lub schłodzonej wody może być następnie rozprowadzana do budynków za pośrednictwem sieci rurociągów w celu natychmiastowego jej wykorzystania lub przechowywana w magazynach termicznych do późniejszego wykorzystania. Dzięki zbiornikom przechowującym ciepło, energię cieplną można magazynować przez kilka godzin, a nawet dni. W przypadku większych zbiorników lub innych obiektów magazynowych można ją przechowywać nawet przez kilka miesięcy. W ten sposób sieci ciepłownicze mogą zagwarantować elastyczność systemu energetycznego wypełniając dwie kluczowe funkcje: zapewnianie magazynowania energii i umożliwianie przełączania między różnymi źródłami energii, takimi jak wielkoskalowe pompy ciepła, ciepło odpadowe, energia słoneczna i energia geotermalna.[87]

H_2 Wodór

Energię można magazynować w postaci wodoru, przekształcając energię elektryczną w wodór o niskim współczynniku emisji w procesie elektrolizy. Istnieje kilka sposobów magazynowania wodoru na dużą skalę – od kawern solnych po sprężony gaz przechowywany w zbiornikach.[88]
Co ważne, wodór może być przechowywany bez strat energii przez długi czas. Dzięki temu jest on idealnym medium do sezonowego równoważenia energii.[89] Co więcej, rurociągi aktualnie używane do przesyłania gazu ziemnego mogą zostać dostosowane do przesyłania wodoru.[90] W ten sposób możliwe będzie wykorzystanie nadwyżki energii elektrycznej o niskim współczynniku emisji w jednym miejscu do zaopatrywania w energię innego, odległego regionu, tworząc rynek wodoru podobny do obecnego rynku gazu ziemnego.

Magazynowanie wodoru ma wiele potencjalnych zastosowań, ale nie jest tak wydajne jak inne formy magazynowania, np. za pomocą akumulatorów. Efektywność procesu konwersji energii elektrycznej na wodór i ponownie na energię elektryczną może oscylować na poziomie zaledwie 18%[91], ponieważ każdy proces konwersji wiąże się z utratą pewnej ilości energii. Wykorzystywanie wodoru do osiągania wysokich temperatur w procesach przemysłowych lub do produkcji e-paliw dla żeglugi i lotnictwa również wiąże się z dużymi stratami energii. Jednakże w przypadku sektorów, w których ograniczanie emisji jest trudne, być może będziemy musieli zaakceptować straty energii po to, abyśmy mogli te sektory zdekarbonizować. Późniejszy postęp technologiczny z pewnością sprawi, że e-paliwa staną się bardziej opłacalną opcją.[92] Obecnie magazynowanie energii w postaci wodoru jest bardzo kosztowne, ale oczekuje się, że koszt tego procesu w przyszłości obniży się wraz z rozwojem technologii.[93,94] Więcej na temat wodoru można przeczytać na stronach 25-30.

Elektrownie szczytowo-pompowe

Elektrownia szczytowo-pompowa wykorzystuje nadwyżkę energii elektrycznej w procesie pompowania wody do położonego wyżej zbiornika, a w momencie gdy energia elektryczna jest znów potrzebna, woda jest uwalniana przepływając przez turbiny wytwarzające energię elektryczną.[95] Elektrownia wodna szczytowo-pompowa to obecnie najpowszechniej stosowana technologia magazynowania energii – w roku 2020 energia przechowywana za jej pośrednictwem stanowiła 90% ogółu magazynowanej energii elektrycznej.[96]

Magazynowanie energii za pomocą elektrowni szczytowo-pompowych jest tanie nawet w przypadku bardzo dużych obiektów[97] – mogą one dostarczać energię przez okres od kilku godzin do kilku tygodni.[98] Jednakże choć technologia ta jest dobrze rozwinięta i tania, powszechnie uważa się, że istnieje ograniczona liczba odpowiednich lokalizacji do budowy nowych obiektów tego typu.[99] Elektrownie szczytowo-pompowe to niskoemisyjne magazyny energii – musimy jednak pamiętać, że spiętrzenie dużych zbiorników wodnych może mieć negatywny wpływ na środowisko i różnorodność biologiczną.[100]

Akumulatory litowo-jonowe

Akumulatory to opłacalne rozwiązanie w przypadku krótkotrwałego przechowywania energii. Mimo że ceny akumulatorów litowo-jonowych są nadal dość wysokie, w ciągu ostatniej dekady znacząco spadły. Niestety wymagają one dużej ilości zasobów i nawet jeśli będą stawały się coraz tańsze, nadal będą zależne od cen kluczowych dla ich produkcji minerałów. Aktualna pojemność akumulatorów na świecie jest znacznie niższa niż pojemność elektrowni szczytowo-pompowych, choć oczekuje się, że w dużym stopniu wzrośnie – z 28 GW w 2022 roku do 967 GW w roku 2030, dorównując tym samym pojemności elektrowni szczytowo-pompowych.[101]

Każdy z powyższych mechanizmów przechowywania energii ma określone zalety. Akumulatory są szczególnie przydatne w przypadku paneli słonecznych, zwłaszcza w lokalizacjach o łatwym do przewidzenia i stabilnym nasłonecznieniu, takich jak obszary półsuche i suche. Dzieje się tak, ponieważ na takich obszarach można dostosować rozmiar akumulatora do zapotrzebowania na energię elektryczną poza godzinami, w których świeci słońce. Akumulatory mają jednak dwie istotne wady: 1) ograniczona liczba cykli ładowania oraz 2) względy środowiskowe, a w szczególności zależność od intensywnego wydobycia kluczowych dla ich produkcji minerałów. Jednakże rozwój technologiczny postępuje bardzo szybko, co oznacza, że wkrótce prawdopodobnie będziemy w posiadaniu akumulatorów, które będą w stanie utrzymać wystarczający poziom wydajności przez 25-30 lat.[102]

Ponowne wykorzystanie energii dzięki integracji sektorów

Energia odnawialna nie jest zasobem niewyczerpywalnym. Jednakże we w pełni zelektryfikowanym systemie energetycznym zapotrzebowanie na energię elektryczną pochodzącą ze źródeł odnawialnych będzie ogromne. Oznacza to, że będziemy musieli w pełni wykorzystać wszystkie dostępne źródła energii we wszystkich sektorach, a zwłaszcza ciepło odpadowe. W każdym elemencie naszego systemu energetycznego energia jest marnowana i uwalniana do atmosfery w postaci ciepła. **Ciepło odpadowe to śpiący olbrzym efektywności energetycznej** – strategicznie wychwycone i wykorzystane jako energia, posiada niesamowity potencjał do zastąpienia znacznych ilości cennej energii pochodzącej z takich źródeł jak paliwa kopalne czy energia elektryczna, umożliwiając tym samym oszczędności finansowe oraz redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Integracja sektorowa polega na łączeniu różnych sektorów po to, aby współdziałały w sposób bardziej efektywny i zrównoważony. Ma ona na celu znalezienie sposobów na nakłonienie sektorów do współpracy, ograniczenie ilości odpadów oraz poprawę ogólnej efektywności systemu. Pomaga również zmniejszyć obciążenie sieci energetycznej, umożliwiając szersze wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, takich jak ciepło odpadowe.

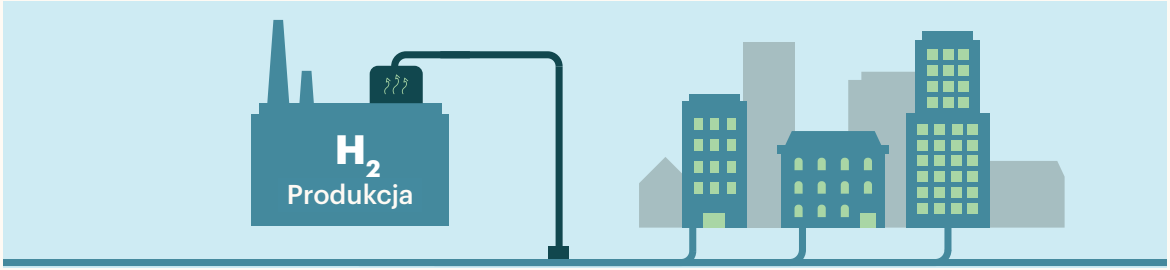
Potencjał ciepła odpadowego

Każde pracujące urządzenie wytwarza ciepło. Pomyślcie tylko o temperaturze powietrza za lodówką. To samo dzieje się w **supermarketach, centrach danych, oczyszczalniach ścieków czy zakładach przeprowadzających elektrolizę wodoru na całym świecie**, ale na znacznie większą skalę. Do 2030 roku aż 53% energii wyprodukowanej na świecie będzie marnowane w postaci ciepła odpadowego.[103] Wychwycenie takiej ilości ciepła byłoby bardzo korzystne dla klimatu. W rzeczywistości moglibyśmy obniżyć poziom emisji na świecie o 10-19%, gdybyśmy wykorzystali pełny teoretyczny potencjał ciepła odpadowego.[104]

Ogrzewnictwo pochłania jedne z największych ilości energii. W Europie stanowi ono ponad 50% końcowej konsumpcji energii rocznie, a większość ciepła generowanego w celach grzewczych nadal produkowana jest przy pomocy źródeł bazujących na paliwach kopalnych, z czego ponad połowa na gazie ziemnym.[105] Dzieje się tak, pomimo że wszystkie zurbanizowane obszary w Europie mają dostęp do wielu źródeł ciepła odpadowego. Mieszkańcy UE mają dziś dostęp do ok. 2860 TWh ciepła odpadowego rocznie, którego duża część mogłaby być ponownie wykorzystana.[106] To ilość 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.[107]

W pewnych krajach potencjał ciepła odpadowego równy jest całkowitemu zapotrzebowaniu na ogrzewanie.[108] Dla przykładu, ilość ciepła odpadowego produkowanego w Holandii wynosi 156 TWh rocznie[109], podczas gdy całkowite zapotrzebowanie na ogrzewanie wody oraz pomieszczeń w tym kraju to 152 TWh rocznie.[110] Na przykład, sektor przemysłowy w północnych Chinach, w samym tylko sezonie grzewczym wytwarza ok. 813 TWh ciepła odpadowego[111] – wyobraźmy sobie zatem, ile wynosi całkowita ilość ciepła odpadowego we wszystkich sektorach w całych Chinach!

Przykład: Ciepło odpadowe z produkcji wodoru

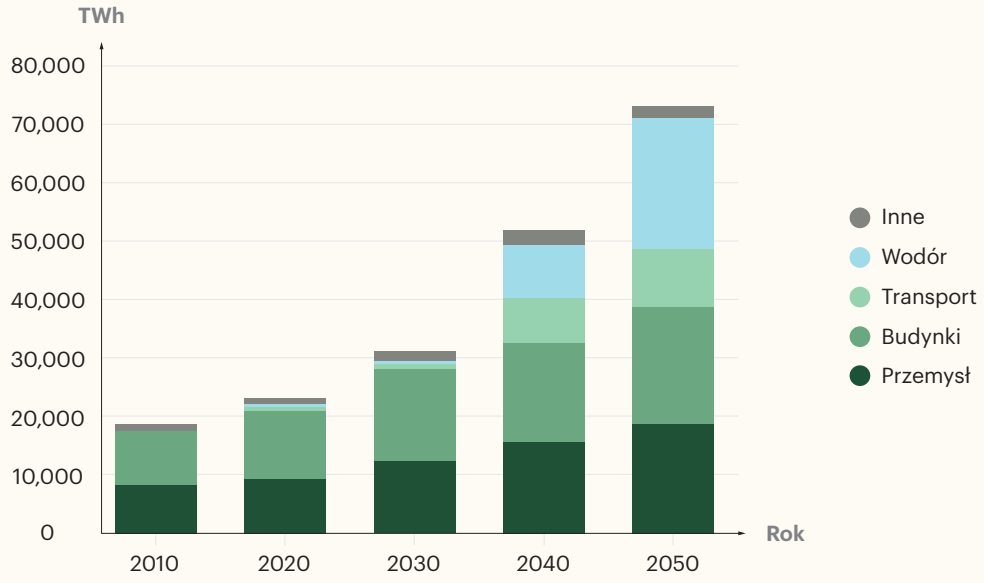


Ciepło odpadowe z produkcji wodoru wytwarzanego w procesie elektrolizy można wychwycić i wykorzystać do ogrzewania domów i dostarczania ciepła dla przemysłu. Do 2050 roku produkcja niskoemisyjnego wodoru będzie odbywać się na skalę masową. MAE szacuje, że światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do przeprowadzenia elektrolizy wyniesie 14 800 TWh.[112] W procesie tym około **⅔ dostarczanej energii elektrycznej przetwarzane jest na wodór, a reszta marnowana jest w postaci ciepła odpadowego.** Około 17% ilości tej energii będzie można odzyskać i wykorzystać w 2030 roku w sieciach ciepłowniczych, co pozwoli miastom na odciążenie odnawialnych źródeł energii w obszarze wytwarzania ciepła.[113]

Rys. 8 przedstawia źródła zapotrzebowania na energię na świecie wg. raportu Energy Outlook przygotowanego przez Bloomberg. Zapotrzebowanie na energię do produkcji wodoru będzie ogromne. Z tego powodu musimy zadbać o wykorzystanie jak największej ilości ciepła odpadowego wychwyconego z procesu elektrolizy. Jednak potencjał ten będzie można wykorzystać tylko wtedy, gdy mądrze zaplanujemy infrastrukturę do produkcji wodoru, budując instalacje elektrolizy w pobliżu planowanych lub istniejących lokalnych systemów energetycznych. Kilka projektów jest aktualnie na etapie realizacji. Wkrótce umożliwią one dystrybucję ciepła odpadowego z zakładów elektrolizy za pomocą lokalnych systemów energetycznych w celu ogrzewania domów.[114,115] Na to, ile ciepła odpadowego można faktycznie wykorzystać, wpływa kilka czynników. Na przykład wykorzystanie pełnego potencjału wymagałoby dużej rozbudowy sieci ciepłowniczych, a produkcja wodoru musiałaby odbywać się w pobliżu lokalnego systemu energetycznego. Ponadto wiele obszarów ma niewielkie zapotrzebowanie na ciepło lub nie ma go wcale. Jednak możliwości odzyskiwania ciepła odpadowego z procesu elektrolizy są tak ogromne, że koniecznie musimy je wziąć pod uwagę przy planowaniu przyszłej infrastruktury energetycznej.

W skali globalnej, w 2050 roku będziemy mogli teoretycznie odzyskać 1228 TWh ciepła z elektrolizy wodoru i ponownie rozdystrybuować je za pomocą sieci ciepłowniczych, pod warunkiem, że zakłady produkujące wodór zlokalizowane będą w pobliżu odpowiedniego systemu energetycznego. Dla porównania, **1228 TWh ciepła odpowiada prawie ⅔ aktualnej światowej jego produkcji z węgla – największego dziś źródła ciepła.**[116] W samej UE przed 2030 rokiem będzie można odzyskać około 83 TWh, czyli 1,5 razy więcej niż potrzebna dziś do ogrzania wszystkich domów w Niemczech.[117] W Chinach w 2060 roku będzie można odzyskać od 296 do 427 TWh, co stanowi od 18% do 26% obecnie wytwarzanego w tym państwie ciepła.[118] Są to potencjały teoretyczne, ale pokazują, że jeśli w długoterminowym planowaniu systemu energetycznego uwzględni się energię z lokalnych sieci ciepłowniczych oraz ciepło odpadowe, mogą one odegrać kluczową rolę w osiągnięciu celu związanego z zatrzymaniem ocieplenia klimatu na poziomie 1,5°C.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną z wodoru



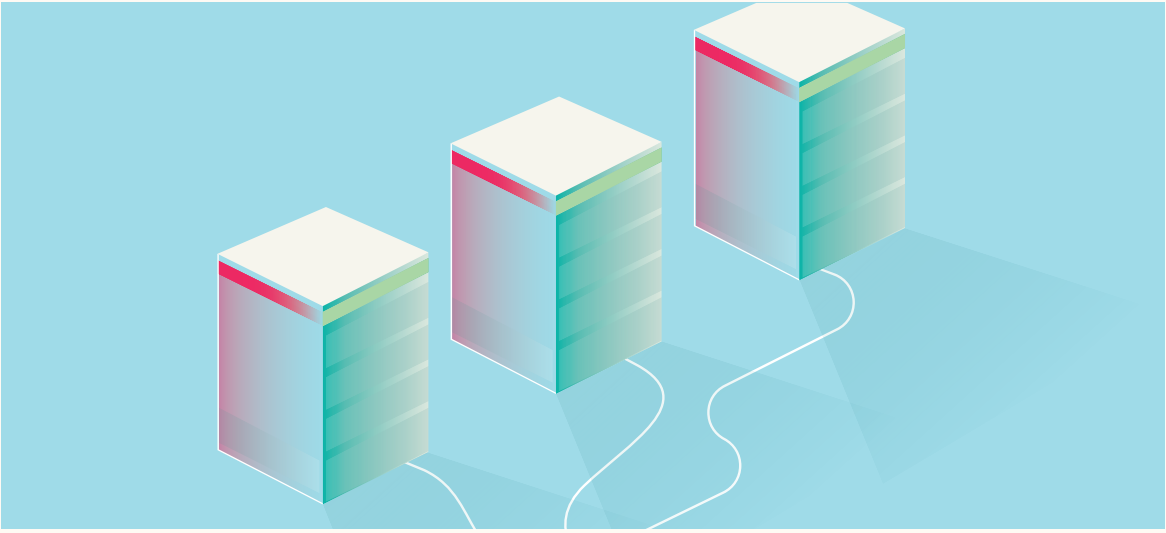
Rys. 8: Źródła zapotrzebowania na energię na świecie wg. scenariusza zerowej emisji netto, źródło: BloombergScenario[119]

Łączmy konsumentów i producentów energii

Producenci ciepła mogą ponownie wykorzystywać ciepło, które wytwarzają w ramach własnych procesów wewnętrznych w celu zwiększenia swojej wydajności. Dla przykładu, ciepło odpadowe często występuje w procesach produkcyjnych lub tam, gdzie zachodzą procesy ogrzewania, chłodzenia, zamrażania i spalania. A najprostszym sposobem na wykorzystanie ciepła odpadowego jest ponowne jego włączenie do tych samych procesów. Na przykład, w supermarketach ciepło odpadowe wytwarzane przez zamrażarki i lodówki może zostać wykorzystane do ogrzewania wody lub samego supermarketu. Najważniejszym z elementów umożliwiających wykorzystanie ciepła odpadowego w tej samej lokalizacji jest instalacja urządzenia do jego odzysku. Urządzenie do odzysku ciepła warto rozważyć prawie we wszystkich przypadkach, w których niewykorzystana energia cieplna jest wytwarzana jako „produkt odpadowy". Integrację sektorów w miastach można przeprowadzić na mniejszą skalę poprzez właściwe planowanie przestrzeni miejskiej lub na większą skalę dzięki sieciom ciepłowniczym. Planowanie przestrzeni miejskiej może wykorzystać potencjał integracji sektorów oraz ciepła odpadowego poprzez połączenie producentów energii z jej konsumentami za pośrednictwem inteligentnej sieci. Wielkoskalowe synergie mogą wystąpić w sytuacji, gdy wytwórca ciepła odpadowego, np. centrum danych, zlokalizowany jest w pobliżu podmiotów, które mogą kupować i wykorzystywać duże ilości ciepła odpadowego (np. przedsiębiorstwa sadownicze). Poszukiwanie takich synergii między producentami energii a jej konsumentami w planowaniu urbanistycznym nazywa się planowaniem klastrów przemysłowych i przyczynia się do dekarbonizacji naszego systemu energetycznego. Ponadto, współpraca pomiędzy zlokalizowanymi blisko siebie przedsiębiorstwami przynosi korzyści zarówno sprzedającemu, jak i kupującemu energię.

W wielu rejonach świata sieci ciepłownicze zapewniają gospodarstwom domowym oraz firmom zarówno ogrzewanie, jak i chłodzenie. Sieć wykorzystuje ciepło z wielu źródeł, takich jak odnawialne (energia słoneczna, źródła geotermalne i biomasa) oraz kopalne, np. z elektrowni, rozprowadzając je rurociągami do użytkowników końcowych w postaci podgrzanej wody. W dzisiejszych czasach większość sieci ciepłowniczych nadal polega na energii uzyskanej z paliw kopalnych. **Jednakże jedną z głównych zalet sieci ciepłowniczych jest ich zdolność do integracji różnych źródeł ciepła, które mogą wyeliminować paliwa kopalne z miksu grzewczego i chłodniczego.** W miarę rozwoju technologii związanych z lokalnymi sieciami energetycznymi będzie można łączyć z siecią coraz większą liczbę źródeł ciepła odpadowego. Dziś tzw. system elektroenergetyczny czwartej generacji pozwala na integrację bardzo niskotemperaturowych źródeł ciepła z sieciami ciepłowniczymi i zapewnia ogrzewanie nowych budynków, które mogą funkcjonować w niskich temperaturach.

Przykład: Potencjał ciepła odpadowego generowanego w centrach danych



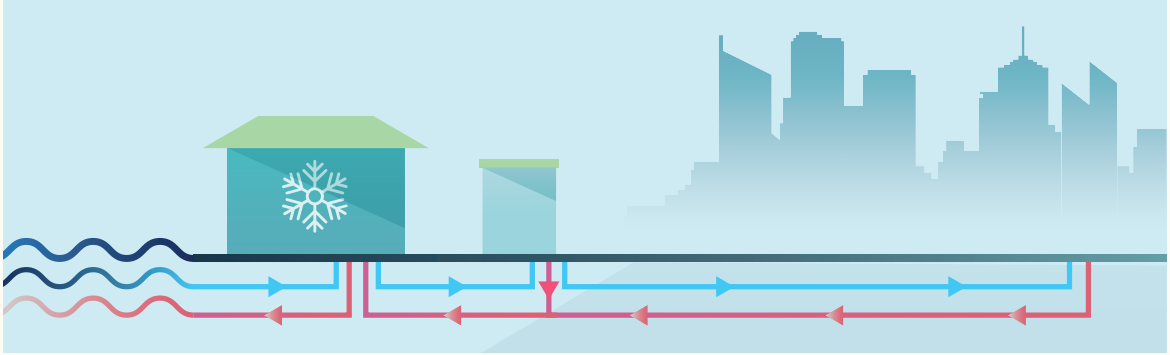
Dane stały się siłą napędową gospodarki cyfrowej na całym świecie, stanowiąc kręgosłup przepływu informacji i napędzając szereg działań: od infrastrukturalnych i transportowych po handel detaliczny i produkcję. Według MAE, w roku 2021 centra danych zużyły 220-320 TWh energii elektrycznej, czyli ok. 0,9-1,3% globalnego zapotrzebowania na nią[120] – to tyle samo, co zużywa dziś Australia czy Hiszpania.[121]

Centra danych to również producenci ciepła odpadowego. Serwery w centrum danych wytwarzają ilość ciepła odpowiadającą zużywanej przez nie energii elektrycznej, a konieczny proces chłodzenia tych urządzeń również generuje znaczną ilość ciepła odpadowego. **W porównaniu z innymi źródłami nadmiaru ciepła, przepływ ciepła odpadowego z centrów danych jest ciągły i dlatego stanowi wysoce niezawodne źródło czystej energii.** Istnieje wiele dowodów na to, że ciepło z centrów danych można ponownie wykorzystać do ogrzania pobliskich budynków za pośrednictwem niewielkich rozmiarów sieci lub wyeksportować do miejskiej sieci energetycznej i wykorzystać na różne sposoby.

We Frankfurcie nad Menem przygotowywanych jest kilka projektów, które mają pomóc miastu w odbieraniu ciepła odpadowego z centrów danych i wykorzystaniu go do pokrycia całkowitego zapotrzebowania na ciepło w gospodarstwach domowych i biurach. Oszacowano, że do 2030 roku ciepło odpadowe z centrów danych we Frankfurcie mogłoby pokryć całkowite zapotrzebowanie miasta na ogrzewanie gospodarstw domowych i budynków biurowych.[122]

Firma Amazon Web Services wybudowała pierwsze w Irlandii, dostosowane do indywidualnych potrzeb, zrównoważone rozwiązanie zapewniające niskoemisyjne ciepło na rozwijających się przedmieściach Dublina. Oddane do użytku centrum danych na początek zapewni ciepło dla 47 tys. m^2 powierzchni w budynkach sektora publicznego. Ogrzeje również 3 tys. m^2 powierzchni handlowej oraz 135 przystępnych cenowo mieszkań na wynajem.[123]

Przykład: Lokalne sieci chłodnicze zużywają o połowę mniej energii niż klimatyzatory



W lokalnej sieci chłodniczej, woda lodowa dostarczana jest rurociągami z głównego zakładu chłodniczego do budynków komercyjnych i mieszkalnych. Zimna woda dostarczana jest do sieci chłodniczych z bezpłatnych, naturalnych zasobów zimnej wody – morza, jezior, rzek czy zbiorników podziemnych – lub wytwarzana jest z ciepła odpadowego pochodzącego z elektrowni lub zakładów przemysłowych, bądź za pośrednictwem centralnych elektrycznych agregatów chłodniczych. Zimna woda może być wytwarzana w lokalnej sieci chłodniczej nocą i rozprowadzana w godzinach szczytu w ciągu dnia. Zmniejsza to zapotrzebowanie na pracę agregatu chłodniczego w godzinach szczytowego zapotrzebowania na energię i zmniejsza koszty, ponieważ w nocy energia elektryczna jest tańsza, a temperatury otoczenia niższe.

Około 10% światowego zapotrzebowania na energię elektryczną generowane jest przez klimatyzację pomieszczeń, a według szacunków MAE, do 2050 roku około ⅔ gospodarstw domowych na świecie może być wyposażone w klimatyzatory.[124] Zgodnie z międzynarodowymi badaniami, zapotrzebowanie na chłodzenie budynków komercyjnych i mieszkalnych wzrośnie w znacznym stopniu w nadchodzących latach, szczególnie wśród społeczeństw o wysokim poziomie dochodów i w gospodarkach wschodzących, takich jak Indie, Chiny i Indonezja.[125] Jednakże lokalne sieci chłodnicze zużywają o połowę mniej energii niż klimatyzatory, a także zmniejszają zużycie szkodliwych dla środowiska gazów fluorowanych.[126]

Istniejące lokalne sieci chłodnicze w miastach takich jak Paryż, Dubaj, Helsinki, Kopenhaga i Port Louis udowodniły, że mogą być one ponad dwukrotnie wydajniejsze niż tradycyjne systemy zdecentralizowane.[127] Na przykład, w Dubaju, gdzie 70% energii elektrycznej zużywane jest przez klimatyzatory, aby sprostać tak dużemu zapotrzebowaniu na chłodzenie, miasto rozwinęło jedną z największych na świecie lokalnych sieci chłodniczych. Do 2030 roku 40% zapotrzebowania miasta na chłodzenie będzie pokrywane z tego typu sieci.[128] **A w przypadkach, w których będzie można wykorzystać wodę z jezior lub oceanu – zwaną także „darmowym chłodzeniem" – zapotrzebowanie na energię będzie można zmniejszyć nawet do 90%** w porównaniu z konwencjonalnymi metodami chłodzenia.[129] Przykład takiego systemu można znaleźć w kanadyjskim Toronto, gdzie woda z dna jeziora Ontario wykorzystywana jest do zasilania dużych sieci chłodniczych.[130]

Integrujmy sektory

1 Duża część energii wyprodukowanej na całym świecie marnowana jest w postaci ciepła odpadowego

Do 2030 roku aż 53% energii wyprodukowanej na świecie będzie marnowane w postaci ciepła odpadowego. Jednak jeśli zwiększymy wysiłki na rzecz odzyskiwania tego rodzaju ciepła, będzie to bardzo korzystne dla naszego klimatu. Moglibyśmy również **obniżyć poziom emisji na świecie o 10-19%, gdybyśmy wykorzystali pełny teoretyczny potencjał ciepła odpadowego**.

2 Łączmy producentów i konsumentów energii

Wychwytując ciepło odpadowe i redystrybuując je za pomocą inteligentnego planowania urbanistycznego oraz lokalnych systemów energetycznych, odbiorcy **dużej ilości energii, tacy jak centra danych, supermarkety, zakłady produkujące wodór czy oczyszczalnie ścieków, mogą stać się jej głównymi dostawcami.**

3 Zwiększona produkcja wodoru stwarza znaczący potencjał do wytwarzania ciepła odpadowego

MAE szacuje, że do roku 2050 światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do przeprowadzenia elektrolizy wyniesie 14 800 TWh. Jeżeli nie zostaną podjęte żadne działania, około jedna trzecia tej energii zostanie zmarnowana w postaci ciepła odpadowego. Jednakże **w skali globalnej, w 2050 roku możemy teoretycznie odzyskać 1228 TWh ciepła** – to prawie dwie trzecie dzisiejszej światowej produkcji ciepła z wykorzystaniem węgla.

Rekomendowane działania prawne

Nadszedł czas, aby decydenci na wszystkich szczeblach ustalili odpowiednie ramy regulacyjne i gospodarcze ukierunkowane na osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto do 2050 roku. Efektywność energetyczna 2.0 może nie tylko zmniejszyć emisje dwutlenku węgla, ale także zapewnić znaczne oszczędności zarówno na poziomie społecznym, jak i indywidualnym. Aby się jednak tak stało, należy wdrożyć ramy regulacyjne już teraz.

Niniejsze zalecenia to niezbędne kroki, jakie należy podjąć, aby mieć pewność, że rozwiązania dla naszego przyszłego systemu energetycznego zostaną nie tylko zaprojektowane, lecz także wdrożone.

Włączajmy rozwiązania gwarantujące elastyczność do polityki energetycznej na wszystkich poziomach, abyśmy mogli zarządzać relacją pomiędzy podażą i popytem na energię odnawialną oraz zapewnić sobie bezpieczeństwo energetyczne.

Nowa inteligentna sieć musi obejmować technologie pozwalające na przesunięcie obciążenia oraz eliminowanie szczytów. Włączajmy wytyczne dotyczące elastyczności po stronie odbiorców energii do przepisów budowlanych i branżowych, które pozwolą konsumentom szybciej wdrażać rozwiązania zapewniające elastyczność. Zapewniajmy zarówno konsumentom, jak i producentom dostęp do danych dotyczących zużycia energii, ułatwiając aktywne uczestnictwo i umożliwiając operatorom systemów energetycznych wprowadzanie kolejnych rozwiązań zapewniających elastyczność po stronie odbiorców energii. Wdrażajmy mechanizmy cenowe zachęcające do korzystania z energii poza godzinami szczytu.

- Twórzmy lokalne, krajowe i międzynarodowe regulacje dotyczące standardów elastyczności w budynkach oraz poszczególnych gałęziach przemysłu, pomagając odbiorcom energii elektrycznej w szybszym wdrażaniu rozwiązań zapewniających elastyczność. Zachęcajmy konsumentów do aktywnego zwiększania elastyczności, oferując instalację inteligentnych liczników w ramach dotacji rządowych lub przepisów budowlanych. Zapewniajmy operatorom systemów dostęp do danych dotyczących zużycia energii elektrycznej w budynkach, przemyśle i gospodarstwach domowych.
- Wdrażajmy standardy elastyczności na rynku energii umożliwiające łatwiejszą integrację nowych urządzeń i lokalnych źródeł energii odnawialnej, prowadzące do utworzenia konkurencyjnego rynku dla producentów, operatorów systemów i przedsiębiorstw użyteczności publicznej. Na przykład unijny standard S2 umożliwia komunikację i współpracę pomiędzy urządzeniami, jednocześnie uzyskując informacje o sieci w celu koordynacji zużycia energii oraz jego synchronizacji z procesami produkcyjnymi, zapewniając skuteczne wdrażanie rozwiązań zwiększających elastyczność po stronie odbiorców energii.

Oszczędzajmy energię i elektryfikujmy wszystko co możliwe, w sektorze transportowym, przemysłowym i budowlanym.

Zwiększajmy wydajności w poszczególnych sektorach wraz z pełną elektryfikacją infrastruktury – to kluczowy pierwszy krok, jaki należy podjąć. Ograniczajmy straty energii w każdym z sektorów, rozpoczynając od mapowania zużycia energii w celu określenia obszarów wymagających usprawnień. Zlecajmy planowanie energetyczne, wyznaczajmy ambitne i wykonalne krótko-, średnio- i długoterminowe cele i plany oraz wdrażajmy odpowiednie ramy regulacyjne, aby zachęcać do nowych inwestycji.

- Opracowujmy i wdrażajmy obowiązkowe przepisy energetyczne dotyczące budynków, aby przyspieszyć proces przygotowania ich do bezemisyjności. Planujmy długoterminowe strategie modernizacji zawierające odpowiednie przepisy i zachęty do stymulowania renowacji, korzystania z energii odnawialnej oraz podwyższania poziomu modernizacji już istniejących budynków. Zachęcajmy do zastępowania instalacji służących do ogrzewania i klimatyzowania pomieszczeń oraz ogrzewania wody użytkowej zasilanych paliwami kopalnymi rozwiązaniami wykorzystującymi energię odnawialną, takimi jak pompy ciepła lub lokalne sieci ciepłownicze.
- W przemyśle ustalmy minimalne standardy efektywności energetycznej dla najważniejszego sprzętu, takiego jak silniki czy pompy, w celu poprawienia poziomu efektywności. Upewnijmy się, że podatki i przepisy fiskalne zachęcają firmy do zwiększania efektywności energetycznej poprzez wykorzystanie tzw. „polityki kija i marchewki”, np. opłat za emisje. Twórzmy programy, które pozwolą małym i średnim przedsiębiorstwom uzyskać pełen ogląd sytuacji i stworzyć plan dekarbonizacji. Opracowujmy programy łączące audyty energetyczne z wytycznymi dotyczącymi skutecznego wdrażania zielonych inicjatyw. Opracowujmy rozwiązania zwiększające efektywność o krótkim czasie realizacji dzięki informacjom uzyskanym w wyniku przeprowadzanych audytów energetycznych.
- Elektryfikujmy transport i zwiększajmy jego efektywność energetyczną poprzez inwestycje, regulacje i zachęty. Stwórzmy rynek dla technologii umożliwiających pełną elektryfikację poprzez podniesienie standardów emisyjności dla nowego sprzętu i pojazdów. Ukierunkowujmy opodatkowanie pojazdów tak, aby zachęcać do zakupu tych bardziej efektywnych energetycznie oraz twórzmy parkingi i stacje ładowania dla pojazdów elektrycznych. Uwzględniajmy emisyjność procesu budowy stacji ładowania w ocenie ich cyklu życia. Twórzmy zachęty mobilizujące właścicieli silników diesla o długim okresie trwałości do ich wymiany na bardziej efektywne energetycznie. Wykorzystujmy lokalne przepisy oraz zezwolenia w celu tworzenia stref czy placów budowy o niskiej lub zerowej emisji. Elektryfikujmy ostatnie etapy łańcucha dostawy towarów realizowane w centrach miast. Twórzmy infrastrukturę ładowania pojazdów i opracowujmy zachęty finansowe promujące inteligentne ładowanie, abyśmy mogli w pełni wykorzystać rozwiązania z zakresu cyfryzacji oraz sprawić, że pojazdy elektryczne będą przyczyniały się do rozwiązywania kwestii związanych z elastycznością i magazynowaniem energii.

Inwestujmy w modernizację sieci energetycznej w celu pełnego wykorzystania wciąż rosnącej ilości energii odnawialnej w systemie.

Abyśmy mogli sprostać zwiększonemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną oraz wciąż rosnącym dostawom energii odnawialnej, konieczne jest przeprowadzenie inwestycji w sieć energetyczną. Jeśli chcemy wrócić na dobrą drogę do osiągnięcia scenariusza zerowej emisji netto do 2050 roku, inwestycje w system energetyczny przyszłości muszą się podwoić do roku 2030.[131] Inwestycje te obniżą koszty społeczne i koszty produkcji energii, jak również rachunki za energię u indywidualnych konsumentów. W celu przeciwdziałania starzeniu się infrastruktury sieciowej oraz przeprowadzenia rozbudowy sieci, możemy przeprowadzić kilka inicjatyw. Większość sieci dystrybucji energii zlokalizowana jest wokół scentralizowanych elektrowni i musi zostać zmodernizowana, aby móc dostarczać energię pochodzącą z okolicznych paneli słonecznych i farm wiatrowych. Stwórzmy mechanizm tzw. „jednego okienka", który pozwoli inwestorom zajmującym się energią odnawialną na wysłanie wniosku projektowego do jednego podmiotu, który następnie przeprowadzi wszystkie niezbędne procesy uzyskiwania zezwoleń z właściwymi organami.

- Podczas projektowania sieci należy nadać priorytet wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii pochodzących z takich urządzeń jak turbiny wiatrowe i panele fotowoltaiczne czy z innych rozwiązań będących wynikiem realizacji długoterminowych projektów infrastrukturalnych, których uruchomienie ma nastąpić w nadchodzących dziesięcioleciach. Finanse publiczne przeznaczane na innowacje i badania powinny być ukierunkowane na efektywną integrację technologii związanych z wykorzystaniem energii odnawialnej z systemami energetycznymi. Może to obejmować opracowywanie nowych produktów i procesów, testowanie oraz prezentację nowych zastosowań i modeli, jak również szeroką współpracę ze środowiskiem akademickim, przemysłem oraz społeczeństwem obywatelskim.

- Podczas przechodzenia na korzystanie z przyszłej sieci energetycznej, należy zapewnić właściwe środowisko prawne umożliwiające szybkie i skuteczne wdrożenie inteligentnych technologii sieciowych, takich jak inteligentne liczniki, czujniki, falowniki, przełączniki oraz właściwe oprogramowanie. Usprawniajmy koordynację lokalnych działań oraz współpracę zapewniającą wykorzystanie energii odnawialnej w sieci energetycznej. Dzielmy się informacjami, zasobami i usługami, a także usprawniajmy polityki energetyczne oraz przepisy. Odpowiednie ustalanie cen, zasad i standardów dotyczących energii oraz powiązanych usług mogłoby stanowić mechanizm zachęcający do efektywnej i właściwej alokacji kosztów i korzyści wynikających z wykorzystywania energii odnawialnej.

- Zabezpieczając dostawy energii, inwestujmy w urządzenia do przetwarzania i magazynowania energii elektrycznej po to, aby móc w pełni wykorzystać potencjał oraz dostępność energii odnawialnej. Instalacje do elektrolizy wodoru będą odgrywać ważną rolę zarówno w procesie magazynowania, jak i konwersji energii. Jednakże wykorzystanie wodoru należy zoptymalizować poprzez właściwe jego zaplanowanie. Obiekty te powinny podlegać odpowiednim regulacjom prawnym i zapewniać wysokie standardy wydajności w celu ograniczania strat energii oraz wykorzystywania ciepła odpadowego z instalacji elektrolizy.

Inwestujmy w integrację sektorów.

Bariery rynkowe uniemożliwiają wykorzystanie potencjału ciepła odpadowego. Likwidujmy te bariery, na przykład poprzez wspieranie równego traktowania ciepła odpadowego i odnawialnych źródeł energii wykorzystywanych w sieciach ciepłowniczych. Projektujmy na nowo rynki energii w celu umożliwienia wykorzystania technologii pozwalających na integrację sektorów na określonych rynkach oraz internalizację wszystkich pozytywnych czynników zewnętrznych technologii niskoemisyjnych.

- Rządy poszczególnych krajów powinny wyznaczyć cele prowadzące do osiągnięcia określonego poziomu integracji sektorowej. Określmy cel dotyczący ponownego wykorzystania energii odpadowej i wykorzystajmy go jako wytyczną dla rynku energii. Zachęcajmy do holistycznego podejścia do integracji sektorowej. Usuwajmy bariery administracyjne, aby zachęcać konsumentów energii do przyłączania się do sieci ciepłowniczych oraz zachęcajmy zakłady ciepłownicze do zwiększania ich własnej efektywności energetycznej.
- W obszarze planowania terenów miejskich i wiejskich należy wprowadzić obowiązek uwzględniania planowania energetycznego umożliwiającego ocenę potencjału energii odpadowej i jak najlepsze wykorzystanie lokalnie dostępnych zasobów. Podczas projektowania sieci energetycznej należy przestrzegać zasady priorytetyzującej efektywność energetyczną. Ograniczy to konieczność przeprowadzania dodatkowych inwestycji zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym. Wymagajmy większego wykorzystania nadwyżki energii, nakładając na odpowiednie podmioty obowiązek planowania wykorzystania ciepła odpadowego. Planowanie wykorzystania ciepła musi być szczegółowe i uwzględniać potencjalne przyszłe źródła ciepła odpadowego, takie jak zakłady przeprowadzające proces elektrolizy. Planowanie energetyczne może pomóc odkryć potencjał zarówno mniejszych, jak i większych możliwości, takich jak rozwój sieci ciepłowniczych.
- Należy obniżyć poziom minimalnej wielkości oferty na rynku energii, aby umożliwić mniejszym podmiotom oferowanie usług sieci energetycznej, tworząc tym samym lokalne elastyczne rynki umożliwiające rozwiązywanie problemów dotyczących lokalnej sieci. Zachęcajmy do integracji sektorów poprzez ustawodawstwo podatkowe sprzyjające wykorzystaniu ciepła odpadowego oraz wprowadzajmy odpowiednie taryfy sieciowe.

Źródła:

1. IEA (2022). World Energy Outlook. Table A.1.c: World energy supply. [list grouping here]
2. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
3. Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, Applied Energy, Volume 235, p. 1325.
4. Bakke, G. (2016). The Grid. Bloomsbury USA. P. xii.
5. Clarke, A.C. (1962). Hazards of Prophecy: The Failure of Imagination. Profiles of the Future.
6. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
7. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136. (Assuming the energy content of hydrogen to be 33.33 kWh/kg)
8. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
9. IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
10. BloombergNEF (2022). New Energy Outlook.
11. Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, Applied Energy, Volume 235, p. 1325.
12. Birol, F. in Sheppard, D. (2023). "World at 'beginning of end' of fossil fuel era, says global energy watchdog". Financial Times.
13. IEA (2022). World Energy Outlook. Table A.1.c: World energy supply, Table A.1.a: World energy supply, Table A.1.b: World energy supply.
14. IRENA (2022). Renewable Power Generation Costs in 2022.
15. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
16. IEA (2022). World Energy Outlook 2022 Free Dataset. Global data. Grouping of IEA PRODUCT lvl 2: Bioenergy covers 'Modern bioenergy: solid', 'Modern bioenergy: liquid', and 'Modern bioenergy: gas'. Abated fossil energy covers 'Natural gas: with CCUS' and 'Coal: with CCUS'. Unabated fossil energy covers 'Natural gas: unabated', 'Oil', and 'Coal: unabated'.
17. IEA. (2021). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector. Table 2.5. p. 72.
18. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
19. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
20. NAE Website - Great Achievements and Grand Challenges
21. Danfoss (2023). FPC2023 Danfoss, p. 12.
22. IDTechEx (2022). Electric Construction Machines Vital for Greener Construction
23. JRC (2022). CO2 emissions of all world countries.
24. KOMATSU (2010). Introduction of Komatsu genuine hydraulic oil KOMHYDRO HE.
25. Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
26. Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
27. Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
28. IEA (2023). Tracking Heating.
29. IEA (2022). The Future of Heat Pumps: World Energy Outlook Special Report, p. 11.
30. IEA (n.d.). How a heat pump works.
31. IEA (2023). Heating. Home heating technologies.
32. IEA (2023). Heating. Home heating technologies.
33. IEA (2023). Electric Vehicles.
34. IEA (2023). Electric Vehicles.
35. U.S. Department of Energy – Where the Energy Goes: Electric Cars.
36. IDTechEx (2023). Power Electronics for Electric Vehicles 2023-2033 (Sample pages) p. 6.
37. Power Electronics Europe (2018). Issue 3 p 22-25. SiC-Based Power Modules Cut Costs for Battery-Powered Vehicles.
38. Power Electronic News (2022). The Role of SiC in E-Mobility.
39. Danfoss calculations.
40. Penny, V. (2021). Electric Cars Are Better for then Planet – and Often Your Budget, Too. New York Times.
41. Buitendach et al. (2021). Effect of a ripple current on the efficiency of a PEM electrolyser. Results in Engineering. 10. 1-13.
42. Sepulveda, N.A. et al. (2021). The design space for long-duration energy storage in decarbonized power systems. Nature Energy. 6. p. 506-516.
43. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
44. Rosenow, J. & Eyre, N. (2022). Reinventing energy efficiency for net zero. Energy Research & Social Science. 90. 1-5.
45. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 14:77, 1-20.
46. Rosenow, J. & Eyre, N. (2022). Reinventing energy efficiency for net zero. Energy Research & Social Science. 90, p. 3.
47. Langevin et al. (2023). Demand-side solutions in the US building sector could achieve deep emissions reductions and avoid over $100 billion in power sector costs. One Earth. 6(8). 1005-1031.
48. Danfoss. Leanheat – for building owners
49. Danfoss. Leanheat – for building owners
50. European Commission (2020). Directorate-General for Energy. Küpper, G., Hadush, S., Jakeman, A. et al. Regulatory priorities for enabling demand side flexibility. Publications Office. p. 6. https://data.europa.eu/doi/10.2833/410530
51. Ea Energy Analyses (2023). Value of Demand Flexibility in the European Power Sector.
52. The EU produced 2641 TWh of electricity in 2022, of which 19.6% or 517 TWh stemmed from natural gas. (EU (2023). Infographic - How is EU electricity produced and sold?.)

53. JRC (2023). Consumption Footprint Platform | EPLCA.
54. Reuters (2023). Europe's spend on energy crisis nears 800 billion euros.
55. IEA (2023). Tracking grid-scale storage.
56. JRC (n.d.). RMIS – Raw Materials Information System: Battery supply chain challenges.
57. Clean Energy Wire (2021). More renewables curbed to stabilise German power Grid – report.
58. IEA (2023). Energy Efficiency: The Decade for Action, p. 13.
59. Wärtsilä (2018). Blackout economics.
60. Shuai, M. et al. (2018). Review on Economic Loss Assessment of Power Outages. Procedia Computer Science. Vol. 130. pp. 1158-1163.
61. Macmillan, M. et al. (2023). Shedding light on the economic costs of long-duration power outages. Energy Research & Social Science. Vol. 99. 103055.
62. Environmental Investigation Agency and Shecco (2018). Technical report on energy efficiency in HFC-free supermarket refrigeration, p. 10.
63. Danfoss (2023). Building better supermarkets for the world.
64. Clean Energy Wire (2021). More renewables curbed to stabilise German power Grid – report.
65. IEA (2023). Energy Efficiency: The Decade for Action, p. 13.
66. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
67. IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
68. BloombergNEF (2022). New Energy Outlook.
69. Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 13.
70. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136. (Assuming the energy content of hydrogen to be 33.33 kWh/kg)
71. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
72. IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
73. BloombergNEF (2022). New Energy Outlook.
74. Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 13.
75. In 2030 we will need 90 Mt (10.79 EJ/9 million kg) hydrogen (IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.). The lowest price is USD 1.3 to 3.5/kg hydrogen (IEA (2021). Global Hydrogen Review: Executive Summary.). 90 billion kg hydrogen X USD 1.3 to 3.5/kg hydrogen = USD 117-315 billion investments needed.
76. European Commission (n.d.). Hydrogen. Assuming a lower heating value of hydrogen of 33.3 kWh/kg.
77. In 2017, the US nuclear power plant R.S. Ginna (American Geosciences Institute (n.d.). How much electricity does a typical nuclear power plant generate?) produced 4,697,675 MWh or 4,697 TWh electricity. EU will plans to produce and import a total of 666 TWh hydrogen. 666 TWh/4.697 TWh = 142 nuclear plants like R.S. Ginna.
78. Agora Energiewende (2023). Breaking free from fossil gas: A new path to a climate-neutral Europe, p. 11.
79. Global Wind Energy Council (2023). Global Offshore Wind Report 2023. p. 2.
80. Hydrogen Science Coalition (2022). Hydrogen for heating? A comparison with heat pumps (Part 1).
81. Hydrogen Science Coalition (2022). Hydrogen for heating? A comparison with heat pumps (Part 1).
82. Danfoss estimates based on Buitendach et al. (2021). Effect of a ripple current on the efficiency of a PEM electrolyser. Results in Engineering, 10, p. 1-13.
83. London's annual electricity consumption in buildings and transport in 2018 was 37.82 TWh (Mayor of London (2022). London annual energy usage.) and we will need 14 800 TWh of electricity for hydrogen production in 2050 (IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.). 1 % of 14 800 TWh is 148 TWh. 148 TWh/37.82 TWh = 3.8, almost four times London's electricity consumption in 2018.
84. IEA (2021). How rapidly will the global electricity storage market grow by 2026?.
85. PNNL (2021). Energy Storage Cost and Performance Database.
86. IEA (2023). Grid-scale Storage.
87. Danfoss (n.d.). Thermal energy storage.
88. J. Andersson et al. (2019). Large-scale storage of hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 44. Issue 23. p. 11901-11919.
89. CLOUGLOBAL (2023). Pros and Cons of Hydrogen Energy Storage: Is Worth the Investment?.
90. Energinet (2023). Hydrogen Market Assesment Report for Denmark and Germany. p. 12.
91. Sepulveda, N.A. et al. (2021). The design space for long-duration energy storage in decarbonized power systems. Nature Energy. 6. p. 506-516.
92. Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 16.
93. Choudhury, S. (2021). Flywheel energy storage systems: A critical review on technologies, applications, and future prospects. Int Trans Electr Energ Syst. 2021; 31(9).
94. Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 16.
95. EESI (2019). Energy Storage 2019.
96. IEA (2023). Grid-scale Storage.
97. PNNL (2021). Energy Storage Cost and Performance Database.
98. Blakers, A. et al. (2021). A review of pumped hydro energy storage, Progress in Energy, Volume 3, Number 2.
99. Conolly D. & Maclaughlin S. (2011). Locating Sites for Pumped Hydroelectric Energy Storage. In Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Storage.
100. Anna Normyle & Jamie Pittock (2020) A review of the impacts of pumped hydro energy storage construction on subalpine and alpine biodiversity: lessons for the Snowy Mountains pumped hydro expansion project, Australian Geographer, 51:1, 53-68, DOI: 10.1080/00049182.2019.1684625
101. IEA (2023). Grid-scale Storage.
102. IEA (2023). Grid-scale Storage.
103. Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, Applied Energy, Volume 235, p. 1325.
104. Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, Applied Energy, Volume 235, p. 1330.
105. Euroheat & Power (2023). DHC Market Outlook, p. 3
106. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
107. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University

108. Heat demanded by residential and service sector buildings, also called "low-temperature heat demand", according to 2015 data from the Heat Roadmap Europe 4. This demand doesn't cover industrial heat demand as required input temperatures are too high for excess heat recovery technologies.
109. https://heatroadmap.eu/peta4/
110. Heat Roadmaps – Heat Roadmap Europe
111. Luo, A., Fang, H., Xia, J., & Lin, B. (2017). Mapping potentials of low-grade industrial waste heat in Northern China. Resources, Conservation and Recycling, 125, 335-348
112. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
113. Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.
114. TVIS (2022). Fjernvarme til 1300 husstande mere fra Danmarks første PtX-aftale.
115. COWI (2023). Kassø PTX (E-methanol) - Miljøkonsekvensrapport. p. 24
116. The global recoverable excess heat from electrolysis is 1.228 TWh in 2050 (8.3% of 14.800 TWh) or 4.420.800 TJ. The global heat generation from coal in 2020 was 7.039.840 TJ (IEA (2022). Energy Statistics Data Browser, filter: Energy topic: Electricity and heat, Indicator: Heat generation by source, Country or region: World).
117. The European Union plans to produce 10 million tons of renewable hydrogen through electrolysis by 2030 (EU (2022). Energy – Hydrogen). Assuming 33.3 kWh/kg hydrogen, this is 333 TWh hydrogen. Roughly 2/3 of the electricity input for electrolysis is converted to hydrogen, and 1/3 is wasted as heat. 333 TWh / (2/3) = 499.5 TWh electricity input. 16.6% of the electricity-input for electrolysis can be recovered to district heating in 2030 (Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.). 499.5 TWh X 0.166 = 82.9 TWh recoverable for district heating from electrolysis in EU in 2030. 51.5 TWh heat was distributed to private households and residential buildings in Germany in 2017 (Statistiches Bundesamt (2017). Balance sheet of heat supply, total). 82.9 TWh / 51.5 TWh = 1.6, more than 1.5 times Germany's domestic heating in 2017.
118. In 2060, China's hydrogen production will be 90 to 130 million tons, of which 80% will be produced through electrolysis (IEA (2022). Opportunities for Hydrogen Production with CCUS in China: Executive summary). Assuming 33.3 kWh per kg hydrogen, the hydrogen produced from electrolysis will contain 2.376-3.432 X 10-12 kWh, or 2.376-3.432 TWh. About 2/3 of the electricity input for electrolysis is converted to hydrogen and the rest is wasted as heat, so the electricity demand for electrolysis is 2.376 to 3.432 TWh / (2/3) = 3.564-5.148 TWh. 8.3% of the electricity input for electrolysis is recoverable excess heat in 2050 (Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.). Assuming this is representative for 2050, we can say: 3.564 TWh X 0.083 = 296 TWh, and 5.148 TWh X 0.083 = 427 TWh. China's 2020 heat generation is 5.953.612 TJ, or 1.654 TWh (IEA (2022). Energy Statistics Data Browser., filter: Energy topic: Electricity and heat, Indicator: Heat generation by source, Country or region: People's Republic of China). 100 / 1.654 TWh X 296 TWh = 17.9%, and 100 / 1.654 TWh X 427 TWh = 25.8%.
119. BloombergNEF (2022). New Energy Outlook 2022.
120. IEA (2022). Data Centres and Data Transmission Networks
121. Australia's electricity consumption was 237 TWh and Spain's was 234 TWh in 2021 (EIA (n.d.). International. Electricity Consumption.), well within the range of global electricity consumption from data centers in 2021 (220-320 TWh)
122. eco (2021). Data centres as Gamechangers for Urban Energy Supply: City of Frankfurt am Main Could Cover Most of its Heating Needs by 2030 with Waste Heat
123. DCD (2021). Heatworks breaks ground on AWS district heating scheme in Dublin, Ireland
124. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 26 & 59
125. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 11
126. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
127. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
128. MarkNtel (2023). UAE District Cooling Market Research Report: Forecast (2023-2028)
129. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2022). Guide for Resilient Energy Systems Design in Hot and Humid Climates.
130. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2022). Guide for Resilient Energy Systems Design in Hot and Humid Climates.
131. IEA (n.d.). Smart-grids.