

**Nisko i zeroemisyjne technologie wytwarzania
energii
na drodze do neutralności klimatycznej 2050
- *propozycja wyznaczenia kryteriów wsparcia***

Konferencja

Zeroemisyjna Polska – Wyzwanie przyszłości

*Dr inż. Paweł Skowroński, Politechnika Warszawska
Dr hab. Grzegorz Tchorek, Uniwersytet Warszawski
Dr hab. Joanna Kulczycka, Prof. ucz., Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie*

„Grupa technologie”

Główne wnioski

1. Wybór technologii nisko i zeroemisyjnych jest jednym z kluczowych obszarów kształtowania polityki energetycznej, klimatycznej i środowiskowej, a więc i przemysłowej (*technologie albo kupimy albo wytworzymy – jak znaleźć optymalne miejsce w łańcuchu wartości ?*)
2. Wybór technologii wykracza poza obszar technologiczny i wymaga aktywnego podejścia do kształtowania środowiska komercjalizacji, jak również do kontekstu prawnego, organizacyjnego i społecznego
3. Kształtowanie ekosystemu wdrażania technologii wymaga aktywnej roli, wsparcia i współpracy różnorodnych interesariuszy – potrzebna jest wiedza i nawigacja, kompas – strategia rozwoju technologii spójna z innymi politykami
4. Zarządzanie ekosystemem wymaga pozyskania danych, ich przetworzenia, przygotowania scenariuszy, kontroli ryzyka, symulacji, decyzji, ewaluacji.

Dylematy wyboru technologii w transformacji

TRL

(*Technical Readiness Level*)
mierzy gotowość technologiczną - NASA)

	TRL
Technologia sprawdzona w rzeczywistych warunkach	9
Demonstrator technologii	8
Testy prototypu w warunkach operacyjnych	7
Testy prototypu	6
Testy symulacyjne	5
Potwierdzenie laboratoryjne	4
Potwierdzenie analityczne i eksperymentalne	3
Poszukiwanie możliwości użycia	2
Badania podstawowe	1

CRI

- 6 Technologia jako zabezpieczenie finansowania
- 5 Konkurencja prowadzi do powszechnych wdrożeń
- 4 Różnorodne zastosowania komercyjne
- 3 Wzrost skali komercyjnego wykorzystania
- 2 Pierwsze próby komercyjnego wykorzystania
- 1 Hipotetyczna możliwości komercyjnego wykorzystania

Źródło: South Australian Green Hydrogen Study, 2017

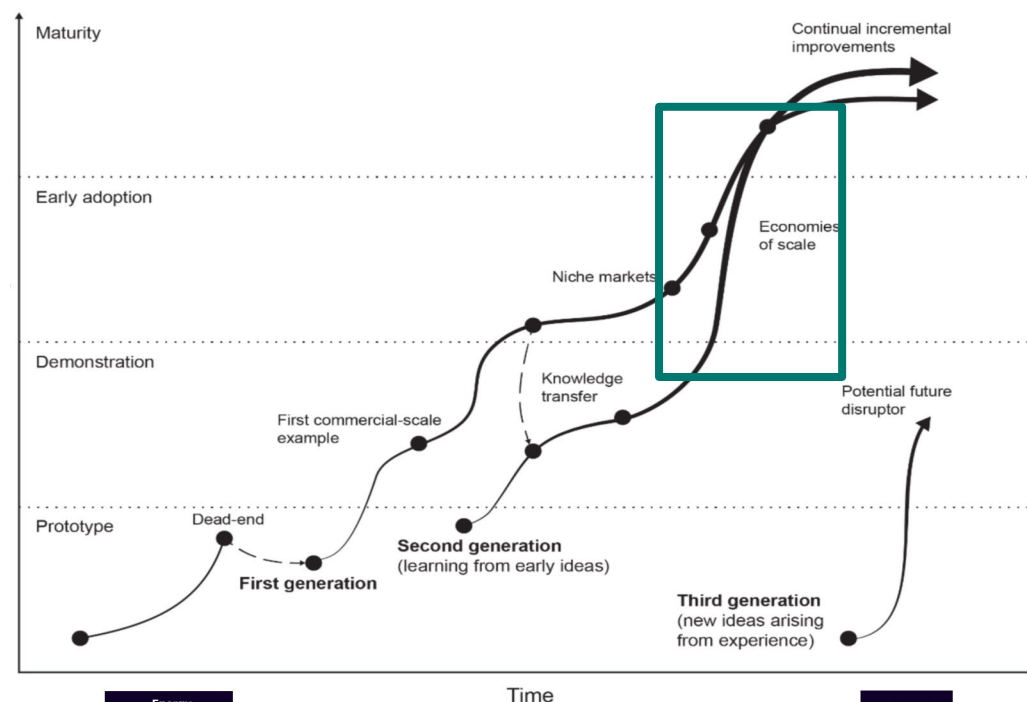
Obok TRL i CRI warunkiem wdrożenia technologii jest również:

- SRL** - *Societal Readiness Level*
- ORL** - *Organizational Readiness Level*
- LRL** - *Legal Readiness Level*

CRI

(*Commercial Readiness Index*) mierzy etap upowszechnienia komercyjnego - ARENA)

Cztery fazy wdrażania technologii/innowacji



Dylematy wyboru technologii a potrzeby wsparcia wzdłuż łańcucha wartości

B+R

Finansowanie

Ekosystem
produkcyjny/
przemysłowy

Wsparcie
administracji

Produkcja	Magazynowanie	Przesył i dystrybucja	Zastosowanie
„tradycyjny” łańcuch wartości			
**	**	*	***
***	***	***	***
***	***	***	***
***	***	***	***

Luka technologiczna/finansowa/konieczność wsparcia

Bardzo duża *** Duża ** Istotna *

Dylematy wyboru technologii a potrzeby wsparcia wzdłuż łańcucha wartości

	Efektywność energetyczna	Produkcja	Magazynowanie	Przesył i dystrybucja	Zastosowanie	Surowce GOZ. LCA
		„tradycyjny” łańcuch wartości				
B+R	*	**	**	*	***	***
Finansowanie	***	***	***	***	***	***
Ekosystem produkcyjny/ przemysłowy	***	***	***	***	***	***
Wsparcie administracji	***	***	***	***	***	***

Luka technologiczna/finansowa/konieczność wsparcia

Bardzo duża ***

Duża **

Istotna *

Główne trendy...w zakresie technologii produkcji, magazynowania, przesyłu , dystrybucji i wykorzystania energii:

1. Efektywność energetyczna

- Zwiększenie skali oszczędności i zmniejszenie marnotrawstwa energii
- Zastosowanie narzędzi opomiarowania i zarządzania popytem i podażą – smart city , smart grid , BMS
- Zastosowanie nowoczesnych materiałów i rozwiązań do izolacji budynków

2. Produkcja energii elektrycznej

- Wzrost roli systemu elektroenergetycznego w pokrywaniu potrzeb energetycznych, *sector coupling*
- Rozbudowa rozproszonych zeroemisyjnych źródeł energii (źródeł odnawialnych)

3. Magazynowanie

- Wielkoskalowe i sezonowe (długoterminowe) magazynowanie energii
- Krótko i średnioterminowe magazynowanie energii

4. Przesył i dystrybucja

- Rozbudowa sieci elektroenergetycznej przesyłowej i dystrybucyjnej, zwiększenie zdolności przesyłowych, dostosowanie do współpracy ze źródłami rozproszonymi, ...

5. Zapewnienie i racjonalne wykorzystanie surowców, GOZ, recykling

1. Efektywność energetyczna

- Monitorowanie, opomiarowanie, zarządzanie, sterowanie zużyciem energii, *smart buildings* , *smart cities*
- Poprawa efektywności urządzeń i rozwiązań – wyższe sprawności przetwarzania, odzysk energii, produkcja skojarzona
- Termomodernizacja budynków, redukcja potrzeb grzewczych
- Dekarbonizacja ciepłownictwa powinna się wiązać z modernizacją budynków umożliwiającą znaczące zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Szacuje się, że jest możliwym ograniczenie zapotrzebowania na ciepło w mieszkalnictwie o około 15% do roku 2030 i o kolejne 15% do roku 2050.
- Budynki zasilane obecnie z sieci ciepłowniczych, a w szczególności zasilające je węzły cieplne będą musiały być stopniowo dostosowywane do zasilania wodą sieciową o niskich parametrach (65 °C /35 °C).

2. Wzrost roli systemu elektroenergetycznego

Z rezygnacją z paliw kopalnych wiązać się będą między innymi:

- **zmiana stosowanych technologii wytwarzania nośników energii**, w szczególności energii elektrycznej i nośników ciepła, docelowo ich **generacja w oparciu o OZE i energię magazynowaną**, a przejściowo częściowe zastąpienie węgla gazem ziemnym, następnie gazami zdekarbonizowanymi,
- nośnikami energii dostarczonymi jej końcowym odbiorcom będzie przede wszystkim **energia elektryczna**, prawdopodobnie również ciepło sieciowe i paliwa pochodne np. wodór;
- **energia elektryczna będzie podstawowym wytwarzanym, przesyłanym i dystrybuowanym nośnikiem energii**
- **zmiana sposobu zaspokajania potrzeb energetycznych**, ogrzewania i transportu,
 - nie można wykluczyć dystrybucji **paliw pochodnych** (np. amoniaku, wodoru lub innych nośników energii), wytwarzanych z energii elektrycznej z OZE, w celu ich wykorzystania do zasilania pojazdów, ale także w celu **magazynowania energii**

a z drugiej strony

- **likwidacja lub ograniczenie działalności w niektórych sektorach krajowego przemysłu** – stopniowa likwidacja górnictwa węgla kamiennego i brunatnego, transformacja krajowego górnictwa ropy naftowej i gazu ziemnego, zmniejszenie produkcji energii elektrycznej w elektrowniach ciepłych (wraz ze zmianą wykorzystywanego w nich paliwa), ograniczenie działalności lub co najmniej głębokie zmiany w przemyśle petrochemicznym

2.1. Elektryfikacja i restrukturyzacja ciepłownictwa

Potrzeby grzewcze będą prawdopodobnie pokrywane z wykorzystaniem:

1. **pomp ciepła** pobierających ciepło z atmosfery, gruntu, ze źródeł ciepła odpadowego, z magazynów ciepła, pomp pracujących niezależnie lub przyłączonych do miejskich systemów ciepłowniczych; prawdopodobnie pompy ciepła staną się jednym z najbardziej popularnych urządzeń grzewczych
2. **kotłów wodnych lub układów kogeneracyjnych opalanych biomasą, biogazem, paliwami pochodnymi, w tym gazowych układów mini - i mikro - kogeneracyjnych**
3. **sieci ciepłowniczych** zasilanych z elektrociepłowni bilansujących moc elektryczną w krajowym systemie elektroenergetycznym, zasilanych paliwami pochodnymi (np. wodorem), biomasą lub biogazem; sieci te będą prawdopodobnie współpracować również z pompami ciepła (sieci niskotemperaturowe)
4. **dostępnych lokalnie geotermalnych źródeł ciepła**

Elektrociepłownie, pompy ciepła i sieci ciepłownicze będą współpracować z sezonowymi i dobowymi magazynami ciepła.

2.2. Elektryfikacja transportu

Środki transportu będą zasilane

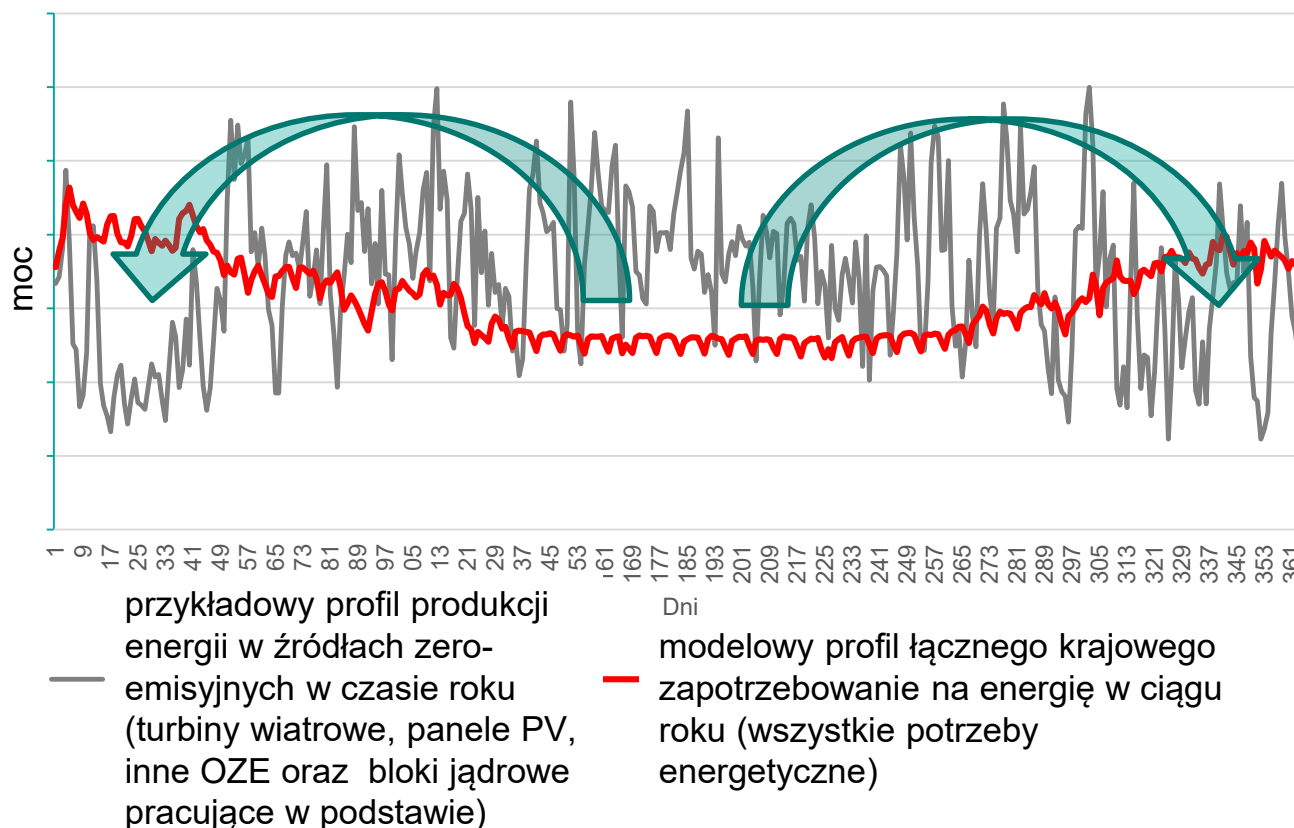
1. energią elektryczną
2. wodorem (lub innymi paliwami pochodnymi)

Infrastruktura zasilania pojazdów elektrycznych (baterijnych i wodorowych)

- **budowa sieci stacji ładowania samochodów elektrycznych i niezbędna rozbudowa sieci elektroenergetycznej średniego i niskiego napięcia** — postulowany program wsparcia (NFOŚ)
- **budowa sieci stacji ładowania pojazdów wodorem**
- **projekty demonstracyjne i pilotowe obejmujące instalacje składające się z elektrolizera do produkcji wodoru, układu sprężania i magazynowania wodoru (to również są innowacje)**

3. Magazynowanie energii

Jeżeli energia pierwotna będzie pozyskiwana głównie z siłowni wiatrowych i fotowoltaicznych, wspomaganych ewentualnie elektrowniami jądrowymi i mającymi mniejsze znaczenie: geotermią, biomasą, biogazem i energią z termicznej utylizacji odpadów, to **niezbędne będzie magazynowanie energii** w różnych jej formach zarówno w krótkich, godzinowych lub kilkudniowych okresach, jak i jej przechowywanie sezonowe – ładowanie magazynów latem, rozładowywanie zimą.



- biomasa, biogaz
- wodór
- amoniak (?)
- ... inne wytwarzane paliwa (?)

magazynowane sezonowo

3. 1. Magazynowanie energii

Rozważane mogą być różne technologie magazynowania energii, w tym:

krótkoterminowe

- superkondensatory
- akumulatory elektrochemiczne o dużych pojemnościach – do bilansowania zapotrzebowania na energię elektryczną w krótkim okresie

średnio i długoterminowe

- zbiorniki elektrowni szczytowo-pompowych
- podziemne zbiorniki sprężonego powietrza
- zbiorniki ciśnieniowe wodoru (40 - 100 MPa) wraz z instalacjami do jego produkcji (elektrolizerami) i sprężania
- zbiorniki paliw pochodnych innych niż wodór (np. amoniaku) wraz z instalacjami do ich produkcji

Energia wykorzystywana do celów grzewczych będzie magazynowana również w :

- wielkoskalowych sezonowych magazynach ciepła (typu „pit” – podziemne magazyny wodne)
- naziemnych zbiornikach wodnych – magazynach ciepła mniejszej pojemności przeznaczonych do magazynowania krótkoterminowego (dobowego)

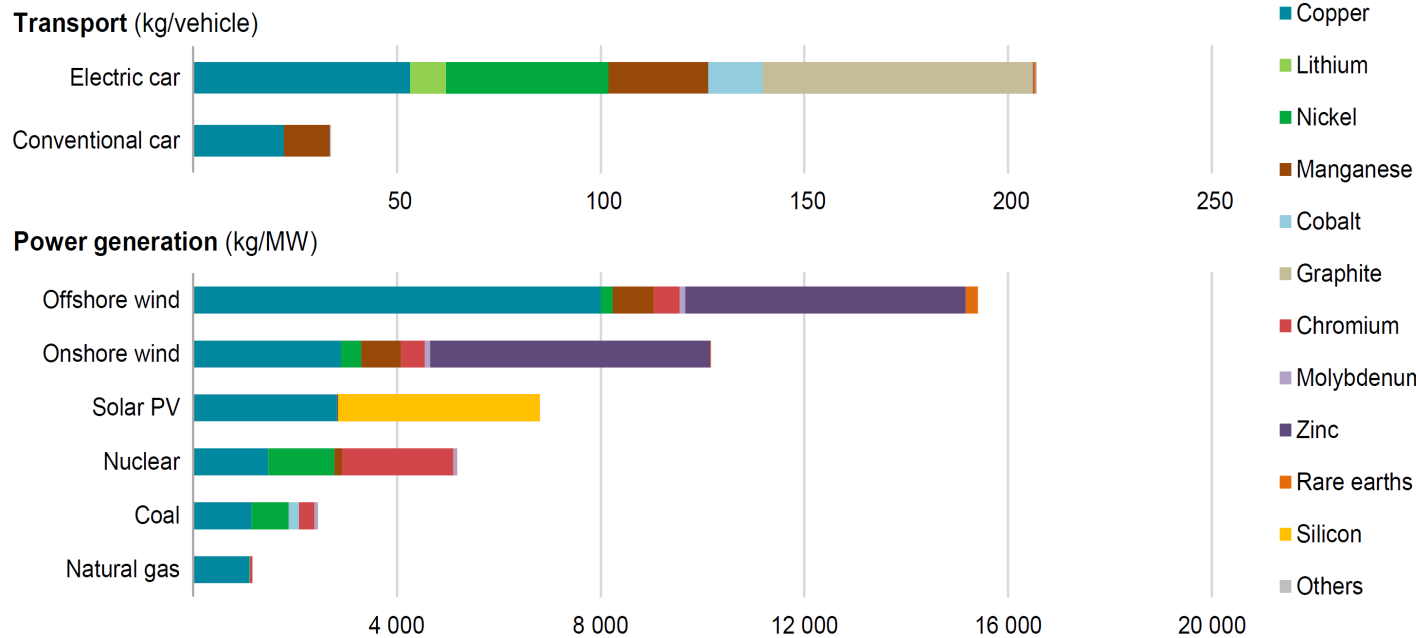
4. Przesył i dystrybucja energii elektrycznej (inwestycje, zarządzanie)

Zmiana struktury wytwarzania energii elektrycznej i zmiana sposobu pokrywania potrzeb energetycznych w ciepłownictwie i transporcie wymaga :

- **rozbudowy sieci przesyłowej w krajowym systemie elektroenergetycznym w celu umożliwienia odbioru mocy z morskich farm wiatrowych (i potencjalnie z elektrowni jądrowej zlokalizowanej na wybrzeżu) i przesyłu energii do centralnych i południowych regionów kraju** . Może to zostać wykonane przez:
 - zwiększenie zdolności przesyłowych istniejących i budowę nowych linii 400 kV – szczególnie linii przebiegających w kierunku północ–południe lub
 - budowę mostu prądu stałego łączącego Pomorze Środkowe i rejon Śląska
- **dostosowania sieci niskiego i średniego napięcia do odbioru energii wytwarzanej w źródłach rozproszonych,** a w szczególności
 - zabezpieczenie sieci przed okresowymi wzrostami napięcia wywołanymi przez indywidualne instalacje PV podłączone do tych samych sieci lokalnych. Może to zostać wykonane za pomocą transformatorów z podnapięciową zmianą przekładni, podłączenie akumulatorów, przebudowę fragmentów sieci.
- **dostosowania (wzmocnienia) sieci średniego i niskiego napięcia do zwiększonych odbiorów mocy z tytułu stosowania energii elektrycznej do ładowania samochodów elektrycznych oraz do napędu pomp ciepła**
- **zastosowania półprzewodnikowych systemów stabilizacji napięcia i częstotliwości (wobec redukowanej mocy wirującej), rozwoju technologii nadprzewodnictwa do przesyłu i dystrybucji energii**
- **rozbudowy funkcjonalności sieci inteligentnych, w tym do sprzedaży energii z taryfami dynamicznymi**

5. Zapotrzebowanie na surowce wraz z rozwojem OZE, GOZ, LCA

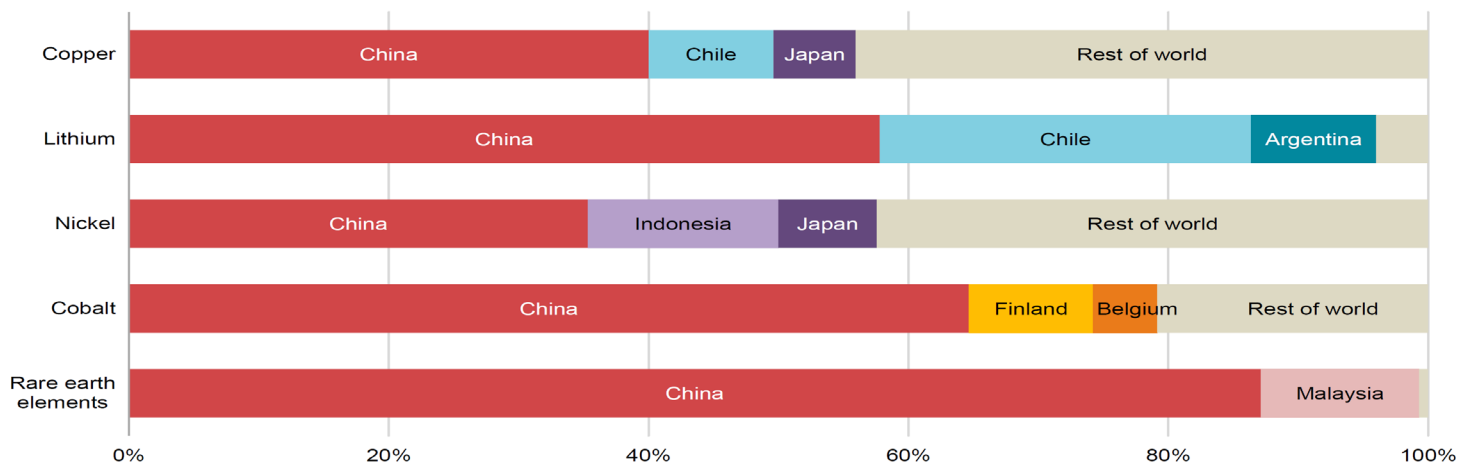
Minerals used in selected clean energy technologies



IEA. All rights reserved.

Notes: kg = kilogramme; MW = megawatt. Steel and aluminium not included. See Chapter 1 and Annex for details on the assumptions and methodologies.

Share of processing volume by country for selected minerals, 2019



IEA. All rights reserved.

Note: The values for copper are for refining operations.
Sources: World Bureau of Metal Statistics (2020); Adamas Intelligence (2020) for rare earth elements.

Zmiana struktury wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej i wymaga :

1. Uwzględnienie dostępności i roli krytycznych surowców w budowie gospodarki nisko i zeroemisyjnej
2. Dywersyfikacji źródeł dostaw
3. Rozwoju umiejętności i technologii recyklingu oraz zwiększenia jego sprawności
4. Poszukiwania substytutów, nowych rozwiązań, technologii, nawyków, etc.

6. Do perspektywicznych technologii należy zaliczyć:

Pozyskanie i magazynowanie energii

Energia z wiatru:

- turbiny wiatrowe morskie, z obiektami towarzyszącymi, w tym infrastrukturą przyłączeniową
- turbiny wiatrowe małej mocy (zwykle 30 - 150 kW, śmigłowe, wstęgowe), instalowane na lądzie jako indywidualne, rozproszone źródła energii
- turbiny wiatrowe lądowe (obecnie o mocach 3 - 6 MW)

Energia ze słońca:

- panele PV i instalacje towarzyszące, do zastosowania zarówno w farmach PV jak i w mikro - instalacjach PV,
- ogniwa PV w zastosowaniach na elewacjach budynków, w szybach, lekkie, powszechne zastosowania

Energia z biomasy i odpadów:

- kotły biomasowe i współpracujące z nimi instalacje ochrony powietrza, w siłowniach parowych
- kotły do termicznej utylizacji odpadów i współpracujące z nimi instalacje ochrony powietrza
- generatory biogazu

Energia z wody:

- turbozespoły wodne lub turbo - pompy w elektrowniach szczytowo - pompowych
- turbozespoły wodne w elektrowniach przepływowych
- geotermia do celów ciepłowniczych

Planowane do budowy w Polsce: elektrownie jądrowe

Magazyny energii – różne, wspomniane wcześniej technologie, w tym produkcja i magazynowanie paliw pochodnych (H_2 , NH_3 ,...)

Wykorzystanie energii

Technologie przejściowe

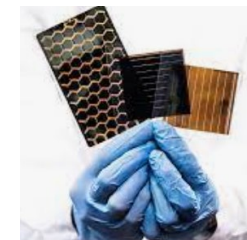
- turbozespoły gazowe przystosowane do współspalania wodoru (technologia pomostowa)

Technologie wodorowe (lub wykorzystujące inne paliwa pochodne)

- turbozespoły wodorowe, turbozespoły przystosowane do spalania innych paliw pochodnych
- ogniwa paliwowe wysokotemperaturowe (SOFC) do zastosowań wielkoskalowych
- ogniwa paliwowe wysokotemperaturowe (SOFC) do zastosowań małoskalowych

6.1 Postulowane kierunki rozwoju technologii i możliwości produkcyjnych

Biorąc pod uwagę przewidywane zmiany w krajowej gospodarce energetycznej postuluje się skupienie szczególnej uwagi na następujących zagadnieniach.



Wybrane obszary badawcze:

- **postęp w krajowych badaniach nad ogniwami paliwowymi SOFC** , które jeśli udałoby się montować w układach wielkoskalowych, mogłyby stanowić alternatywę dla układów z turbinami gazowymi opalanymi wodorem lub innymi paliwami pochodnymi, które prawdopodobnie będziemy importować. Ogniwia SOFC mogą również pełnić rolę technologii pomostowej opartej początkowo na paliwie nisko (mieszanina metanu i wodoru) a następnie w pełni zero emisyjnych
- **kontynuowanie badań i prac wdrożeniowych ogniw fotowoltaicznych** perowskitowych
- **badania układów do produkcji paliw pochodnych produkowanych na bazie energii elektrycznej z OZE** , o dużym cieple spalania (odniesionym do masy substancji), łatwych do magazynowania, transportu i użytkowania
- **badania konstrukcji i budowy wielkoskalowych magazynów ciepła** (typu „pit”) oraz układów do ich ładowania i rozładowywania

6.2. Postulowane kierunki rozwoju technologii i krajowych możliwości produkcyjnych

Produkcja i usługi

- **promowanie krajowej produkcji pomp ciepła** powietrznych i gruntowych o wysokich wskaźnikach wydajności COP, wysokiej niezawodności i trwałości, niskiej emisji hałasu
- **promowanie krajowej produkcji części do turbin wiatrowych**, nie tylko ich konstrukcji stalowych (platform morskich, wież i gondoli), ale także śmigieł, elementów przełożenia napędu, generatorów i układów sterowania
- **utrzymanie i rozwój kompetencji w projektowaniu i budowie kotłów** biomasowych różnych mocy, kotłów do termicznej utylizacji odpadów oraz związanych z nimi instalacji ochrony środowiska
- **promowanie krajowej produkcji materiałów izolacyjnych pod potrzeby programu termomodernizacji budynków**

7. Wyzwania i szanse

Zmiany technologii wytwarzania, magazynowania, przesyłu, dystrybucji i użytkowania energii wymagają:

- badań i rozwoju niektórych z postulowanych technologii
- właściwego doboru i optymalizacji znanych rozwiązań technicznych
- rozwoju produkcji materiałów i urządzeń, które alternatywnie należałoby importować
- modeli biznesowych sprzedaży, zarządzania i zużywania energii

Zdefiniowanie scenariuszy (mapy) wdrożeń poszczególnych technologii i zarządzanie tym procesem, pozwoli na znalezienie optymalnego modelu transformacji klimatycznej i energetycznej z punktu widzenia zestawu technologii nisko i zeroemisyjnych skatalogowanych pod względem kryteriów technicznych, ekonomicznych, dostępności surowców i zasobów oraz zgodności z ideą zrównoważonego rozwoju, warunków środowiskowych i społecznych, etc

8. Tło rynkowe i regulacyjne

- Polska NIE w PEŁNI ma swobodę w kształtowaniu koszyka technologicznego w transformacji energetycznej - kierunki technologiczne wynikają z regulacji UE oraz otoczenia rynkowego
- Ułatwieniem procesu transformacji energetycznej będzie transpozycja przepisów UE do prawa polskiego (np. w zakresie PPA, klastrów energii, etc.)
- **Należy aktywizować polskie firmy w zakresie pozyskiwania środków UE na transformację energetyczną** poprzez NFOŚiGW, NCBR, PARP, ARP oraz środki zagraniczne, konieczne jest podniesienie jakości i intensywności wymiany naukowej i badawczej z jednostkami zagranicznymi
- Należy promować eko- innowacyjne technologie i współpracę nauki z biznesem oraz dostępność surowców mineralnych w tym metali ziem rzadkich
- Nowe regulacje UE promować będą eko- projektowanie i oceny inwestycji (**taksonomia**) z uwzględnieniem metody LCA (oceny cyklu życia) i PEF (oceny środowiskowej) – przykład wdrożenia baterie, planowane panele fotowoltaiczne
- Biorąc powyższe pod uwagę, zasadne jest dążenia do zdefiniowania kryteriów wsparcia technologii nisko i zeroemisyjnych

9. Technologie – kryteria doboru/wsparcia

Kryteria środowiskowe

- Redukcja śladu węglowego i środowiskowego (PEF/LCA)
- Dostępność zasobów do produkcji technologii, zdolność do recyklingu
- Spełnienie wymogu udziału OZE w miksie na drodze do neutralności
- **Kryteria administracyjne – zdecydują o tempie wdrożeń**

Kryteria technologiczne

- Dojrzałość B+R oraz zdolność wdrożeniowa podmiotów na rynku krajowym
- Dostępność technologii krajowych i zdolność do redukcji luki technologicznej
- Zdolności konkurencyjne krajowego ekosystemu poszczególnych technologii zeroemisyjnych, w tym zdolność do importu technologii i wiedzy

Kryteria ekonomiczne

- Zdolność do sfinansowania wdrożenia technologii
- Zdolność do tworzenia miejsc pracy w sektorze i usług przy dostarczaniu zdefiniowanych technologii
- Zdolność do wytworzenia wysokiej wartości dodanej i wykorzystania tzw. *local content*
- Wpływ na bilans dochodów fiskalnych
- Wpływ na bilans handlowy i płatniczy

Kryteria społeczne

- Aspekty społeczne i zdrowotne – efekty zewnętrzne wdrożenia technologii – po stronie produkcji technologii i zastosowania
- Akceptacja społeczna dla zmian, zdolność do zmiany sposobu wykorzystania energii, zwyczajów zakupowych, etc.

10. Rezultat - narzędzie wsparcia w zakresie podejmowania decyzji

Wsparcie administracji w zakresie podejmowania decyzji/wyboru technologii nisko i zeroemisyjnych oraz kształtowania polityki (energetycznej, klimatycznej, ekonomicznej) na drodze do neutralności klimatycznej 2050 , poprzez :

- Skatalogowanie i ocenę technologii (dostępnych i przyszłych) pod względem ich łańcucha wartości, cyklu życia, kosztów CAPEX i OPEX, sprawności, gotowości technologicznej, śladu węglowego, zgodności z normami i regulacjami, etc.
- Wypracowanie metodyki i kryteriów wyboru technologii nisko i zeroemisyjnych i zaleceń dla kształtowania polityki (energetycznej, klimatycznej, ekonomicznej)
- Stworzenie narzędzia do projektowania systemu wsparcia i kreowania polityki B+R oraz przemysłowej (MEiN, NCN, NCBR, NFOŚiGW)
- Stworzenie narzędzia dla wsparcia możliwości rozwoju krajowego przemysłu na potrzeby technologii nisko i zeroemisyjnych wytwarzania energii (PARP, PFR, ARP)
- Ocenę potencjału rynków poszczególnych technologii od strony kolejności i tempa ich wdrażania (popyt na technologie i czynniki determinujące – regulacje, możliwości produkcyjne, systemy wsparcia, etc.) jak i możliwości ich produkcji i dostarczania na rynek (podaż - kształtowania łańcuchów dostaw, zapewnienia konkurencyjnych produktów)

11. Podsumowanie

- Na drodze do neutralności 2050 - polityka energetyczna, klimatyczna i środowiskowa powinny stać się kluczowym elementem polityki przemysłowej kraju
- Krytyczna jest identyfikacja wiodących technologii zeroemisyjnych pozwalająca na uwzględnienie krajowego potencjału ludzkiego, technologicznego, organizacyjnego, finansowego, geograficznego, etc. - pozwala to na programowanie systemu wsparcia technologii
- W dalszej konieczności możliwe jest stworzenie narzędzia analitycznego/prognostycznego (modelu uczącego się) dla kreowania kierunkowych i strategicznych polityk oraz podejmowania decyzji (MKIŚ)
- Model pozwoli na prognozowanie podstawowych wielkości środowiskowych, ekonomicznych i społecznych (np. ocenę tego jak wpłynie implementacja technologii i uruchomienie jej produkcji w kraju na liczbę miejsc pracy, wartość dodaną, podatki, etc.)
- Użycie modułu symulacji pozwoli na bardziej spójną Ocenę Skutków Regulacji
- Potencjalne narzędzie do szacowania efektów transformacji w dyskusji z interesariuszami, reprezentantami UE, krajami, partnerami, w aktualizacji dokumentów strategicznych, etc.



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

Dziękujemy za uwagę

