KONWERSATORIUM INTELIGENTNA ENERGETYKA

TEMAT PRZEWODNI

TRANSFORMACJA ENERGETYCZNA– MIĘDZY POLITYKĄ, BEZPIECZEŃSTWEM A RZECZYWISTOŚCIĄ

MODELOWANIE ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ W TRANSPORCIE – STAN AKTUALNY I ZAŁOŻENIA

dr inż. Krzysztof Bodzek - prelegent
prof. dr hab. inż. Marek Sitarz

Politechnika Śląska
Wydział Elektryczny
KENER
Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

Katedra Transportu i Informatyki

Gliwice 22.09.2026 r.

Politechnika Śląska

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

STAN AKTUALNY

KENER
Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

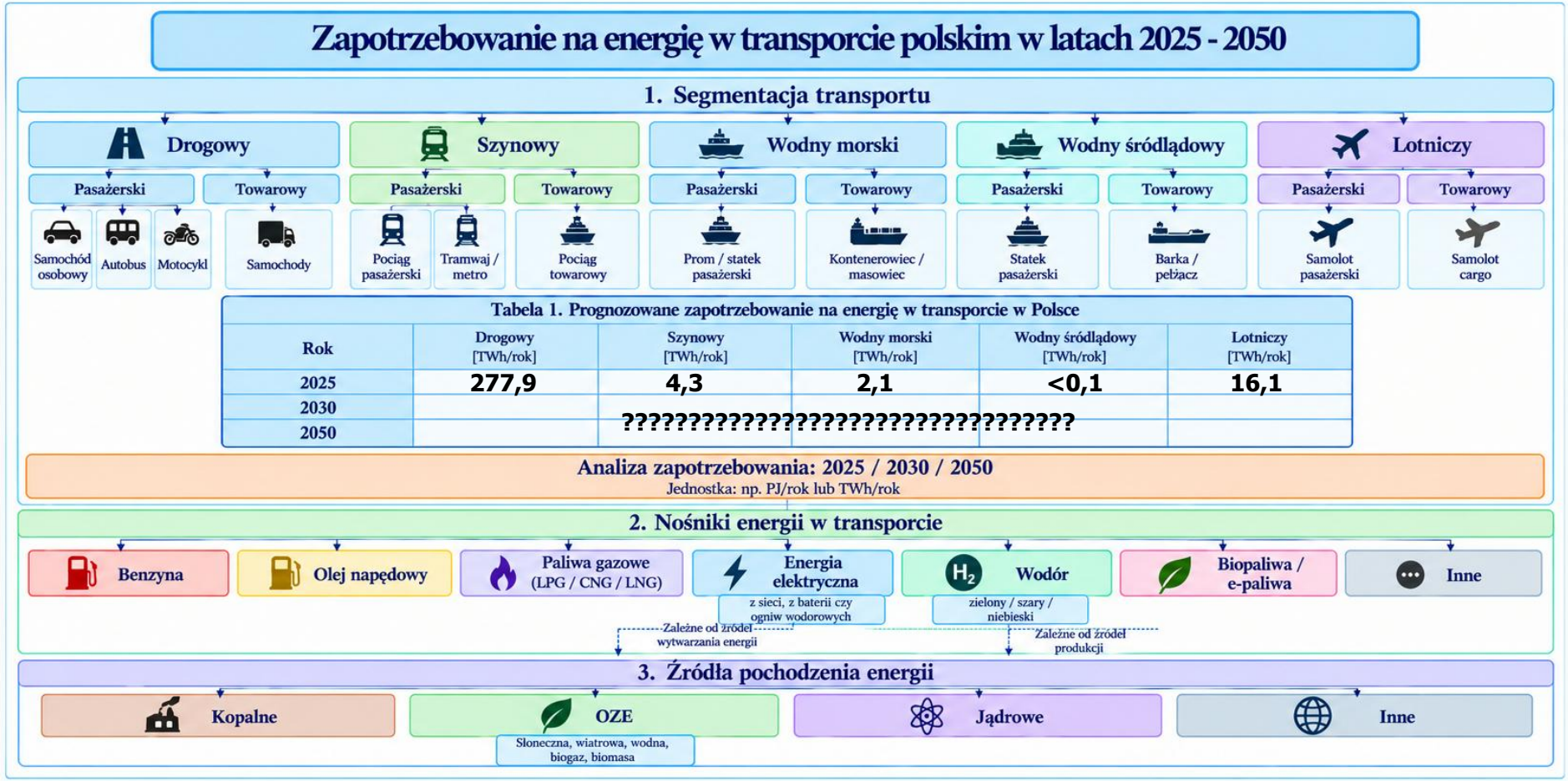
Katedra
Transportu i Informatyki

PPTE 2050

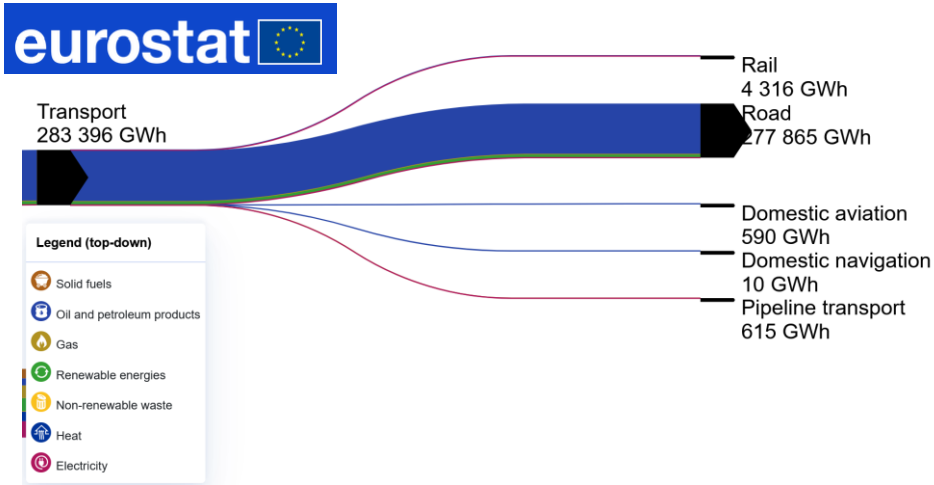
SZEP

SEP

Zapotrzebowanie na energię w transporcie polskim

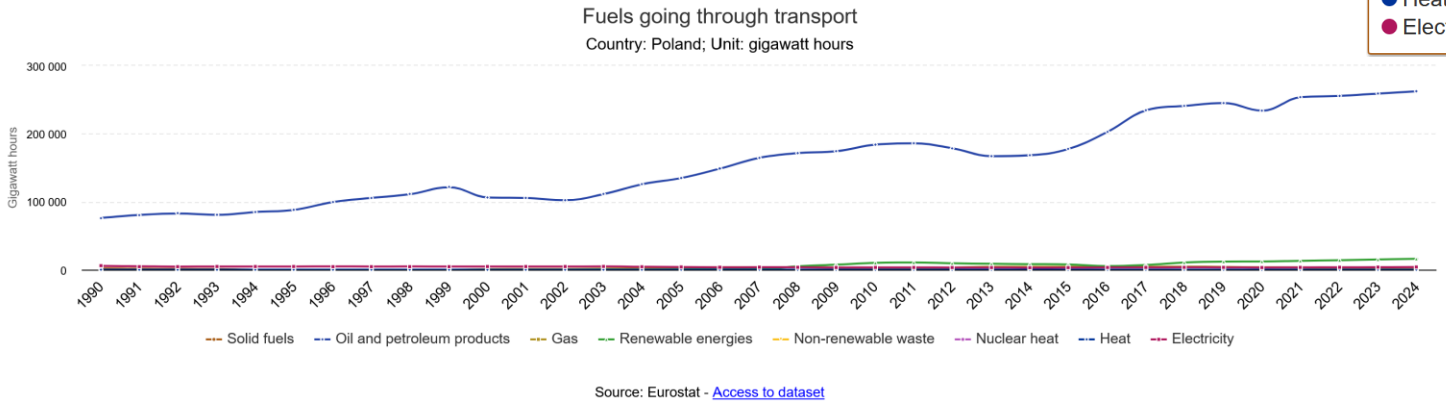


Energy balance flow diagram (Wykres Sankey'a) - Transport



2020	
Solid fuels	0
Oil and petroleum products	233 954
Gas	3 448
Renewable energies	12 090
Non-renewable waste	0
Nuclear heat	0
Heat	0
Electricity	3 174

2024	
Solid fuels	0
Oil and petroleum products	262 394
Gas	1 066
Renewable energies	15 997
Non-renewable waste	0
Nuclear heat	0
Heat	0
Electricity	3 939

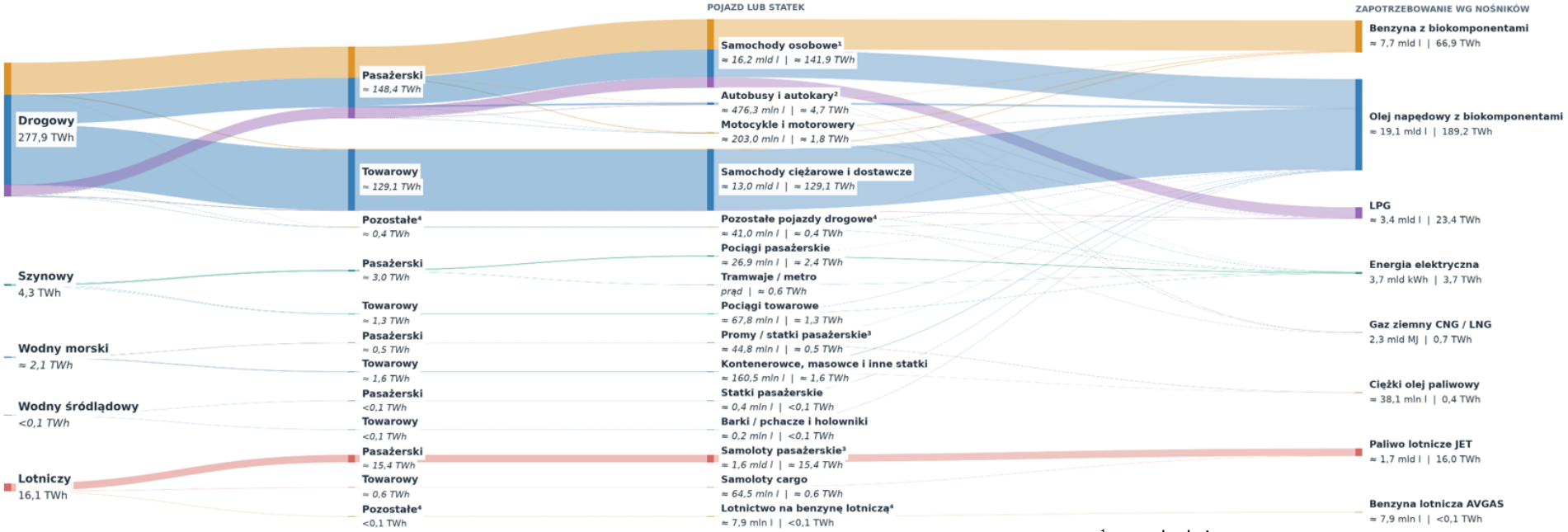


Source: Eurostat - Access to dataset

https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/energy/sankey.html?geos=PL&year=2024&unit=GWh&fuels=TOTAL&highlight=_&nodeDisagg=0101110010000&flowDisagg=true&language=EN

Punkt wyjścia: około 300 TWh energii końcowej – 2024

Kursywa - szacunek



[1] samochody i vany
[2] także trolejbusy
[3] Promy i samoloty obejmują również przewożone towary
[4] Pozycje uzupełniające bilans

Brakuje spójnych, bieżących danych o:
zużyciu według segmentu i napędu, profilach poboru, rzeczywistych sprawnościach i pochodzeniu energii

Potrzebna zmiana sposobu publikowania danych

Postulat	Znaczenie dla modelowania
Wstępne dane miesięczne, potem rewizja roczna	Aktualizacja bilansu bez czekania na pełny cykl publikacji
Wspólna klasyfikacja segmentu, napędu i nośnika	Łączenie danych energii, floty oraz pracy przewozowej
Zagregowane profile czasowe i przestrzenne	Ocena zgodności poboru z OZE i ograniczeniami sieci
Jawne granice, metody szacowania i wersje	Rozdzielenie pomiarów, oszacowań i zmian metodologii
Otwarte pliki danych oraz interfejs dostępu	Powtarzalna aktualizacja modelu i kontrola wyników

Aktualne dane powinny stanowić stały element procesu modelowania.

Pytanie otwarte – Kto będzie odpowiadał za aktualizację i poprawność?

Politechnika Śląska

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

WYZWANIA MODELOWANIA

KENER
Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

Katedra
Transportu i Informatyki

PPTE 2050

SZEP

SEP

Pokrycie potrzeb energetycznych transportu



Wskaźniki:

energia według nośników i źródeł, moce oraz warunki pokrycia potrzeb.

Energia pierwotna, końcowa i użyteczna

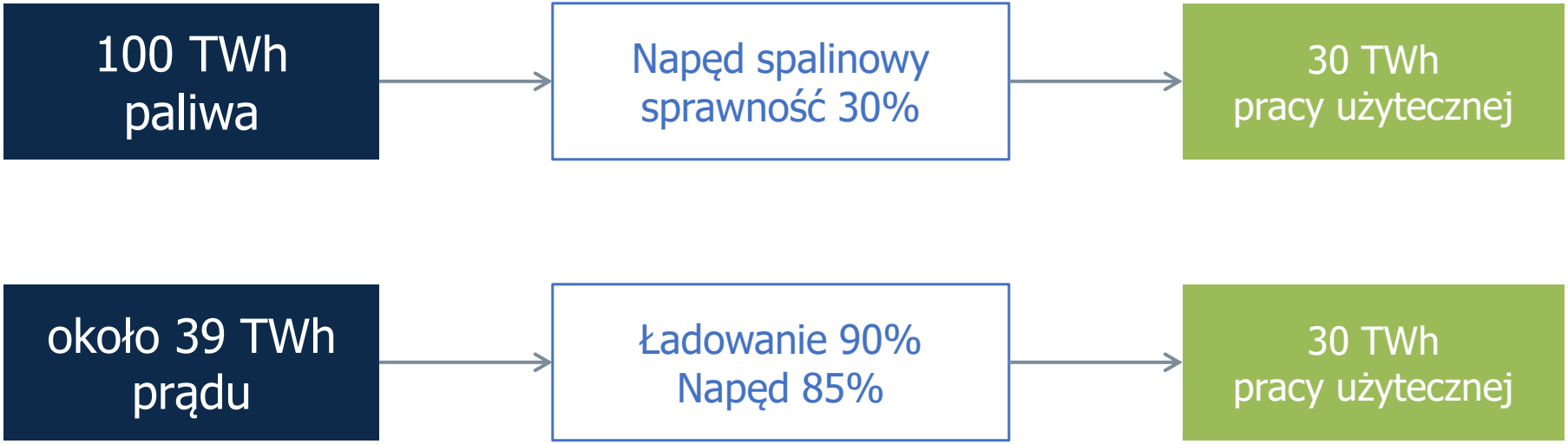
Na przykładzie samochodu spalinowego:



Benzyna i olej napędowy po rafinacji są nośnikami wtórnymi.

U odbiorcy ich zawartość energetyczna stanowi energię końcową.

Ta sama praca użyteczna wymaga różnej energii końcowej



Pełne porównanie obejmuje też energię wytworzenia i dostawy nośnika.

Inaczej:

Samochód spalinowy: około 60 kWh/100 km
Samochód elektryczny: około 20 kWh/100 km

Granice bilansu dla porównywanych ścieżek

Poziom	W modelu
Zasób pierwotny	Pochodzenie, dostępność i sposób bilansowania OZE lub paliwa
Wytworzenie i dostawa nośnika	Energia wejściowa, sprawności, straty i miejsce produkcji
Energia końcowa transportu	Energia elektryczna, wodór lub paliwo dostarczone do użytkownika
Energia użyteczna	Praca napędu i jawnie wydzielone potrzeby pomocnicze

Energia elektryczna zużyta do produkcji wodoru nie może być drugi raz energią końcową transportu.

Możliwości zastępowania obecnych napędów

Obecny układ	Ścieżki do porównania przy zasilaniu z OZE	Warunek w modelu
Osobowe i dostawcze benzyna, diesel, LPG	BEV, pojazd wodorowy, paliwa odnawialne	Cykl pracy, zasięg, infrastruktura i sprawność
Autobusy diesel, gaz	Bateria, sieć trakcyjna, wodór, biometan lub paliwo odnawialne	Rozkład pracy, ładowanie i tankowanie w bazie
Ciężarowe głównie diesel	Akumulator, wodór, paliwa odnawialne	Trasa, masa ładunku, postój i dostęp do energii
Transport szynowy prąd lub diesel	Zasilanie trakcyjne z OZE, akumulator, wodór, biopaliwo	Rodzaj linii i taboru, profil mocy i odzysk energii
Śródlądowy i krótkie połączenia morskie	Akumulator, wodór, biopaliwa i e-paliwa	Długość trasy, postój i infrastruktura portowa
Morski dalekodystansowy	Paliwa odnawialne, np. biopaliwa, e-metanol lub e-amoniak	Nowe układy napędowe, zbiorniki i bunkrowanie
Lotnictwo JET i AVGAS	Paliwa bio- i syntetyczne. Akumulator lub wodór w wybranych i rozwijanych zastosowaniach	Masa, zasięg, bezpieczeństwo i dopuszczenie technologii

Dwa obszary transformacji, wspólny bilans energetyczny

Zmiana potrzeb i ich realizacji

Lokalne zasoby i krótsze łańcuchy dostaw
Transport zbiorowy i zmiana gałęzi
Lepsze wykorzystanie pojazdów
Mniejsza energochłonność

Potrzeby użyteczne

Zmiana sposobu pokrycia energią

Prąd z OZE i sieć
Wodór z odnawialnego prądu
Biopaliwa i paliwa syntetyczne
Magazynowanie i elastyczność

Dostępne nośniki i zasoby

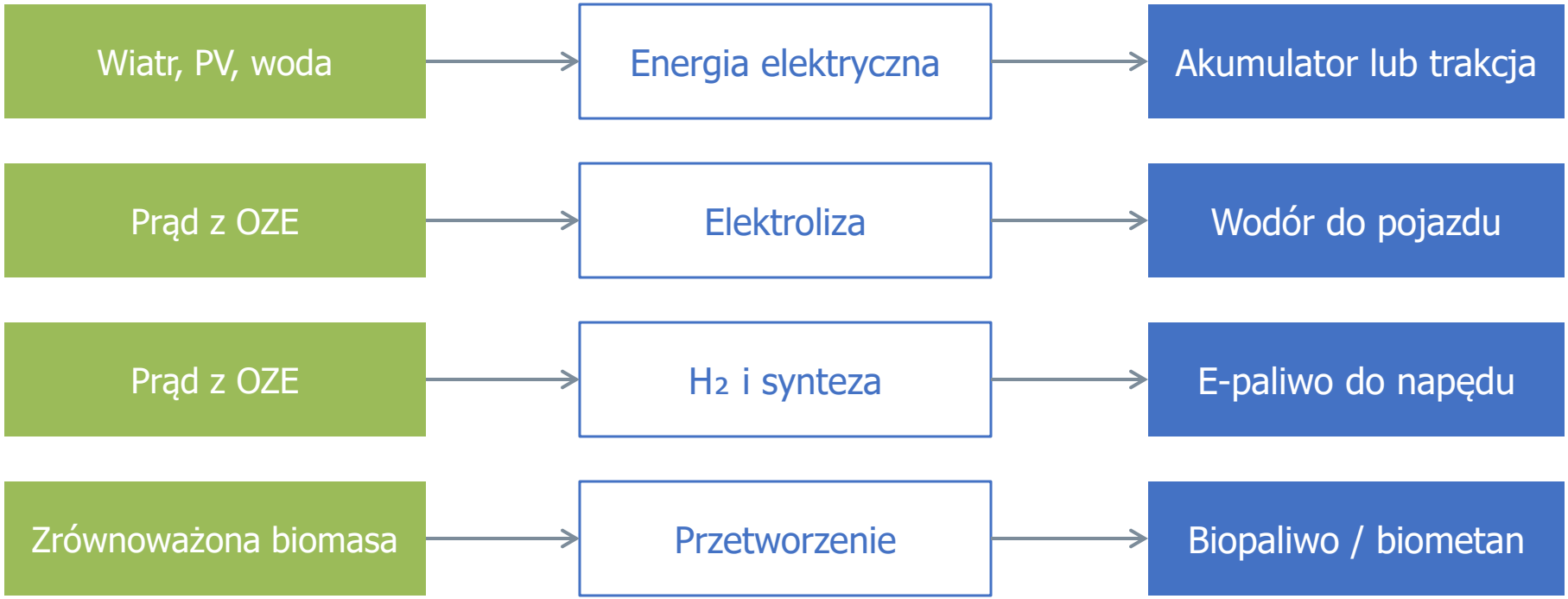






Wspólny bilans energetyczny

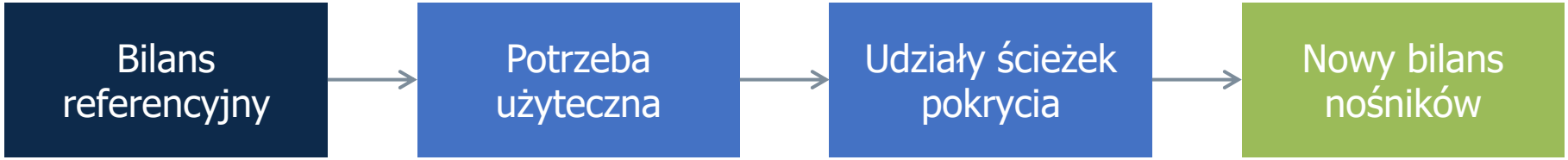
Ścieżki pokrycia potrzeb transportu z OZE



Każda ścieżka ma własne straty, ograniczenia zasobów i wymagania infrastruktury.

E-paliwa wymagają surowców, np. źródła CO_2 lub azotu. Wodór jest nośnikiem, akumulator magazynem.

Założenia modelu zastępowania



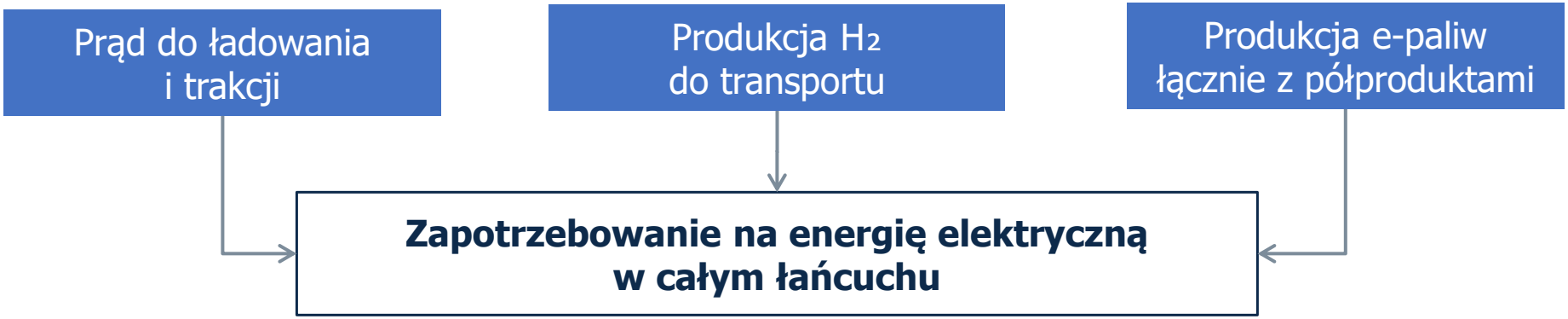
Te same granice, jednostki i okres

Sprawności zależne od segmentu i pracy

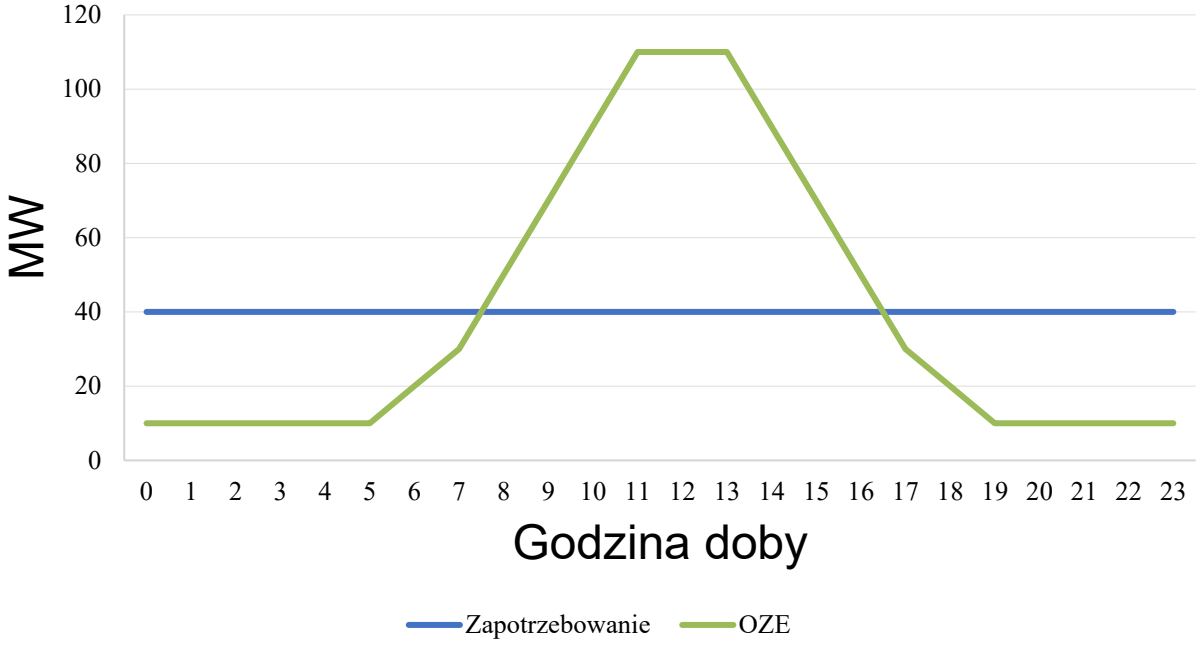
Suma udziałów 100% w danym segmencie

Energia końcowa i nakłady wytwarzania

Moduł podaży: energia elektryczna bezpośrednia i energia do produkcji paliw



Pokrycie z OZE wymaga bilansu w czasie – dostępności mocy



Podobna energia w dobie

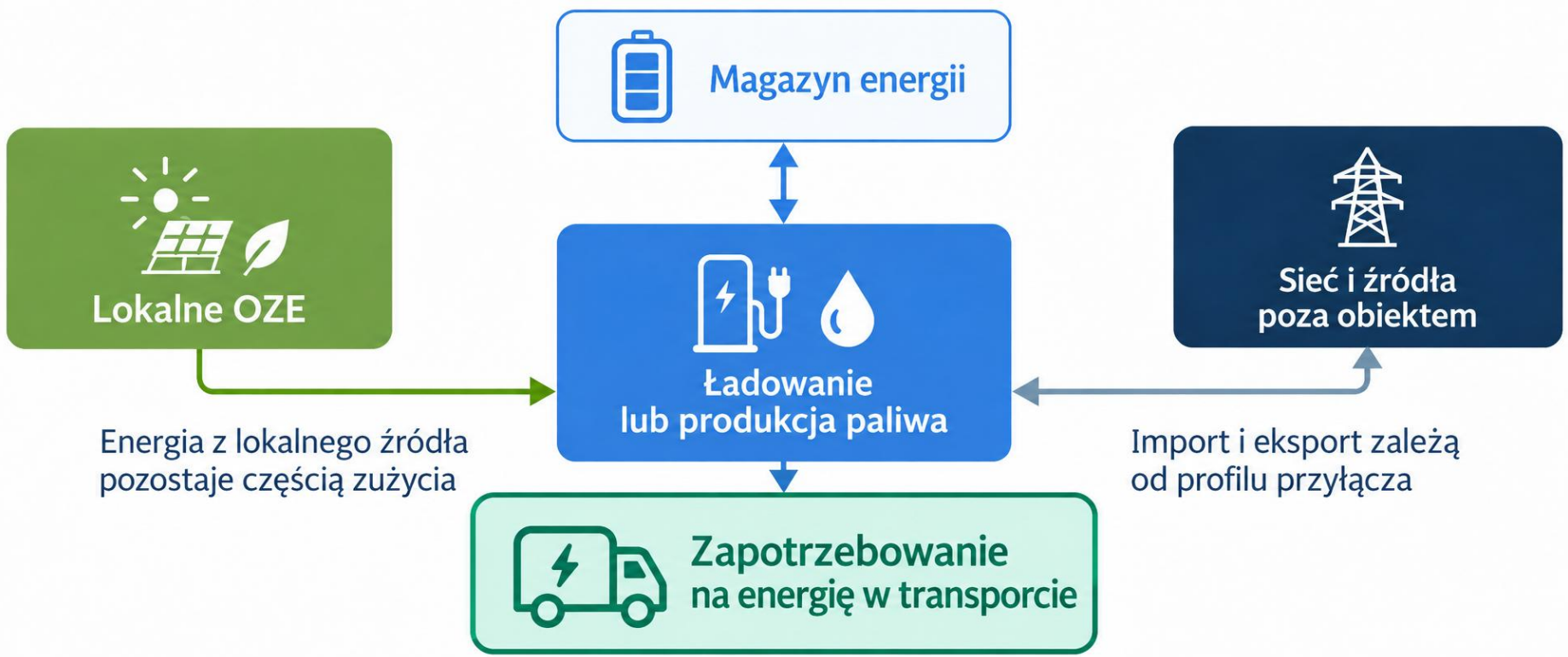
W części godzin:
nadwyżka OZE

W innych:
niedobór pokrycia

W modelu: profile godzinowe, magazyny, elastyczność i rezerwa zasilania.

W pełnym modelu potrzebny cały rok oraz test okresów niskiej produkcji OZE.

Pokrycie potrzeb – osłony kontrolne



Autokonsumpcja zmienia pobór z sieci, a magazyn dodaje straty.

Parametry i ograniczenia modelu

Założenie modelowe	Sposób zapisu
Dopuszczalne zastąpienia	Macierz segment × technologia, wyłączenia i limity udziałów
Sprawność i energochłonność	Zależność od obciążenia, temperatury i cyklu pracy
Dostępność OZE	Lokalny potencjał, profile, limit biomasy i konkurencja o zasób
Sieć i magazyny	Moc, pojemność, przepustowość i dostępność przyłączy
Pochodzenie nośnika	Kraj / import, źródło energii i surowców, łańcuch produkcji
Wskaźniki	Energia, zasoby, koszt lub emisje w tej samej „granicy”

Politechnika Śląska

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

TRZY SCENARIUSZE

KENER

Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

Katedra
Transportu i Informatyki

PPTE 2050

SZEP

SEP

Trzy scenariusze potrzeb i ich pokrycia energią

	1. Ograniczenie transportu	2. Kontynuacja trendów	3. Wzrost energii końcowej
Opis potrzeb	Więcej lokalnych zasobów, krótsze dostawy, mniej pojazdów indywidualnych, więcej transportu zbiorowego	Kontynuacja obecnych wzorców potrzeb i trendów wykorzystania transportu	Wzrost potrzeb lub energochłonności przewyższa oszczędności sprawności
Zapis w modelu	Zmiana potrzeb użytecznych i struktury usług jako wejście do bilansu	Wariant odniesienia potrzeb, parametrów i odnowy technicznej	Wariant z wyższym wynikowym zużyciem energii końcowej
Przedmiot porównania	Możliwości pokrycia zmniejszonych potrzeb przy lokalnych zasobach	Pokrycie energią przy kontynuacji wariantu odniesienia	Dodatkowe źródła, nośniki i infrastruktura oraz ograniczenia zasobów

Demografia !?

Politechnika Śląska

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

JAK TO WSZYSTKO POGODZIĆ ?

KENER

Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

PPTE 2050

SZEP

SEP

Współczynniki przeliczeniowe nośników energii stosowanych w transporcie

Do przeliczenia zużycia paliwa na równoważne zapotrzebowanie na energię elektryczną można zastosować:

$$E_{el} = \frac{Q \cdot k \cdot \eta_{sp}}{\eta_{el}}$$

gdzie:

E_{el} – równoważne zapotrzebowanie na energię elektryczną, kWh,

Q – ilość zużytego paliwa, l, kg, Nm³,

k – współczynnik przeliczeniowy paliwa na energię, kWh/l, kWh/kg, kWh/Nm³,

η_{sp} – sprawność napędu spalinowego,

η_{el} – sprawność napędu elektrycznego.

Współczynniki przeliczeniowe nośników energii stosowanych w transporcie

Do przeliczenia zużycia paliwa na równoważne zapotrzebowanie na energię elektryczną można zastosować:

Rodzaj nośnika / paliwa	Sprawność napędu η	Sprawność napędu elektrycznego η_{el}	Współczynnik zastąpienia (η / η_{el})
Benzyna	0,25	0,85	0,294
Olej napędowy (diesel)	0,30	0,85	0,353
LPG	0,25	0,85	0,294
CNG	0,28	0,85	0,329
LNG	0,30	0,85	0,353
Wodór H_2 – ogniwo paliwowe	0,50	0,85	0,588
Paliwo lotnicze	0,30	0,85*	0,353
Paliwa żeglugowe / diesel morski	0,35	0,85*	0,412
Energia elektryczna	0,85	0,85	1,000

W przypadku lotnictwa i transportu wodnego wartość 0,85 oznacza uproszczoną sprawność napędu elektrycznego i ograniczony potencjał zastąpienia.

Przykładowa macierz nośników

Sektor	Benzyna	Diesel	LPG	CNG/LNG	E. el.	H_2	Inne
Samochody osobowe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Lekki transport drogowy	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Ciężki transport drogowy		✓		✓	✓	✓	
Transport zbiorowy drogowy		✓		✓	✓	✓	
Transport szynowy		✓			✓	✓	
Lotnictwo						✓*	paliwo lotnicze
Transport wodny		✓		✓	✓	✓	paliwa żeglugowe

Politechnika Śląska

Akademia WSB
Dąbrowa Górnicza, Cieszyn, Olkusz, Żywiec, Kraków
WSB University

PODSUMOWANIE

KENER
Katedra Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Robotyki

Katedra
Transportu i Informatyki

PPTE 2050

SZEP

SEP

Podsumowanie

- Transformacja transportu nie oznacza prostego zastąpienia paliw energią elektryczną – wymaga zachowania zasad zastępowania
- Elektryfikacja pozwala znacząco ograniczyć zapotrzebowanie na energię końcową przy zachowaniu tej samej pracy użytecznej, ale zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną i moc w systemie
- O możliwości pokrycia potrzeb transportu przez OZE nie decyduje wyłącznie roczna produkcja energii – konieczny jest bilans godzinowy, dobowy i miesięczny uwzględniający profile generacji, magazyny, elastyczność oraz ograniczenia sieciowe.
- Kluczowym elementem modelowania pozostają dane – obecny sposób ich publikowania nie pozwala na wiarygodne odwzorowanie wszystkich segmentów transportu i ich profili energetycznych
- Transformacja zielonej energii w transporcie wymaga zmian przepisów prawnych i certyfikacyjnych
- W modelowaniu transformacji zielonej energii w transporcie niezbędne są symulacje finansowe

Ostateczne zapotrzebowanie na energię w transporcie będzie wynikiem nie tylko zmiany technologii napędów,

ale przede wszystkim zmian potrzeb transportowych i sposobu ich realizacji.

