



**Instytut Elektroenergetyki**  
Politechnika Warszawska



# **MOŻLIWOŚCI ROZWOJU FLOTY SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH W POLSCE A STAN OBECNY KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO**

**Mariusz KŁOS, Józef PASKA, Łukasz ROŚLANIEC,  
Magdalena BŁĘDZIŃSKA, Rafał BIELAS, Krzysztof  
ZAGRAJEK, Konrad WRÓBLEWSKI**

**Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej,  
Politechnika Warszawska**

# Opis modelu analizowanej sieci dystrybucyjnej



- Gmina o populacji 40 tys. osób
- Blisko dużej aglomeracji miejskiej
- Gmina zlokalizowana jest w niedalekim sąsiedztwie autostrady oraz dwóch dużych szlaków tranzytowych
- Przeciętne zarobki wynoszą ok. 2.5 tys. złotych netto miesięcznie
- Gmina jest zasilana z jednego Głównego Punktu Zasilania 110/15 kV
- Gmina posiada dobre połączenie kolejowe z dużą aglomeracją miejską. W okolicach dworca kolejowego i autobusowego znajduje się parking Parkuj i Jedź (P&R)

# Scenariusze rozwoju elektromobilności na analizowanym obszarze

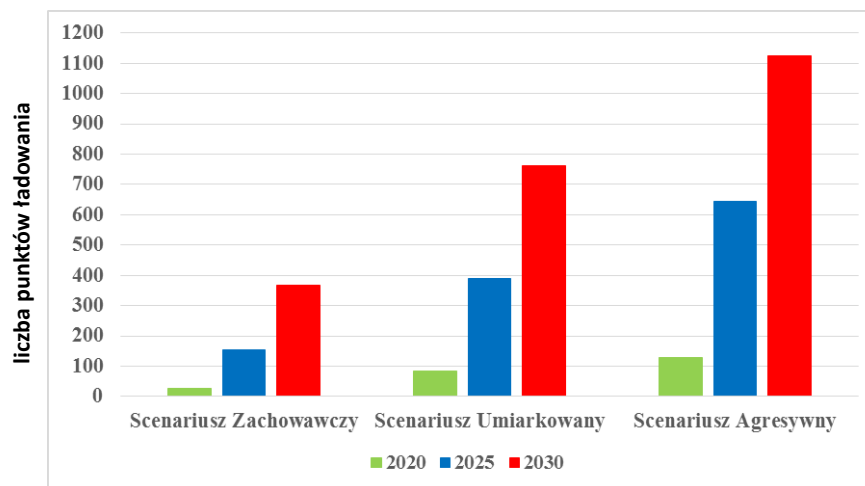
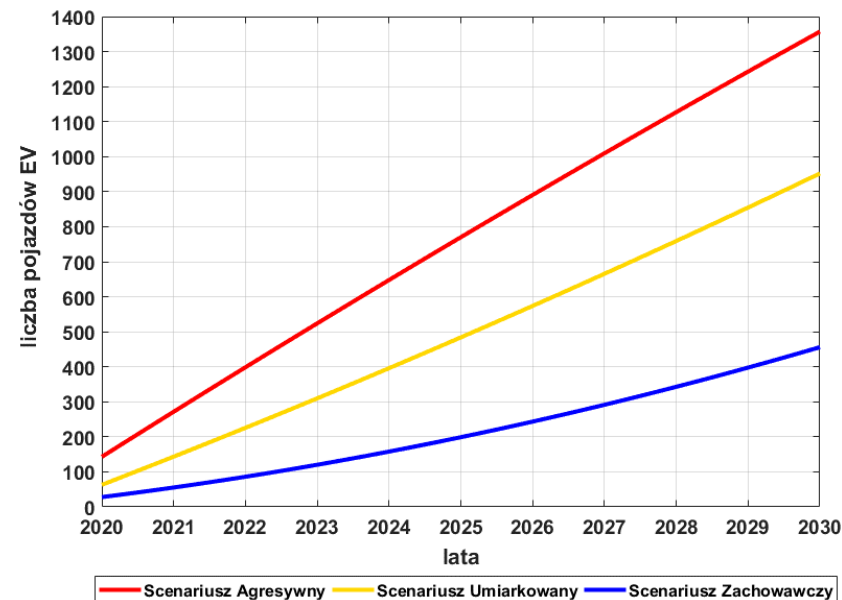


- Scenariusz Zachowawczy – scenariusz rozwoju, w którym nie przygotowano zachęt do kupna i korzystania z EV, w związku z czym infrastruktura EVCS była rozwijana z powodu oczekiwań mieszkańców, którzy zdecydowali się na kupno EV, wobec władz lokalnych. Na terenie gminy od roku 2020 funkcjonują elektryczne autobusy transportu publicznego.
- Scenariusz Umiarkowany – przygotowano w nim zachęty mające nakłonić część mieszkańców do kupna EV. Wraz ze zwiększającą się liczbą EV, w związku z oczekiwaniami mieszkańców, na obszarze gminy powstają kolejne punkty ładowania, umożliwiające wygodniejsze korzystanie z EV. Na obszarze gminy jest rozwijany transport publiczny oparty na autobusach elektrycznych.
- Scenariusz Agresywny – scenariusz zakładający aktywny udział władz krajowych i lokalnych oraz OSD i producentów EV i EVCS w promowaniu elektromobilności. Przygotowane zostały zachęty do kupna – ekonomiczne oraz w postaci przywilejów dla korzystających z EV. Infrastruktura EVCS jest dynamicznie rozwijana od początku procesu, tak by swoją dostępnością i przyjaznością zachęcała mieszkańców do korzystania z EV. Przeprowadzone zostały skuteczne kampanie informacyjne oraz akcje promujące korzystanie z elektromobilności. Transport publiczny na obszarze gminy został w całości oparty na pojazdach elektrycznych.

# Liczba pojazdów elektrycznych i punktów ładowania w analizowanych scenariuszach



Nazwa scenariusza	Typ pojazdu	lata		
		2020	2025	2030
Scenariusz Zachowawczy	Samochody osobowe	17	129	350
	Autobusy	10	30	40
	Pojazdy ciężarowe	1	40	66
	SUMA	28	199	456
Scenariusz Umiarkowany	Samochody osobowe	53	410	800
	Autobusy	8	25	40
	Pojazdy ciężarowe	2	49	112
	SUMA	63	484	952
Scenariusz Agresywny	Samochody osobowe	136	693	1150
	Autobusy	5	20	45
	Pojazdy ciężarowe	2	57	162
	SUMA	143	770	1357



# Charakterystyka analizowanych stacji ładowania



Rodzaj stacji ładowania	Moc [kW]	Opis
LV1	3	Ładowarka małej mocy, umożliwiająca ładowanie z gniazdka jednofazowego 230 V (prąd 16 A).
	7	Ładowarka małej mocy, umożliwiająca ładowanie z gniazdka jednofazowego 230 V (prąd 32 A).
LV2	11	Mała stacja wolnostojąca zasilana z obwodu trójfazowego 400 V (prąd 16 A).
	22	Mała stacja wolnostojąca zasilana z obwodu trójfazowego 400 V (prąd 32 A).
FDC	42	Wolnostojąca stacja szybkiego ładowania prądem stałym lub przemiennym.
	93	
XFDC	135	Ładowarka dużej mocy umożliwiająca szybkie ładowanie samochodów osobowych.
BFDC	20	Stacjonarne ładowarki przeznaczone do ładowania autobusów oraz pojazdów ciężarowych.
	40	
	60	
	80	
	200	
BUFDC	>300	Pantografowy punkt szybkiego ładowania autobusów.

# Sieć dystrybucyjna - model i metodyka prowadzenia analiz wystarczalności technicznej



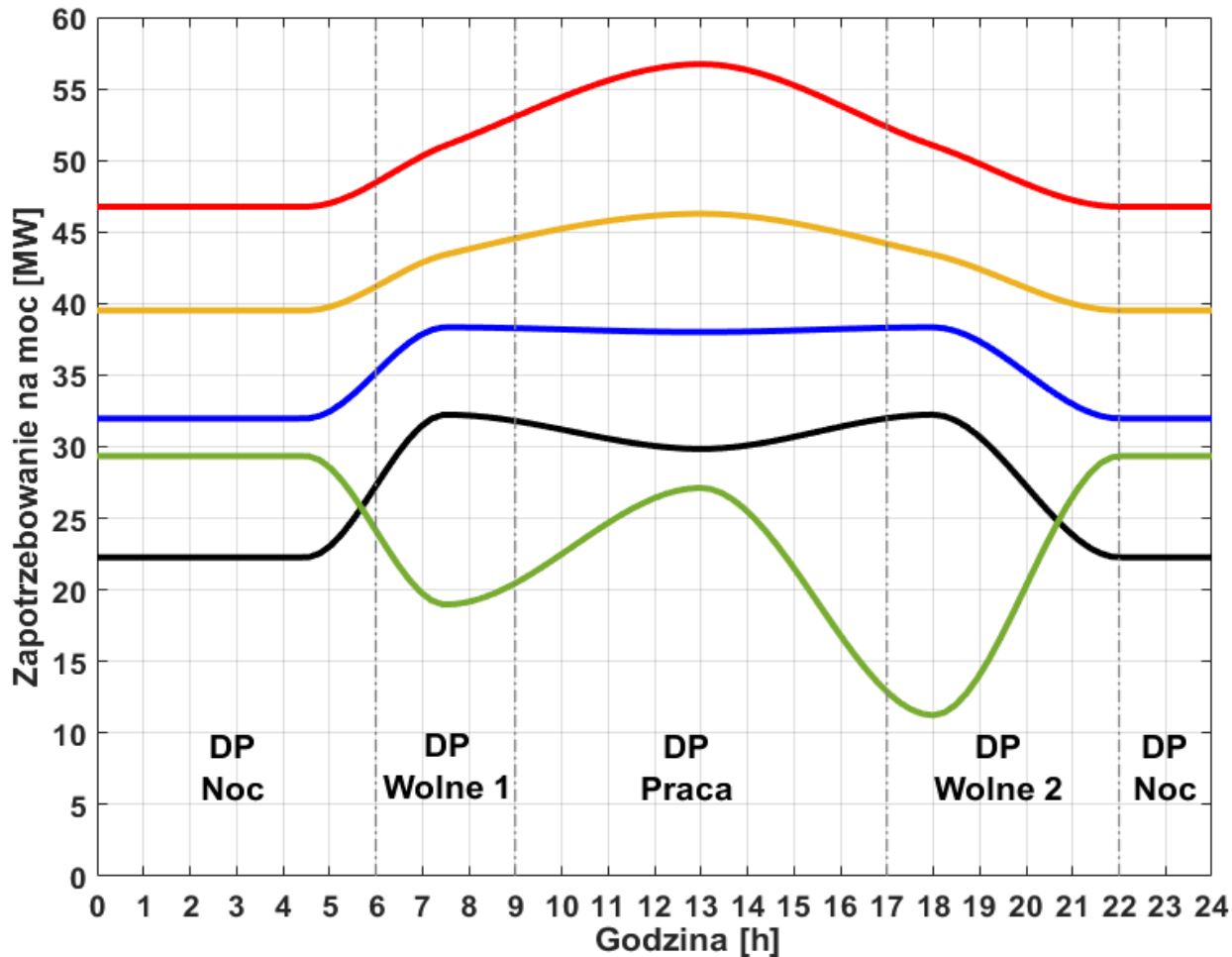
1. Do realizacji projektu zbudowano model sieci rozdzielczej opartej na rzeczywistych danych tj. moce transformatorów, przekroje linii kablowych i napowietrznych.
2. Zastosowano transformatory rozdzielcze z podobciążeniową regulacją napięcia (podstawowy element przyszłych instalacji typu „SMART GRID-u” na poziomie średniego i niskiego napięcia)
3. Kompensatory mocy biernej umożliwiające prowadzenie gospodarki mocą bierną zostały dobrane do warunków typowego dnia pracy (podstawowy element przyszłych instalacji typu „SMART GRID” na poziomie średniego i niskiego napięcia)
4. Przeprowadzone analizy były ukierunkowane na zdiagnozowanie potencjalnych zmian i zaistnienia zjawisk w następujących obszarach technicznych funkcjonowania sieci dystrybucyjnej, z uwzględnieniem zakładanej w poszczególnych scenariuszach liczby stacji ładowania i charakteru ich pracy w okresie doby:
  - zapotrzebowanie na moc czynną,
  - profil obciążenia dobowego analizowanego obszaru,
  - poziomy obciążeń transformatorów,
  - poziomy obciążeń linii elektroenergetycznych,
  - możliwości występowania spadków napięć w sieci dystrybucyjnej,
  - możliwości wystąpienia wzrostu zapotrzebowania na moc bierną,
  - możliwości wystąpienia wzrostu poziomów odkształceń harmonicznnych napięć i prądów.
  - wpływ generacji rozproszonej (GR) na pracę analizowanej sieci wraz z dodaną infrastrukturą ładowania pojazdów elektrycznych.

# Analizy wystarczalności technicznej zamodelowanej sieci dystrybucyjnej



1. Niezależnie od obranej strategii, stwierdzono, że najczęściej instalowanym typem EVCS są ładowarki typu LV2 o mocy ładowania od 11 kW do 22 kW – są to stacje słupkowe przy domach, biurach i w miejscach publicznych.
2. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono istnienie potencjalnych zagrożeń w funkcjonowaniu sieci dystrybucyjnej przy założeniu dynamicznego rozwoju floty samochodów elektrycznych w ujęciu lokalnym, przejawiających się:
  - znaczącym dociążeniem istniejących elementów sieci dystrybucyjnej,
  - lokalnym zwiększeniem zapotrzebowania na moc czynną i bierną oraz zmianą profilu obciążenia dobowego, co wynika z liczby pojazdów elektrycznych na danym obszarze oraz liczby działających tu EVCS.
  - znaczącym wpływem infrastruktury EVCS na jakość energii elektrycznej w tym: zwiększeniem spadków napięcia w sieci dystrybucyjnej i wzrostem odkształceń napięcia wynikającym ze wzrostu liczby odbiorników nieliniowych i quasiliniowych

# Przykładowy dobowy profil obciążenia mocą czynną stacji 110 kV/15 kV dla typowego dnia powszedniego dla rozpatrywanego horyzontu czasowego 2030



(czarny - stan obecny; **niebieski** – scenariusz zachowawczy; **żółty** – scenariusz umiarkowany; **czerwony** – scenariusz agresywny; **zielony** – scenariusz umiarkowany z GR)



- **Przygotowanie długofalowych planów dotyczących rozwoju infrastruktury EVCS pozwoli na przygotowanie przez OSD odpowiedniej strategii modernizacji sieci dystrybucyjnej, która ma tę infrastrukturę zasilać.**
- **W procesie tworzenia infrastruktury EVCS dla danego obszaru jest konieczny aktywny udział przedstawicieli władz samorządowych.** Ich znajomość regionu oraz zachowań i potrzeb mieszkańców jest istotna dla prawidłowego dostosowania projektów infrastruktury ładowania do potrzeb potencjalnych użytkowników EV.
- **Problemy związane z wpływem EVCS na jakość energii elektrycznej w sieci narastają wraz ze zwiększeniem się liczby stacji ładowania w kolejnych latach.** Pokrycie zapotrzebowania na moc wynikającego z pracy EVCS w latach 2017-2030 nie będzie stanowiło krytycznego problemu dla KSE przy założeniu planowanego rozwoju w sektorze wytwórczym, przesyłowym i dystrybucyjnym.

- **W celu pokrycia zapotrzebowania na moc** wynikającego z pracy EVCS, wraz z rozwojem elektromobilności należy rozwijać generację rozproszoną (GR), co w znaczący sposób odciąża istniejącą infrastrukturę KSE.
- **W celu regulacji przepływu mocy w KSE z rozwiniętą generacją rozproszoną**, w tym z OZE, należy wraz ze źródłami wytwórczymi GR instalować zasobniki energii elektrycznej usprawniające funkcjonowanie zarówno OZE (poprawa dyspozycyjności), jak i sieci dystrybucyjnych (odciążanie istniejącej infrastruktury w szczytach zapotrzebowania na energię).
- **Praca GR kompensuje spadki napięcia w sieciach dystrybucyjnych** poprawiając parametry jakościowe energii elektrycznej na danym obszarze.

- **Należy określić minimalne wymagania techniczne dla EVCS.** Stacja przed dopuszczeniem do użytku powinna przejść odpowiednią inspekcję potwierdzającą, że nie wpływa negatywnie na funkcjonowanie sieci dystrybucyjnej.
- **Należy przygotować dostępną dla wszystkich metodykę działań związanych z instalowaniem oraz dopuszczaniem do użytku stacji EVCS,** uwzględniając potrzebne dokumenty, badania techniczne oraz działania organów odpowiedzialnych za rozwój elektromobilności.
- **Rozbudowana infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych pozwala na wykorzystanie możliwości związanych z technologią V2G (*Vehicle to Grid*)** – interfejsem pojazd - sieć elektroenergetyczna, umożliwiającym dwukierunkowy przepływ energii między pojazdem elektrycznym a siecią elektroenergetyczną, co znacznie zwiększa obszary aplikacyjne stacji ładowania w KSE.
- Rozwój elektromobilności w Polsce wymusi wprowadzanie układów diagnostycznych i urządzeń wykonawczych (filtrów wyższych harmoniczych, kompensatorów mocy biernej, transformatorów rozdzielczych z podobciążeniowym przełącznikiem zaczeów i automatyczną regulacją napięcia SN/nn, aparatury kontrolno-pomiarowej), które w połączeniu z zaawansowanymi systemami akwizycji i analizy danych oraz systemami telekomunikacyjnymi, pozwolą OSD na efektywne zarządzanie siecią. Zmodernizowana sieć dystrybucyjna stanie się siecią inteligentną (Smart Grid).



Artykuł powstał na podstawie raportów cząstkowych z zadań realizowanych przez Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej w ramach projektu „Efektywność energetyczna przez rozwój elektromobilności w Polsce” dofinansowanego z środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2009-2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej.

Projekt został zrealizowany we współpracy z Instytutem Ochrony Środowiska PIB, Instytutem Badań Stosowanych Politechniki Warszawskiej, Wydziałem Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej oraz partnerem norweskim, firmą Green Business Norway.

# Pytania recenzenta

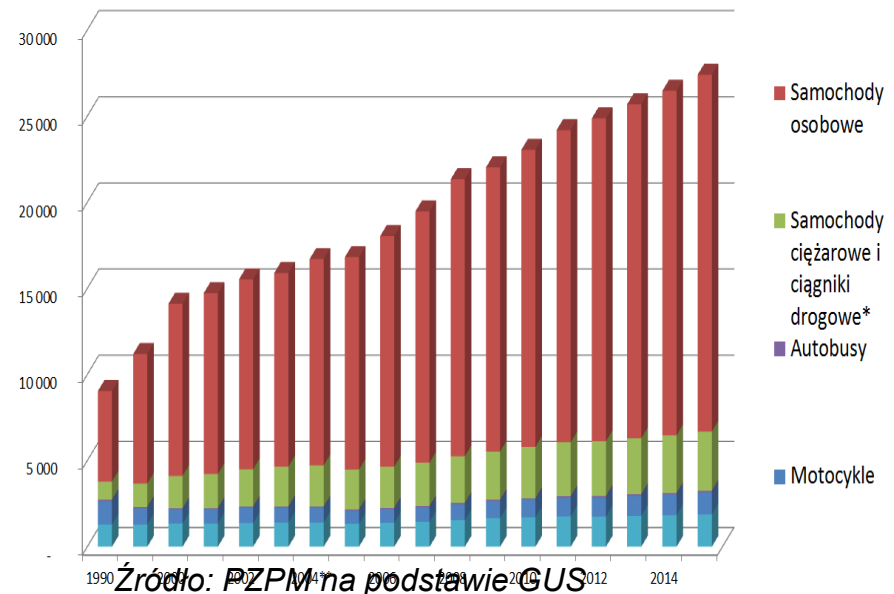


1. W artykule zdefiniowano obszar reprezentatywny (gmina o populacji 40 tys. mieszkańców nieopodal aglomeracji miejskiej). Czy badania przeprowadzono tylko dla takiej gminy (i czy jest to wynik pewnego uśrednienia), czy też brano pod uwagę szersze spectrum gmin z przyporządkowaną częstością występowania? Deklarowana w tytule referatu analiza możliwości rozwoju floty samochodów elektrycznych w Polsce wymagałaby przejścia od analiz regionalnych do globalnej.
2. Podstawą przedstawianych analiz są trzy scenariusze rozwoju elektromobilności (scenariusz zachowawczy, umiarkowany i agresywny) opracowane przez IOŚ BIP. Prezentowane w Tabeli 2 i na Rys.1 zestawienia liczbowe pojazdów elektrycznych np. dla roku 2030 znacznie się różnią (od 456 do 1357 pojazdów, czyli od scenariusza umiarkowanego ok.  $\pm 50\%$ ). Czy do opracowania scenariuszy użyto metod ilościowych czy też heurystycznych? Czy przyporządkowano prawdopodobieństwa realizacji powyższym scenariuszom?
3. Na Rys. 3 zaprezentowano dobowe profile obciążenia mocą czynną stacji 110/15 kV. Stan obecny to rok 2017 z zerową liczbą pojazdów elektrycznych. Czy prezentowane profile uwzględniają tylko wpływ elektromobilności, czy też uwzględniają zmianę profilu obecnego w horyzoncie 2030 roku z tytułu innych czynników, np. zmian obciążenia spowodowanych czynnikami demograficznymi, liczbą gospodarstw w gminie, efektywnością i strukturą wykorzystywanych technologii, itp.?

# Elektromobilność - założenia

- Przeanalizowano trzy segmenty pojazdów dla warunków Polskich:
  - Auta osobowe (w tym leasing i wynajem)
  - Autobusy (nie tylko transport miejski)
  - Firmy spedycyjne
- Udział kategorii pojazdów elektrycznych został przyjęty na bazie danych statystycznych GUS dla pojazdów o napędzie konwencjonalnym
- Przyjęto stały przyrost ilości pojazdów ogółem w kolejnych latach (patrz rys.)

**Pojazdy samochodowe i ciągniki zarejestrowane w Polsce**



## Założenia do mapowania samochodów elektrycznych

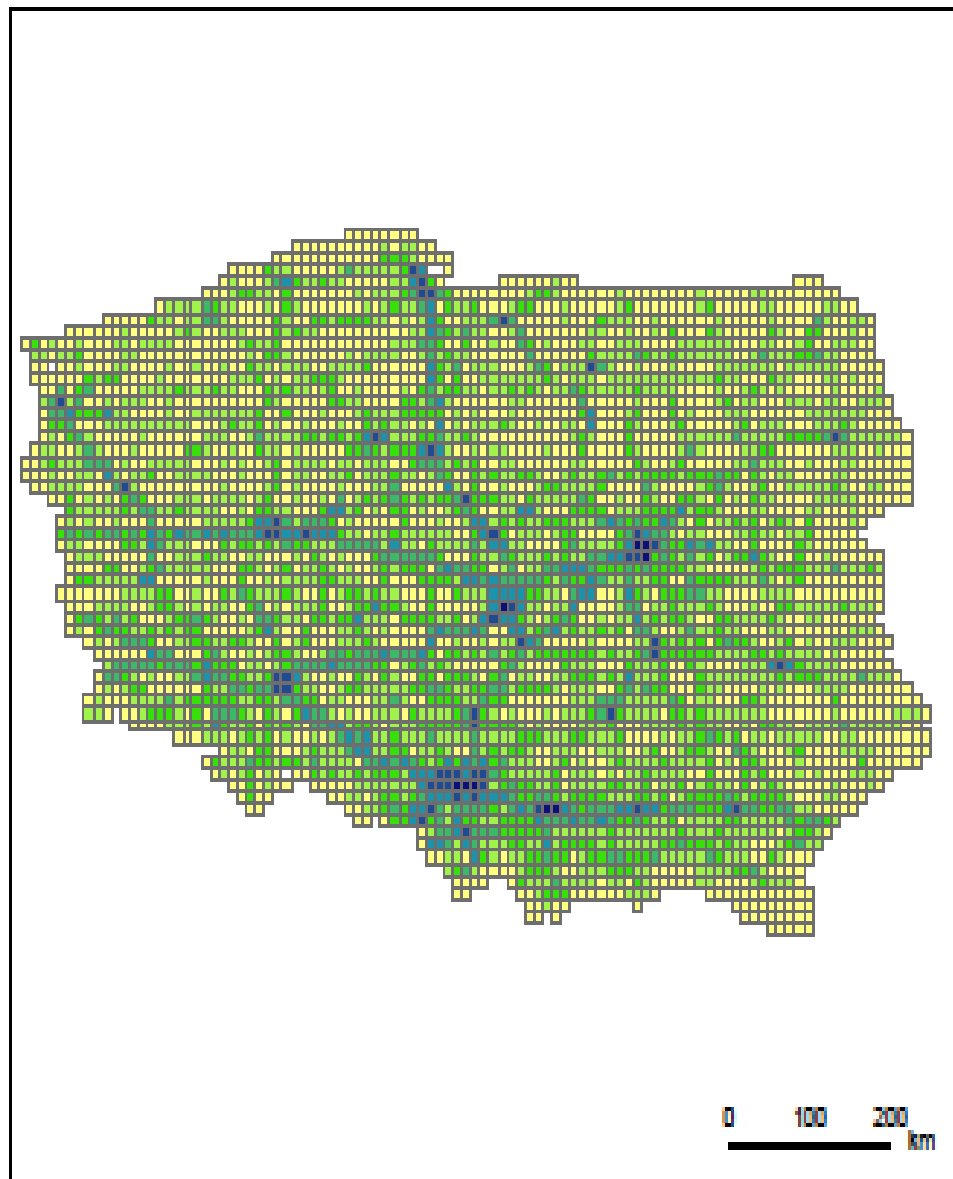
- Samochody osobowe:
  - 70% proporcjonalnie do gęstości zaludnienia
  - 30% wzdłuż dróg z czego 9% na drogach międzynarodowych a 15% na drogach krajowych, 6% pozostałe (większe)
- Autobusy:
  - 80% w dużych miastach > 100 tys mieszkańców proporcjonalnie do gęstości zaludnienia
  - 20% wzdłuż dróg międzynarodowych
- Samochody ciężarowe:
  - 50% drogi międzynarodowe
  - 50% drogi krajowe

### Legenda

Liczba samochodów elektrycznych w oczku siatki EMEP



<50  
50 - 200  
200 - 500  
500 - 1000  
1000 - 2000  
2000 - 5000  
5000 - 8725



# Krzywe mocy KSE z uwzględnieniem rozwoju elektromobilności w Polsce

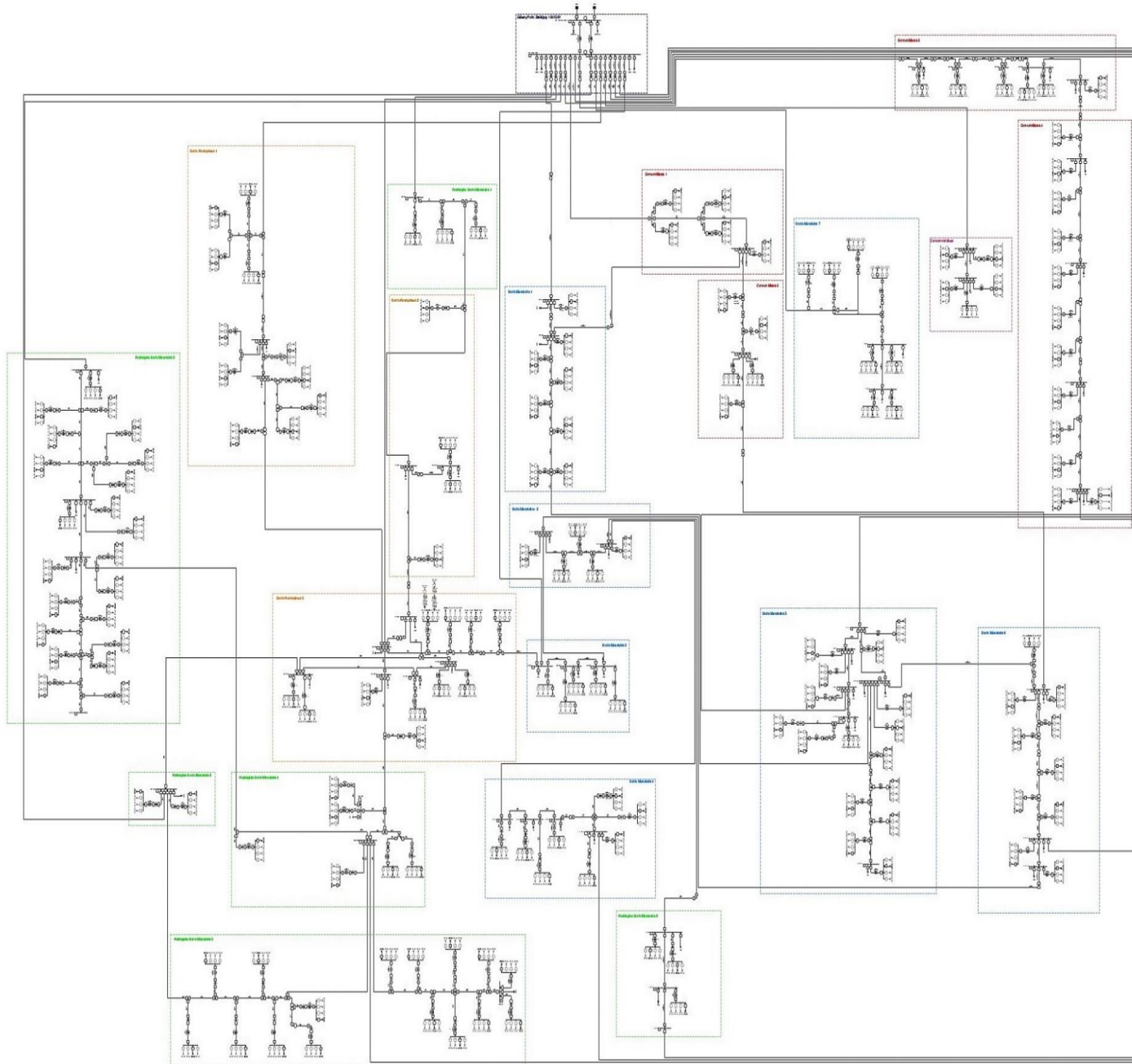
- Wykorzystano historyczne dane (2015- 2016 r.) obciążeń KSE do stworzenia wzorcowego, dziennego profilu obciążenia KSE (szara krzywa na rysunku poniżej).
- Stworzono wzorcowe profile zapotrzebowania energii elektrycznej dla ładowarek pokładowych (w samochodach osobowych) oraz ładowarek szybkich (autobusy, spedycja, punkty ładowania na stacjach ładowania).
- Do skalowania profili zapotrzebowania dla ładowarek wykorzystano dane dotyczące intensywności ruchu samochodowego w kraju w ciągu tygodnia oraz w cyklu miesięcznym.
- Profile skalowano w funkcji liczby pojazdów (z mapowania samochodów elektrycznych) i sumowano z wzorcowym profilem obciążenia KSE.
- Bazując na tych danych wyliczono wzrost zapotrzebowania rocznego energii elektrycznej dla zakładanego scenariusza rozwoju floty pojazdów elektrycznych w Polsce w zakładanym horyzoncie czasowym.
- Zwiększenie zapotrzebowania na energię rozdystrybuowano proporcjonalnie na poszczególne elektrownie zawodowe w KSE bazując na danych Kobize.



**Dziękuję za uwagę**

Dr inż. Mariusz Kłos  
[mariusz.klos@ien.pw.edu.pl](mailto:mariusz.klos@ien.pw.edu.pl)

# Model sieci rozdzielczej



# Model sieci dla Scenariusza Agresywnego

