

# WYBRANE WYNIKI BADAŃ PRZEBIEGU ŁADOWANIA AKUMULATORÓW POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

**Kazimierz S. BIELIŃSKI**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy  
[Kazimierz.Bielinski@utp.edu.pl](mailto:Kazimierz.Bielinski@utp.edu.pl)

**Paweł MŁODZIKOWSKI**

Politechnika Warszawska  
[Pawel.mlodzikowski@pw.edu.pl](mailto:Pawel.mlodzikowski@pw.edu.pl)





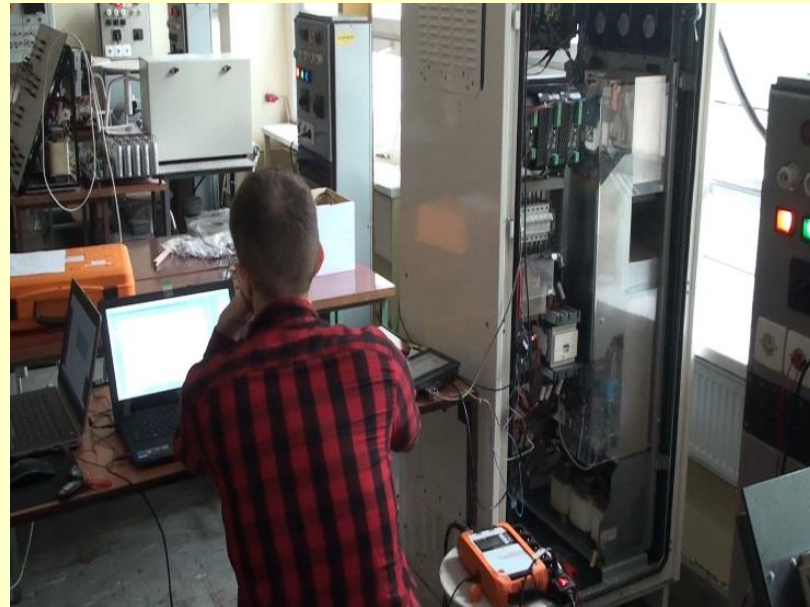
## Wprowadzenie

**Celem artykułu** są badania procesu ładowania pojazdów elektrycznych (PE), z zastosowaniem szybkiej ładowarki DC współpracującej z kilkoma pojazdami elektrycznymi typu Nissan Leaf.

Dla osiągnięcia celu sformułowano **problem badawczy** i rozwojowy w postaci pytania: jakie są wartości: jednostkowego czasu ładowania  $t_{lj}$ , jednostkowego czasu przerwy  $t_{pj}$  i ich relacji  $k=t_{lj}/t_{pj}$  w warunkach szybkiej ładowarki DC, pojazdu marki NISSAN i miksu energetycznego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, spełniające kryteria optymalnej jakości produktu, efektywności energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej procesu oraz nieszkodliwości produktu i procesu ładowania?

## Badania

Badania wykonano dla wybranego typu ładowarki z interfejsem szybkiego ładowania prądem stałym (CHAdeMO) i dwóch pojazdów elektrycznych tego samego typu (Nissan Leaf) dla różnego poziomu naładowania magazynów energii w pojazdach. Do badań wykorzystano stanowisko badawcze z ładowarką typu SGTE Power EV Quick Charger ze złączem CHAdeMO prod. Yazaki DC 500V, 120A (w standardzie IEC 62196 type 4, DC).

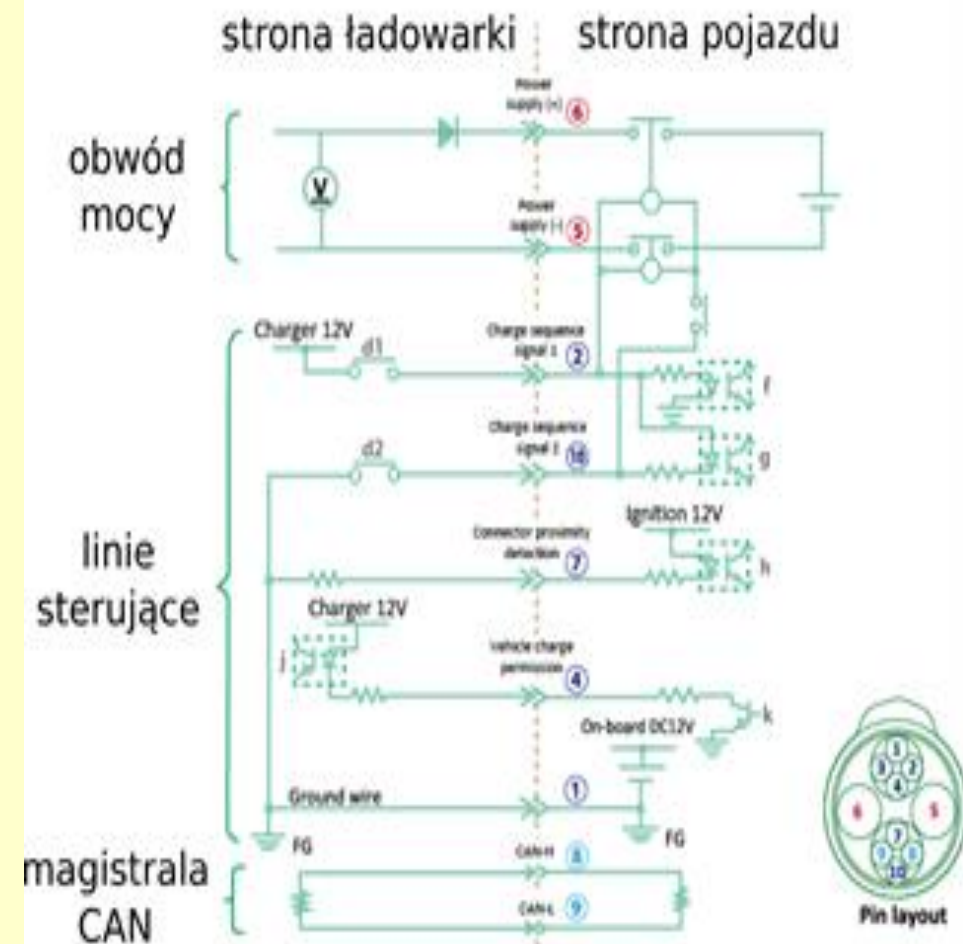




## Badania

Badania wykonano dla wybranego typu ładowarki z interfejsem szybkiego ładowania prądem stałym (CHAdeMO) i dwóch pojazdów elektrycznych tego samego typu (Nissan Leaf) dla różnego poziomu naładowania magazynów energii w pojazdach.

Do badań wykorzystano stanowisko badawcze z ładowarką typu SGTE Power EV Quick Charger ze złączem CHAdeMO prod. Yazaki DC 500V, 120A (w standardzie IEC 62196 type 4, DC).



## Badania

Badania wykonano dla wybranego typu ładowarki z interfejsem szybkiego ładowania prądem stałym (CHAdeMO) i dwóch pojazdów elektrycznych tego samego typu (Nissan Leaf) dla różnego poziomu naładowania magazynów energii w pojazdach.

**Do badań wykorzystano stanowisko badawcze z ładowarką typu SGTE Power EV Quick Charger ze złączem CHAdeMO prod. Yazaki DC 500V, 120A (w standardzie IEC 62196 type 4, DC).**

**Samochód elektryczny Nissan Leaf:**  
**Moc silnika 150 KM; moment 320 Nm;**  
**Pojemność baterii 24 kWh;**  
**Napięcie 400 V; Natężenie prądu do 120 A;**  
Baterie litowo-jonowe; 48 cel połączonych szeregowo; cele pogrupowano w moduły, a te połączone są przez „bussbar”  
Utrata pojemności - nominalnie (5-lat - 80%, 10-lat - 70% przy 20 tys. km/rocznie) - ubytek 2%/10 tys. km po 100 tys. km oraz 1,5%/10 tys. km po 200 tys. km.





## Plan badań

**Miejsce badań** – laboratorium IIE – Badania zaplanowano i przeprowadzono w warunkach rzeczywistych w obiektach UTP w Bydgoszczy w porze letniej

**Obiekt badań** – Ładowarka z interfejsem szybkiego ładowania prądem stałym CHAdeMO Yazaki DC 500V, 120A (w standardzie IEC 62196 type 4, DC)

**Pojazdy** - W badaniach wykorzystano samochody typu Nissan Leaf rocznik 2013 (PE<sub>5</sub>) i 2018 (PE<sub>N</sub>)

**Wielkości mierzone** - Przewidziano rejestrację wielkości elektrycznych: ( $U(t)$ ,  $I(t)$ ,  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $E(t)$ ) dzięki zastosowaniu **analizatora parametrów jakości energii elektrycznej** zainstalowanego na zasilaniu trójfazowym napięcia przemiennego ładowarki (AC) oraz wyznaczano wskaźniki efektywności i nieszkodliwości badanego procesu.

Stanowisko badawcze wyposażone jest również w **oscylloskop cyfrowy z sondami pomiarowymi** oraz w aplikację do odczytu przesyłanych danych w **magistrali CAN** łączącej pojazd z ładowarką.



# Plan badań

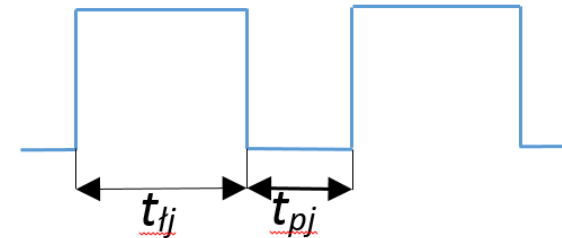
Tabela 1. Zestaw zaplanowanych prób badawczych na stanowisku badawczym [źródło: badania własne]

Pojazd	Sterowanie	wskaźnik $k$ $t_{lj} / t_{pj}$
PE <sub>5</sub>	ciągłe	-
PE <sub>N</sub>	ciągłe	-
PE <sub>5</sub>	ciągłe	-
PE <sub>N</sub>	ciągłe	-
PE <sub>N</sub>	dwuetapowe	do wył Auto
PE <sub>N</sub>	sekwencyjne	2 / 2
PE <sub>N</sub>	sekwencyjne	5 / 2
PE <sub>N</sub>	sekwencyjne	8 / 2
PE <sub>N</sub>	sekwencyjne	11 / 2

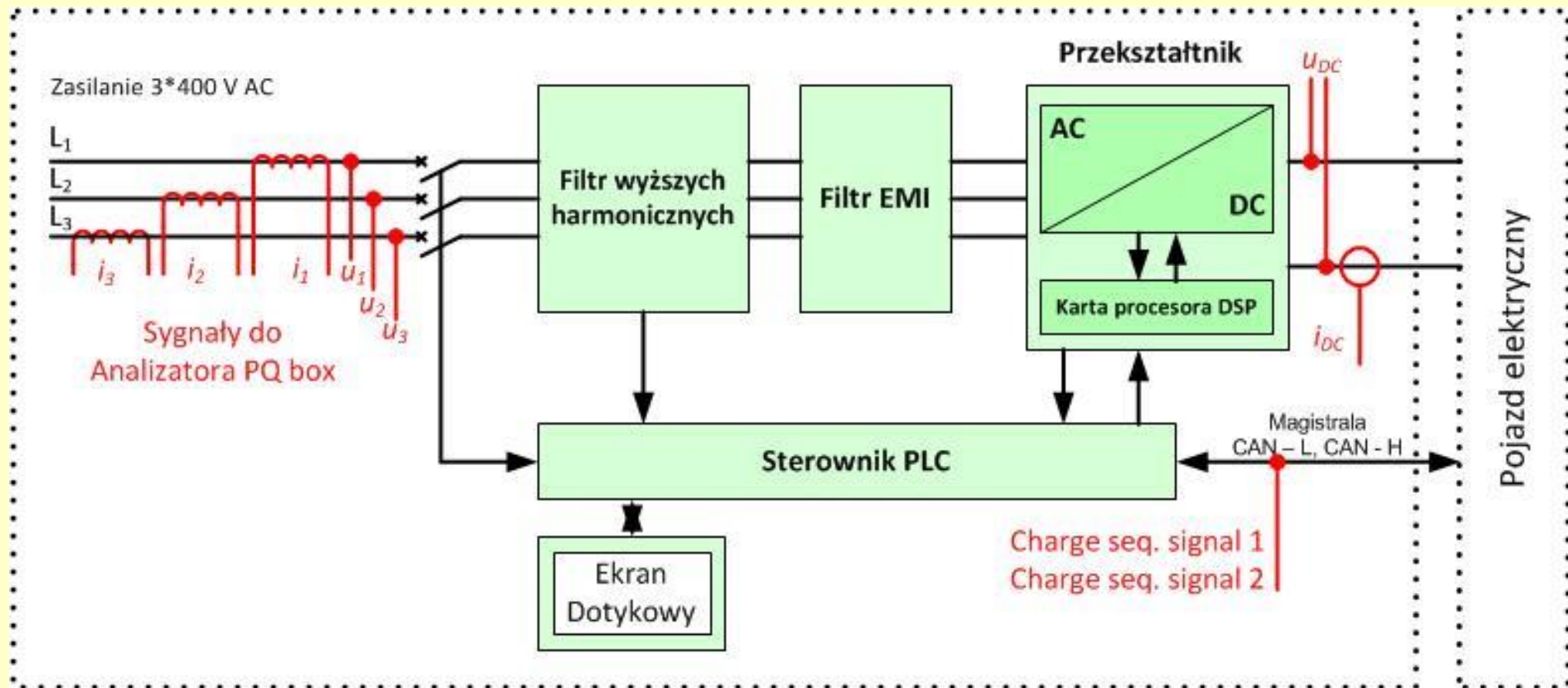
$t_{lj}$  – jednostkowy czas ładowania  
 $t_{pj}$  – jednostkowy czas przerwy

$$k = \frac{t_{lj}}{t_{pj}}$$

w warunkach szybkiej ładowarki DC.



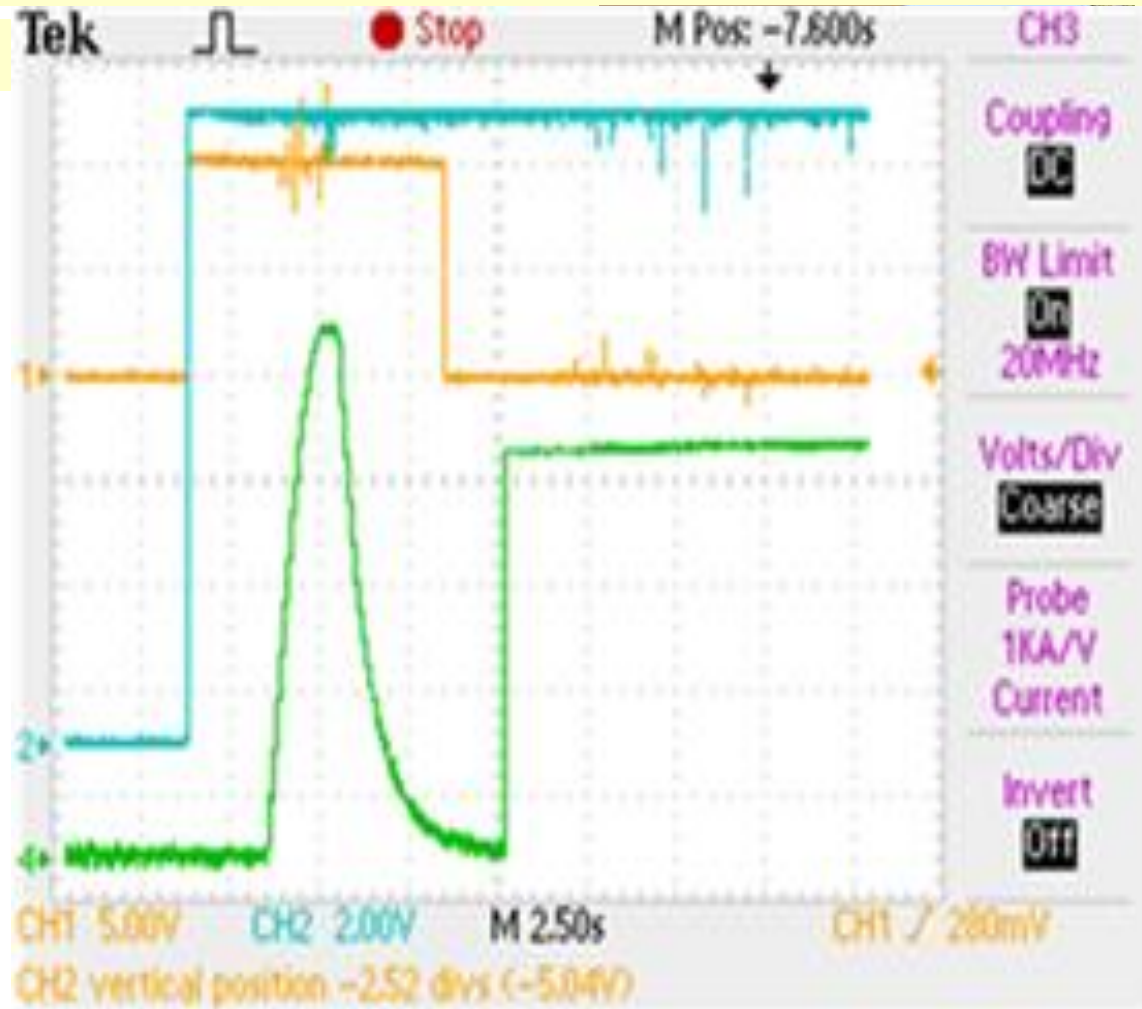
## Schemat pomiarowy



Poglądowy rysunek rozmieszczenia punktów pomiarowych w układzie zasilania ładowarki CHAdeMO oraz samochodu Nissan Leaf [źródło: badania własne]

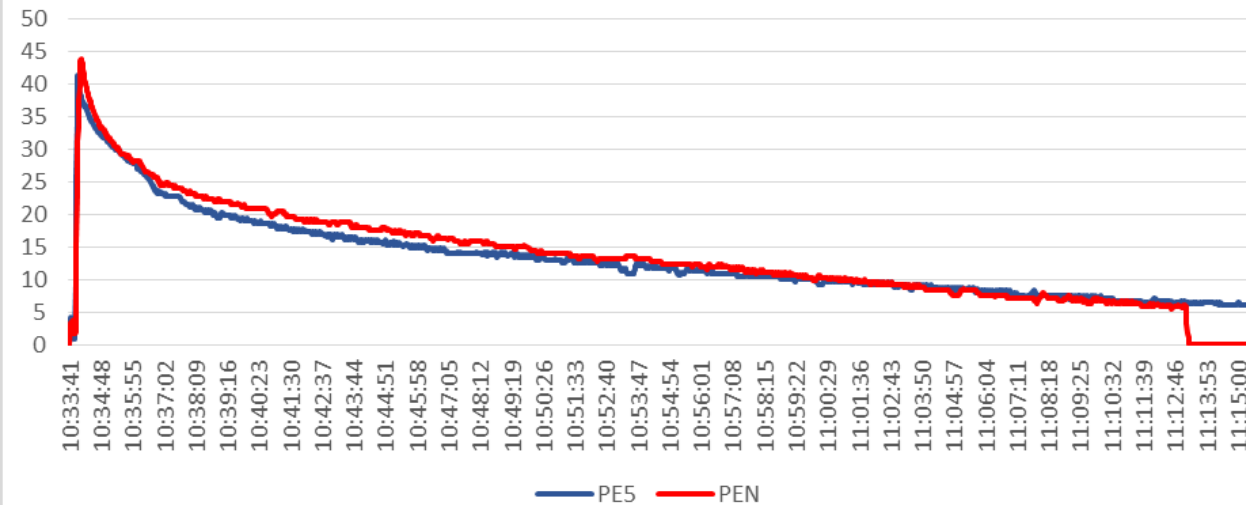


## Realizacja badań



## Wyniki pomiarów – ładowanie ciągłe

Profile mocy czynnej dla  $PE_5$  i  $PE_N$  wyrażonej w kW dla  $\theta = 46\%$

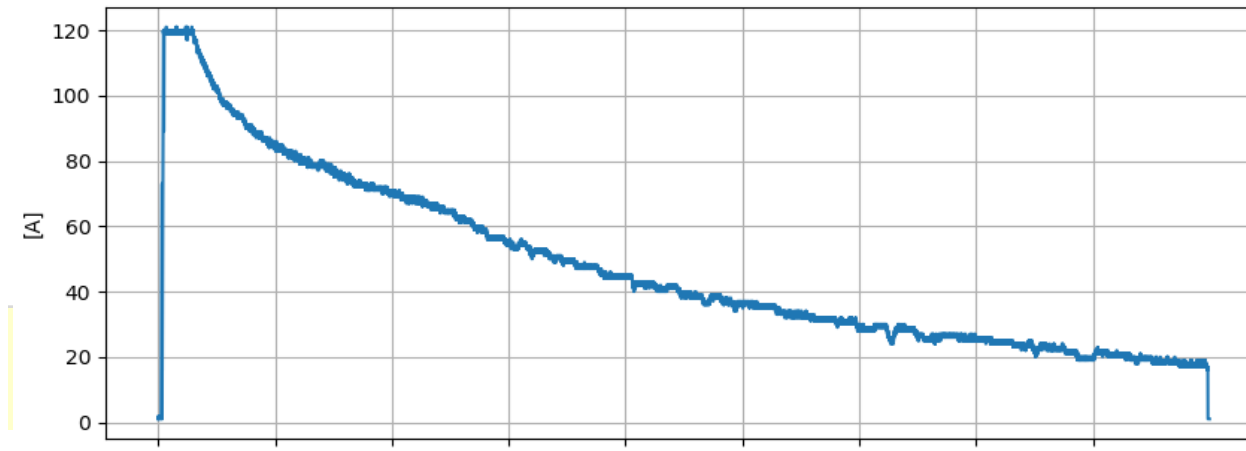
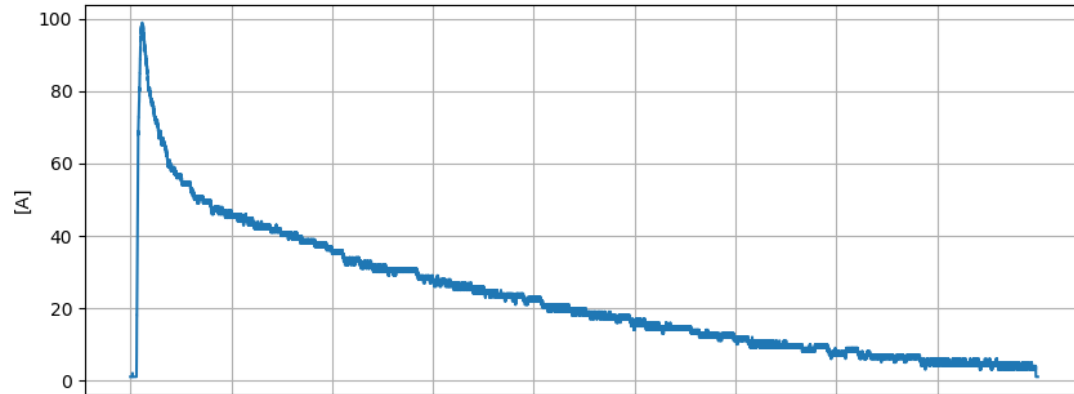


Profile mocy czynnej dla  $PE_5$  i  $PE_N$  wyrażonej w kW dla  $\theta = 7\%$  i  $5\%$



D4 - (109.3) Prąd w obwodzie wyjściowym stacji

D4 - (109.3) Prąd w obwodzie wyjściowym stacji, Max=99.0, Min=1.0



## Wyniki pomiarów – ładowanie ciągłe



Tabela 2. Zestawienie wybranych danych dla prób z ładowaniem ciągłym

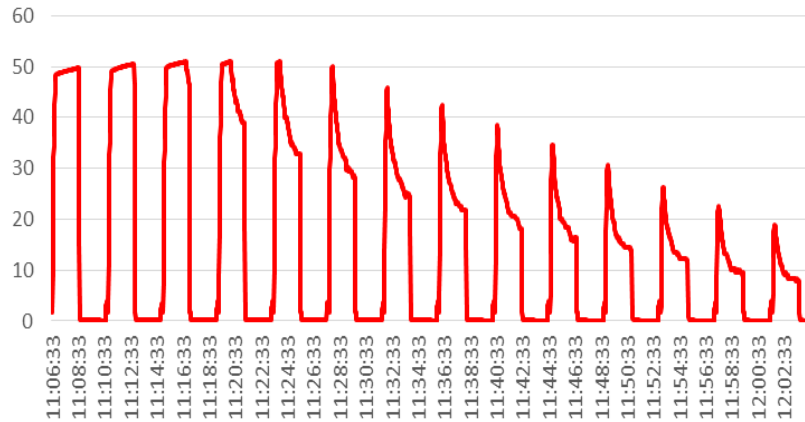
Pojazd	Naładowanie		Sposób wyłączenia	Czas całkowity $t_{tc}$ minuty	Ilość energii $E_{we}$ kWh	Ilość energii $E_{wy}$ kWh	Sprawność $\eta$ -
	początek	koniec					
	%	%					
PE <sub>5</sub>	46	91	A	40	9,2	8	0,87
PE <sub>N</sub>	46	89	A	38	9,4	8	0,85
PE <sub>5</sub>	7	90	A	43	14,7	13	0,88
PE <sub>N</sub>	5	87	A	30	14,4	13	0,90



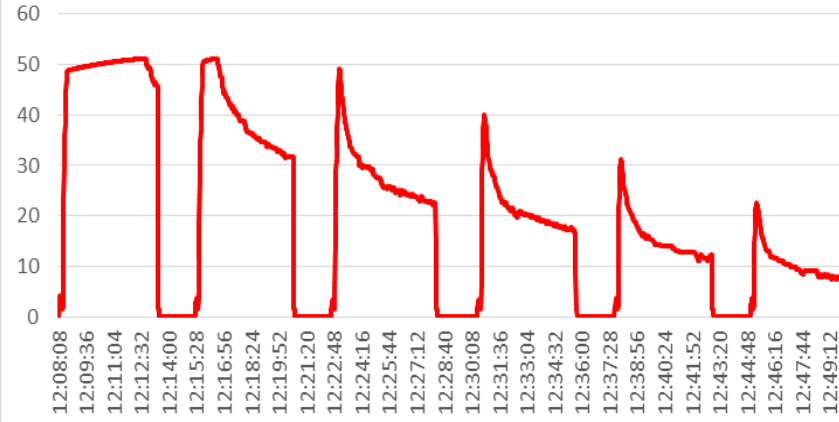
## Wyniki pomiarów – ładowanie sekwencyjne



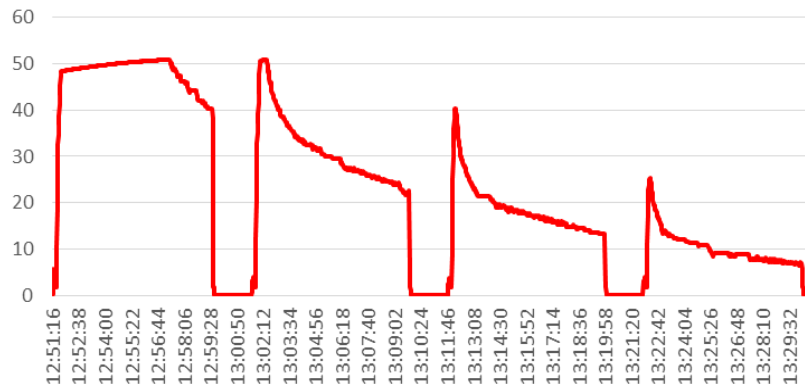
Profil mocy czynnej dla sterowania sekwencyjnego  $k=2/2$  ( $PE_N$ )



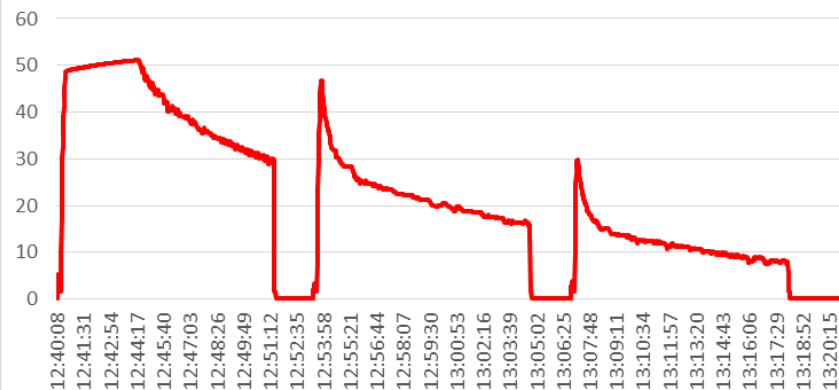
Profil mocy czynnej dla sterowania sekwencyjnego  $k=5/2$  ( $PE_N$ )



Profil mocy czynnej dla sterowania sekwencyjnego  $k=8/2$  ( $PE_N$ )



Profil mocy czynnej dla sterowania sekwencyjnego  $k=11/2$  ( $PE_N$ )



# Wyniki pomiarów



Tabela 3. Zestawienie wybranych danych dla prób z ładowaniem sekwencyjnym

k	Naładowanie		Sposób	Czas real.	Czas real.	Czas	Ilość	Ilość	Sprawność
$t_{ij}/t_{pj}$	początek	koniec	wyłączenia	ładowania	przerw	całkowity	energii	energii	
$PE_N$	$\theta PE_N$	$\theta PE_N$		$t_f$	$t_p$	$t_{tc}$	$E_{we}$	$E_{wy}$	
m/m	%	%	R/A	minuty	minuty	minuty	kWh	kWh	
2 / 2	11	97	R	28	26	54	14,27	13	0,91
5 / 2	11	97	R	30	10	40	14,04	12	0,85
8 / 2	12	97	R	32	6	38	14,5	13	0,90
11 / 2	11	97	R	33	4	37	13,97	13	0,93

## Wyniki pomiarów

Dla rozwoju elektromobilności potrzebne jest ograniczenie emisyjności źródeł energii elektrycznej, z których zasilane są ładowarki pojazdów elektrycznych. Rozwój wg Komisji Europejskiej UE zmierza do wprowadzania niskich limitów emisji CO<sub>2</sub> z miksów energetycznych źródeł wytwórczych energii elektrycznej krajowych systemów elektroenergetycznych członków UE.

Aktualny wymagany limit emisyjności CO<sub>2</sub> jest ustalony na 550 gCO<sub>2</sub>/kWh. Warto zwrócić uwagę na różnice osiąganey emisyjności w krajach i źródłach energetycznych.

Tabela 4. Zestawienie emisyjności wybranych technologii wytwarzania energii w gCO<sub>2</sub>/kWh i w gCO<sub>2</sub>/km

L.p.	Rodzaj źródła energii	Emisyjność	Emisyjność
		CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
		gCO <sub>2</sub> /kWh	gCO <sub>2</sub> /km
1	Miks energetyczny - Niemcy	570	114
2	Miks energetyczny - Chiny	712	140
3	Miks energetyczny - Polska	755	151
4	Miks energetyczny - Norwegia	30	6
5	Miks energetyczny - Szwecja	70	14
6	Miks energetyczny - Francja	100	20
7	Elektrownie wiatrowe Offshore	4,7	0,9
8	Biogazownie	27	5,4
9	Elektrownie fotowoltaiczne	16	3,2
10	Pojazdy z silnikiem benzynowy	316	120
11	Pojazdy z silnikiem Diesla	291	105
12	Pojazdy z napędem hybrydowym	135 -190	50-70





## Wyniki pomiarów

Tabela 5. Przykłady pojazdów elektrycznych wraz z ich specyfikacją

		Tramwaj	Trolejbus	Autobus el.	Samochód el.
Rodzaj emisji	Jedn	Pesa Swing 120Na	Solaris Trollino 18	Solaris Urbino 12 electric	Volkswagen e-Golf
CO <sub>2</sub>	g/km	3202	1132	1054	99,2
SO <sub>x</sub>		3,354	1,186	1,104	0,104
NO <sub>x</sub>		3,378	1,195	1,112	0,105
CO		1,033	0,365	0,34	0,032
Pył		0,217	0,0769	0,07156	0,00673
Silnik	-	asynchroniczny	asynchroniczny	asynchroniczny	synchroniczny z magnesami trwałymi
P <sub>max</sub>	kW	4 x 105	250	160	100
v <sub>max</sub>	km/h	70	65	50	150
Zasięg	km	-	-	150	300
Max. liczba pasażeró	os	122 (44 miejsca siedzące)	83 (40 miejsc siedzących)	99 (39 miejsc siedzących)	5
Zasilanie	-	sieć trakcyjna 0,6 kV DC	sieć trakcyjna 0,6 kV DC	baterie Li-Ion 210 kWh	baterie Li-Ion 35,8 kWh
Z <sub>en.el</sub>	kWh/km	4,1	1,45 <sup>1)</sup>	1,35	0,127



Dla orientacji w szeroko rozumianym transporcie, w tabeli 5 przedstawiono **wyniki obliczeń ilości emisji do otoczenia z tytułu wytworzenia takiej ilości energii elektrycznej w elektrowniach, jaka jest potrzebna do pokonania 1km przez każdy z przykładowych pojazdów.**



## Wnioski

- W procesie badawczo-rozwojowym określono wartości: jednostkowego czasu ładowania  $t_{lj}$ , jednostkowego czasu przerwy  $t_{pj}$  i ich relacji  $k=t_{lj}/t_{pj}$  w warunkach szybkiej ładowarki DC, pojazdu marki NISSAN i miksu energetycznego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, spełniające kryteria optymalnej jakości produktu (energii ładowania), efektywności energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej procesu oraz nieszkodliwości produktu i procesu ładowania.
- Charakter zmienności wartości mocy elektrycznej pobieranej przez ładowarkę dla sekwencyjnego ładowania magazynu energii w samochodzie jest istotnie różny od ładowania ciągłego. Liczba cykli ładowania podczas sekwencyjnego ładowania ma wpływ na większe zużycie energii ze źródła zasilania.



## Wnioski

- Analizując dostępne źródła można wykazać istotną różnicę w kosztach ładowania pojazdów elektrycznych realizowanych z ładowarek szybkich (DC) rozlokowanych przy arteriach komunikacyjnych w stosunku do kosztów ładowania z ładowarek (AC) rozlokowanych w obiektach użyteczności publicznej i prywatnych.
- Ważnym wnioskiem analizy w kontekście ekologicznym jest potrzeba zwiększenia udziału energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych wykorzystywanej w procesie ładowania pojazdów elektrycznych, aby poprawić efekt ekologiczny związany z eksploatacją pojazdów elektrycznych. Odniesienie do tzw. transportu społecznego ujawnia dodatkowe aspekty korzyści i kosztów energetycznych, ekologicznych oraz ekonomicznych.





**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**

**Kazimierz S. BIELIŃSKI**  
[Kazimierz.Bielinski@utp.edu.pl](mailto:Kazimierz.Bielinski@utp.edu.pl)

**Paweł MŁODZIKOWSKI**  
[Pawel.mlodzikowski@pw.edu.pl](mailto:Pawel.mlodzikowski@pw.edu.pl)

