

Ewa MARDEUSZ¹

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_09

SILNIKI SPALINOWE W DOBIE ELEKTROMOBILNOŚCI

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, silniki elektryczne, elektromobilność, metody szeregów czasowych*

W artykule zostały omówione główne źródła napędu pojazdów osobowych stanowiących element transportu drogowego. Dokonano klasyfikacji silników spalinowych i elektrycznych ze względu na wybrane kryteria. Dokonano przeglądu regulacji prawnych skorelowanych z rozwojem elektromobilności. Na podstawie dostępnych danych w oparciu o model regresji liniowej oszacowano liczbę zarejestrowanych pojazdów elektrycznych i urządzeń wyposażonych w silniki spalinowe na okres listopad 2022 – styczeń 2023. Po przeprowadzonym przeglądzie literaturowym i analizie wyciągnięto wnioski.

1. WSTĘP

Pojęcie transportu jest definiowane jako „*proces technologiczny wszelkiego przenoszenia na odległość, czyli przemieszczania osób przedmiotów lub energii*” [1]. Integracja elementów tworzących systemy transportowe pobudza rozwój gospodarczy regionów, maksymalizuje poziom życia mieszkańców i przyczynia się do wzrostu PKB. W literaturze przedmiotu identyfikuje się zdywersyfikowane grupy klasyfikacji systemów transportowych. Ze względu na kryterium środowiskowe można wyróżnić systemy transportu drogowego, wodnego i powietrznego. Transport drogowy jest uznawany za najczęściej wykorzystywaną metodę translokacji. Średni udział transportu drogowego w przewozach towarowych w latach 2017 – 2021 wynosił 88,8 %. Elementem warunkującym dynamikę udziału systemów transportu drogowego jest koncentracja na rozwoju obszarów ekonomicznych, prawnych i technicznych. Globalizacja rynku i uwarunkowania środowiskowe wymagają wprowadzania nieustannych zmian w obszarze technicznym transportu drogowego. Istotną rolę odgrywają aspekty związane z elektryfikacją pojazdów eksploatowanych w ramach realizacji zadań transportowych. W ostatnich latach na rynku transportowym można zaobserwować systematyczny wzrost liczby pojazdów wyposażonych w silniki elektryczne, które stanowią element konkurencyjny dla tradycyjnych (spalinowych) roz-

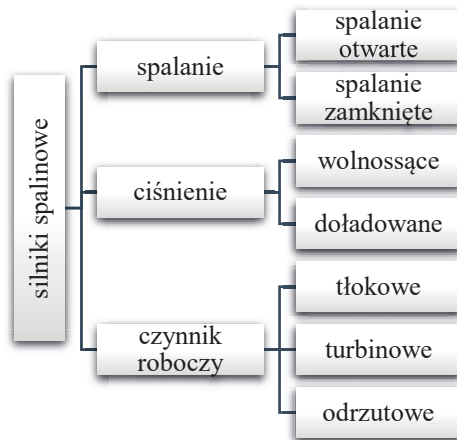
¹ Politechnika Wrocławska, KN Logistics

wiązań. Podstawowym celem artykułu było zidentyfikowanie głównych źródeł napędu pojazdów osobowych i regulacji prawnych skorelowanych z ich rozwojem. Dodatkowo zaprezentowano prognozę ilościową wybranych źródeł napędu na trzy kolejne okresy.

2. SILNIKI SPALINOWE I ELEKTRYCZNE JAKO GŁÓWNE ŹRÓDŁA NAPĘDU W POJAZDACH OSOBOWYCH

Przemysł motoryzacyjny jest uznawany za jedną z najważniejszych gałęzi przemysłu ze względu na kryterium przychodów. Zmianie ulega nie tylko wygląd zewnętrzny, ale także wyposażenie. Jednym z elementów będących przedmiotem badań w zakresie konstrukcyjnym samochodów osobowych jest źródło napędu.

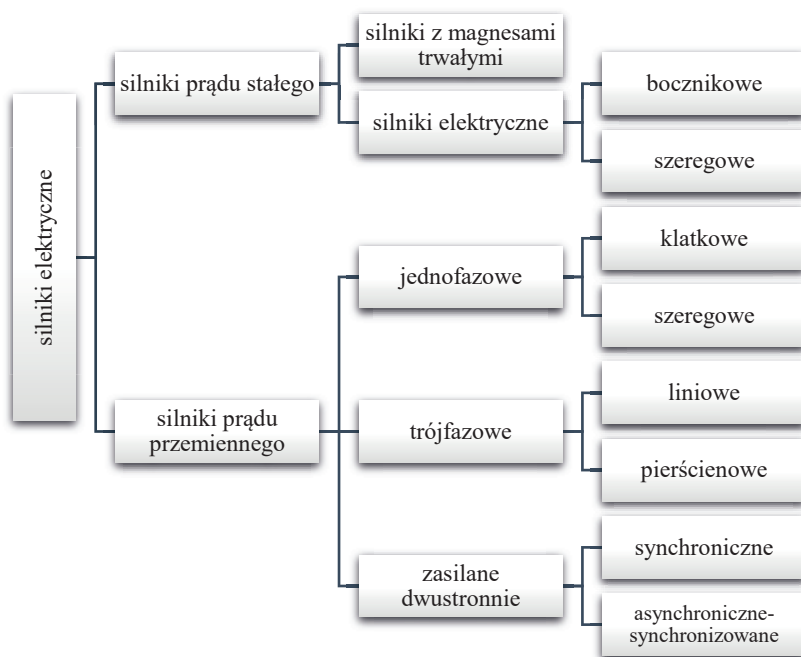
Za podstawowe źródło napędu w pojeździe uznaje się silniki spalinowe. Pierwsze silniki spalinowe znajdowały zastosowanie na przełomie XVII wieku. Wzrost zainteresowania omawianym elementem konstrukcyjnym był jednym z czynników wspierających rewolucję przemysłową. W 1892 roku została opracowana zasada funkcjonowania silnika spalinowego przez Rudolfa Diesel [2]. Silniki spalinowe są definiowane jako grupa silników cieplnych, w których zachodzi przemiana energii cieplnej na energię mechaniczną. Na rysunku 1 zaprezentowano podstawowe rodzaje omawianych urządzeń.



Rys. 1. Klasyfikacja silników spalinowych [2]
Fig. 1. Classification of internal combustion engines [2]

Klasyfikacja zaprezentowana na rysunku 1 obejmuje trzy kategorie silników spalinowych, w których uwzględniono rodzaj spalania, ciśnienie w kolektorze ssącym i czynnik roboczy.

W ostatnich latach na rynku można zaobserwować wzrost zainteresowania silnikami elektrycznymi. Pierwsze modele omawianego typu rozwiązania pojawiły się już 1837 roku [3]. W silniku elektrycznym zachodzi przemiana energii elektrycznej na energię mechaniczną. Podstawową klasyfikację silników elektrycznych ze względu na sposób zasilania zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Klasyfikacja silników elektrycznych ze względu na sposób zasilania [4]

Fig. 2. Classification of electric motors by power source [4]

Klasyfikacja silników elektrycznych ze względu na rodzaj zasilania obejmuje dwie główne kategorie omawianych urządzeń: silniki prądu stałego i silniki prądu przemiennego.

Silniki spalinowe mogą stanowić główne źródło napędu w pojazdach osobowych. Charakteryzują się wysoką sprawnością, prostą budową i gotowością do pracy w krótkim czasie. Niemniej jednak powszechne stosowanie omawianej kategorii napędu powoduje emisję szkodliwych substancji do środowiska. Dyrektywy unijne wymuszają stosowanie technologii ograniczających emisję szkodliwych substancji. Zadania te mogą być realizowane przez reaktory trójfunkcyjne, układy recyrkulacji spalin i filtry cząstek stałych. Silniki eklektyczne znajdują również powszechne zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym. Producenci z uwagi na liczne wytyczne Unii Europejskiej coraz częściej podejmują działania mające na celu elektryfikację

floty transportowej. Maksymalizacja zainteresowania silnikami elektrycznymi koreluje także ze wsparciem finansowym poszczególnych krajów w obszarze zakupu. Przykładowo Francja pokrywa około 30% kosztu nabycia pojazdu z silnikiem elektrycznym. Dodatkową zaletą jest stosowanie wsparcia finansowego w postaci likwidacji opłat drogowych i parkingowych.

3. UWARUNKOWANIA PRAWNE ROZWOJU ŹRÓDEŁ NAPĘDU

Aspekty środowiskowe w znaczący sposób wpływają na rodzaj wykorzystywanych źródeł napędu w pojazdach. Elementem wspierającym działania w zakresie ekologii są krajowe i europejskie regulacje prawne.

W tabeli 1 zaprezentowano główne europejskie uwarunkowania prawne wpływające na rodzaj stosowanych źródeł napędów w pojazdach osobowych.

Tab. 2. Wybrane europejskie regulacje prawne dotyczące źródeł napędu w pojazdach osobowych [5, 6]

Tab. 2. Selected European regulations on power sources in passenger vehicles [5, 6]

Element	Opis
Europejski standard emisji spalin	Normy określające poziom dopuszczalnych emisji spalin w nowych pojazdach. Dotyczą głównie emisji tlenków azotu, cząstek stałych, węglowodorów i tlenków węgla. Znajdują zastosowanie od 1993 roku w oparciu o serię Dyrektyw Europejskich. Kolejne normy charakteryzują się zwiększeniem restrykcyjności.
Europejski Zielony Ład	Pakiet elementów ustawodawczych, których głównym celem jest dostosowanie obszarów energetycznych, klimatycznych, transportowych i podatkowych w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do poziomu 55%.
Biała Księga Transportu	Koncepcja utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu.
Elektromobilne plany Unii Europejskiej	Plany obejmujące zmiany w zakresie rozwoju elektromobilności. Głównym jej celem jest dekarbonizacja sektora transportu drogowego.

Przedstawione w tabeli 2 elementy prawne wpływają na rodzaj wykorzystywanego źródła napędu w pojazdach osobowych. W listopadzie 2022 roku Komisja Europejska zaprezentowała kolejną propozycję dla normy Euro 7. Koncentruje się ona na ograniczeniach emisji dla silników spalinowych jak również wyznaczeniu minimalnej trwałości baterii elektrycznych stosowanych w omawianych środkach transportu [5]. Dodatkowo 14 lipca 2022 roku opublikowane zostały kolejne akty prawne w zakresie Europejskiego Zielonego Ładu. Koncepcja Fit for 55 zakłada, że emisja

gazów ciepłarniach emitowanych przez pojazdy osobowe powinna zostać zredukowana o ponad 37%. Dokument ma wspierać także zastosowanie mechanizmów minimalizujących czas wymiany floty na niskoemisyjne środki transportu. Elektromobilne plany Unii Europejskiej obejmują m.in. aspekty związane z dyrektywą baterijną i rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [6].

Zgodnie z raportem NIK opublikowanym w 2020 roku głównymi elementami ustawodawczymi w Polsce związanymi ze źródłem napędu są rządowe dokumenty strategiczne i ustawy oraz akty wykonawcze [7]. Wśród głównych Polskich regulacji prawnych skorelowanych z rodzajem wykorzystywanych źródeł napędu można wskazać [7]:

- Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych – dokument opracowany z uwagi na dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. W kontekście źródeł napędu omawiany dokument wspiera stosowanie elektrycznych silników spalinowych poprzez rozwój infrastruktury i wprowadzanie benefitów dla użytkowników niskoemisyjnych środków transportu.
- Plan Rozwoju Elektromobilności – opracowany przez Ministerstwo Energii, koncentruje się na upowszechnieniu stosowania pojazdów elektrycznych. Krajowe Plany Rozwoju Elektromobilności zakładają również stabilizację sieci elektroenergetycznej. Cele wskazane w omawianym dokumencie powinny zostać zrealizowane do końca 2025 roku.

Dodatkowymi regulacjami prawnymi wpływającymi na rodzaj stosowanych źródeł napędu w pojazdach osobowych są Krajowe Ramy Polityki. Elementy ustawodawcze koncentrują się nie tylko na popularyzacji silników elektrycznych. W zakresie wymogów dotyczących emisji zanieczyszczeń silników spalinowych istotnym dokumentem są m.in. Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczególnych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silnik.

4. PROGNOZA ILOŚCIOWA ŹRÓDEŁ NAPĘDU W POJAZDACH OSOBOWYCH W OPARCIU O MODEL REGRESJI LINIOWEJ

Przedmiotem analizy zostały pojazdy osobowe (zarejestrowane w Polsce) wyposażone w silniki z napędem elektrycznym i tradycyjne silniki spalinowe. Wnioskowanie poddano grupę samochodów elektrycznych obejmujących samochody typu BEV i PHEV. W przypadku pojazdów wyposażonych w silniki spalinowe uwzględniono urządzenia zasilane olejem napędowym i benzyną. Do prognozowania wykorzystano model regresji liniowej. Metoda znajduje zastosowanie w przypadku występowania trendu. Umożliwia zaprezentowanie prognozy w postaci funkcji liniowej. Model regresji liniowej zakłada, że zależność pomiędzy zmienną objaśnianą

a objaśniająca jest zależnością liniową [8]. Na podstawie danych zaprezentowanych w tabeli 4 została wyznaczona prognoza zgodnie z równaniem 1 [9].

$$y = \hat{a} + \hat{b}x \quad (1)$$

gdzie:

\hat{a} – wyraz wolny funkcji

\hat{b} – współczynnik kierunkowy funkcji

x – wartość niezależna wykorzystana do prognozowania cechy y

y – wartość prognozy dla zmiennej y

Wartości wyrazu wolnego funkcji i współczynnika kierunkowego wyznaczono na podstawie danych szeregów czasowych. Otrzymane wartości zaprezentowano w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości wyrazu wolnego i współczynnika kierunkowego [opracowanie własne]

Tab. 3. Values of free expression and directional coefficient [opracowanie własne]

	Szacowana wartość wyrazu wolnego	Szacowana wartość współczynnika kierunkowego
Pojazdy z napędem spalinowym	1 869,59	147 581,03
Pojazdy z napędem elektrycznym	12 769,20	-377,535

Na podstawie dostępnych danych liczbowych wyznaczone zostały miesięczne wskaźniki sezonowości. Zestawienie wykonanych obliczeń zaprezentowano w tabeli 4.

Tab. 4. Prognoza liczby zarejestrowanych pojazdów w okresie listopad 2022 - styczeń 2023 [opracowanie własne na podstawie 10,11]

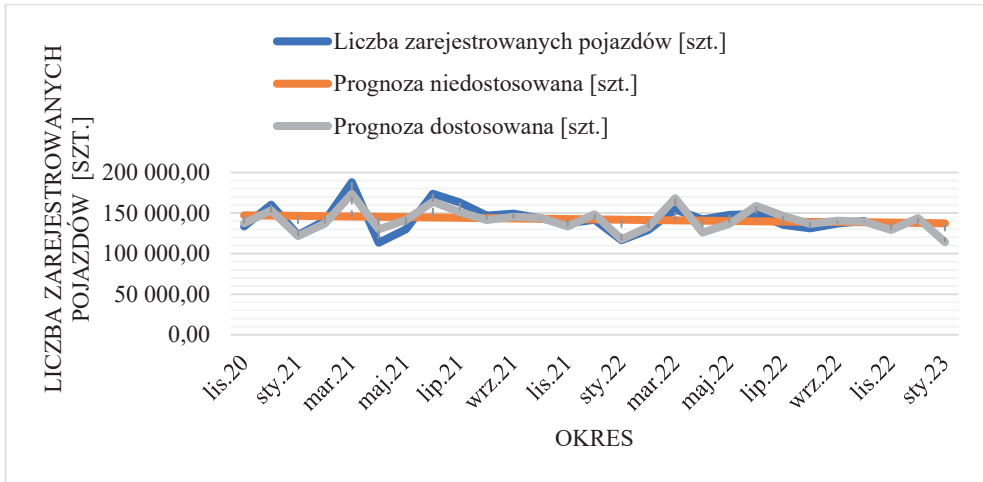
Tab. 4. Forecast of the number of registered vehicles between November 2022 - January 2023 [opracowanie własne na podstawie 10,11]

Okres	Pojazdy z napędem elektrycznym				Pojazdy z napędem spalinowym			
	Liczba zarejestrowanych pojazdów [szt.]	Prognoza niedostosowana [szt.]	Miesięczny wskaźnik sezonowości	Prognoza dostosowana [szt.]	Liczba zarejestrowanych pojazdów [szt.]	Prognoza niedostosowana [szt.]	Miesięczny wskaźnik sezonowości	Prognoza dostosowana [szt.]
lis.20	17 121	14 639	1,06	15 514	133 626	147 203	0,93	137 618
gru.20	18 875	16 508	1,06	17 491	160 577	146 825	1,05	153 474

sty.21	19 671	18 378	1,02	18 690	122 902	146 448	0,83	121 707
lut.21	20 504	20 248	1,01	20 382	140 608	146 070	0,94	136 915
mar.21	22 291	22 117	1,01	22 375	188 058	145 693	1,19	173 823
kwi.21	23 834	23 987	0,99	23 685	113 409	145 315	0,90	130 090
maj.21	25 407	25 856	1,00	25 734	129 964	144 938	0,97	141 311
cze.21	26 985	27 725	0,99	27 584	173 944	144 560	1,13	163 816
lip.21	28 301	29 595	0,99	29 190	163 018	144 183	1,05	151 464
sie.21	29 820	31 465	0,98	30 768	147 111	143 805	0,98	141 315
wrz.21	31 633	33 334	0,99	32 928	149 352	143 428	1,01	145 413
paź.21	33 143	35 204	0,99	34 761	143 568	143 050	1,01	144 180
lis.21	35 222	37 073	1,06	39 291	137 252	142 673	0,93	133 382
gru.21	38 001	38 943	1,06	41 263	141 855	142 295	1,05	148 738
sty.22	39 328	40 813	1,02	41 506	116 785	141 917	0,83	117 942
lut.22	42 711	42 682	1,01	42 967	129 092	141 540	0,94	132 669
mar.22	45 242	44 552	1,01	45 072	154 626	141 162	1,19	168 418
kwi.22	45 552	46 421	0,99	45 839	142 196	140 785	0,90	126 034
maj.22	48 675	48 291	1,00	48 063	147 888	140 407	0,97	136 894
cze.22	50 990	50 161	0,99	49 905	148 873	140 030	1,13	158 682
lip.22	52 881	52 030	0,99	51 317	135 515	139 652	1,05	146 705
sie.22	54 331	53 900	0,98	52 706	131 251	139 275	0,98	136 863
wrz.22	57 256	55 769	0,99	55 089	137 006	138 897	1,01	140 820
paź.22	59 564	57 639	0,99	56 914	140 208	138 520	1,01	139 614
lis.22		59 508	1,06	63 067		138 142	0,93	129 147
gru.22		61 378	1,06	65 035		137 765	1,05	144 003
sty.23		63 248	1,02	64 322		137 387	0,83	114 177

Zaprezentowana w tabeli 4 prognoza obejmuje okres 3 miesięcy: listopad 2022, grudzień 2022 i styczeń 2023.

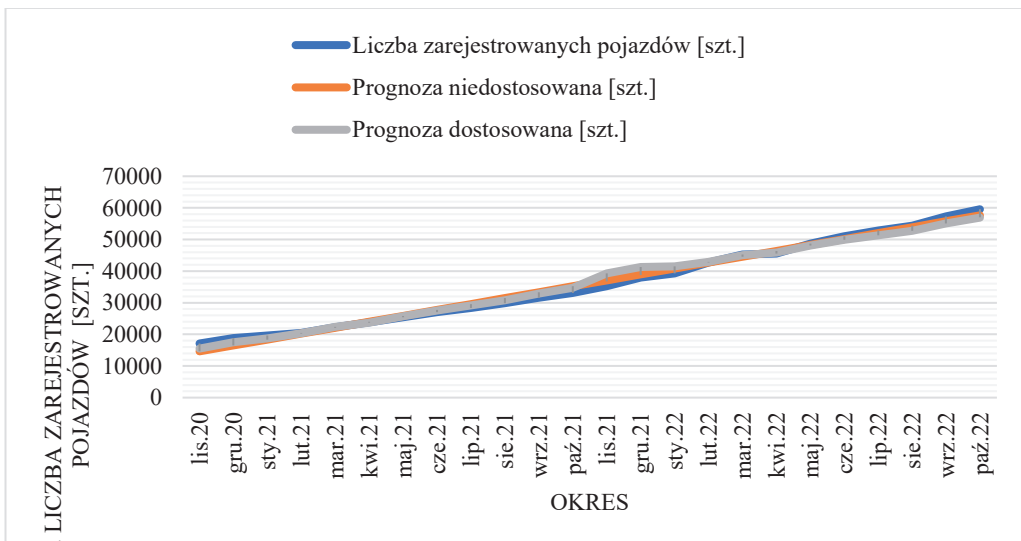
Zgodnie z modelem regresji liniowej prognoza liczby zarejestrowanych samochodów elektrycznych została zaprezentowana na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Prognoza liczby pojazdów spalinowych w Polsce (listopad 2020 – styczeń 2023) [opracowanie własne]

Fig. 3. Forecast of the number of internal combustion vehicles in Poland (November 2020 - January 2023) [opracowanie własne]

Dane zaprezentowane na rysunku 3 wskazują na znaczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów spalinowych w Polsce do poziomu 114 tys. w styczniu 2023 roku.



Rys. 4. Prognoza liczby pojazdów spalinowych w Polsce (listopad 2020 – styczeń 2023) [opracowanie własne]

Fig. 4. Forecast of the number of internal combustion vehicles in Poland (November 2020 - January 2023) [opracowanie własne]

Dane zaprezentowane na rysunku 4 wskazują na znaczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów elektrycznych w Polsce do 64 322 w styczniu 2023 roku.

5. PODSUMOWANIE

Silniki spalinowe i elektryczne są uznawane za główne źródła napędu w pojazdach osobowych. Podstawowym, elementem dywersyfikującym omawianą grupę urządzeń jest mechanizm przemian energetycznych. Elementem warunkującym stosowanie określonych źródeł napędu są regulacje prawne, zarówno w skali europejskiej jak i krajowej. Aspekty środowiskowe i energetyczne znacząco oddziałują na przemysł motoryzacyjny. Od kilku lat w Polsce można obserwować wzrost znaczenia pojazdów wyposażonych w silniki spalinowe. Średni wzrost liczby omawianej kategorii pojazdów w okresie listopad 2020 – październik 2022 wyniósł około 5%. Z kolei liczba zarejestrowanych pojazdów z silnikiem spalinowym jest znacząco większa w porównaniu do ich elektrycznych odpowiedników. W analizowanym okresie różnica liczby zarejestrowanych samochodów zasilanych tradycyjnymi źródłami napędu a alternatywnymi wynosiła około 74%. Przy czym średni wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów spalinowych wyniósł około 3%. Zaprezentowane w pracy elementy mogą stanowić wstęp do dalszych rozważań obejmujących czynniki zewnętrznie wpływające na rodzaj stosowanych źródeł napędu w pojazdach osobowych.

LITERATURA

- [1] TARSKI L., *Ekonomika i organizacja transportu międzynarodowego*. Warszawa 1993, s. 11.
- [2] ZAJĄC P., *Silniki pojazdów samochodowych Budowa, obsługa, diagnostyka i naprawa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2018.
- [3] DOPPELBAUER M., *The invention of the electric motor 1800-1854*, Karlsruhe Institute of Technology, 2018.
- [4] HUGHES A., *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, Elsevier, 2006.
- [5] <https://ec.europa.eu/> (dostęp: 23.11.2022).
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=pl> (dostęp: 23.11.2022).
- [7] <https://www.nik.gov.pl/> (dostęp: 23.11.2022).
- [8] <https://stat.gov.pl/metainformacje/szeregi-czasowe-4712/> (dostęp: 28.10.2022).
- [9] CHEN R. J. C., BLOOMFIELD P., FU J. S., *An Evaluation of Alternative Forecasting Methods to Recreation Visitation*, Journal of Leisure Research, 2003, Vol. 35, No. 4, 441 – 454.
- [10] pspa.com.pl (dostęp: 28.10.2022).
- [11] <https://www.pzpm.org.pl/> (dostęp: 28.10.2022).

INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN THE AGE OF ELECTROMOBILITY

Key words: *internal combustion engines, electric engines, electromobility, time series methods*

The article discusses the primary sources of propulsion of passenger vehicles that are part of road transport. The classification of internal combustion engines and electric motors due to selected criteria was made. Legal regulations correlated with the development of electromobility were reviewed. Based on available data and a linear regression model, the number of registered electric vehicles and devices equipped with internal combustion engines was estimated for November 2022-January 2023. After the literature review and analysis, conclusions were drawn.

Corresponding author:

e-mail: ewa.mardeusz@pwr.edu.pl