

Przestrzenno-czasowa weryfikacja energochłonności jazdy po autostradzie w zakresie istotności jej zachodzenia

Zbigniew Burski, Hanna Krasowska-Kotłodziej, Izabela Mijalska-Szewczak

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób przestrzenno-czasowej weryfikacji rozkładu prędkości jazdy pojazdu po autostradzie. Uzyskane wyniki badań prawdopodobieństwa rozkładu energochłonności przestrzennej (strumienia) pojazdów porównano z krotnością pomiarów prędkości jazdy w odpowiednich odstępach czasu na danej trasie. Wykazano zgodność analizowanych relacji rozkładu w zakresie istotności statystycznej ich zachodzenia w obu dziedzinach. Dzięki temu uzyskano optymalny model wydatkowania energii kinetycznej dla analizowanej infrastruktury komunikacyjnej.

Słowa kluczowe: logistyka transportowa, energochłonność pojazdu, rozkład prędkości, dziedzina czasu i przestrzeni, autostrada.

WPROWADZENIE

Globalizacja gospodarki światowej, w tym również gospodarki żywnościowej, jaka ma miejsce w obecnych czasach, jest ściśle powiązana z rozwojem potrzeby transportowej [5,11,12,13,14]. Szczególna rola przypada tu transportowi środków i produktów spożywczych, wymagających specyficznych form transportu i czasu jego trwania [1,2,10]. Prowadzona w tym zakresie działalność gospodarcza dotyczy nie tylko przewozu surowców pochodzenia rolniczego, produktów spożywczych, ale i wywozu odpadów poprodukcyjnych i poeksploatacyjnych [3,9].

W dotychczasowych, licznych opracowaniach naukowych transport w rolnictwie rozpatrywany był przeważnie w formie „lokalnej”, czy regionalnej [8]. Przemiany polityczno-gospodarcze kraju spowodowały powstanie coraz liczniejszych, prywatnych przedsiębiorstw transportowych (PPT), specjalizujących się również w transporcie żywności na trasach krajowych i międzynarodowych [14,15].

W dokumentach UE [9] podkreśla się wagę stosowania nowych, innowacyjnych technologii nie tylko w zakresie

budowy pojazdów [4], ale i sposobu zarządzania ruchem, w celu sprawnego, efektywnego, bezpiecznego ale i energooszczędnego transportu. Jest to podstawa do rozwoju konkurencyjnej, czyli zrównoważonej, globalnej mobilności [6]. Tym bardziej, że według przeprowadzonych badań [9], 54% kosztów transportowych przedsiębiorstwa stanowią stale wzrastające koszty paliwowe.

CEL PRACY

Niniejsza praca ma na celu, poprzez wykorzystanie elektronicznego zapisu tachograficznego (jako dokumentu technicznej oceny przebiegu eksploatacji pojazdu) określić rzeczywisty wpływ infrastruktury na kształtowanie się energochłonności pojazdu w warunkach konkretnej drogowej infrastruktury komunikacyjnej. W niniejszym przypadku – autostrady, wykorzystując w matematyczno-statystycznej analizie odpowiednie procedury istotności zachodzenia istniejących zależności.

METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

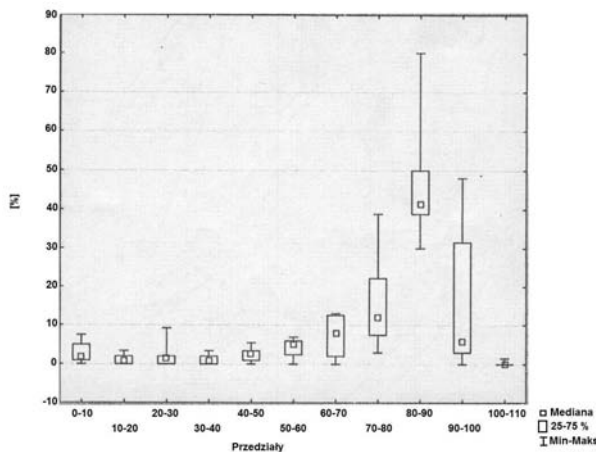
W przyjętej metodyce badań podjęto próbę weryfikacji energochłonności jazdy pojazdu w dziedzinie przestrzeni (analogowo) oraz czasu (cyfrowo). Przedmiotem analizy był rozkład prawdopodobieństwa amplitud prędkości jazdy. Charakterystykę materiału badawczego (analogowego) przedstawiono w tabeli 1. Liczebność analizowanych prób materiału badawczego- cyfrowego wynosiła około 9600 obserwacji. W związku z tym, w pracy podano jedynie ostateczne wyniki obliczeń zachodzących istotności statystycznych tego rozkładu.

Do opisu prędkości jazdy pojazdu wykorzystano miary pozycyjne (mediana, kwantyle). Inne dane statystyczne, charakteryzujące materiał badawczy w funkcji poszczególnych przedziałów prędkości, czy istniejących istotności ich zachodzenia pomiędzy sobą, przedstawiono tabelarycznie (tab. 2,3). Przyjęte miary pozycyjne, jak np. odchylenie standardowe opisujące rozrzut prędkości, wykorzystywane są w metodyce inżynierii ruchu drogowego do określania poziomu jego bezpieczeństwa [4,6].

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

Uzyskane wyniki badań przedstawiono w sposób tabelaryczny. Charakterystykę przedstawionych wartości statystycznych poszczególnych odczytów analogowych (1-17) zawarto w tab. 2, a w przedziałach prędkości jazdy (1-11), w tab. 3.

Zastosowanie testu ANOVA rang Kruskala-Wallisa (tab. 4) wykazało istotne różnice pomiędzy grupami (podziałami prędkości), gdzie $\chi^2 = 117,1$, $p < 0,001$. Natomiast nie można stwierdzić istotnych różnic dla % prawdopodobieństwa względem cechy y przedziału prędkości, rys. 1.



Rys. 1. Wykres ramkowy rozkładu mediany prędkości jazdy dla autostrady w dziedzinie przestrzeni (strumienia ruchu drogowego)

Fig. 1. Frame chart of speed median distribution on a motorway in the space domain (traffic flow)

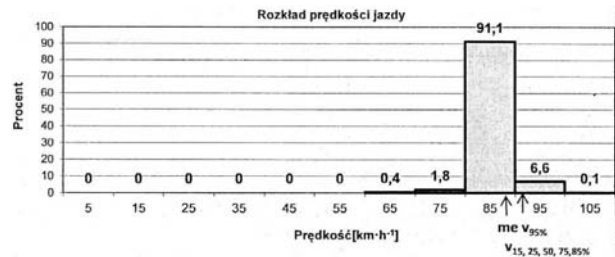
Tabela 1. Materiał badawczy (analogowy)

Table 1. Research material (analog)

Lp.	Przedziały prędkości	Procent prawdopodobieństwa amplitud																
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}	y_{16}	y_{17}
1	0-10	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	4,0	6,0	7,5	7,0	5,0	4,0	2,0	1,0	0,0	6,8	0,0
2	10-20	1,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,0	8,0	3,0	1,5	3,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
3	20-30	2,0	0,0	0,0	1,5	2,0	1,0	0,0	1,5	1,5	0,5	1,0	3,0	2,0	0,0	9,2	1,7	0,0
4	30-40	2,0	0,0	0,0	1,5	3,0	1,0	0,0	2,0	0,0	3,0	0,0	2,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
5	40-50	3,0	4,0	4,0	3,0	5,5	1,0	1,0	2,5	4,0	3,0	2,5	2,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
6	50-60	7,0	4,0	4,0	6,0	5,5	6,0	2,5	8,0	6,5	6,0	7,0	2,0	2,0	3,0	0,0	5,1	0,0
7	60-70	12,5	8,0	0,0	15,5	5,5	7,5	4,0	10,5	13,0	10,0	13,0	1,0	2,0	2,0	12,9	10,2	0,0
8	70-80	21,0	16,0	3,0	21,0	5,5	38,0	7,5	11,0	23,0	11,0	23,0	5,0	6,0	4,0	38,8	11,9	22,2
9	80-90	48,0	32,5	54,0	47,5	34,5	40,0	80,1	50,0	41,0	51,0	41,5	40,0	30,0	45,0	38,8	50,8	33,3
10	90-100	0,0	32,5	31,0	1,0	28,0	4,0	4,0	3,0	6,0	2,5	6,0	31,5	48,0	45,0	0,0	3,4	44,4
11	100-110	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

W tabeli 5 zawarto wynik rangowego testu porównań wielokrotnych (istotne różnice pogrubiono).

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę rozkładu prędkości jazdy w dziedzinie czasowej, w ujęciu zapisu cyfrowego.



Rys. 2. Charakterystyka rozkładu prędkości jazdy na autostradzie w dziedzinie czasowej

Fig. 2. Characteristics of speed distribution on a motorway in the time domain

W tabeli 6 przedstawiono statystyki opisowe, charakteryzujące rozkład prędkości (w $\text{km} \times \text{h}^{-1}$) na autostradzie w dziedzinie czasowej.

Ze względu na dużą liczbę obserwacji (tab. 6) zapisu cyfrowego, można przyjąć, że rozkład ten (rys. 2) stanowi ogólny model czasowego rozkładu prędkości dla autostrady. Uzyskane dane można porównać z wynikami podobnych badań z zakresu infrastruktury drogi ekspresowej, czy ruchu miejskiego [9]. Okazuje się, że najkorzystniejsze pod względem bezpieczeństwa są warunki panujące na autostradzie. Uzasadnia to wartość percentyla V_{85} , która wynosiła $89 \text{ km} \times \text{h}^{-1}$ i nie przekroczyła dopuszczalnego limitu prędkości [6].

WNIOSKI

Przeprowadzone badania nad przestrzenno-czasowej weryfikacji energochłonności pojazdu na autostradzie w postaci ogólnej wykazały, że:

- istnieje możliwość określenia optymalnego modelu wydatkowania energii kinetycznej prędkości jazdy wybranej infrastruktury drogowej,

Tabela 2. Parametry statystyczne rozkładu prawdopodobieństwa amplitudy**Table 2.** Statistical parameters of the amplitude probability distribution

Wyszczególnienie	Procent prawdopodobieństwa amplitud danych pomiarowych																
	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉	y ₁₀	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅	y ₁₆	y ₁₇
\bar{x}	8,9	9,0	9,0	8,7	8,5	9,1	9,4	8,7	9,5	8,8	9,1	8,5	8,9	9,1	9,1	9,1	9,1
Me	2,5	4,0	2,5	2,3	5,5	2,5	3,3	4,5	6,3	4,5	5,5	3,0	2,0	1,5	0,0	4,3	0,0
Do	1	0	0	1	5,5	1	0	6	1,5	3	1	2	2	0	0	3,4	0
σ^2	210,5	157,8	302,4	206,8	132,2	223,9	556,1	200,5	155,1	208,5	162,9	187	239,5	317,1	235,8	203,7	266,6
$\nu\sigma^2$	14,5	12,6	17,4	14,4	11,5	15,0	23,6	14,2	12,5	14,4	12,8	13,7	15,5	17,8	15,4	14,3	16,3
Vz	1,6	1,4	1,9	1,6	1,4	1,6	2,5	1,6	1,3	1,6	1,4	1,6	1,7	2,0	1,7	1,6	1,8
Skośność	0,54	0,72	0,52	0,54	0,26	0,54	0,40	0,19	0,64	0,40	0,83	0,48	0,45	0,51	0,59	0,40	0,56

Tabela 3. Parametry statystyczne rozkładu**Table 3.** Statistical parameters of the distribution

Lp.	Przedziały prędkości	Parametry statystyczne rozkładu					Skośność	
		\bar{x}	Me	Do	σ^2	$\nu\sigma^2$		Vz
1.	0-10	3,3	2,0	1,0	6,5	2,5	0,8	0,9
2.	10-20	1,4	1,0	0,0	1,5	1,2	0,9	1,1
3.	20-30	1,7	1,5	0,0	4,7	2,2	1,3	0,8
4.	30-40	1,2	1,3	0,0	1,6	1,3	1,0	1,0
5.	40-50	2,6	2,8	3,0	2,6	1,6	0,6	- 0,3
6.	50-60	4,5	5,3	6,0	5,4	2,3	0,5	- 0,6
7.	60-70	7,8	9,0	12,5	24,6	5,0	0,6	- 0,1
8.	70-80	15,4	11,5	21,0	123,3	11,1	0,7	- 0,5
9.	80-90	45,3	43,3	40,0	135,3	11,6	0,3	0,5
10.	90-100	15,4	5,0	0,0	329,3	18,1	1,2	0,8
11.	100-110	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	3,9	0,3

Tabela 4. Wyniki rangowego testu porównań wielokrotnych**Table 4.** Results of the range multiple comparison test

Przedziały prędkości	0-10 R:86,62	10-20 R:58,03	20-30 R:59,97	30-40 R:54,59	40-50 R:81,59	50-60 R:105,44	60-70 R:116,62	70-80 R:146,35	80-90 R:176,53	90-100 R:122,29	100-110 R:259,71
0-10		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,07110	0,00007	1,00000	0,05984
10-20	1,00000		1,00000	1,00000	1,00000	0,58605	0,08803	0,00011	0,00000	0,02954	1,00000
20-30	1,00000	1,00000		1,00000	1,00000	0,78737	0,12534	0,00018	0,00000	0,04333	1,00000
30-40	1,00000	1,00000	1,00000		1,00000	0,33879	0,04589	0,00004	0,00000	0,01460	1,00000
40-50	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000		1,00000	1,00000	0,02672	0,00002	1,00000	0,15055
50-60	1,00000	0,59605	0,78737	0,04589	1,00000		1,00000	1,00000	0,00707	1,00000	0,00103
60-70	1,00000	0,08803	0,12534	0,00004	1,00000	1,00000		1,00000	0,06878	1,00000	0,00006
70-80	0,07110	0,00011	0,00018	1,00000	0,02672	1,00000	1,00000		0,06878	1,00000	0,00000
80-90	0,00007	1,00000	0,00000	1,00000	0,00002	0,00707	0,06878	1,00000		0,19169	0,00000
90-100	1,00000	0,02954	0,04333	0,01460	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,19169		0,00001
100-110	0,05984	1,00000	1,00000	1,00000	0,15055	0,00103	0,00006	0,00000	0,00000	0,00001	

Tabela 5. Statystyki opisowe charakteryzujące rozkład prędkości (w km × h⁻¹) na autostradzie w dziedzinie czasowej**Table 5.** Descriptive statistics characterizing speed distribution (in km × h⁻¹) on a motorway in the time domain

N	Średnia	Odch. std.	Min.	Maks.
9604	88,72	2,27	69	105
Odchylenie ćwiartkowe	Q25	Mediana	Q75	Współ. zmienn. [%]
0,00	89	89	89	0,00
Wsp. asymetrii	Percentyl 15	Percentyl 85	Percentyl 95	Typ przedz. zmienn.
0,00	89	89	91	[89,89]

- weryfikacja optymalnego modelu energochłonności pojazdu winna odbywać się w dziedzinie czasu i przestrzeni,
- podstawą opracowania winien stanowić zapis cyfrowy z uwagi na bardzo dużą możliwość dokładności odczytu i pojemność obserwacji.

Uzyskane wyniki obliczeń istotności statystycznych wykazały, że:

- brak jest istotnych różnic analizowanych parametrów statystycznych w obrębie danych pomiarowych, co wskazuje na przestrzeganie warunków bezpieczeństwa jazdy w wymiarze przestrzennym; współczynnik zmienności danych zawiera się pomiędzy 1,4,2,5,
- istnieją istotne różnice pomiędzy kolejnymi przedziałami prędkości jazdy (grupami), potwierdzano testem Kruskala-Wallisa oraz rangowanym testem porównań wielokrotnych; ujawniają się już pomiędzy przedziałem 40-50 km × h⁻¹ a 60-70 km × h⁻¹ ($p = 0,045$).
- uzyskane parametry statystyczne w dziedzinie czasu jazdy po autostradzie są niewielkie w porównaniu z inną infrastrukturą komunikacyjną; dla autostrady odchylenie standardowe wynosi 2,72, przy zerowym współczynniku zmienności i zerowym współczynniku asymetrii (skośności) rozkładu; dla drogi ekspresowej i miejskiej infrastruktury odchylenie standardowe wynosi odpowiednio 15,20 i 21,89; w mieście też nastąpiło największe rozproszenie określonych miar pozycyjnych prędkości jazdy.

Problematyka energochłonności pojazdu w zakresie prędkości jazdy będzie podmiotem analizy i weryfikacji w dalszych badaniach tego zagadnienia.

LITERATURA

1. **Burski Z., Krasowska-Kołodziej H. 2012.** Modeling of the kinetic energy loss in a vehicle on the basis of cumulative frequency of speed profile parameters. *Econtechmod an International Quarterly Journal*, Vol. 01, No 2, Cracow-Lublin-Lviv, 3-7.
2. **Burski Z., Krasowski E. 2011.** Zastosowanie rozkładu prawdopodobieństwa amplitud prędkości jazdy w badaniach energochłonności pojazdu. *MOTROL*. Wyd. PAN O/Lublin, T. 13D, 14-21.
3. **Burski Z., Mijalska-Szewczak I. 2009.** Analiza parametrów trakcyjnych pojazdu w infrastrukturze autostrady metodą statystyczną WTK. *TEKA KMiER*. Wyd. PAN O/Lublin, T. 9, 11-19.
4. **Datka S., Suchorzewska W., Tracz M. 1999.** Inżynieria ruchu. Wyd. KiŁ, Warszawa 17, 17; 88; 110; 118.
5. **Drewes N., Jespersen H., Petersem T., Freight A. 2003.** Transport growth-a theoretical and methodological Framework, *European Journal of Operational Research*, 144, Elsevier, 295-305.
6. **Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M. 2009.** Inżynieria ruchu drogowego. *Teoria i praktyka*, WKT, Warszawa, 18; 79; 131.
7. **Lehmann E.L. 1968.** Testowanie hipotez statystycznych. PWN, Warszawa.
8. **Marczuk A. 1997.** Organizacja transportu mleka do zakładów mleczarskich przy wykorzystaniu teorii okien czasowych. *Inżynieria Rolnicza*, nr 4 (10), Warszawa, 279-287.
9. **Mijalska-Szewczak I. 2012.** Energochłonność transportu w rolnictwie w aspekcie proekologicznym. Autoreferat rozprawy doktorskiej. UP w Lublinie, WIP, Katedra Energetyki i Pojazdów, Lublin, 20-22.
10. **Neider J. 2008.** Transport międzynarodowy. PWE, 244, Warszawa, 61-62.
11. **Pantalienco L. 2012.** Investigation of parametric model of differentia equations systems stability. *Econtechmod an International Quarterly Journal*, Vol. 01, No 2, Cracow-Lublin-Lviv, 29-42.
12. **Stead D. 2001.** Transport Intercity in Europe – Indicators and Trends. *Transport Policy* 8, Elsevier, London, 29-46.
13. **Szczepaniak C. 1999.** Podstawy modelowania systemu. Człowiek – pojazd – otoczenie. Wyd. PWN, Warszawa, 17-18, 167-176.
14. **Szczepaniak C. 2006.** Transport w nowej epoce. Zagadnienia wybrane. Wyd. Pol. Łódzkiej. Łódź, 48-49.
15. **Zielińska E., Lejda K. 2010.** Analiza i modelowanie procesów logistycznych w zapleczu technicznym transportu samochodowego w aspekcie problemów logistycznych. Oficyna Wyd. Pol. Rzeszowskiej, Rzeszów.

THE SPACE-TIME VERIFICATION OF ENERGY INTENSITY OF DRIVING ON A HIGHWAY WITHIN THE SIGNIFICANCE OF ITS OCCURRENCE

Summary. The paper describes the space-time verification of the velocity distribution of a vehicle on a highway.

The obtained results of probability distribution of spatial energy intensity (of the stream) of vehicles was compared with the multiplied vehicle velocity time at appropriate intervals on the route.

The compliance was demonstrated of the analyzed distribution relationships within the statistical significance of their occurrence in both cases. The result is an optimal model of the kinetic energy expenditure for the analyzed infrastructure.

Key words: transport logistics, energy consumption of the vehicle, velocity, time and space domain, highway.