

BADANIA PROCESÓW PARKOWANIA W CENTRALNEJ CZĘŚCI MIASTA CHARKOWA¹

Petro Horbachov

Dr hab. inż., Katedra Systemów Transportowych, Charkowski Narodowy Samochodowo – Drogowy Uniwersytet, 61002 Charków, ul. Pstrowskiego 25, Ukraina, Tel.: +38 057 707 37 83, e-mail: graf@khadi.kharkow.ua

Vitalii Naumov

Dr inż., Katedra Systemów Transportowych, Charkowski Narodowy Samochodowo – Drogowy Uniwersytet, 61002 Charków, ul. Pstrowskiego 25, Ukraina, Tel.: +38 057 707 37 20, e-mail: Naumov.vs@gmail.com

Oleksandr Koli

Mgr inż., doktorant w Charkowskim Narodowym Samochodowo – Drogowym Uniwersytecie

Streszczenie. W artykule przedstawione są wyniki badań parkowania samochodów w centralnej części miasta Charkowa (Ukraina) i rezultaty ich wykorzystania przy budowie modelu popytu na przemieszczania samochodów. Zaproponowano metodę, która uwzględniła dynamiczny charakter procesu transportowego przy obliczeniu pojemności rejonów transportowych, liczonych na podstawie wjazdów i wyjazdów pojazdów.

Słowa kluczowe: badania parkowania, modelowanie popytu na miejsca parkingowe

1. Wprowadzenie

Miasto Charków z liczbą mieszkańców około 1,5 mln osób i powierzchnią większą niż 350 km² jest drugim, co do wielkości, miastem Ukrainy. Dla tego miasta, jak dla większości miast Ukrainy, charakterystycznym jest dość wysokie tempo wzrostu liczby samochodów. Już teraz liczba samochodów jest większa niż 220/1000 mieszkańców. Problemy miejskich systemów transportowych, towarzyszące wzrostowi poziomu motoryzacji, znane są od dawna. Odnosi się do nich również brak miejsc parkingowych.

W Charkowie problemy te są potęgowane przez wyraźną promieniową strukturę sieci dróg, wąskie jezdnie i prawie całkowity brak specjalnych miejsc parkingowych w centralnej części miasta. Dlatego też już teraz dla centrum miasta w ciągu dnia charakterystyczna jest niska prędkość ruchu pojazdów, wynosząca około 14 km/godz. Jednym z głównych powodów braku odpowiedniej przepustowości ulic, dla obecnej intensywności potoków transportowych, jest wykorzystanie pasów ruchu na ulicach, w celu parkowania na nich pojazdów.

Dla osiągnięcia wysokiego poziomu usług transportowych świadczonych mieszkańcom i gościom miasta Charkowa potrzebne jest opracowanie długotermi-

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Horbachov P. 34%, Naumov V. 33%, Koli O. 33%

nowego planu rozwoju jego infrastruktury parkingowej. Pierwszym etapem opracowania takiego planu jest ustalenie prawidłowości, związanych z kształtowaniem popytu transportowego.

2. Identyfikacja problemu

Problem wyboru racjonalnej strategii parkingowej w miastach nie jest nowy i jest mu poświęcona dość duża liczba prac naukowych. Dokładny przegląd europejskich doświadczeń w dziedzinie rozwiązania problemu braku miejsc parkingowych w miastach jest przedstawiony w literaturze [1, 2]. W pracach tych opisane są pozytywne doświadczenia zastosowania różnych strategii parkowania w miastach, jak również przedstawiono dużą liczbę technicznych wariantów ich organizacji. Materiały te są uzupełnieniem rozległych amerykańskich i azjatyckich doświadczeń, które dotyczą rozwiązania problemów parkowania [3, 4].

Przy tak dużej liczbie alternatywnych wariantów strategii parkingowych, koniecznym jest wybór wariantu racjonalnego. Wariant ten powinien opierać się na charakterystycznych dla każdego miasta prawidłowościach przemieszczenia pojazdów. Podstawowymi z tych prawidłowości są prawidłowości kształtowania się popytu na przemieszczanie [5] i parkowanie samochodów [6]. W pracy [5] proponuje się również narzędzie do oceny parametrów popytu transportowego na podstawie znanych wielkości potoków magistrali transportowych. Praca [6] poświęcona jest wyborowi racjonalnej lokalizacji parkingu. Dla wszystkich zagadnień racjonalnej organizacji parkingów samochodowych niezbędne są wiarygodne oszacowania parametrów popytu. Taka ocena może być uzyskana za pomocą specjalnych badań, których przykładem mogą być przedstawione w niniejszym artykule.

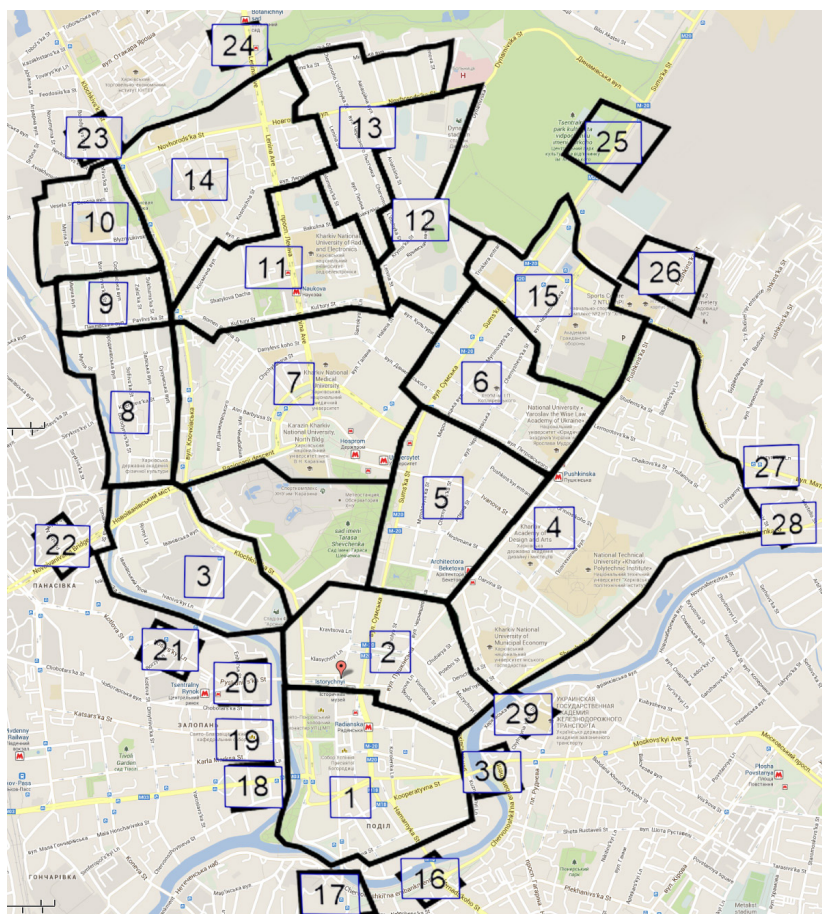
Prawidłowości kształtowania się popytu transportowego muszą opisywać procesy akumulacji pojazdów w przestrzeni i czasie. Ostatecznym celem ich określenia jest prognoza pojemności rejonów transportowych dla wjazdów i wyjazdów pojazdów. Danymi wejściowymi dla badań muszą być obiektywne dane, które przedstawiają potoki pojazdów na sieci drogowej i procesy wytwarzania popytu w miejscach parkowania samochodów.

3. Ustalenie prawidłowości popytu transportowego

Prace na temat ustalenia prawidłowości dotyczących popytu transportowego w mieście Charkowie zostały przeprowadzone przez Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo – Drogowy, z własnej inicjatywy uczelni, bez jakiegokolwiek zewnętrznego finansowania. Spowodowało to praktyczną niemożliwość modelowania terenu całego miasta. Dlatego jako obiekt badań została wybrana najbardziej problematyczna, centralna część miasta (CCM) Charkowa.

Teren centralnej części Charkowa ma wyjątkowe położenie geograficzne. Jego granice są bardzo dokładnie określone brzegami rzek: Łopań i Charków (na południu) oraz Sarżynym Jarem i Żurawlewskim ujściem (na północy). Powierzchnia tej części miasta stanowi 12,25 km² (3,5%) całej powierzchni terenu miasta.

Taki układ znacznie ułatwia kontrolę przyjazdu i wyjazdu samochodów z CCM, jeżeli większość takich przemieszczeń jest zrealizowana przez mosty wyżej wymienionych rzek. Dla ustalenia pojemności rejonów transportowych, centralna część miasta Charkowa została rozdzielona na 15 wewnętrznych (centralnych) rejonów i 15 miejsc połączenia CCM z peryferiami miasta (rys. 1). Należy zauważyć, że miejsca połączenia rejonów charakteryzują się punktami wymiany pojazdami pomiędzy CCM i peryferiami całego miasta.



Rys. 1. Centralna część miasta Charkowa i wydzielone rejon transportowe

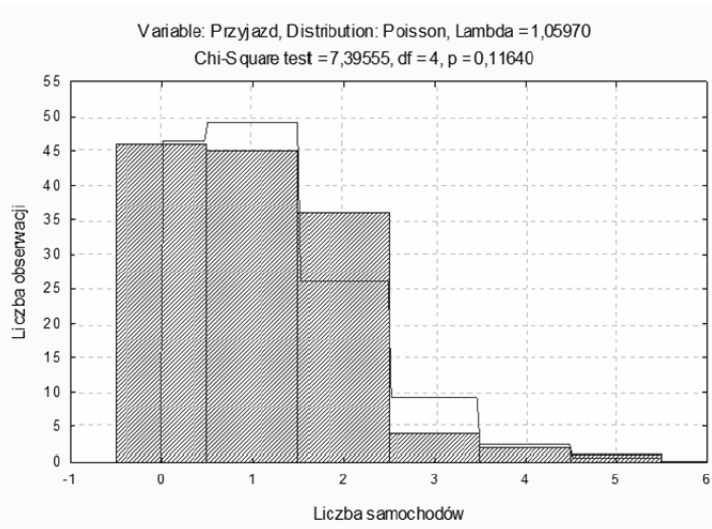
Źródło: Opracowanie własne

Pierwszym krokiem w określeniu prawidłowości kształtowania popytu transportowego dla centralnej części miasta Charkowa była obserwacja procesów akumulacji samochodów w miejscach parkowania.

Dla przeprowadzenia badania intensywności wymiany pojazdów wykorzystano obserwację wideo. Pozwoliło to zorganizować badanie minimalnym kosztem. Obserwacja wideo została przeprowadzona na działce, pomiędzy ul. Puszkinską a ul. Darwina, w godzinach od 8⁰⁰ do 19⁰⁰. Działka ta została wybrana, ze względu na to, że ul. Puszkinska jest jedną z najbardziej trudnych pod względem organizacji ruchu drogowego w centralnej części miasta. Po obróbce sfilmowanego materiału, uzyskano informacje o liczbie samochodów, które przyjeżdżają i odjeżdżają z miejsc parkowania dla dwóch kierunków, z interwałem 5 minut oraz o liczbie samochodów, które w tym interwale czasu parkują.

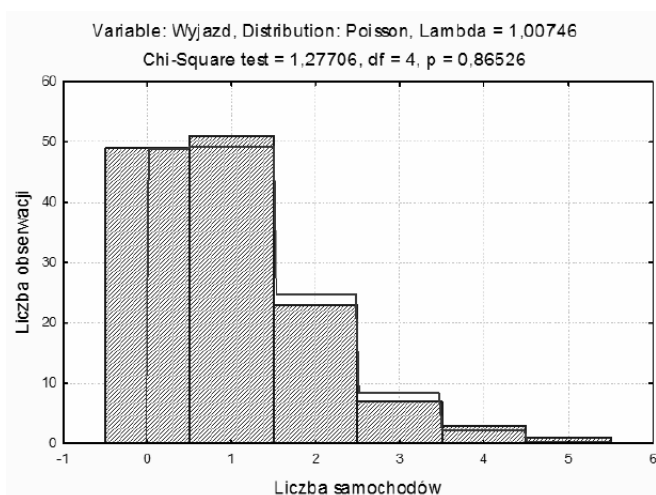
Analiza statystyczna otrzymanych danych została przeprowadzona za pomocą programu STATISTICA 10. Na podstawie wyników analizy można wyciągnąć wnioski, że zmienne losowe liczby samochodów przyjeżdżających do miejsc parkowania oraz wyjeżdżających z nich mają rozkład Poisson'a (rys. 2, 3).

Wyniki te w pełnej mierze odpowiadają powszechnie znanym prawidłowościom zachowania obiektów ze składnikami losowymi. Na podstawie uzyskanych danych została przeprowadzona analiza dyspersyjna, dla której cała próba pięciominutowych interwałów była podzielona na grupy według czynnika czasu, tzn.: rano (8⁰⁰ – 12⁰⁰), dzień (12⁰⁰ – 16⁰⁰), wieczór (16⁰⁰ – 19⁰⁰). Analiza wyników wskazała, że wskaźnik Fishera F wynosi 0,68 przy wartości krytycznej w 2,08, czyli hipoteza o równości matematycznych oczekiwań nie została odrzucona, ponieważ wpływ czynnika we wszystkich próbach jest jednakowy. Co więcej, w analizowanym przypadku $F < 1$, co oznacza, że różnice pomiędzy próbami są mniejsze od rozbieżności w samych próbach; tak więc, wpływ czynnika jest mniej istotnym od wpływu pozostałych czynników, dlatego hipotezę o równości matematycznych oczekiwań przyjmuje się bez weryfikacji.



Rys. 2. Rozkład liczby samochodów przyjeżdżających do miejsc parkowania

Źródło: Opracowanie własne

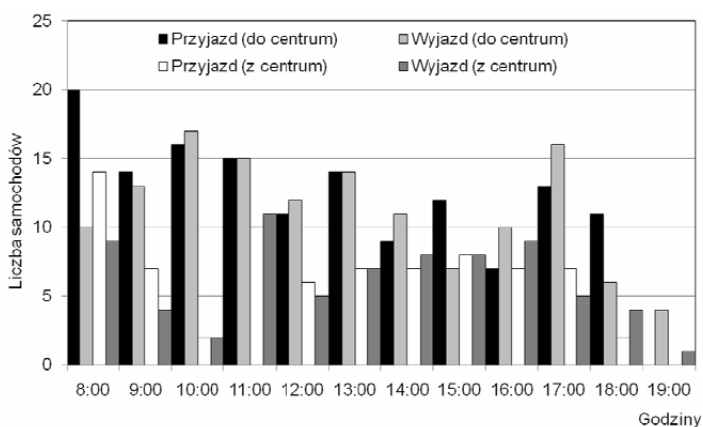


Rys. 3. Rozkład liczby samochodów wyjeżdżających z miejsc parkowania

Źródło: Opracowanie własne

Brak statystycznej zależności liczby przyjeżdżających i wyjeżdżających pojazdów w stosunku do czynnika czasu jest uwarunkowany tym, że proces akumulacji samochodów na parkingu trwa dość krótko, czyli samochody napełniają w krótkim czasie parking w godzinach porannych, a w ciągu dnia odbywa się nieistotna zmiana ich ogólnej liczby.

Takie wyniki podyktowały potrzebę bardziej dokładnego zbadania okresów akumulacji i zmniejszenia liczby samochodów w miejscach parkowania. Wyniki badania świadczą, że proces akumulacji samochodów obejmuje 2 godziny poranne (od 8⁰⁰ do 10⁰⁰) i jest bardziej widoczny, niż wieczorem, w godzinach zmniejszenia liczby samochodów (rys. 4).

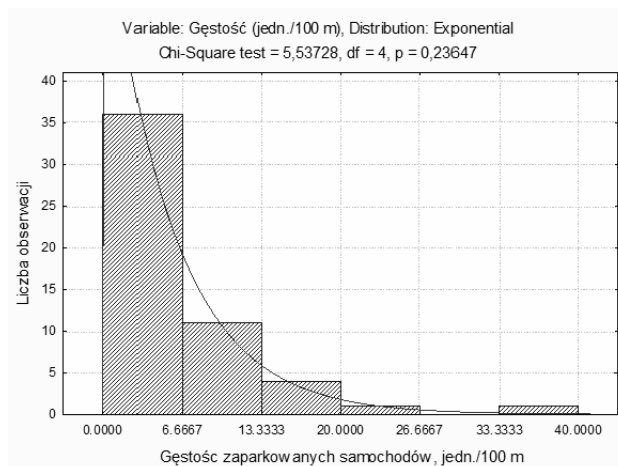


Rys. 4. Rozkład przyjazdów i wyjazdów samochodów w poszczególnych godzinach dnia

Źródło: Opracowanie własne

Dla porannego okresu zdecydowano się prowadzić badania prób dotyczących zarówno intensywności wymiany, jak i gęstości parkowania samochodów. Liczba obserwacji została oszacowana dla 95%-ej wiarygodności wyników. Miejsca przeprowadzenia pomiarów były wybrane losowo. Dla oszacowania intensywności wykorzystania miejsc parkowania przeprowadzono obserwację wideo w ciągu dwóch godzin, a dla oszacowania gęstości parkowania samochodów wykorzystano metodę chwilowych obserwacji dla tego okresu czasu.

Po obróbce wyników pomiarów, parametry rozkładu gęstości parkowania samochodów zostały oszacowane na podstawie metody maksymalnego prawdopodobieństwa, a hipoteza o zgodności faktycznego rozkładu z rozkładem teoretycznym sprawdzona za pomocą kryteriów Pearson'a i Kołmogorowa-Smirnowa. Na podstawie analizy można stwierdzić, że gęstość samochodów, które są zaparkowane na ulicach, ma rozkład wskaźnikowy (rys. 5).



Rys. 5. Rozkład gęstości samochodów, które zaparkowano na ulicach (oś OX w {liczba aut/100 m})

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki przeprowadzonych badań, dotyczących ustalenia stopnia wykorzystania przez pojazdy miejsc parkowania na terenie sieci drogowej podane są w tabeli 1.

Tabela 1. Wykorzystanie miejsc parkowania przez pojazdy na terenie sieci drogowej Charkowa, liczba pojazdów/100 m

Parametry	Liczba samochodów		
	przejeżdżających	wyjeżdżających	zaparkowanych
Średnia	46	30	11
Maksymalna	66	50	20
Minimalna	24	16	5
Odchylenie standardowe	11,3	9,4	3,3

Źródło: Opracowanie własne

Uzyskane rezultaty dają możliwość oszacowania obciążenia centralnej części miasta Charkowa, w tym wykorzystania odpowiedniej informacji statystycznej,

w eksperymencie symulacyjnym, przy określeniu pojemności rejonów miasta dla przyjazdów i wyjazdów samochodów.

4. Określenie pojemności rejonów dla przyjazdów i wyjazdów samochodów

Na tym etapie badania, na podstawie uzyskanych prawidłowości i przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego, w pierwszej kolejności zostały określone wielkości popytu na przemieszczania dla wszystkich transportowych rejonów centralnych.

Odrębnie zostały określone również pojemności dla przyjazdów i wyjazdów samochodów dla peryferyjnych rejonów miasta. W tym celu ustawiono punkty obserwacji na głównych drogach dojazdowych do centralnej części miasta, gdzie były rejestrowane intensywności przyjazdów samochodów do centrum miasta, jak również ich wyjazdów w ciągu porannego okresu akumulacji. Uzyskane w wyniku wielkości pojemności centralnych i peryferyjnych rejonów transportowych przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Pojemności rejonów dla przyjazdów i wyjazdów samochodów, liczba pojazdów/okres czasu*

Transportowy rejon wyjazdu	Transportowy rejon przyjazdu		Pojemności dla wyjazdów
	A_d	A_s	$D_{d,s}$
D_d	h_{dd}	h_{ds}	10669
D_s	h_{sd}	h_{ss}	28099
Pojemności dla przyjazdów, $A_{d,s}$	14423	23103	38768
			37526

* d – indeks centralnych rejonów, s – indeks peryferyjnych rejonów

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2 pokazuje, że łączna liczba wyjazdów samochodów jest większa od liczby przyjazdów o 1242 pojazdy, czyli 3%. Tak znacząca różnica uwarunkowana jest wysoką intensywnością wymiany samochodów pomiędzy centralnymi i peryferyjnymi dzielnicami miasta. Świadczy to o niestosowności prostej korekty uzyskanych pojemności rejonów transportowych i konieczności określenia przyczyn dysproporcji.

Wśród tych przyczyn można wymienić:

- systemowe – badany obiekt ma skomplikowaną strukturę dynamiczną, która charakteryzuje się ciągłością i losowością procesu ruchu samochodów w ciągu dnia (czyli momenty przyjazdów i wyjazdów samochodów odnoszą się do różnych odcinków czasu),
- technologiczne – przy przeprowadzeniu obserwacji mogą wynikać błędy i niepewności związane z technologią pomiarów, precyzyjnością sprzętu, jak również czynnikiem ludzkim,
- organizacyjne – przeprowadzenie badań terenowych z użyciem różnych metod może prowadzić do otrzymania w wyniku błędnej informacji statystycznej

nej, często związanej z różnymi okresami czasu. Nie pozwala to na ocenę wszystkich stanów badanego obiektu.

Przyczynami technologicznymi i organizacyjnymi tego, że w wyniku otrzymujemy różne wartości pojemności, zwykle są dążenia do uproszczenia techniki badań i obniżenia kosztu ich realizacji. Takiej sytuacji przy wystarczających zasobach można unikać. Powody te nie są głównymi przyczynami dysproporcji w łącznych pojemnościach rejonów, obliczanych na podstawie przyjazdów i wyjazdów pojazdów również i dla opisywanego badania.

Przyczyny systemowe uwarunkowane są dynamiczną strukturą badanego obiektu, dla którego procesy przemieszczania samochodów charakteryzują się zmianą położenia w czasie i przestrzeni. Taka osobliwa cecha sugeruje potrzebę badania potoków transportowych dla trzech zdarzeń: przyjazdów, ruchu i wyjazdów samochodów. Specyfiką przeprowadzenia takich badań jest niemożliwość śledzenia całego procesu dla każdego pojazdu: od miejsca wjazdu do miejsca przybycia.

Ponieważ w trakcie przeprowadzenia badań potoków transportowych śledzenie samochodów przez badacza zaczyna się i kończy w pewnym momencie czasu, to jest dość oczywiste, że pewna ilość pojazdów, znajdujących się w ruchu, nie zostanie uwzględniona. W wyniku tego różnica między łącznymi pojemnościami rejonów transportowych liczona na podstawie wjazdów i wyjazdów pojazdów będzie równa różnicy między liczbą pojazdów, które znajdowały się na sieci drogowej CCM w momencie rozpoczęcia i zakończenia badania intensywności ruchu.

W takim przypadku wielkość braku równowagi w liczbie pojazdów jest tym wyższa, im większa jest różnica gęstości samochodów na sieci drogowej na początku i po ukończeniu procesu przeprowadzenia badań terenowych. Wniosek ten daje możliwość uzasadnionego usunięcia przyczyn braku równowagi pojemności liczonej na podstawie przyjazdów i wyjazdów samochodów w rejonach transportowych. W tym celu proponuje się uwzględnić przy kalkulacji elementów macierzy podróży dodatkowy warunkowy rejon transportowy „Sieć transportowa”, który odzwierciedla obecność samochodów znajdujących się w ruchu na sieci drogowej.

Pojemności warunkowego rejonu transportowego, liczone na podstawie przyjazdów i wyjazdów samochodów, na ogół mogą być określone jako iloczyn odpowiedniej średniej gęstości potoku pojazdów o długość sieci transportowej CCM:

$$\begin{aligned} D_n &= \tilde{n}_a \cdot L_s, \\ A_n &= \tilde{n}_d \cdot L_s, \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

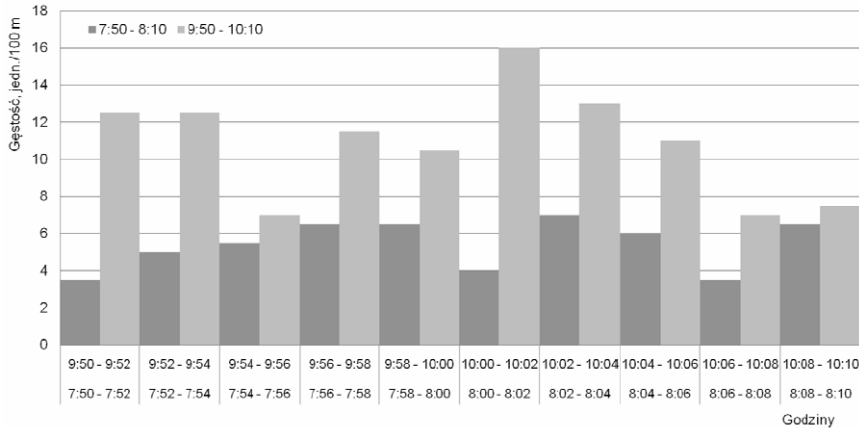
A_n, D_n – pojemności rejonów transportowych liczone odpowiednio na podstawie przyjazdów i wyjazdów samochodów w [liczbie pojazdów/okres czasu],

ρ_a, ρ_d – średnia gęstość samochodów na sieci drogowej centralnej części miasta w [liczbie pojazdów/km],

L_s – łączna długość pasów sieci drogowej w [km].

Średnia gęstość potoku pojazdów oznaczona symbolem ρ została określona na podstawie obliczeń długości kolejki samochodów przed wjazdem na regulowane światłami skrzyżowanie. W tym celu została przeprowadzona seria obserwacji wi-

deo w różnych punktach w centrum miasta. Ponieważ okres symulacji pojemności zewnętrznych i wewnętrznych rejonów transportowych w przedstawianym badaniu wynosi dwie godziny porannego szczytu (od 800 do 1000), to dla określenia gęstości pojazdów na sieci obserwacje przeprowadzane były od 750 do 810 dla wyjazdów i od 950 do 1010 dla przyjazdów. Wyniki tych badań przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Histogram gęstości samochodów na sieci drogowej

Źródło: Opracowanie własne

Z histogramu na rys. 6 widać, że gęstość potoku pojazdów na początku i na końcu badania terenowego jest różna, co z kolei potwierdza występowanie obiektywnych przyczyn nierównowagi między liczbą przyjazdów i wyjazdów samochodów (tabela 3).

Tabela 3. Łączne pojemności liczone według przyjazdów i wyjazdów samochodów w {liczba pojazdów/okres czasu}*

Rejon wyjazdów	Rejon przyjazdów			Pojemności liczone według wyjazdów $D_{d,s,n}$
	A_d	A_s	A_n	
D_d	h_{dd}	h_{ds}	h_{dn}	10669
D_s	h_{sd}	h_{ss}	h_{sn}	28099
D_n	h_{nd}	h_{ns}	h_{nn}	913
Pojemności liczone według przyjazdów, $A_{d,s,n}$	14423	23103	2040	39681

* n – indeks sieci transportowej

Źródło: Opracowanie własne

Tak więc, po zastąpieniu liczby przemieszczeń samochodów dla warunkowego rejonu transportowego „Sieć transportowa” różnica między łącznymi pojemnościami rejonów liczonymi według wyjazdów i przyjazdów skróci się od 1242 do 115 pojazdów, czyli różnica ta będzie mniejsza od 0,3%. Takie rozbieżności mogą już być w pełni akceptowane i w konsekwencji wyeliminowane za pomocą zwykłych metod korekty pojemności.

5. Podsumowanie

Zmienne losowe liczby pojazdów przyjeżdżających do rejonów transportowych i wyjeżdżających z nich mają rozkład Poissona i to w pełnej mierze odpowiada znanym prawidłowościom zachowania obiektów ze składnikami losowymi.

Proces akumulacji samochodów w miejscach parkowania zajmuje dość mały okres czasu, czyli pojazdy napełniają parking rano w krótkim czasie, a w ciągu dnia odbywa się nieistotna zmiana ich liczby. Proces akumulacji samochodów na parkingach miasta Charkowa obejmuje 2 poranne godziny (od 8⁰⁰ do 10⁰⁰) i jest bardziej widoczny niż w godzinach wieczornych, gdy występuje zmniejszenie liczby zaparkowanych pojazdów.

Główną przyczyną występowania braku równowagi pojemności rejonów transportowych liczonych na podstawie przyjazdów i wyjazdów jest dynamiczny charakter procesu przemieszczania. Uwzględnić to można w modelu popytu za pomocą warunkowego rejonu transportowego „Sieć transportowa”. Takie podejście pozwala oszacować pojemności punktów badanej sieci i znacznie zmniejszyć różnicę między łącznymi pojemnościami rejonów liczonych na podstawie przyjazdów i wyjazdów pojazdów.

Bibliografia

- [1] Kodransky M., Hermann G., Europe's Parking U-Turn: From Accommodation to Regulation. – Spring, 2011, http://www.itdp.org/documents/European_Parking_U-Turn.pdf.
- [2] Parking policies and the effects on economy and mobility. European Union. REPORT on COST. Action 342, [http://www.europeanparking.eu/cms/Media/COST %20 Action %20342 %20 final%20report\[1\].pdf](http://www.europeanparking.eu/cms/Media/COST%20Action%20342%20final%20report[1].pdf).
- [3] Barter P., Kuan L., Learning from Parking Policies in Asia. Yew School of Public Policy National University of Singapore, [http://cleanairinstitute.org/download/Rosario / gp1_2_03_paul_barter.pdf](http://cleanairinstitute.org/download/Rosario/gp1_2_03_paul_barter.pdf).
- [4] Weinberger R., Kaehny J., Rufo M., U.S. Parking Policies: An Overview of Management Strategies. Institute for Transportation and Development Policy, http://www.streetsblog.org/wp-content/pdf/ITDP_Parking_Full-Report.pdf.
- [5] Tarko A.P., A Traffic Demand Model for Local Roads with Cellular Network Decomposition and High-resolution Land Use Representation// Travel Modelling and Traffic Forecasting. Research and Technical Papers of Polish Association of Engineers and Technicians of Transportation in Cracow. Series Proceedings No 1(97)/2012. – s. 221–234.
- [6] Parkitny W., Mathematical Model of Car Park Localization//Travel Modelling and Traffic Forecasting. Research and Technical Papers of Polish Association of Engineers and Technicians of Transportation in Cracow. Series Proceedings No 94 (153)/2010– s. 239–247.