

KULPA Tomasz

## **GENERACJA RUCHU CIĘŻAROWEGO PRZEZ OBIEKTY PRODUKCYJNE, MAGAZYNOWE I HANDLOWE**

*Z punktu widzenia administratora danego obiektu produkcyjnego, magazynowego czy handlowego istotne jest jego funkcjonowanie wewnątrz i operacje takie jak rozładunek, magazynowanie, przeładunek, załadunek lub wewnętrzny transport towarów. Dla potrzeb symulacji ruchu (w skali mikro) oraz modelowania podróży (w skali makro) istotne jest również rozpoznanie wielkości i charakterystyki (np. zmienność w czasie) ruchu jaki generowany jest przez takie obiekty. W referacie przedstawiono wybrane wyniki dotychczas prowadzonych badań w Polsce i na Świecie. Przedstawiono również założenia badań własnych, które zostaną przeprowadzone, wraz z oceną ich przydatności.*

## **TRUCK TRIP GENERATION AT PRODUCTION, WAREHOUSING AND COMMERCIAL SITES**

*From the viewpoint of warehouse, commercial or manufacturing facility operator it is important to identify processes like warehousing, internal transport and reloading. For micro- and macrosimulation purposes it is necessary to obtain trip generation of those facilities as well as its variability in time. In this paper research conducted in Poland and other are presented. Assumptions of planned truck trip generation study is presented. Additionally usefulness of study results is discussed.*

### **1. WSTĘP**

Badania generacji ruchu pasażerskiego i ciężarowego związanego z pojedynczymi obiektami prowadzi się w Polsce niezwykle rzadko. Stąd przy planowaniu nowej inwestycji odpowiedź na pytanie jaki wpływ będzie miała lokalizacja danego obiektu na zwiększenie potencjału ruchotwórczego rejonu komunikacyjnego w którym się znajduje jest problematyczna zarówno w przypadku ruchu związanego z pracą oraz zakupami jak i dostawami.

Być może administratorzy obiektów nie dostrzegają takiej potrzeby lub posługują się własnymi badaniami, niepublikowanymi szerzej. Jednak coraz częściej mamy do czynienia z praktyką, że inwestor realizujący duży obiekt handlowy czy magazynowy partycypuje w przebudowie sąsiadującej infrastruktury transportowej. Z punktu widzenia inwestora zasadnym byłoby wiedzieć, jak duży ruch, zarówno osobowy jak i ciężarowy, będzie generowany przez powstający obiekt. Daje to podstawę do negocjacji z urzędem miasta czy gminy na temat wysokości partycypacji w kosztach przebudowy układu drogowego.

Z drugiej strony właściwy urząd znając szacunkowy poziom generacji ruchu może z góry narzucić na inwestora udział w kosztach przebudowy infrastruktury.

Z punktu widzenia planowania systemów transportowych znajomość generacji ruchu przez pojedyncze obiekty jest częścią składową pierwszego etapu klasycznego, czterostadiowego modelu jakim jest wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych. W odniesieniu do ruchu ciężarowego znajomość generacji ruchu pojedynczych obiektów jest niezwykle istotna z uwagi na powiązanie początku i końca przewozu ładunku z konkretnym, łatwym do zlokalizowania, punktem.

## 2. PRZEGLĄD BADAŃ ZAGRANICZNYCH

W roku 2001 przeprowadzone zostały w Holandii badania ruchu ciężarowego. W ich wyniku skonstruowane zostały zależności regresyjne do wyznaczania potencjałów ruchotwórczych [3]. Przyjęto następującą postać modelu potencjału ruchotwórczego:

$$Y = c + b \cdot X \quad (1)$$

gdzie: Y – liczbajazd samochodów ciężarowych rozpoczynanych lub kończonych w przedsiębiorstwie w ciągu doby,

X – zmienna objaśniająca (powierzchnia przedsiębiorstwa wyrażona w 1000 m<sup>2</sup> lub liczba pracowników),

b, c – parametry modelu.

Jako zmienne objaśniające modelu zostały przyjęte: powierzchnia terenu zajmowana przez przedsiębiorstwo oraz liczba osób zatrudnionych w przedsiębiorstwie. Podział przedsiębiorstw został dokonany na podstawie klasyfikacji SBI (odpowiadająca klasyfikacji PKD). Przykładowe parametry modelu potencjału absorbującego ruch przedstawiono w tabeli 1. Analogiczne parametry zostały określone dla potencjału wytwarzającego ruch. W tabeli 1 podano również współczynnik determinacji R<sup>2</sup>, które niekiedy mają wartości sugerujące zdecydowane odrzucenie modelu..

Tab. 1. Parametry modelu potencjału absorbującego ruch ciężarowy w ciągu doby [3]

Kod SBI	Nazwa	X – powierzchnia firmy [1000 m <sup>2</sup> ]			X – liczba pracowników		
		R <sup>2</sup>	c	b	R <sup>2</sup>	c	b
24	Chemikalia	0,71	5,97	0,03	0,71	5,39	0,05
51	Sprzedaż hurtowa	0,11	6,25	0,02	0,03	6,87	0,03
63	Usługi transportowe	0,88	8,75	0,09	0,16	15,14	0,05

Na podstawie wyników pomiarów obliczone zostały również:

— średnie dobowe liczby podróży rozpoczynanych i kończonych w zależności od typu przedsiębiorstwa,

— średnie dobowe liczby podróży rozpoczynanych i kończonych w zależności od zagospodarowania terenu,

— udziały poszczególnych typów pojazdów (dostawcze, ciężarowe ciężkie i lekkie) w podróżach rozpoczynanych i kończonych w zależności od zagospodarowania terenu.

Wśród badań generacji ruchu przez pojedyncze obiekty dominują badania amerykańskie. W [1] opracowany został model generacji ruchu dla portu w Miami (USA). Zmiennymi objaśniającymi były liczby jednostek ładunkowych przyjmowanych i ekspediowanych przez port. Liczba pojazdów ciężarowych wyjeżdżających z portu zależna była od liczby przyjmowanych jednostek ładunkowych, natomiast wjeżdżających do portu od liczby ekspediowanych jednostek ładunkowych:

$$P = 310 + 0,7 \cdot PJ\dot{L} \quad (R^2=0,67) \quad (2)$$

$$A = 1,2 \cdot EJ\dot{L} \quad (R^2=0,78) \quad (3)$$

gdzie: P – liczba jazd samochodów ciężarowych z przyczepami lub ciągników siodłowych z naczepami rozpoczynanych w porcie w ciągu doby,

A – ilość jazd samochodów ciężarowych z przyczepami lub ciągników siodłowych z naczepami kończonych w porcie w ciągu doby,

PJ $\dot{L}$  – liczba przyjmowanych jednostek ładunkowych przez port,

EJ $\dot{L}$  – liczba ekspediowanych jednostek ładunkowych przez port.

Mocną pozycję bibliograficzną w zakresie generacji ruchu ciężarowego stanowią instrukcje QRFM [6] oraz QRFM II [7]. W [6] w Załączniku D zestawiono wskaźniki generacji ruchu dla różnego typu obiektów na podstawie badań prowadzonych w USA. Wskaźniki wyrażone są na 1 pracownika, na 1000 stóp kwadratowych powierzchni użytkowej obiektu lub na akr powierzchni terenu zajmowanej przez przedsiębiorstwo. Podane wskaźniki uwzględniają podział na trzy typy pojazdów: samochody dostawcze (4-tire commercial vehicles), samochody ciężarowe bez przyczep (single unit trucks) i samochody ciężarowe z przyczepami bądź ciągniki siodłowe z naczepami (combination trucks). Niestety większość wskaźników pochodzi z badań wykonanych przed rokiem 1995 i w tym momencie ich przydatność wydaje się wątpliwa.

W drugiej edycji instrukcji [7] zaproponowane wskaźniki odnosiły się do 1 miejsca pracy lub 1 mieszkańca. Przykładowo: na 1 pracownika przemysłu chemicznego w stanie Indiana przypada 3151 ton wyprodukowanych chemikaliów rocznie, a uzyskany współczynnik determinacji wynosi 0,78 (por. tabela 2).

Przykładowe zależności regresyjne opisujące generację ruchu zestawiono w tabeli 2. Liczba w nawiasie w równaniach w drugiej kolumnie oznacza sektor gospodarki w którym liczba pracujących jest zmienną objaśniającą. Przyjęto oznaczenia sektorów za [7]: LM – liczba mieszkańców rejonu komunikacyjnego, 311 – produkcja artykułów spożywczych, 313 – produkcja włókien tekstylnych, 314 – produkcja tkanin, 321 – produkcja wyrobów z drewna, 324 – wytwarzanie i przetwarzanie koksu i ropy naftowej, 325 – produkcja chemikaliów, 332 – produkcja metalowych wyrobów gotowych, 334 – produkcja komputerów i podzespołów elektronicznych, 336 – produkcja pojazdów samochodowych, 337 – produkcja mebli i pozostałych wyrobów, 421 – sprzedaż hurtowa.

Tab. 2 Przykładowe równania regresji dla potencjału wytwarzającego ruch [1000 ton/pracownika/rok] dla stanu Indiana [7]

Rodzaj ładunku	Regresja dla potencjału ruchotwórczego [1000 ton/pracownika/rok]	Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>
Mięso, ryby, owoce morza	$P = 0,054*(311)$	0,88
Napoje alkoholowe	$P = 0,0002188*(LM)+0,013*(334)$	0,88
Wyroby tytoniowe	$P = 0,009*(313)+0,005*(337)$	0,69
Piaski naturalne	$P = 0,087*(421)$	0,84
Wyroby chemiczne	$P = 0,025*(332)+0,017*(325)$	0,79
Wyroby drewniane	$P = 0,544*(321)$	0,83
Wyroby włókiennicze i skórzane	$P = 0,101*(314)+0,051*(313)+0,058*(324)$	0,97
Samochody	$P = 0,061*(336)$	0,80

Pozycją, która w całości podejmuje problematykę generacji ruchu jest ITE Trip Generation [10]. W ósmej edycji zestawiono wskaźniki generacji ruchu dla ponad 4800 punktów (550 punktów zostało dodanych w stosunku do siódmej edycji). Na podstawie instrukcji możliwe jest określenie wskaźników generacji dla 162 różnych form zagospodarowania przestrzennego. Ponadto podane są typowe zmienności ruchu w czasie, co pozwala między innymi na wyznaczenie godzin szczytu. Podobny charakter ma [8].

### 3. DOTYCHCZASOWE BADANIA POLSKIE

W Polsce badania generacji ruchu zarówno pasażerskiego jak i ciężarowego związanego z pojedynczymi obiektami nadal prowadzone są niezwykle rzadko.

W [12] przedstawiono wyniki 24-godzinnych pomiarów dostaw do sklepu Carrefour oraz centrum handlowego Korona we Wrocławiu. W okresie pomiaru dostaw do sklepu Carrefour zaobserwowano 82 samochody dostawcze (SD), 60 samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) i 11 samochodów ciężarowych z przyczepami oraz ciągników siodłowych z naczepami (SCP). Niemal 2/3 dostaw zrealizowanych zostało między 2:00 a 10:00. W tabeli 3 przedstawiono obliczone w [12] wskaźniki generacji ruchu na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej.

Tab. 3. Wskaźniki generacji ruchu [12]

Obiekt	Powierzchnia użytkowa [1000 m <sup>2</sup> ]	Wskaźnik generacji ruchu [podróże/1000 m <sup>2</sup> /dobę]		
		SD	SC	SCP
Carrefour	36,7	2,23	1,63	0,33
CH Korona	58,0	3,14	1,69	0,76

Badania generacji ruchu ciężarowego przez wybrane obiekty były prowadzone w ramach prac dyplomowych realizowanych na Politechnice Krakowskiej ([4], [5]).

W pracy [4] autor miał do dyspozycji zapis wjazdów i wyjazdów samochodów realizujących dostawy do jednego z wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych w Krakowie. Niestety formularz nie zawierał podziału na samochody dostawcze, samochody ciężarowe bez przyczep i samochody ciężarowe z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami. Na podstawie wpisanej w arkuszu marki pojazdów oraz czasów rozładunku zostały one sklasyfikowane do dwóch grup: samochody lekkie (o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony, czyli samochody dostawcze) oraz samochody ciężkie (o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 tony). Zauważono wyraźne zróżnicowanie w liczbie dostaw pomiędzy grupami dni: poniedziałek, środa i piątek oraz wtorek i czwartek, co zostało potwierdzone testem istotności. W okresie 9:00 – 12:00 realizowanych było przeszło 50 % przyjęć towaru. Dostawy odbierane były przez obsługę sklepu tylko w godzinach 8:00 – 16:00.

Wskaźniki generacji ruchu przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wskaźniki generacji ruchu dla wielkopowierzchniowego sklepu budowlanego w Krakowie [4]

Dni	Wskaźnik generacji ruchu [jazd/1000 m <sup>2</sup> /dobę]		
	Wszystkie pojazdy	Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
poniedziałek, środa, piątek	2,78	1,18	1,60
wtorek, czwartek	3,22	1,28	1,94

W pracy [5] autorka zidentyfikowała wielkości dostaw realizowanych do czterech centrów handlowych (galerii handlowych) w Krakowie: Galeria Krakowska, Galeria Kazimierz, Bonarka, Plaza. Pomiaru ruchu wykonano w godzinach 8:00 – 16:00 i obejmowały rejestrację godziny wjazdu i wyjazdu samochodów realizujących dostawy w podziale na trzy grupy: samochody dostawcze (SD), samochody ciężarowe bez przyczep (SC) i samochody ciężarowe z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami (SCP). Dla wszystkich lokalizacji 75 % dostaw realizowanych było do 12:00. Z uwagi na krótszy w stosunku do godzin funkcjonowania centrum handlowego okres pomiaru wskaźników generacji ruchu nie można odnosić do doby.

Tab. 5. Wskaźniki generacji ruchu dla centrów handlowych w Krakowie dla okresu 8:00 – 16:00 [5]

Obiekt	Powierzchnia użytkowa obiektu [1000 m <sup>2</sup> ]	Wskaźnik generacji ruchu [jazd/1000 m <sup>2</sup> /8 godzin]			Wskaźnik generacji ruchu [jazd/punkt handlowy/8 godzin]		
		SD	SC	SCP	SD	SC	SCP
CH Bonarka	91,0	0,47	0,52	0,16	0,16	0,17	0,06
Galeria Krakowska	60,0	1,30	0,85	0,23	0,29	0,19	0,05
Galeria Kazimierz	36,2	1,33	0,94	0,17	0,30	0,21	0,04
CH Plaza	30,4	1,09	0,53	0,07	0,28	0,13	0,02

Na podstawie pomiarów w czterech obiektach o podobnym charakterze opracowano zależności regresyjne pomiędzy powierzchnią użytkową a generacją ruchu ciężarowego według wzoru:

$$P = A = a \cdot b \cdot PU \quad (4)$$

gdzie: P – liczba podróży samochodów ciężarowych rozpoczynanych w obiekcie w okresie 8:00 – 16:00,

A – liczba podróży samochodów ciężarowych kończonych w obiekcie w okresie 8:00 – 16:00,

a – parametr modelu,

b – współczynnik zależny od lokalizacji obiektu,

PU – powierzchnia użytkowa obiektu w 1000 m<sup>2</sup>,

Uzyskane wyniki analizy regresji zostały przedstawione w tabeli 6.

Tab. 6. Parametry modelu generacji ruchu ciężarowego dla doby dla centrów handlowych w Krakowie [5]

Typ pojazdu	Parametry modelu bez uwzględnienia lokalizacji obiektu (b=1,0)		Parametry modelu z uwzględnieniem lokalizacji obiektu (0,1≤b≤1,0)	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
SD	0,80	0,80	1,05	0,89
SC	0,64	0,93	0,82	0,99
SCP	0,18	0,95	0,22	0,98

Współczynnik b, zależny od lokalizacji, odwzorowuje odległość od centrum miasta i przyjmuje wartości:

- 1,0 dla odległości poniżej 1 km,
- 1,0 – 0,1 dla odległości od 1 km do 12 km (interpolowane liniowo),
- 0,1 dla odległości powyżej 12 km.

Przedstawioną analizę regresji należy przyjmować z ostrożnością z uwagi na bardzo małą liczebność próby. Niemniej daje ona pogląd na kierunek, w jakim kolejne badania powinny być zorientowane oraz możliwości wykorzystania dodatkowych zmiennych objaśniających w modelu.

#### 4. BADANIA WŁASNE

W październiku 2011 przeprowadzono badania na wybranych obiektach magazynowych, produkcyjnych i handlowych w Krakowie i okolicach. W ramach badań pozyskano dane od administracji wybranych obiektów na temat liczby wjazdów i wyjazdów pojazdów ciężarowych. Dodatkowo wykonane zostały pomiary ruchu, w których rejestrowano:

- godzinę wjazdu,
- godzinę wyjazdu,

- typ pojazdu,
- numer rejestracyjny pojazdu.

W zależności od pozyskanej próby poszczególne obiekty zostały przypisane do grup o podobnym charakterze. Jako kryterium podziału przyjęto sektory gospodarki, sekcje PKD oraz umowny podział na obiekty o różnych charakterze (centra logistyczne, zakłady produkcyjne, składy budowlane, wytwórnie betonu, itp.).

Z uwagi na wykonywanie pomiarów w trakcie zgłaszania pełnych tekstów referatów wyniki zostały przedstawione i skomentowane w prezentacji.

## 5. WNIOSKI

Badania generacji ruchu obiektów magazynowych, produkcyjnych czy handlowych jest zasadne i powinno być prowadzone. Dużą zaletą tego typu pomiarów jest ich stosunkowo niski koszt i łatwość wykonania. W przypadku uzyskania danych od administratora obiektu możliwe jest przeprowadzenie wnikliwych analiz jeszcze niższym kosztem. Wadą tego typu badań jest brak informacji o celach podróży, o ile nie zostanie ona uzyskana od administratora obiektu lub kierowcy pojazdu poprzez wywiad ankietowy.

Jak już zostało wspomniane we wstępie wyniki mogą zostać wykorzystane jako składnik modelu potencjałów ruchotwórczych. Takie zastosowanie wyników pomiarów generacji ruchu zostało przedstawione w Quick Response Freight Manual II [7].

Przedstawione wyniki pomiarów w [12] i [5] obejmowały jeden dzień pomiarowy. W takim przypadku nie ma możliwości zidentyfikowania zmienności ruchu w ciągu tygodnia, miesiąca czy roku. Patrząc na rezultaty przedstawione w [1] i [4] zmienność w czasie może być bardzo duża. Stąd wyrzykowy pomiar może być niemiernodajny i należałoby prowadzić pomiary w dłuższym okresie (np. tydzień) lub wykonać powtórny pomiar kontrolny.

Zauważalne są różnice wartości wskaźników generacji ruchu uzyskanymi w [5] i w [12]. Może to wynikać z niemiernodajności jednodniowego pomiaru. Inną przyczyną może być fakt, że w [5] pomiar trwał 8 godzin, i część dostaw mogła być pominięta z uwagi na ich realizację poza godzinami pomiaru.

Wyraźne różnice wskaźników generacji ruchu widoczne są pomiędzy [6] i [12]. Wynika to z różnego charakteru obiektów. W [6] pomiar obejmował sklep budowlany, w [12] centrum handlowe oraz sklep spożywczo-przemysłowy. Różnice te potwierdzają dość oczywisty wniosek, że generacja ruchu ciężarowego jest silnie zależna od typu obiektu.

Reasumując można stwierdzić, że podejmowane próby badań generacji ruchu w Polsce idą w dobrym kierunku. W referacie skupiono się na ruchu ciężarowym, należy jednak pamiętać, że równie istotne jest poznanie generacji podróży osób. Wyniki już wykonanych badań mogłyby posłużyć do stworzenia polskiego odpowiednika instrukcji Trip generation [10], która byłaby rozwijana wraz z pojawianiem się wyników kolejnych badań.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Al-Deek, H. M., Johnson, G., Mohamed, A., El-Maghraby, A.: *Truck trip generation model for seaports with container/trailer operations*, 79th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2000.

- 
- [2] Holguin-Veras, J., Lopez-Genao, Y., Salam, A.: *Truck Trip Generation at Container Terminals: Results from a Nationwide Survey*, Transportation Research Record No. 1790, Freight Transportation, 2002
  - [3] Iding, Mirjam H.E., Meester, Wilhelm J., Tavasszy, Lóri A.: *Freight trip generation by firms*, Paper for the 42nd European Congress of the Regional Science Association, Dortmund, 2002.
  - [4] Kędroń, K.: *Badanie wielkości ruchu ciężarowego związanego z funkcjonowaniem wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych w Krakowie*, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2010.
  - [5] Pigoń, A.: *Wielkość ruchu ciężarowego związana z funkcjonowaniem wybranych obiektów handlowych*, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2011.
  - [6] *Quick Response Freight Manual*, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 1996.
  - [7] *Quick Response Freight Manual II*, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 2007.
  - [8] *Trip Generation Manual*, San Diego Municipal Code, Land Development Code, 2003.
  - [9] Tolliver, D., Dybing, A., Subhro, M.: *Trip Generation Rates for Large Elevators: A North Dakota Case Study*, The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, 2006.
  - [10] *Trip Generation*, 8th ed., Washington, D.C., USA: Institute of Transportation Engineers, 2008.
  - [11] *Truck Trip Generation Data, A Synthesis of Highway Practice*, NCHRP Synthesis 298, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 2001.
  - [12] Zipsper T. z zespołem: *Analiza badań komunikacyjnych ruchu samochodów ciężarowych na obszarze miasta Wrocławia*, Wrocław 2000.