



INŻYNIERIA RUCHU

rozdział 2 Ruch (nie tylko drogowy)



PODSTAWOWE PARAMETRY STRUMIENIA RUCHU

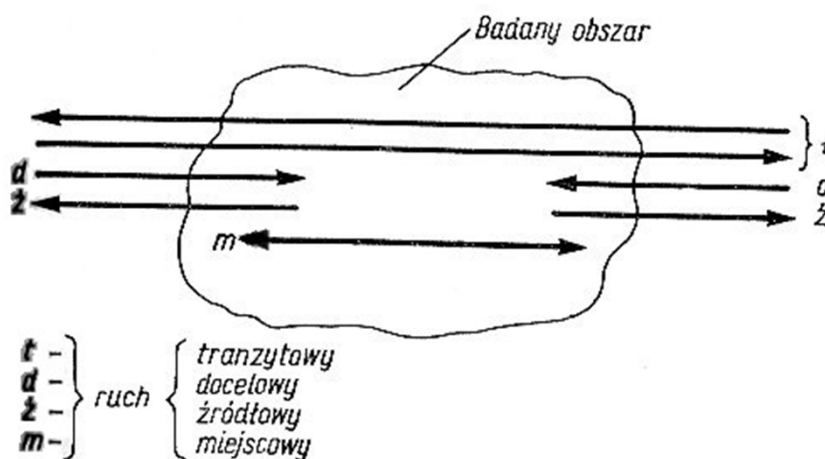
Natężenie i gęstość ruchu, prędkość,
Struktura rodzajowa i kierunkowa

Ruch drogowy jest „obrazem” (efektem) szerszego zjawiska, a mianowicie przemieszczania się osób lub przewozu ładunków, nazywanego **transportem**

Transport to rozległa dziedzina wiedzy (nauki) badająca między innymi procesy transportowe (w tym ich modelowanie)

W treści niniejszego wykładu **transportem** będziemy nazywać przewozy towarów, a przewóz osób nazwiemy **podróżami**

Terytorialność ruchu



Ruch drogowy – pojazdy (osoby znajdujące się w pojazdach)
poruszające się po drogach to część przewozów (podróżujących)

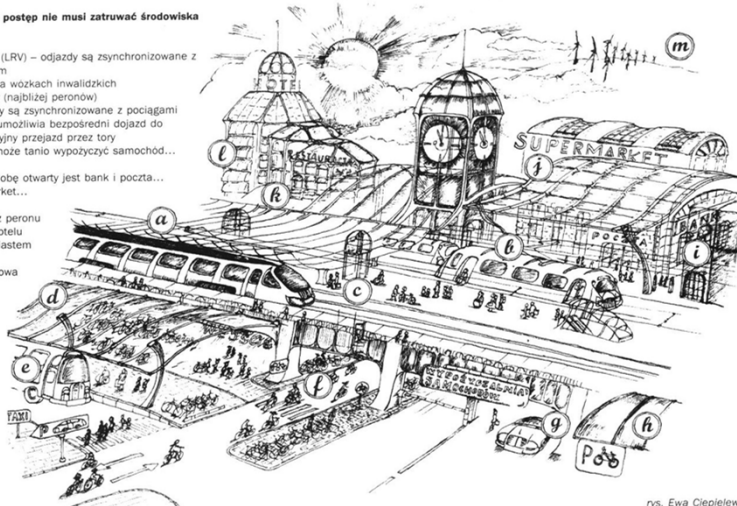
Podróże odbywają się różnymi środkami lokomocji (transportu)

Także na infrastrukturze drogowej

Użytkownicy dróg

Węzeł transportowy: postęp nie musi zatrać środowiska

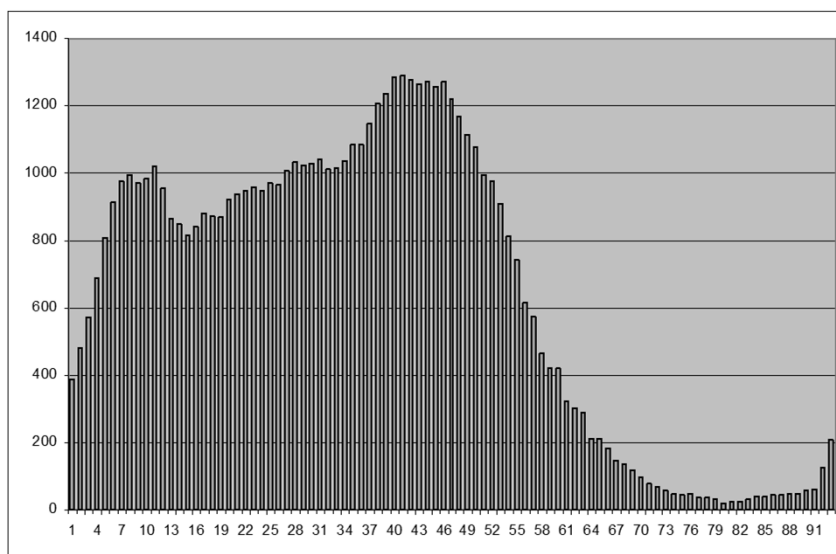
- a szybki pociąg
- h autobus szynowy (LRV) – odjazdy są zsynchronizowane z
szybkim pociągiem
- c winda dla osób na wózkach inwalidzkich
- d parking rowerowy (najbliższy peronów)
- e autobus – odjazdy są zsynchronizowane z pociągami
- f droga rowerowa umożliwia bezpośredni dojazd do
dworca i bezkolizyjny przejazd przez tory
- g każdy podróżny może tanio wypożyczyć samochód...
- h ... lub rower
- i na dworcu całą dobę otwarty jest bank i poczta...
- j ... oraz supermarket...
- k ... i restauracja
- l podróżny prosto z peronu
może wejść do hotelu
- m na wzgórzu za miastem
prąd dostarcza
elektrownia wiatrowa



W zakresie studiów I. stopnia ruch drogowy
był traktowany głównie jako obiekt pomiarów oraz prognoz

W zakresie studiów II. stopnia zastanowimy się nad zależnością ruchu
drogowego od szerszych procesów transportowych (i nie tylko
transportowych) oraz nad możliwością wpływu na wielkość ruchu

Zmienność ruchu w ciągu doby - współczynniki



Ustalenie okresu szczytu

[illegible]

Tab.1: Wyniki pomiarów natężenia ruchu na skrzyżowaniu

Objaśnienie skrótów: O - samochód osobowy, C - samochód ciężarowy, Cp - samochód ciężarowy z przyczepą, A - autobus, T - tramwaj.

Przykład tabeli pomiarowej – kolumna obejmuje okres 15 minut

Ustalenie okresu szczytu – c.d.

Kroki obliczeń:

- przeliczenie pojazdów rzeczywistych na umowne,
- sumowanie ruchu dla okresów godziny z odstępem 15 minutowym,
- wytypowanie najbardziej obciążonej ruchem godziny = godzina szczytu

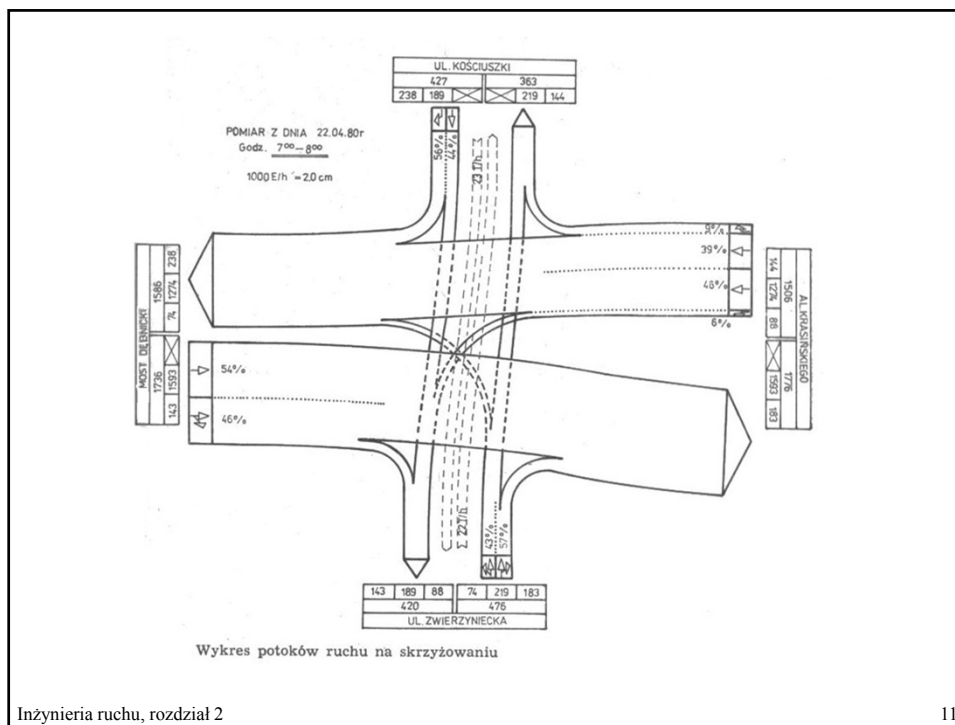
Przelicznik z pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne (E):

O - samochód osobowy = 1 E,

C - samochód ciężarowy = 1,6 E,

Cp - samochód ciężarowy z przyczepą = 2,2 E,

A - autobus = 2 E, T - tramwaj = 3 E.

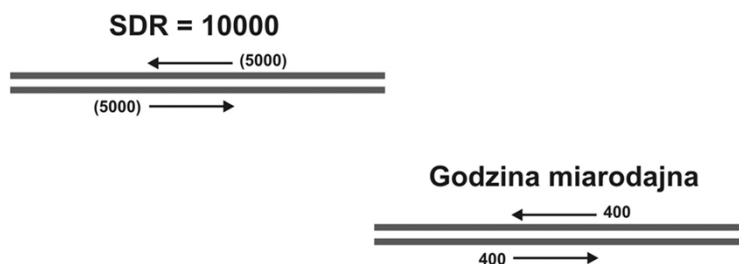


Inżynieria ruchu, rozdział 2

11

Godzina miarodajna a godzina szczytu

Natężenie ruchu w godzinie miarodajnej jest obliczane jako udział procentowy ruchu dobowego (np. 8 %). Jest więc takie samo dla przeciwnych kierunków danej relacji.



Natężenie godziny miarodajnej wykorzystuje się do projektowania geometrii dróg i skrzyżowań.

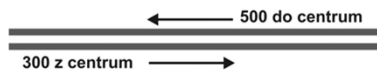
Inżynieria ruchu, rozdział 2

12

Godzina miarodajna a godzina szczytu – c.d.

Natężenie ruchu w godzinie szczytu uwzględnia zmienność poszczególnych kierunków ruchu. Na przykład w szczycie porannym dominuje kierunek do centrum, a w szczycie popołudniowym w drugą stronę. Uśrednienie liczb pojazdów z obu szczytów dla danego kierunku jest w przybliżeniu natężeniem godziny miarodajnej.

Godzina szczytu porannego

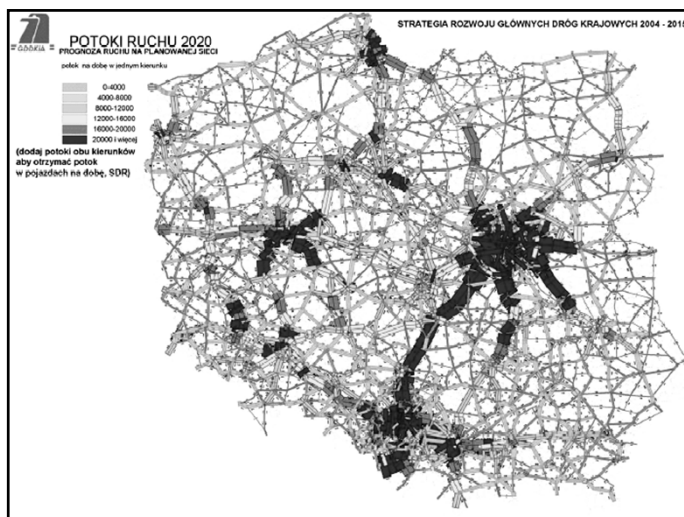


Godzina szczytu popołudniowego

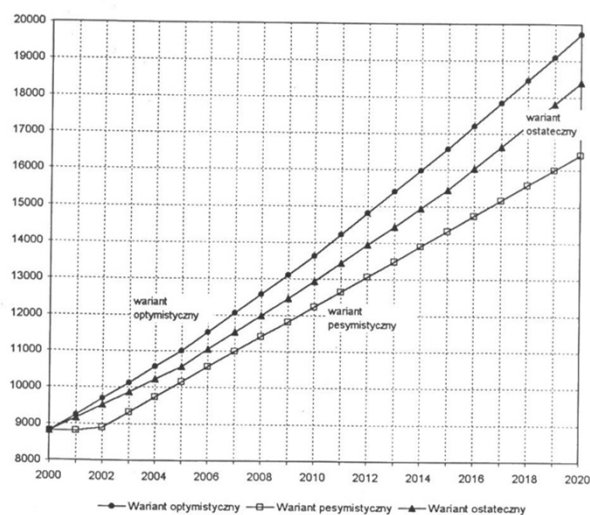


Natężenie godzin szczytu wykorzystuje się do projektowania organizacji ruchu dróg i skrzyżowań oraz bardziej szczegółowych rozwiązań, na przykład projektu sygnalizacji świetlnej.

Prognoza ruchu na zamiejskiej sieci dróg



Metoda trendów



Inżynieria ruchu, rozdział 2

15

**wskaźniki wzrostu ruchu
samochodów osobowych
ogółem**



Okres	Średni roczny wskaźnik ruchu wzrostu pojazdów samochodowych ogółem na drogach wojewódzkich
2000-2005	1,035
2005-2010	1,039
2010-2015	1,032
2015-2020	1,029

**wskaźniki wzrostu ruchu
samochodów dostawczych**



Okres	Średni roczny wskaźnik wzrostu ruchu samochodów dostawczych na drogach wojewódzkich
2000-2005	1,033
2005-2010	1,029
2010-2015	1,025
2015-2020	1,022

Inżynieria ruchu, rozdział 2

16

Nr	Podregion	Prognoza wskaźnika wzrostu PKB średniego w latach [%]														
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 :
1	jeleniogórsko-walbrzyski	5,2	5,2	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4
2	legnicki	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,5	4,4	4,3
3	wrocławski	7,2	7,0	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	5,4	5,2	5,1	4,9	4,8
4	miasto (city) Wrocław	5,6	5,5	5,4	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4,3
5	bydgoski	5,5	5,4	5,3	5,1	5,0	5,0	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4
6	toruńsko-włocławski	5,3	5,3	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4
7	białkopodlaski	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
8	chełmsko-zamojski	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4
9	lubelski	5,9	5,8	5,7	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6
10	gorzowski	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3
11	zielonogórski	5,8	5,7	5,6	5,4	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,5
12	łódzki	5,4	5,4	5,3	5,1	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5
13	piotrkowsko-skiemiewicki	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	5,4	5,3	5,2	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6
14	miasto (city) Łódź	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4
15	krakowsko-tamowski	5,5	5,5	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5
16	nowosądecki	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5	4,4
17	miasto (city) Kraków	5,5	5,4	5,3	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2
18	olechowski-piocki	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3	5,2	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4
19	ostrolęko-siedlecki	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4
20	warszawski	5,9	5,8	5,6	5,4	5,3	5,2	5,1	5,1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,5

Inżynieria ruchu, rozdział 2

17

Kategoria pojazdów	We (wskaźnik elastyczności) w latach	
	2006-2015	2016-2037
Samochody osobowe	0,90	0,80
Samochody dostawcze	0,33	0,33
Samochody ciężarowe bez przyczep i naczep	0,35	0,35
Samochody ciężarowe z przyczepami i naczepami	1,07	1,00

Kategorie pojazdów → Kategorie osób

Inżynieria ruchu, rozdział 2

18

Przykład rozkładu ruchu w sieci

Natężenia ruchu w szczycie porannym (7-8). Część centralna Wrocławia.
Model Visum na rok 2010.



Inżynieria ruchu, rozdział 2

19

Poziom Swobody Ruchu - PSR

Poziom swobody ruchu - jakościowa miara warunków ruchu uwzględniająca odczucia użytkowników ruchu drogowego.

Warunki ruchu:

PSR I – bardzo dobre

PSR II - dobre

PSR III - przeciętne

PSR IV - złe

Inżynieria ruchu, rozdział 2

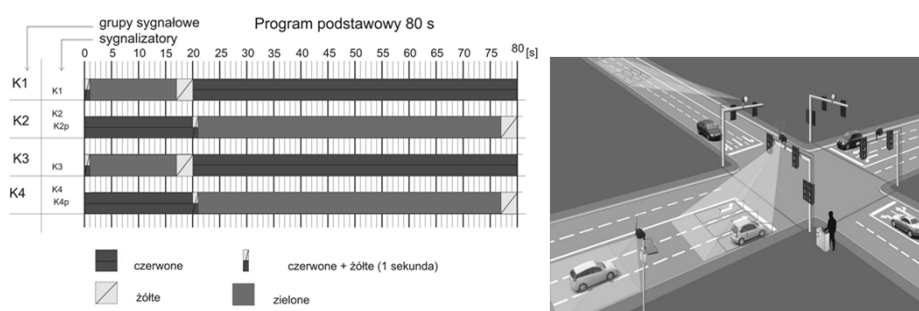
20

Wielkości w oparciu o które ustala się PSR dla skrzyżowań

straty czasu (d)

PSR	Średnie straty czasu [s]	
	Skrzyżowanie wyposażone w sygnalizację	Skrzyżowanie bez sygnalizacji lub rondo
I	≤ 20	≤ 15
II	$20 \div 45$	$15 \div 30$
III	$45 \div 80$	$30 \div 50$
IV	> 80	> 50

Sterowanie ruchem



Programowanie prostych sygnalizacji
to raczej zarządzanie a nie sterowanie ruchem



INŻYNIERIA RUCHU

rozdział 3 Inżynieria ruchu

Inżynieria ruchu a inżynieria ruchu drogowego

Inżynieria ruchu drogowego jest dziedziną inżynierii zajmującą się badaniem procesów ruchu drogowego i praktycznym zastosowaniem wiedzy o ruchu w planowaniu, projektowaniu, realizacji i eksploatacji urządzeń komunikacyjnych oraz systemów transportu, a zwłaszcza organizacją i sterowaniem ruchem.

Podstawowym celem inżynierii ruchu drogowego jest zapewnienie bezpiecznego, sprawnego i ekonomicznego przemieszczania osób i towarów przy ograniczeniu ujemnego wpływu na środowisko

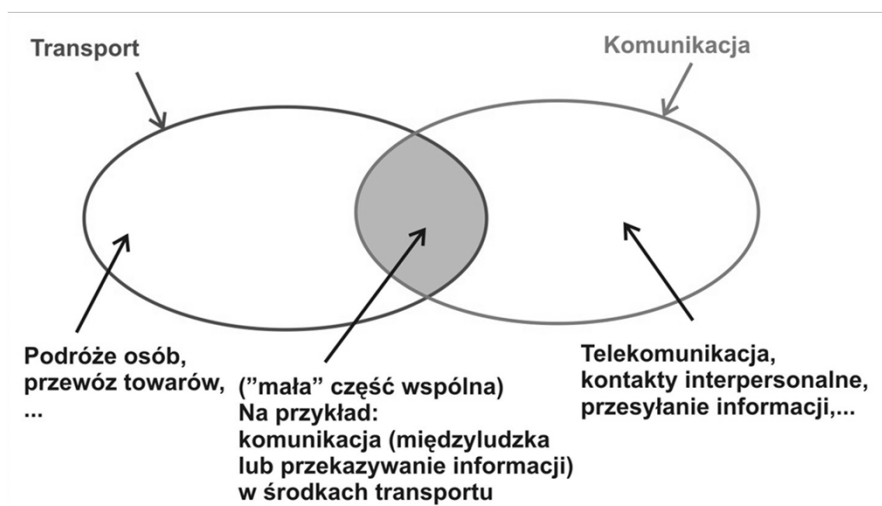
Powyżej: „polska” definicja sformułowana w roku 1968 i zaktualizowana w 1987

Dylemat:

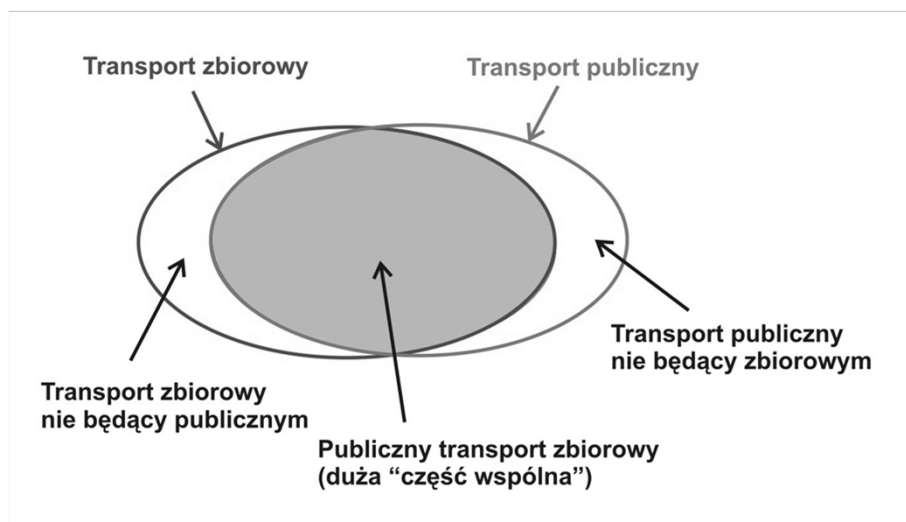
**Zapewnienie bezpiecznego, sprawnego i ekonomicznego przemieszczania osób i towarów przy ograniczeniu ujemnego wpływu na środowisko
nie może ograniczać się wyłącznie do ruchu drogowego!**

Stąd: Inżynieria ruchu drogowego → Inżynieria ruchu (inżynieria transportu)

Definicje



Definicje –c.d.



Inżynieria ruchu, rozdział 3

27

Inżynieria ruchu a inżynieria transportu

Definicje „amerykańskie”, Institute of Transportation Engineering, 1999:

Inżynieria transportu to zastosowanie technologii i metod naukowych do planowania, kształtowania, realizacji i zarządzania infrastrukturą dla wszystkich rodzajów transportu w celu zapewnienia przemieszczania osób i towarów z zachowaniem: bezpieczeństwa, szybkości, wygody, ekonomiki i uwarunkowań środowiskowych

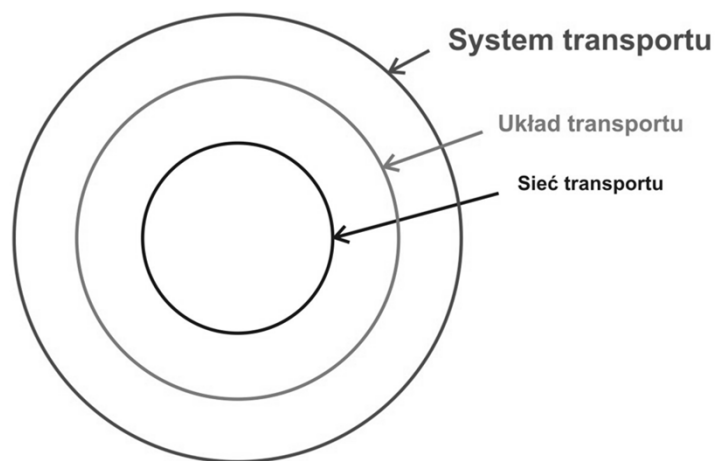
Inżynieria ruchu jest częścią inżynierii transportu zajmującą się planowaniem, projektowaniem geometrycznym i zarządzaniem ruchem drogowym dla ulic, dróg zamieszkanych, ich siecią w relacji do pozostałych rodzajów transportu

Pytanie: czy można zajmować się inżynierią ruchu (drogowego) w oderwaniu od inżynierii transportu?

Inżynieria ruchu, rozdział 3

28

Definicje –c.d.



część popytowa transportu – część podaźowa transportu

Podaż i popyt w transporcie

Popyt

„potrzeby transportowe”
liczba podróży powstająca
w określonych relacjach
„źródło – cel”

Podaż

„oferta systemu transportu”
na przykład:
- przepustowość sieci,
- liczba kursów na godzinę
(dobę)

Wraz ze wzrostem podaży pobudza się popyt

Im większy popyt tym większa cena (koszt transportu)

Aktualne zagadnienia inżynierii ruchu:

Istotne jest nie: „jak ukształtować podaż w celu sprostania popytowi”

Ale: jak kształtować popyt na transport (między innymi poprzez modyfikowanie podaży)

Pojawiają się następujące zagadnienia:

Kształtowanie (zarządzanie mobilnością)

Polityka transportowa

Typowe zagadnienia inżynierii ruchu

- I. Podstawy procesów ruchu (modelowanie ruchu)
- II. Podstawy planowania systemów transportu (część planowania przestrzennego)
- III. Projektowanie dróg
- IV. Węzły i skrzyżowania drogowe
- V. Transport zbiorowy
- VI. Urządzenia sterowania ruchem
- VII. Sterowanie (regulacja) ruchu
- VIII. Zagadnienia parkowania

Inżynier ruchu

Nie jest to wąska dziedzina wiedzy, wręcz przeciwnie wymaga podejścia interdyscyplinarnego ...

Cytat z E. Buszmy „Podstawy inżynierii ruchu drogowego”, WKiŁ 1971:

Europejski „inżynier ruchu” jest profilem inżyniera budowlanego o szerokiej wiedzy technicznej. Oprócz rozwiązywania problemów techniki ściśle drogowej, musi on posiadać wiadomości z zakresu budowy mostów i tuneli, z zagadnień budownictwa wodnego i kolejowego, ruchu miejskiego i pozamiejskiego, planowania miast, osiedli i terenów kraju. Inżynierowi ruchu niezbędne są również umiejętności z zakresu ekonomiki i organizacji.

Zagadnienia inżynierii ruchu w układzie: Stare (S), Nowe (N)

S: Projektowanie izolowanych sygnalizacji stałoczasowych

S/N: Projektowanie skoordynowanych sygnalizacji aktualizowanych

N: Systemowe sterowanie ruchem za pomocą sygnalizacji dostosowujących się do ruchu

S: Uspokojenie ruchu na odcinku drogi

N: Uspokojenie ruchu dla konkretnego obszaru

S: Organizacja ruchu dla pojedynczego skrzyżowania

N: Planowanie sieci transportowej konkretnego obszaru

S: Priorytet „punktowy” dla transportu zbiorowego

N: Planowanie zintegrowanego systemu transportu alternatywnego względem samochodu



INŻYNIERIA RUCHU

rozdział 4

Modelowanie podróży - wprowadzenie

Model to odwzorowanie rzeczywistości...

Model potoków ruchu - matematyczny
zapis → *struktury popytowej transportu*
oparty na badaniu
→ *zachowań transportowych*
w wyodrębnionej jednostce terytorialnej

→ *struktura popytowa transportu*

→ *zachowania transportowe*

→ *wyodrębniona jednostka terytorialna*

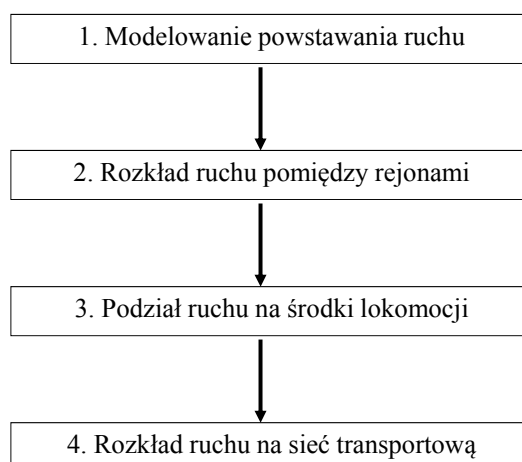
Zachowania transportowe

– opisany wielkościami, wskaźnikami lub wartościami względnymi zbiorów
 → *decyzji transportowych* w określonej w stosunku do wyodrębnionej jednostki terytorialnej populacji o podjęciu **podróży osób** (lub przewozu ładunków), lokalizacji celu, wyborze środka transportu i trasy podróży, przejazdu lub przewozu składających się na → *popyt transportowy* i → *strukturę popytową systemu transportowego* w określonym interwale czasowym.

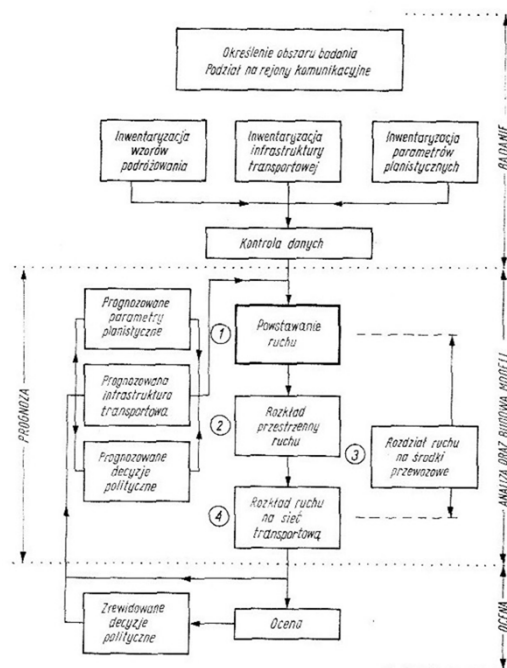
Decyzje transportowe

– decyzje o → *podróżach osób* oparte na modelu mikroekonomicznym, zgodnie z którym każdy podmiot mikroekonomiczny maksymalizuje różnice korzyści i kosztów (zysk). W decyzjach transportowych decyzja o podjęciu podróży lub przewozu, wyborze celu, środka transportu i trasy przejazdu wynika z maksymalizacji różnicy korzyści z podróży oraz kosztów transportu ujętych w formie → *zadania transportowego*

Klasyczny, cztero-stadiowy model ruchu

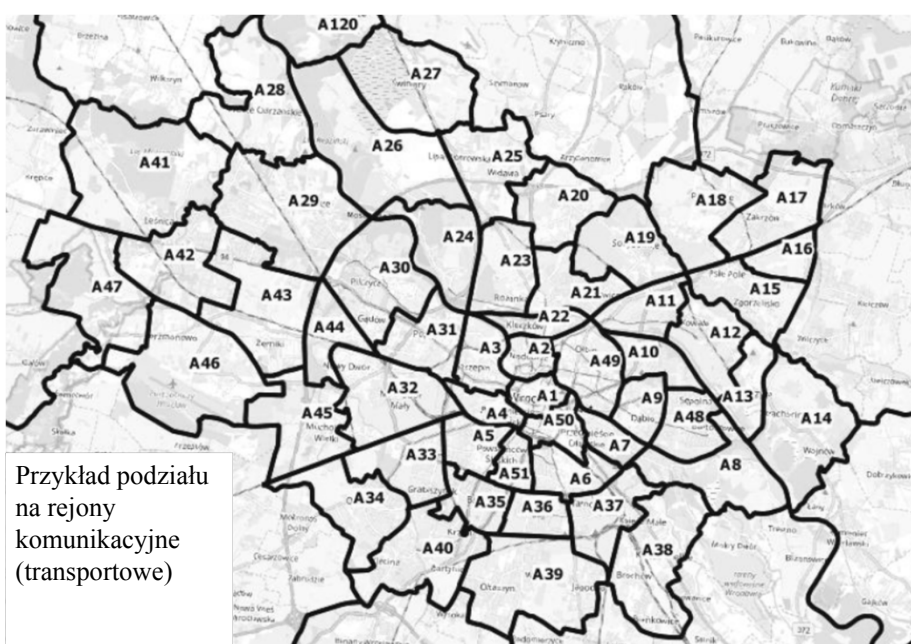


Etapy modelowania ruchu miejskiego



Inżynieria ruchu, rozdział 4

9



Przykład podziału na rejony komunikacyjne (transportowe)

Inżynieria ruchu, rozdział 4

40

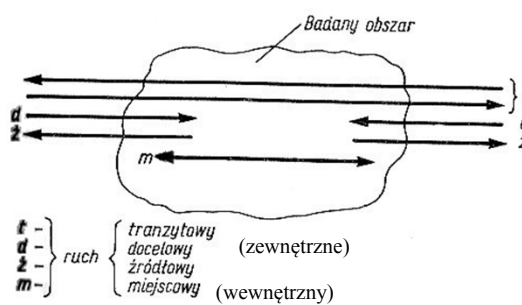
Rejony w ujęciu aglomeracyjnym



Inżynieria ruchu, rozdział 4

41

Przynależność terytorialna ruchu



Ruch absorbowany,
Atrakcja ruchu,
przyjazdy



Ruch generowany,
Generacja ruchu,
wyjazdy

Inżynieria ruchu, rozdział 4

42

Kategorie osób:

- K0 - dzieci do lat 7,
- K1 - osoby zawodowo czynne,
- K2 - uczniowie szkół ponad podstawowych,
- K3 - uczniowie szkół podstawowych,
- K4 - renciści, gospodynie domowe, inni.

Powstawanie ruchu (zapotrzebowanie na podróże)

Podróże związane z domem - ZD:

- rozpoczynające się w domu (podział ze względu na cel):

DP : dom - praca,

DN : dom - nauka,

DI : dom - inne;

- kończące się w domu (podział ze względu na źródło):

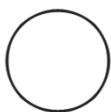
PD : praca - dom,

ND : nauka - dom,

ID : inne - dom.

Podróże niezwiązane z domem - NZD.

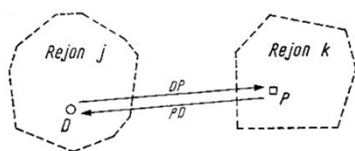
Rejon „i”



„Potencjał wyjazdowy” rejonu = Generacja ruchu

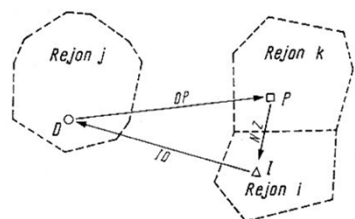
„Potencjał przyjazdowy” rejonu = Absorbacja ruchu

Komponenty modelu ruchu



Podróż „źródło – cel”

macierz „źródło – cel” (macierz podróży, O-D)



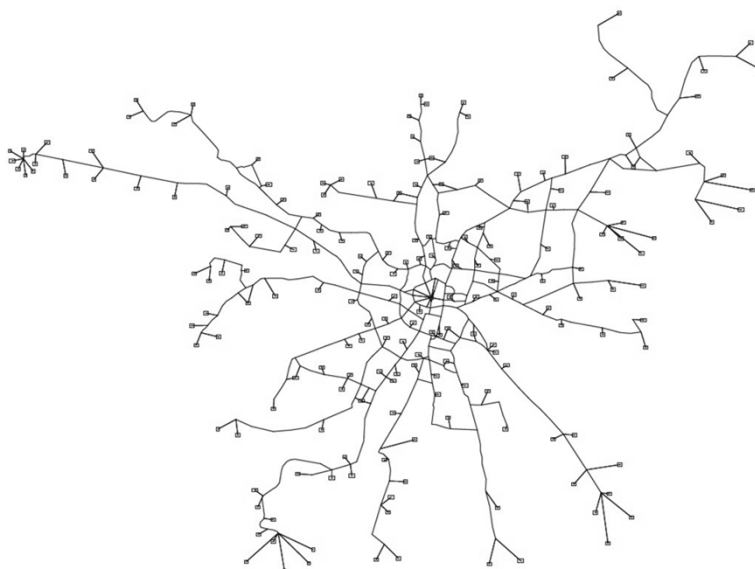
Rodzaje użytkowników systemu transportu
(rodzaje środków transportu)

Rodzaje motywacji podróży
(na przykład Dom – Praca)

Kategorie osób
(na przykład uczniowie szkół, osoby
zawodowo czynne, emeryci/renciści)

Sieć transportowa - plan



Sieć i rejony w modelu

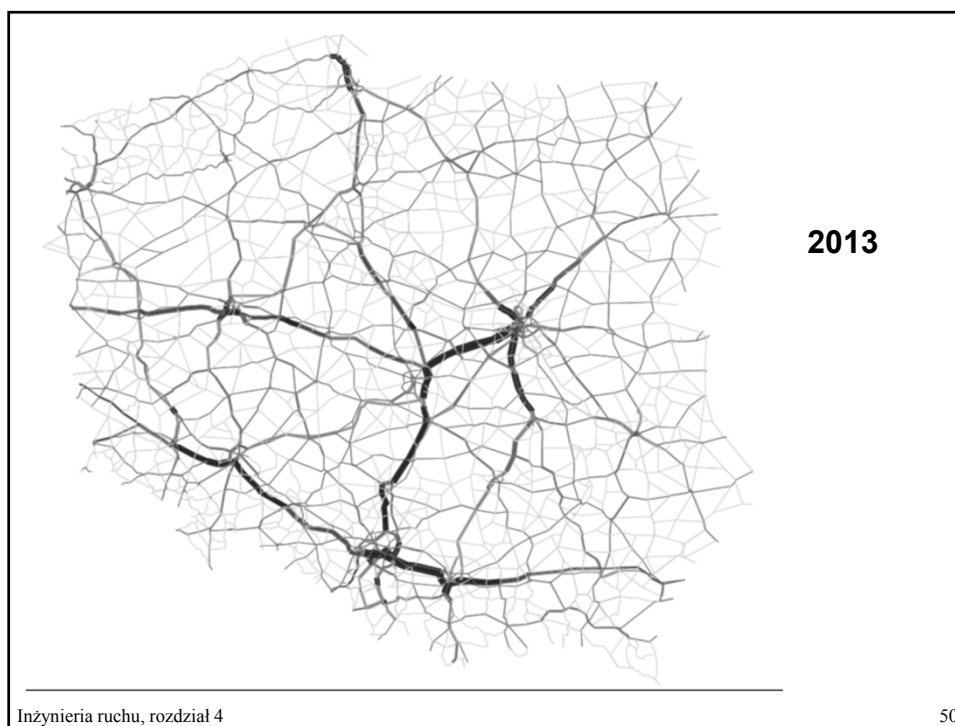
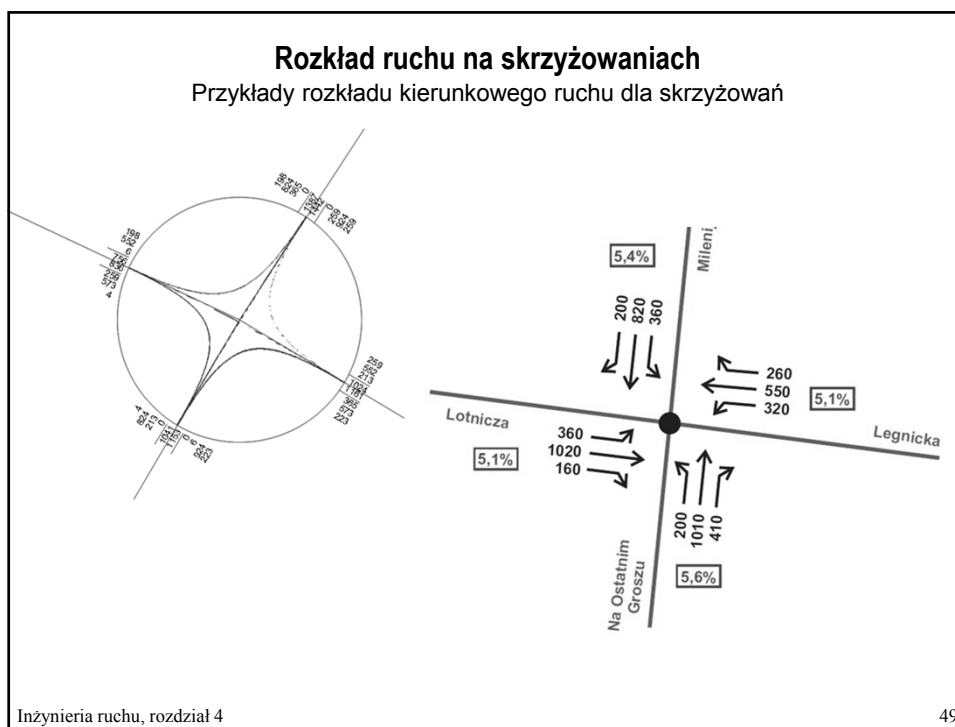
Inżynieria ruchu, rozdział 4

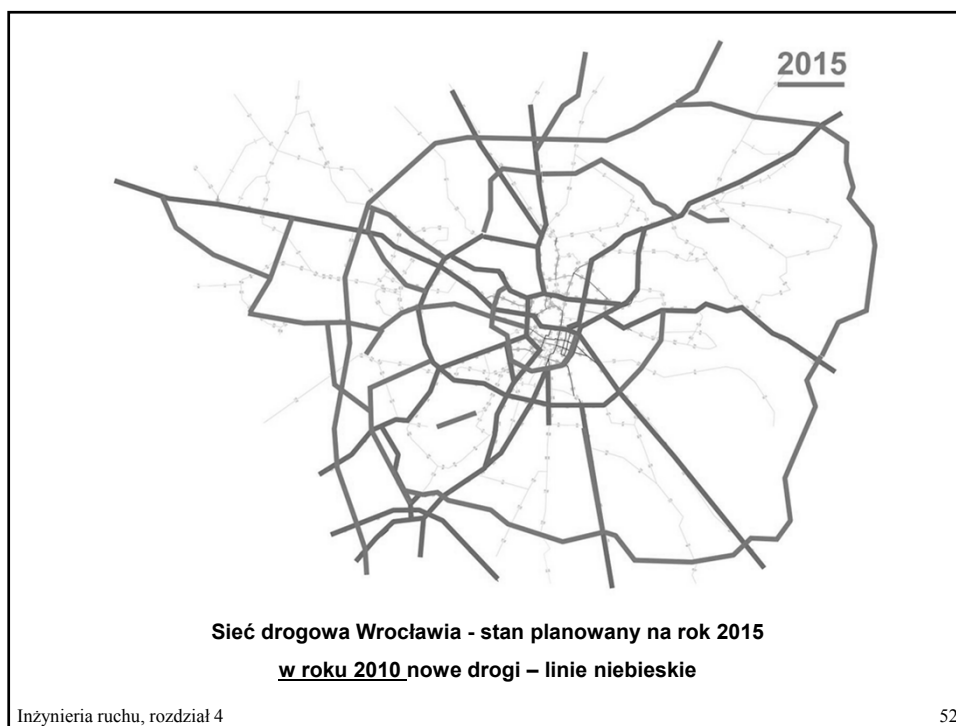
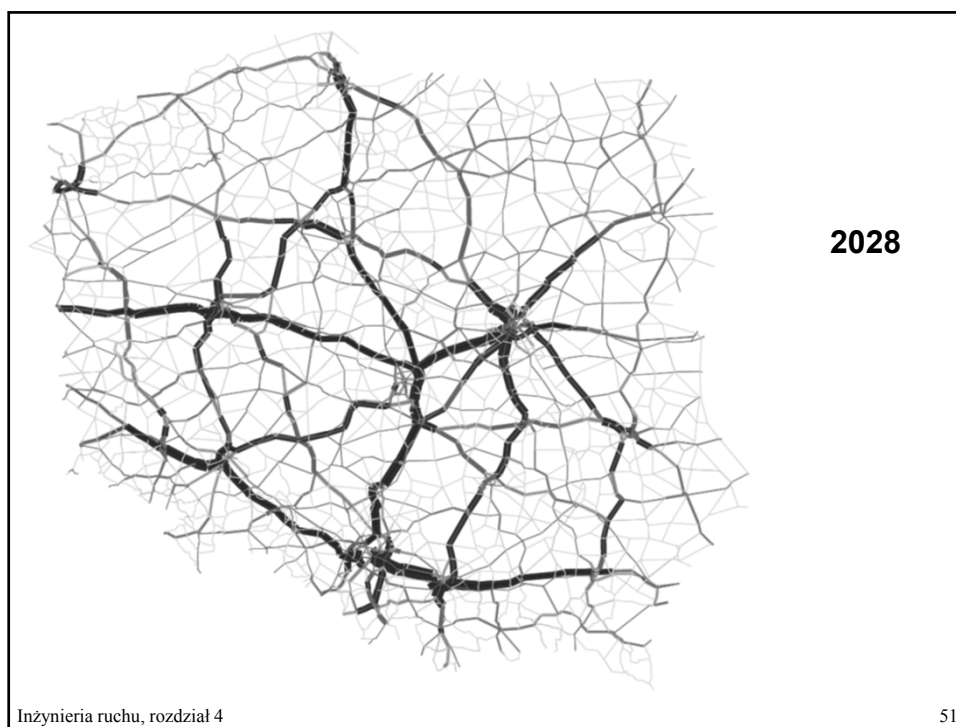
47

Rezultaty modelowania ruchu

Inżynieria ruchu, rozdział 4

48







2015 – obciążenie ruchem na sieci planowanej w roku 2010

Inżynieria ruchu, rozdział 4

53



2015

Sieć drogowa Wrocławia - stan faktyczny na rok 2015

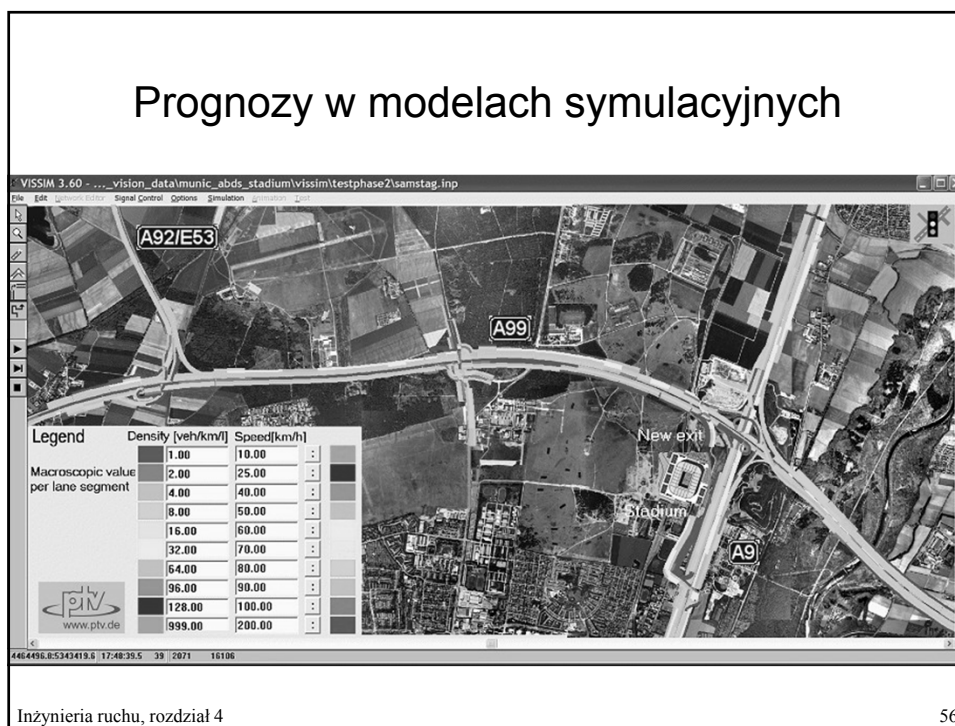
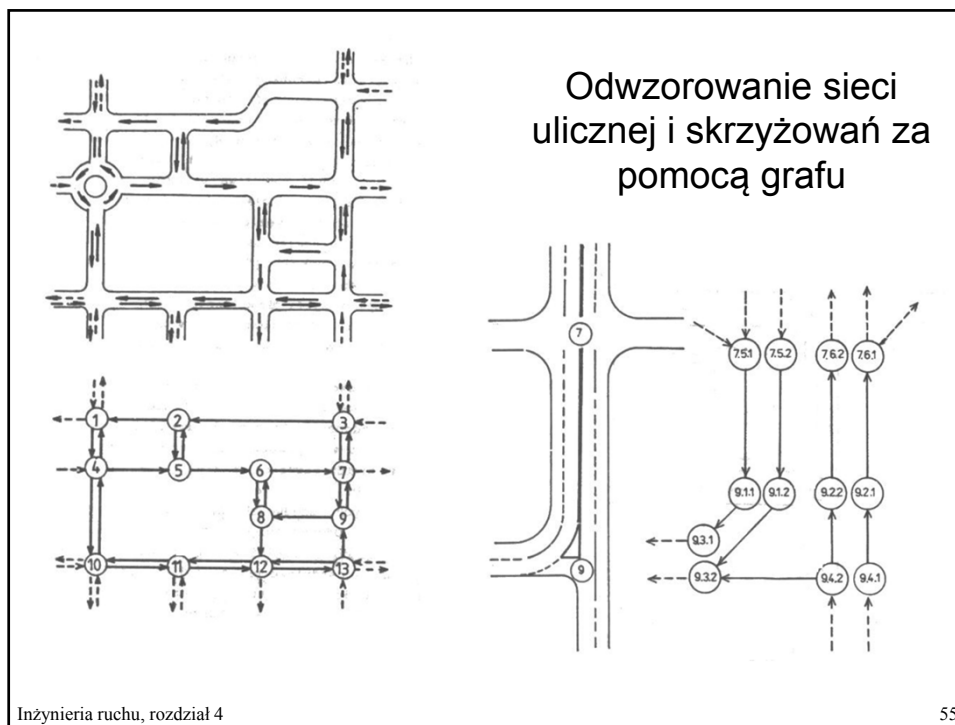
Linie czerwone – odcinki niezrealizowane

(przerywana linia to drogi istniejące ale o standardzie niższym od zakładanego)

Powyższe oznacza konieczność aktualizacji prognoz!

Inżynieria ruchu, rozdział 4

54

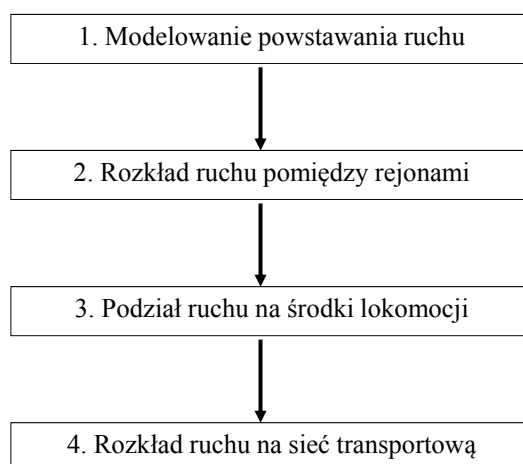




INŻYNIERIA RUCHU

rozdział 5 Etapy i rodzaje modelowania podróży

Klasyczny, cztero-stadiowy model ruchu



Powstawanie ruchu (zapotrzebowanie na podróże)

Do obliczenia Generacji (lub absorpcji) ruchu wykorzystuje się różne wielkości (dane liczbowe)

Na tym etapie w modelu istotna jest motywacja podróży oraz okres analiz

Przykłady:

- Model dla szczytu porannego, generacja dla motywacji D-P - ...
- Model dla szczytu popołudniowego, generacja dla motywacji N-D - ...
- Model ruchu dobowego, generacja (absorpcja) bez wydzielenia motywacji (lub z „parą motywacji”, np. D-P – P-D lub dla „łańcucha aktywności”) - ...

Odchodzimy od analizy pojedynczych rejonów, pojawia się ich para lub cały szereg w łańcuchu aktywności

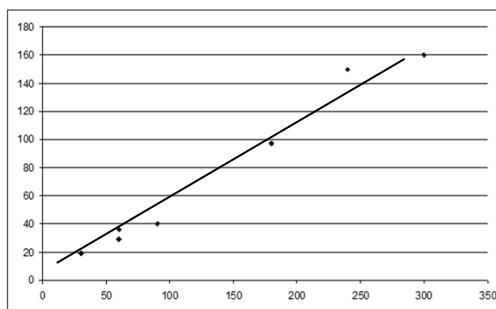
Kalibracja modelu ruchu

$$G_i^k = b_0^k + b_1^k \cdot X_{Gi}^k$$

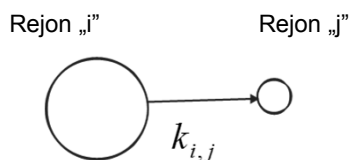
Liczba podróży N-D ← Liczba miejsc nauki

Liczba podróży NZD ← Zatrudnieni w III. sektorze

Liczba podróży D-P ← Liczba mieszkańców



Rozkład ruchu pomiędzy rejonami



$$P_{i,j}$$

Model proporcjonalny:

$$P_{i,j} = G_i \cdot \frac{A_j}{\sum_k A_k}$$

Model grawitacyjny:

$$P_{i,j} = G_i \cdot \frac{A_j \cdot e^{-\alpha \cdot k_{i,j}}}{\sum_k A_k \cdot e^{-\alpha \cdot t_{ik}}}$$

Inżynieria ruchu, rozdział 5

61

Rozkład ruchu pomiędzy rejonami – c.d.

Podejście z wykorzystaniem prawdopodobieństwa, metoda „pośrednich możliwości”

Założenia:

- Każdy dąży do zmniejszenia kosztu (czasu) podróży,
- Każdy rozpoczynający podróż ma do dyspozycji zbiór możliwości jej realizacji (można określić prawdopodobieństwo wyboru określonej opcji = prawdopodobieństwo zakończenia podróży w określonym miejscu, „p”),
- Prawdopodobieństwo zakończenia podróży rośnie w miarę penetrowania większego obszaru (dłuższej podróży).

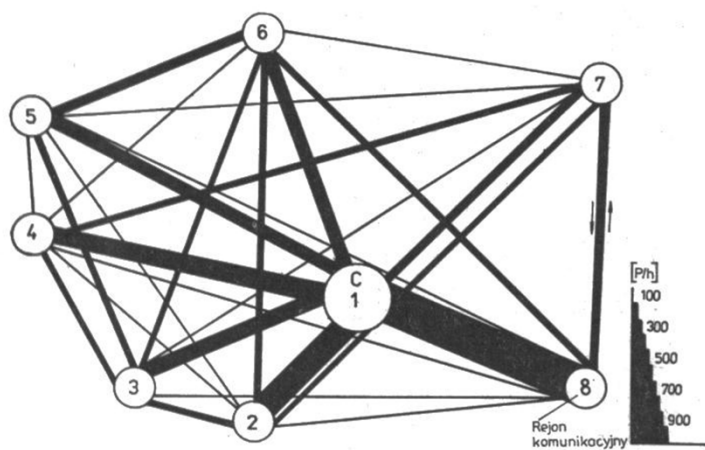
$$P_{i,j} = G_i \cdot \left(e^{-pA} - e^{-p(A+A_j)} \right) \quad \text{A – Absorbacja celów podróży położonych bliżej „i” niż „j”}$$

Na liczbę podróży wpływają nie tylko cechy rejonów, ale także koszt podróży – zależny od cech sieci (konfiguracja połączeń, dostępność wyboru środka transportu)

Inżynieria ruchu, rozdział 5

62

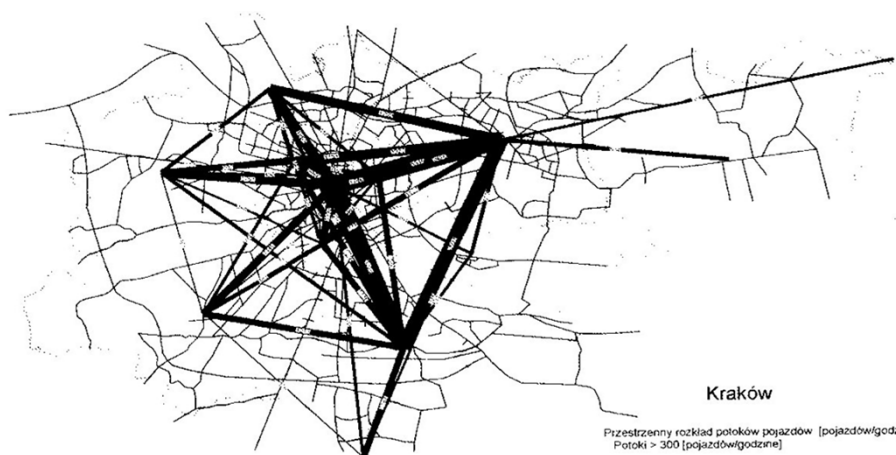
Przykład więzby ruchu dla rozkładu podróży pomiędzy rejonami



Inżynieria ruchu, rozdział 5

63

Przykład więzby ruchu dla rozkładu podróży pomiędzy rejonami - Kraków



Inżynieria ruchu, rozdział 5

64

Więźba ruchu „rozłożona” na sieć - Kraków



Inżynieria ruchu, rozdział 5

65

Podział ruchu na środki transportu (Podział modalny, Modal Split)

Na podział wpływają:

- Dostępność poszczególnych środków transportu,
- Czas (prędkość) podróży,
- Upodobania i uwarunkowania osobiste,
- Pogoda (klimat),
- Ceny, zamożność.

*Wszystko powyższe (prawie wszystko) można wyrazić poprzez
„uogólniony koszt podróży (transportu)”*

Inżynieria ruchu, rozdział 5

66

Podział ruchu na sieć – typowe zadania:

Szukanie najkrótszego połączenia pomiędzy węzłami

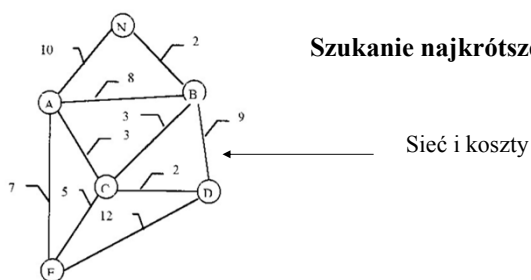
Problem maksymalnego przepływu

Minimalizacja kosztów przewozu (problem Hitchcocka)

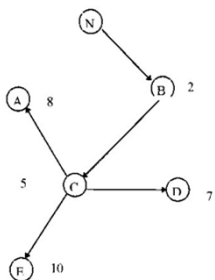
Inżynieria ruchu, rozdział 5

67

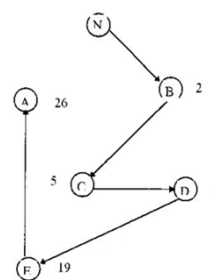
Szukanie najkrótszego połączenia pomiędzy węzłami



Drzewo
najkrótszych
(najtąńszych)
połączeń



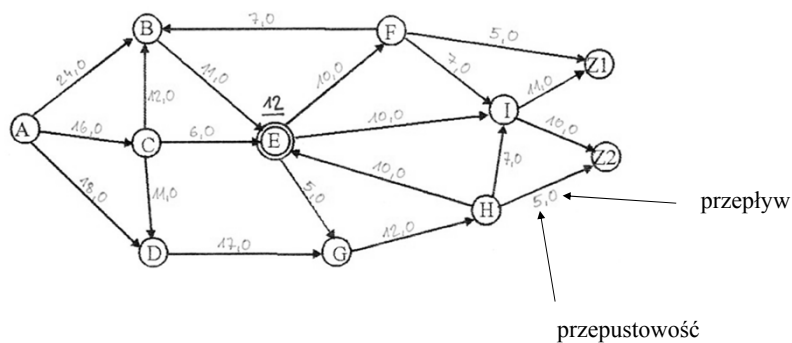
Najkrótsza
(najtąńsza)
ścieżka z N
do A
przechodząca
przez łuk DE
jeden raz



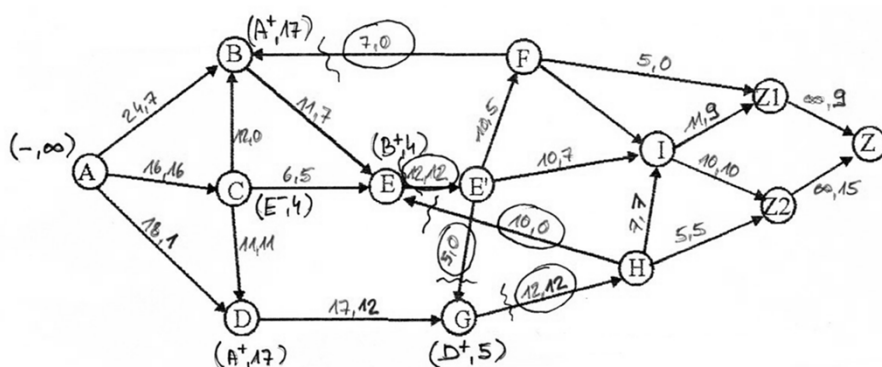
Inżynieria ruchu, rozdział 5

68

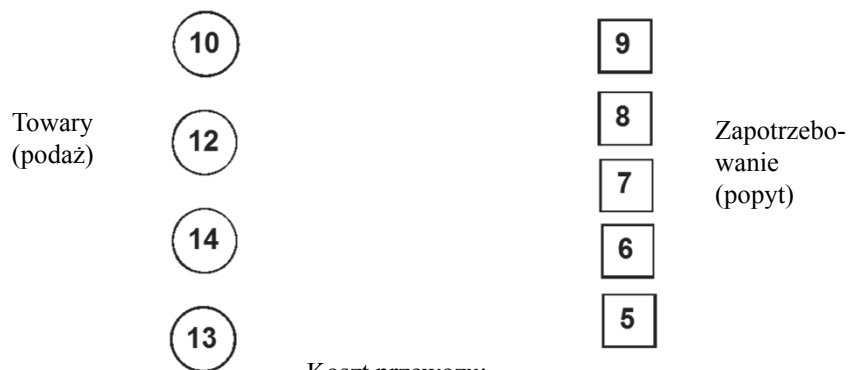
Problem maksymalnego przepływu



Twierdzenie min-max: W dowolnej sieci wartość maksymalnego przepływu ze źródła (A) do odpływu (Z) jest równa przepustowości przekroju rozdzielającego



Minimalizacja kosztów przewozu (problem Hitchcocka)



Koszt przewozu:

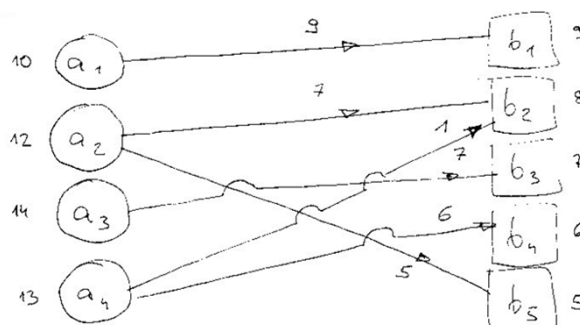
	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)
(10)	5	12	9	14	16
(12)	9	4	8	12	5
(14)	8	6	3	10	20
(13)	7	5	7	4	17

Inżynieria ruchu, rozdział 5

71

	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)
(10)	5	12	9	14	16
(12)	9	4	8	12	5
(14)	8	6	3	10	20
(13)	7	5	7	4	17

(problem Hitchcocka) - rozwiązanie



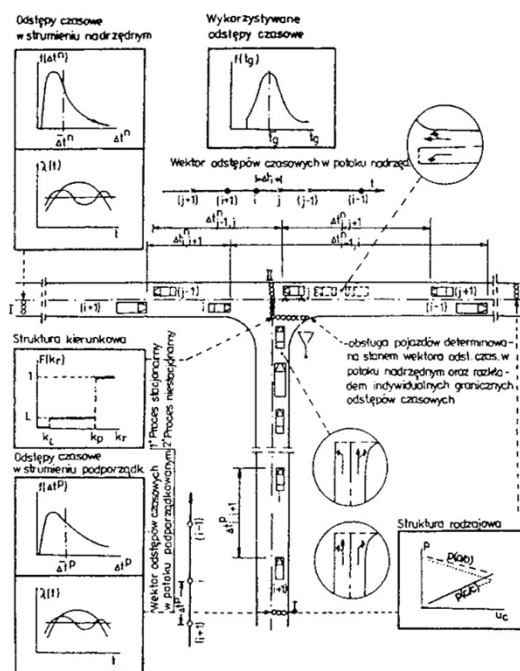
$$K = 9 \cdot 5 + 7 \cdot 4 + 5 \cdot 5 + 7 \cdot 3 + 1 \cdot 5 + 6 \cdot 4 = 148$$

Inżynieria ruchu, rozdział 5

72

Niepewność modeli
(trudność gromadzenia
danych)

Modele „makro”
a modele „mikro”



Inżynieria ruchu, rozdział 5

73

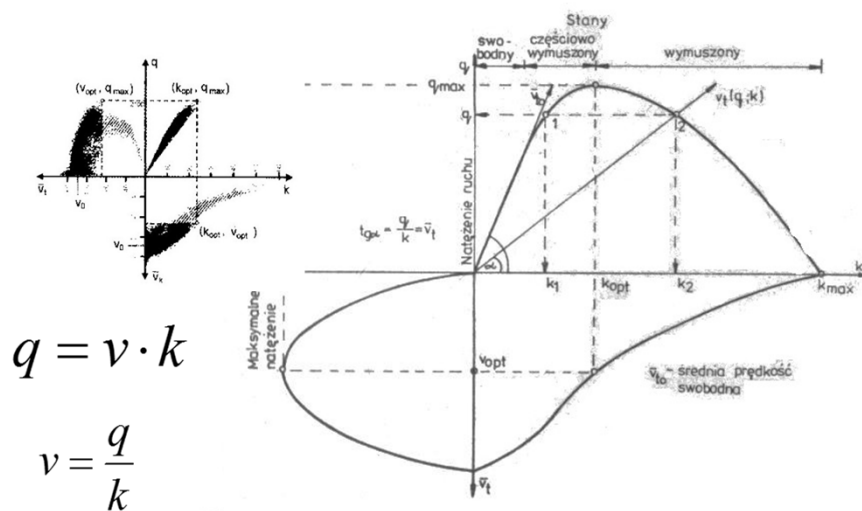


INŻYNIERIA RUCHU

rozdział 6

Deterministyczne i stochastyczne ujęcie
ruchu drogowego

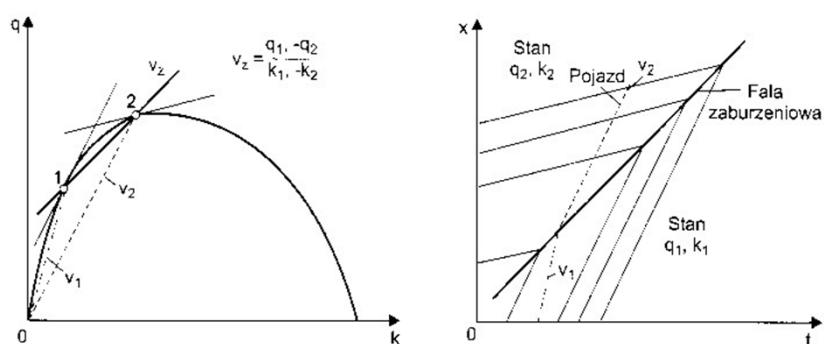
Fundamentalne równanie ruchu



Inżynieria ruchu, rozdział 6

75

Falowy model ruchu

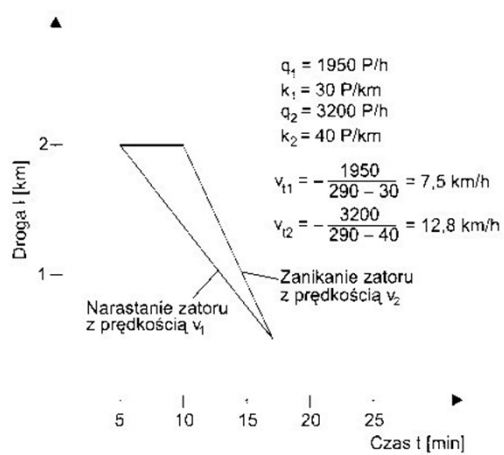


Rys. 4.4. Powstawanie fali zaburzeniowej w strumieniu pojazdów

Inżynieria ruchu, rozdział 6

76

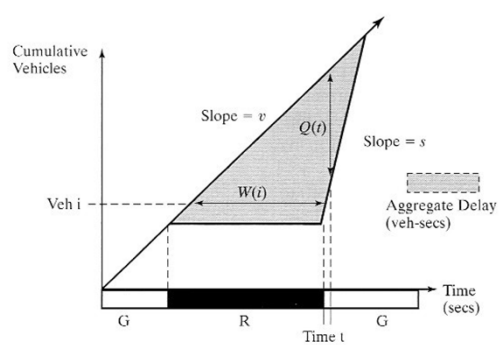
Falowy model ruchu – c.d.



Inżynieria ruchu, rozdział 6

77

Falowy model ruchu – c.d.



Delay, Waiting Time, and Queue Length Illustrated

Inżynieria ruchu, rozdział 6

78

Falowy model ruchu – c.d.

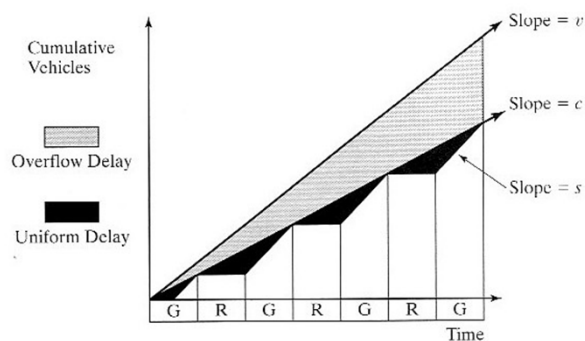
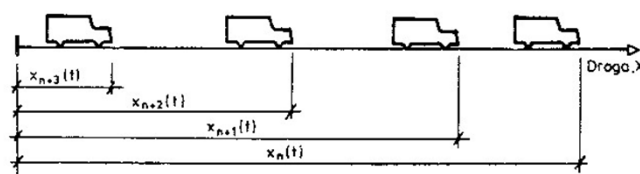


Figure 17.14: An Oversaturated Period Illustrated

Model jazdy za liderem



Rys. 3.3. Analiza zachowania się pojazdów w modelu mikroskopowym

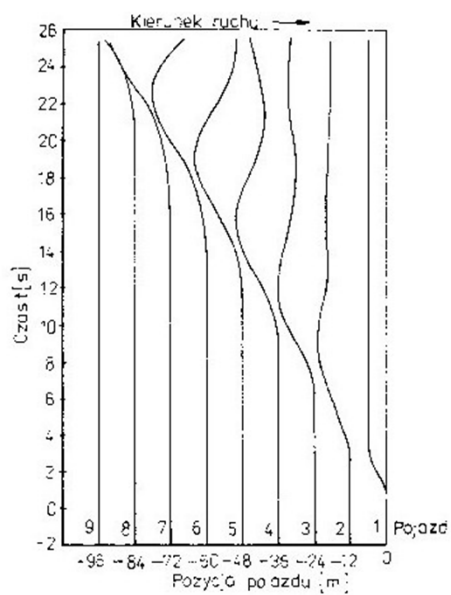
reakcja = bodziec * wrażliwość

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = c(\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)) \quad \text{dla } n = 1, 2, 3 \dots \quad (3.3)$$

gdzie: $\ddot{x}_{n+1}(t)$ - przyspieszenie pojazdu n+1, odpowiada reakcji,
 $\dot{x}_n(t)$, $\dot{x}_{n+1}(t)$ - prędkości pojazdów n oraz n+1, ich wzajemna różnica odzwierciedla bodziec,
 c - wartość stała, zależna od wrażliwości kierowcy (stylu jazdy).

Model jazdy za liderem – c.d.

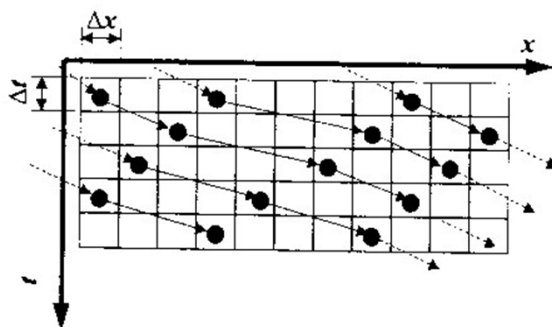
$$\frac{\partial^2 x_{i+1}}{\partial (t + t_r)^2} = \alpha \cdot \left[\frac{\partial x_i}{\partial t} - \frac{\partial x_{i+1}}{\partial t} \right]$$



Inżynieria ruchu, rozdział 6

81

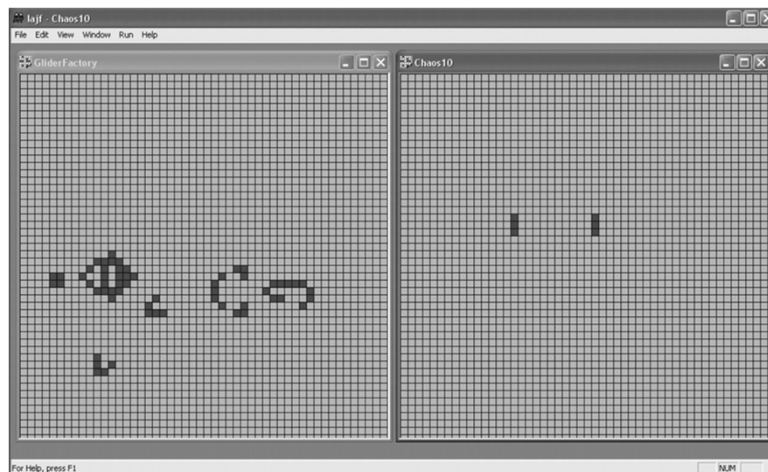
Model komórkowy (automatów komórkowych)



Inżynieria ruchu, rozdział 6

82

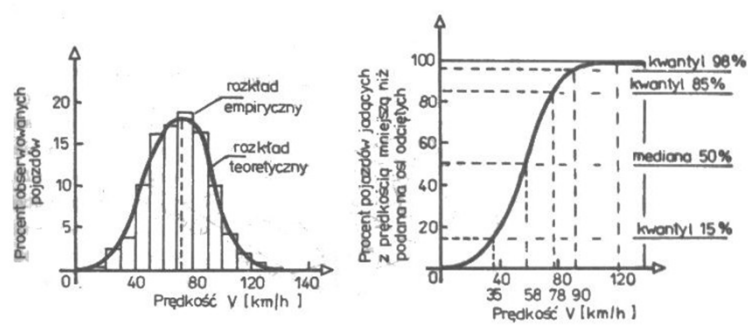
Prezentacja programu „gra w życie - lajf”



Inżynieria ruchu, rozdział 6

83

Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe – rozkład normalny

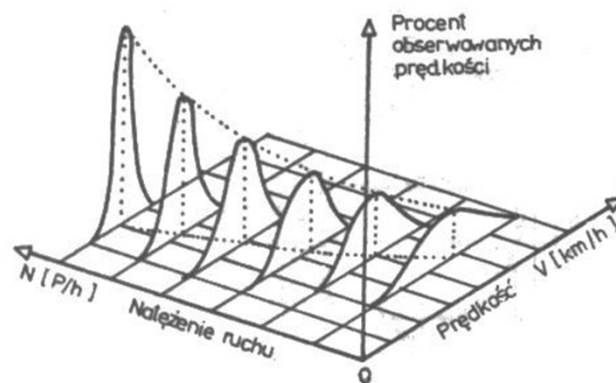


$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Inżynieria ruchu, rozdział 6

84

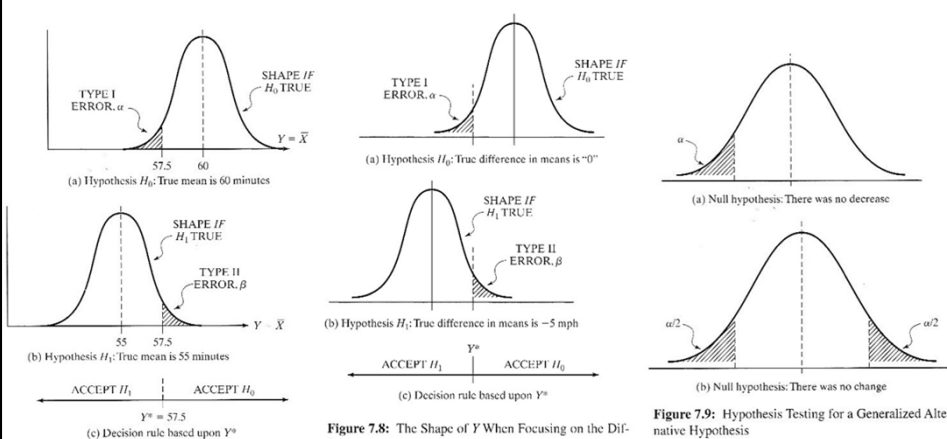
Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe
– rozkład normalny



Inżynieria ruchu, rozdział 6

85

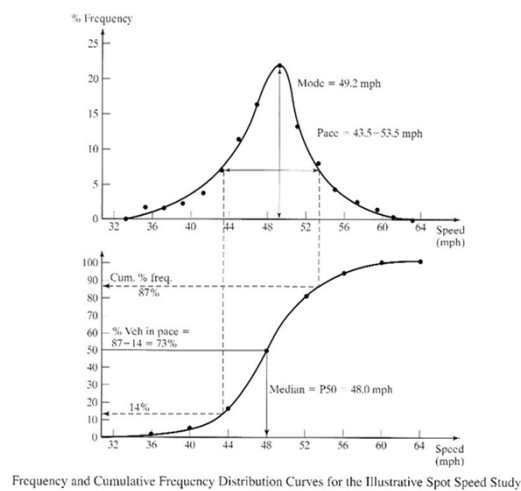
Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe
– rozkład normalny



Inżynieria ruchu, rozdział 6

86

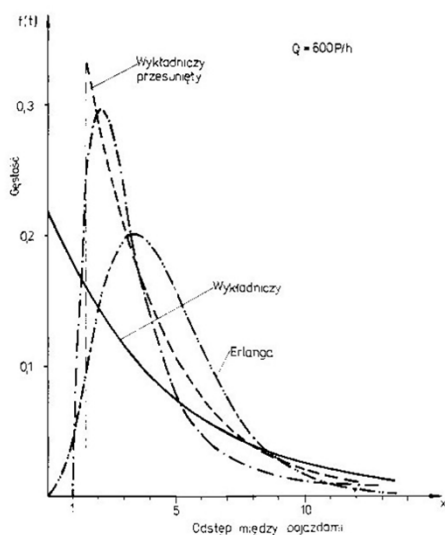
Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe – rozkład normalny



Inżynieria ruchu, rozdział 6

87

Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe – inne rozkłady



dla rozkładu wykładniczego:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}$$

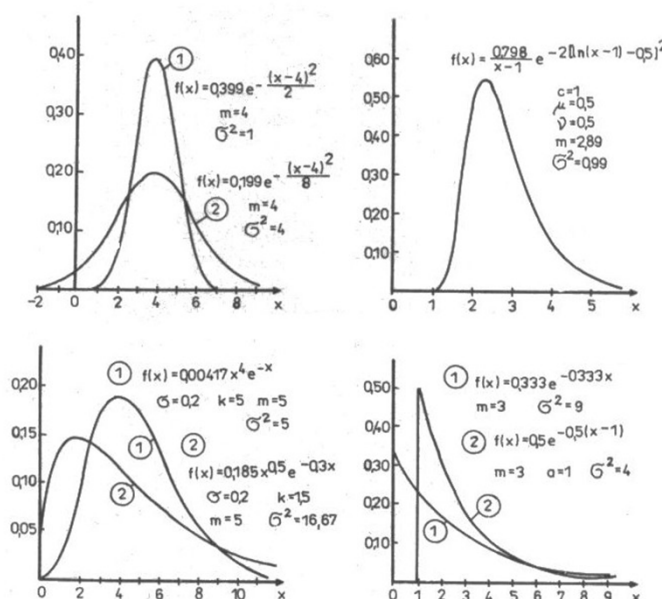
dla rozkładu Erlanga:

$$f(x) = \frac{b^k}{(k-1)!} \cdot x^{k-1} \cdot e^{-b \cdot x}$$

Inżynieria ruchu, rozdział 6

88

Wielkości charakteryzujące ruch drogowy jako zmienne losowe – przykłady rozkładów



Inżynieria ruchu, rozdział 6

89

Modele teorii kolejek

Tablica 4-3. Oczekiwane wartości różnych parametrów kolejki w systemie $M/M/1$ dla stanu ustalonego $\rho < 1$

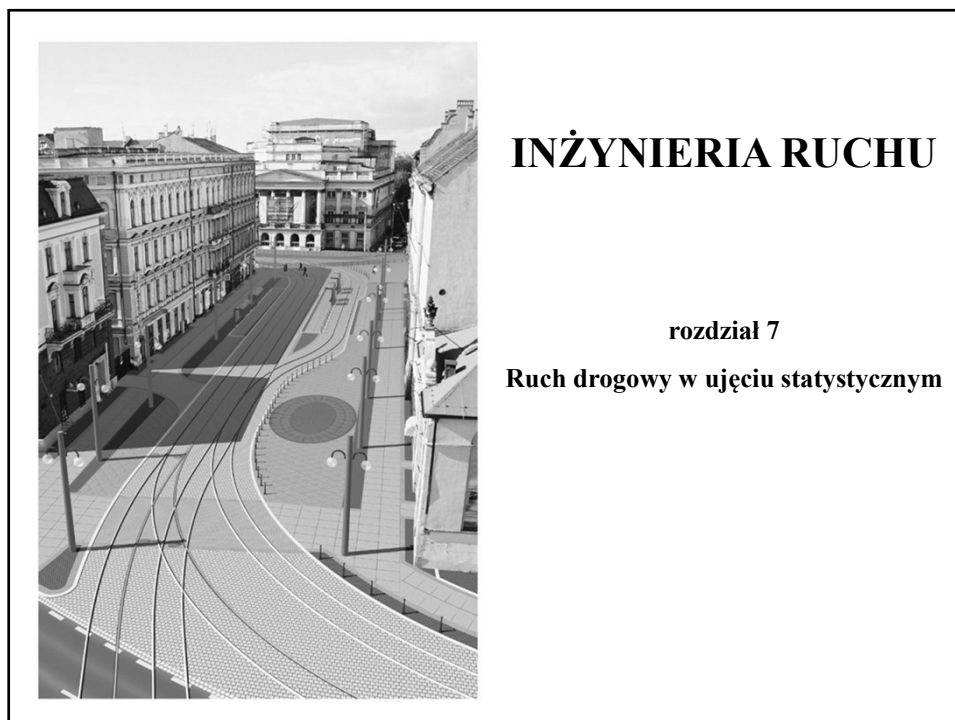
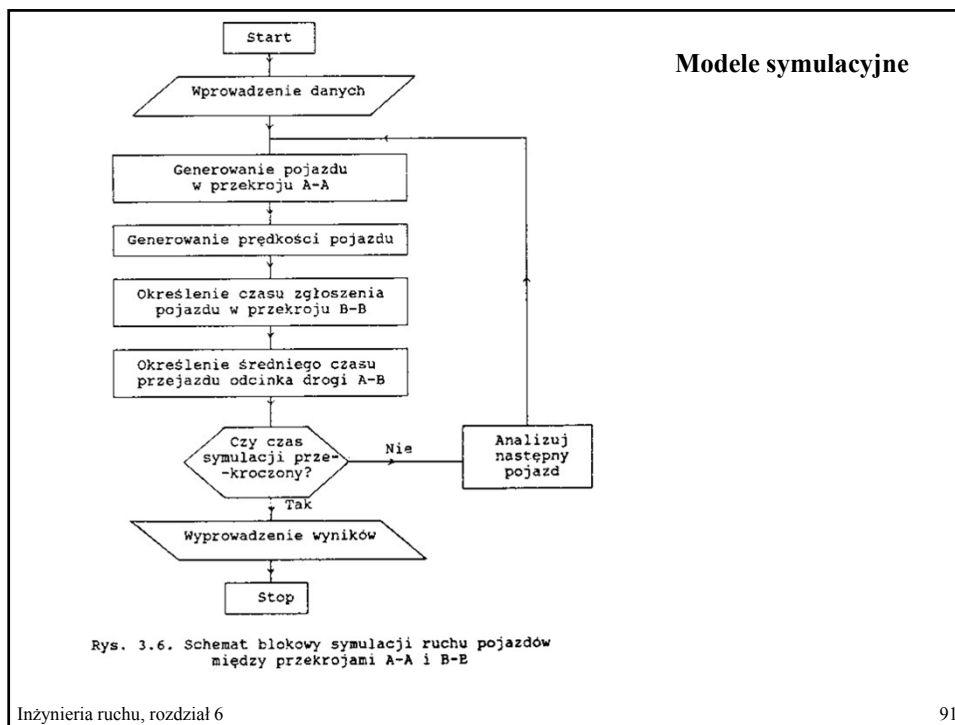
Model kolejki	Opis parametru kolejki
1 $P(n) = \frac{q^n}{s \cdot (s - q)} \cdot (1 - \rho) = \rho^n \cdot (1 - \rho)$	$P(n)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia dokładnie n pojazdów w systemie
2 $\bar{n} = \frac{q}{s - q} = \frac{\rho}{1 - \rho}$	$\bar{n}$ – średnia liczba pojazdów w systemie
3 $Var(n) = \frac{q^2}{(s - q)^2} = \frac{\rho}{(1 - \rho)^2}$	$Var(n)$ – wariancja liczby pojazdów w systemie
4 $\bar{l}_q = \frac{q^2}{s \cdot (s - q)} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$	$\bar{l}_q$ – średnia długość kolejki
5 $f(t) = (s - q) \cdot e^{-(s - q)t}$	$f(t)$ – prawdopodobieństwo przebywania w systemie przez czas t
6 $\bar{T} = \frac{1}{s - q}$	$\bar{T}$ – średni czas przebywania w systemie
7 $\bar{d} = \frac{q}{s \cdot (s - q)} = \bar{T} - \frac{1}{s}$	$\bar{d}$ – średni czas oczekiwania w kolejce
8 $P(\tau \leq t) = 1 - e^{-(s - q)t}$	$P(\tau \leq t)$ – prawdopodobieństwo przebywania w systemie w czasie $\leq t$
9 $P(\tau \leq \infty) = 1 - \rho = e^{-1/\bar{d}}$	$P(\tau \leq \infty)$ – prawdopodobieństwo oczekiwania w kolejce w czasie $\leq \infty$

Oznaczenia:

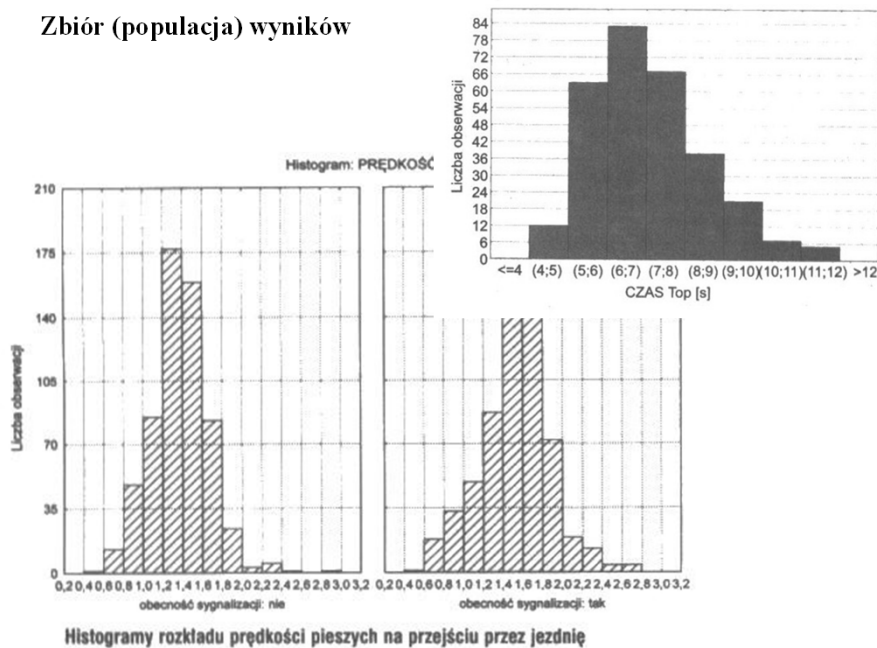
q – średnia liczba pojazdów przybywających do systemu w jednostce czasu,
 s – średnia liczba pojazdów obsługiwanych (opuszczających system) w jednostce czasu,
 $\rho = q/s$ – stopień nasycenia pasa ruchu.

Inżynieria ruchu, rozdział 6

90



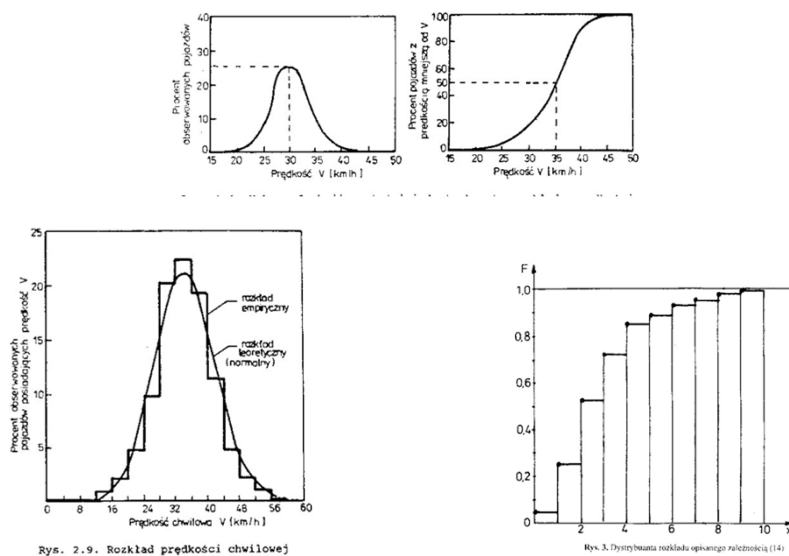
Zbiór (populacja) wyników



Inżynieria ruchu, rozdział 7

93

Charakterystyki rozkładów



Inżynieria ruchu, rozdział 7

94

Charakterystyki rozkładów: średnia

Średnia - w najogólniejszej wersji dowolna funkcja $\mu(a_1, \dots, a_n)$ spełniająca, dla dowolnych $a_1, \dots, a_n$, warunek: $\min(a_1, \dots, a_n) \leq \mu(a_1, \dots, a_n) \leq \max(a_1, \dots, a_n)$ i jednocześnie niemalejąca ze względu na każdą zmienną a_i .

Średnią arytmetyczną n liczb $a_1, a_2, \dots, a_n$ nazywamy liczbę:

$$\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Inaczej mówiąc jest to iloraz sumy n liczb i n (gdzie n to ilość sumowanych liczb).

Średnią geometryczną n dodatnich liczb $a_1, a_2, \dots, a_n$ nazywamy liczbę:

$$\sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n}$$

Charakterystyki rozkładów (pozycyjne)

Charakterystyki pozycyjne (wskaźniki położenia):

- wartość modalna,
- mediana,
- wartość oczekiwana.

Wartość modalna (M_o , dominanta) w rozkładzie dyskretnym to wartość której odpowiada największe prawdopodobieństwo, w rozkładzie ciągłym to wartość dla której gęstość przyjmuje maksimum.

Przykłady:

rzut jedną kostką $\rightarrow M_o$ nie istnieje
 rzut dwoma kostkami na raz $\rightarrow M_o = 7$;
 uproszczony rozkład normalny, $N[0,1] \rightarrow M_o = 0$.

Mediana (M_e) dzieli zbiór wartości na dwa podzbiory, takie że prawdopodobieństwo skumulowane dla każdego z nich wynosi $\frac{1}{2}$.

$$P(x \leq M_e) \geq \frac{1}{2} \quad P(x \geq M_e) \geq \frac{1}{2} \quad \int_{-\infty}^{M_e} f(x) dx = \frac{1}{2} \quad F(M_e) = \frac{1}{2}$$

Charakterystyki rozkładów (pozycyjne – c.d.)

Wartość oczekiwana (spodziewana, przeciętna, nadzieja matematyczna), E to:

$$E = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i \quad \text{dla rozkładu dyskretnego,}$$

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad \text{dla rozkładu ciągłego.}$$

Przykłady:

rzut jedną kostką $\rightarrow E = 3,5$;

uproszczony rozkład normalny, $N[0,1] \rightarrow E = 0$ ($E = Mo = Me$).

Porównanie dla rozkładu wykładniczego:

funkcja gęstości $\lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}$ dystrybuanta $1 - e^{-\lambda \cdot x}$

wartość oczekiwana $E = \frac{1}{\lambda}$

mediana $Me = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ wartość modalna $Mo = 0$

Charakterystyki rozkładów (rozrzutu)

Charakterystyki rozrzutu:

- wariancja,
- odchylenie standardowe,
- współczynnik dokładności.

Wariancja:

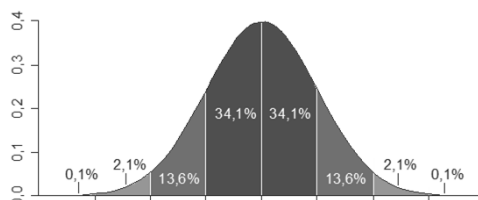
$$S^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot P_i - E^2 \quad \text{dla rozkładu dyskretnego,}$$

$$S^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x_i^2 \cdot f(x) dx - E^2 \quad \text{dla rozkładu ciągłego.}$$

Charakterystyki rozkładów (rozrzutu –c.d.)

Odchylenie standardowe to pierwiastek z wariancji.

Przykład: w rozkładzie normalnym, odchylenie standardowe = σ



Współczynnik dokładności (h) to odwrotność odchylenia standardowego, ewentualnie pomnożona przez jakąś wartość.

Na przykład dla rozkładu normalnego:

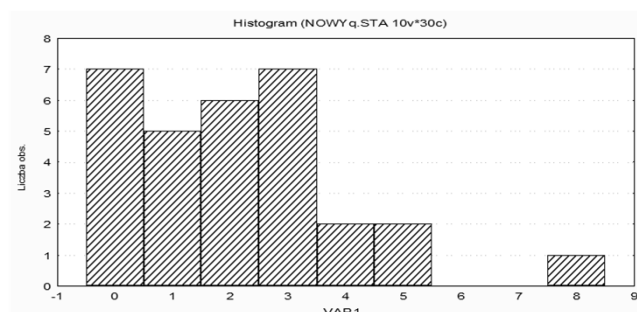
$$h = \frac{1}{2 \cdot \sigma^2}$$

Analiza statystyczna z podziałem na klasy

Określenie liczby klas.

liczba klas: $r = (0,5 \div 1,0) \sqrt{n}$

$r > 5$, w klasie powinno być więcej niż 6 zdarzeń.



Analiza statystyczna z podziałem na klasy – c.d.

Wyznaczenie wartości średniej i wariancji.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r x_j^0 \cdot n_j$$

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r (x_j^0 - \bar{x})^2 \cdot n_j$$

x_j^0 - średnia w badanej klasie;
 n_j - liczebność klasy j.

Analiza statystyczna z podziałem na klasy – c.d.

j	przedział	n_j	x_j^0	$n_j x_j^0$	$x_j^0 - \bar{x}$	$(x_j^0 - \bar{x})^2$	$(x_j^0 - \bar{x})^2 n_j$
1							
...							
r							
		Σ		Σ			Σ

Przykład tabeli do obliczeń

Przykładowe prezentacje z Vissima



Inżynieria ruchu, rozdział 7

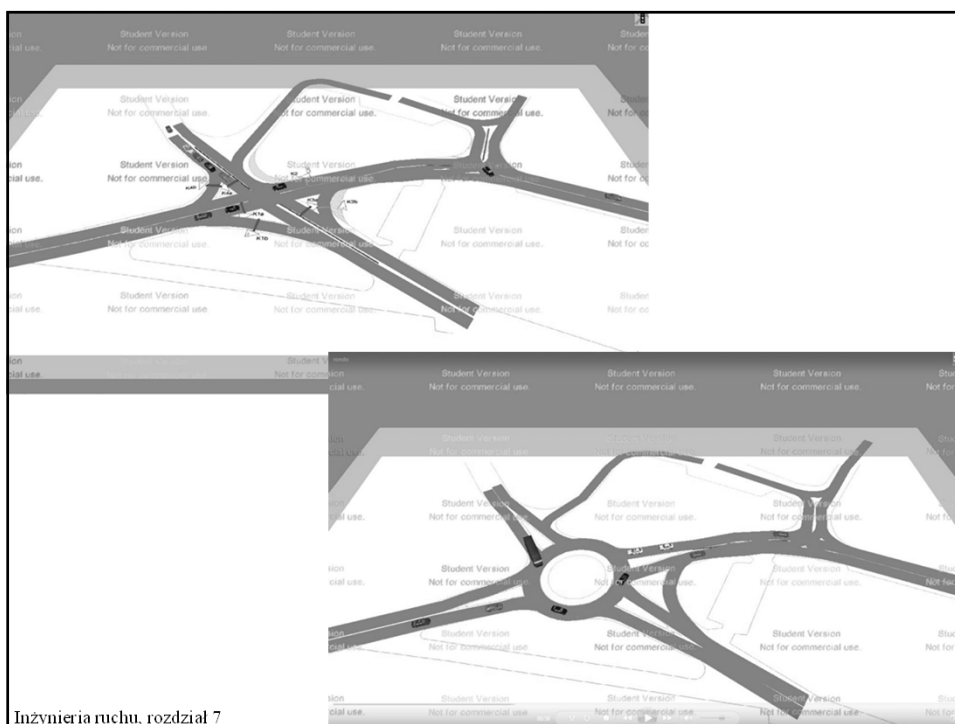
103





Inżynieria ruchu, rozdział 7

105



Inżynieria ruchu, rozdział 7