

# Analizy mikrosymulacyjne - wykłady

## Ruch i jego reprezentacja

dr inż. Rafał Kucharski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Systemów Komunikacyjnych  
Politechnika Krakowska

Kraków, 2017



# Sprawy formalne

- cztery wykłady
- esencja
- obecność wysoce wskazana
- treść wykładów wymagana do zaliczenia



# Terminy wykładów

sala 404 WIL  
godzina 16:15

- 09.05.2017
- 23.05.2017
- 30.05.2017
- ~~06.06.2017~~
- 13.06.2017



# Zakres wykładów

- opis ruchu drogowego, miary ruchu i ich pomiary
- dynamika ruchu
- mikro, a makro skala
- od opisu ogólnego do szczegółowego:
  - markoskopowa funkcja oporu  $\rightarrow$  diagram fundamentalny  $\rightarrow$  wykres: czas-przestrzeń-prędkość  $\rightarrow$  mikrosymulacja
- modele mikroskopowe:
  - modele podążania za liderem:
    - modele analityczne (optymalne),
    - modele rzeczywiste (*np. Intelligent Driver Model, Wiedemann'a*)
  - modele dyskretne (zmiana pasa, decyzja o włączeniu się)
- losowość (niedeterministyczność) w podejściu symulacyjnym
- mikrosymulacja transportu zbiorowego



# Literatura

- Treiber, M., Kesting, A. (2013). Traffic flow dynamics: Data, Models and Simulation. <sup>1</sup>
- Vissim - User Manual
- Newell, G. F. (2002). A simplified car-following theory: a lower order model.
- Daganzo, C. F. (1995). Requiem for second-order fluid approximations of traffic flow.
- Viti, F., van Zuylen, H. (2004). Modeling queues at signalized intersections.
- Cats, O., ... (2010). Mesoscopic simulation for transit operations.
- Kesting, A., Treiber, M., Helbing, D. (2010). Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity.
- Gentile, G. (2010). The General Link Transmission Model for dynamic network loading and a comparison with the DUE algorithm
- Kucharski, R., Drabicki, A. (2017). Estimating Macroscopic Volume Delay Functions with the Traffic Density Derived from Measured Speeds and Flows.
- Kucharski, R., Drabicki, A., Szarata, A. (2016). Modelowanie oporu skrzyżowań w modelach makroskopowych. Transport Miejski i Regionalny, (8), 14-19.
- Tiddi, D., Kostic, B., Gentile, G. (2013). Conflict Areas for Macroscopic Models in Dynamic Traffic Assignment.



---

<sup>1</sup> większość grafik w wykładach pochodzi z tej książki

# Ruch drogowy

## zapis faktycznych zjawisk

### Zapis dla:

- odcinków

<https://www.youtube.com/watch?v=MtwY9xKfaYo>

- skrzyżowań

<https://www.youtube.com/watch?v=FF7ByafP00k>

### Ruch jest:

- złożony
- zmienny (losowy)
- ludzki, nie analityczny
- ale jednak jest w nim pewna regularność, która można opisać analitycznie (fizycznie).



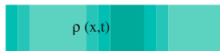
# Reprezentacja ruchu

marko-, mezo-, mikro-

## 6.2 Model Classification

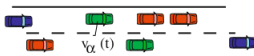
57

**Macroscopic Model**



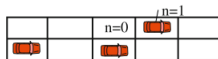
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho V_e(\rho)) = 0$$

**Microscopic Model**



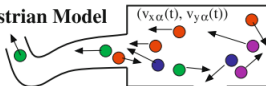
$$\frac{dv_{\alpha}}{dt} = a_{\alpha}(s_{\alpha}, v_{\alpha}, \Delta v_{\alpha})$$

**Cellular Automaton (CA)**



$$n_j(t+1) = F(\{n_k(t)\})$$

**Pedestrian Model**



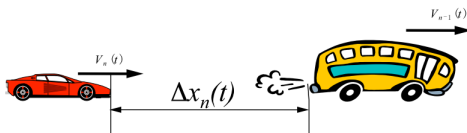
$$\frac{d\vec{v}_{\alpha}}{dt} = \vec{a}_{\alpha}(\vec{v}_{\alpha}, \vec{v}_{0\alpha}, \{\vec{x}_{\beta}\}, \text{Walls} \dots)$$

**Fig. 6.2** Comparison of various model categories (with respect to the way they represent reality) including typical model equations



# Reprezentacja ruchu

## pojazd-kierowca w ujęciu mikroskopowym



$\alpha$  pojazd (kierowany przez kierowcę)

$x_\alpha(t)$  położenie pojazdu  $\alpha$  w czasie  $t$  (podłużne i poprzeczne)

$v_\alpha(t)$  prędkość

$dv_\alpha(t)/dt$  zmiana prędkości

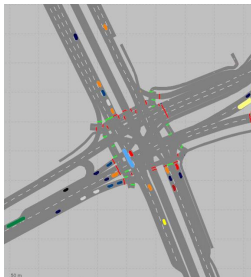
Ograniczenia:

- **sieć** ogranicza możliwość wyboru (pasa, skrętu, prędkości)
- **pojazd** determinuje przyśpieszenie  $\max(dv_\alpha(t)/dt)$  i opóźnienie  $\min(dv_\alpha(t)/dt)$ .
- w tych ograniczeniach **kierowca** decyduje i wybiera: prędkość, pas ruchu; decyduje o zatrzymaniu się i ruszeniu.





# Reprezentacja ruchu



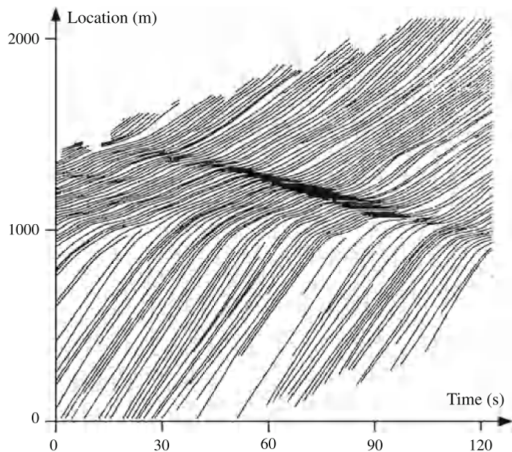
**ruch drogowy**, to położenie wszystkich pojazdów przez cały okres zapisu:  
$$\{x_{\alpha}(t) : t \in T, a \in A\}$$



# Reprezentacja ruchu

trajektorie

położenie  
pojazdu w  
czasie



**Fig. 2.1** Trajectories with moving stop-and-go waves on a British motorway segment [Adapted from: Treiterer et al. (1970)]



# Reprezentacja ruchu

## mikroskopowy pomiar pojazdu

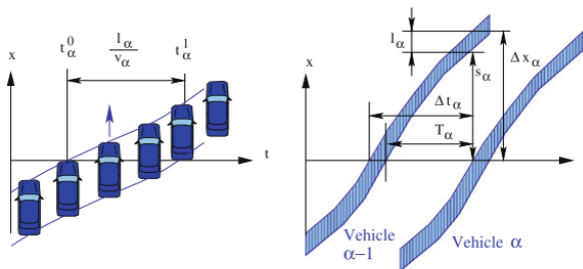


Fig. 3.2 Single-vehicle data as measured by an induction loop (or any other cross-sectional detector). The shaded area indicate the “detector occupancy” at different times

- długość pojazdu
- odstęp czasowy
- odstęp podłużny
- prędkość

$$l_{\alpha} = v_{\alpha}(t_{\alpha}^1 - t_{\alpha}^0)$$

$$\Delta t_{\alpha} = v_{\alpha}(t_{\alpha}^0 - t_{\alpha-1}^0)$$

$$d_{\alpha} = v_{\alpha-1} \Delta t_{\alpha}$$

dla pętli podwójnych



# Reprezentacja ruchu

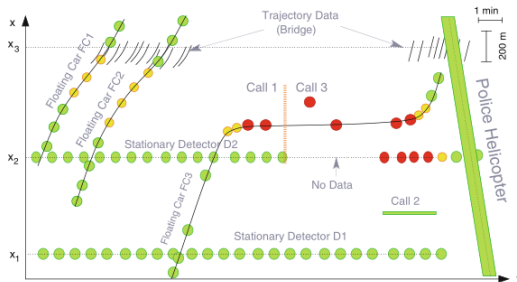
## gromadzenie danych z różnych źródeł

### 5.3 Data Fusion

47

wiele źródeł danych:

- pętle stacjonarne,
- pojazdy sondujące (FCD)
- pomiar trajektorii na krótkim odcinku
- przelot helikoptrem



# Reprezentacja ruchu

jak opisać to, co obserwujemy?

- 1 model makroskopowy statyczny
- 2 model makroskopowy dynamiczny
- 3 modele mikroskopowe



# Reprezentacja ruchu

agregacja wartości mikroskopowych do opisu makroskopowego

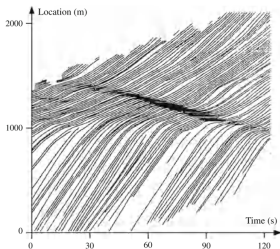


Fig. 2.1 Trajectories with moving stop-and-go waves on a British motorway segment [Adapted from: Treiterer et al. (1970)]

liczba pojazdów  
potok  
średnia prędkość  
gęstość

$$N$$

$$Q(x, t) = \Delta N / \Delta t$$

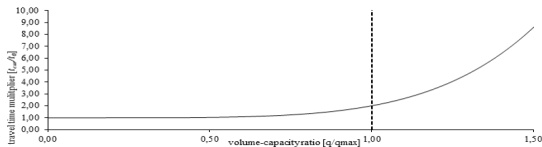
$$V(x, t) = \langle v_{\alpha} \rangle$$

$$\rho(x, t) = \frac{Q(x, t)}{V(x, t)}$$



# Funkcja oporu

## statyczny makroskopowy opis ruchu



- w modelowaniu strategicznym (planistyka) pomijamy zmienną czasu  $q_a(t) \rightarrow q_a$
- czas przejazdu jest szacowany  $t$  jako funkcja wykorzystania przepustowości  $q/q_{max}$

$$t = t_0 \cdot \left( 1 + a \cdot \left( \frac{q}{q_{max}} \right)^b \right)$$

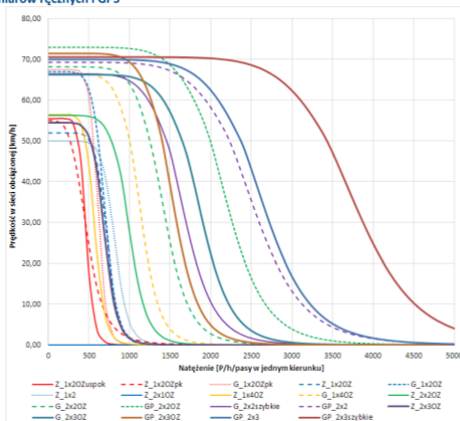
- nie ma tu nigdzie indeksu czasu, cały opis stanu korzysta ze zmiennych zagregowanych  $Q_a = \Delta N / \Delta T$ ,  $\Delta T = 1h$



# Funkcja oporu

## statyczny makroskopowy opis ruchu

Rysunek 1.7 Funkcje oporu uzyskane dla poszczególnych typów przekrojów dróg w wyniku przetwarzania danych z pomiarów ręcznych i GPS



Źródło: obliczenia własne.





# Markoskopowa statyczna funkcja oporu

## problem



FIGURE 2: Measurement site, Al. Krakowska, Warsaw, Poland, (c) Google Satellite.

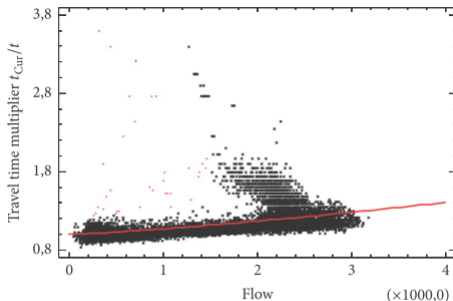


FIGURE 5: Travel time multiplier [—] against hourly flow [veh/h] and the BPR function estimated for this data (red) with output parameters equal to  $a \approx 1$  and  $b = 1.27$ .

zależność funkcyjna między potokiem, a prędkością  
nie zachodzi



# Diagram fundamentalny

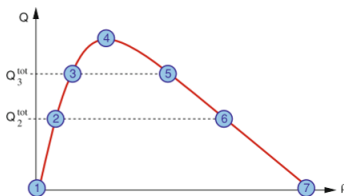
trzy makroskopowe zmienne opisu ruchu:

- potok  $Q$  [poj./h]
- prędkość  $v$  [km/h]
- gęstość  $k$  [poj./km]

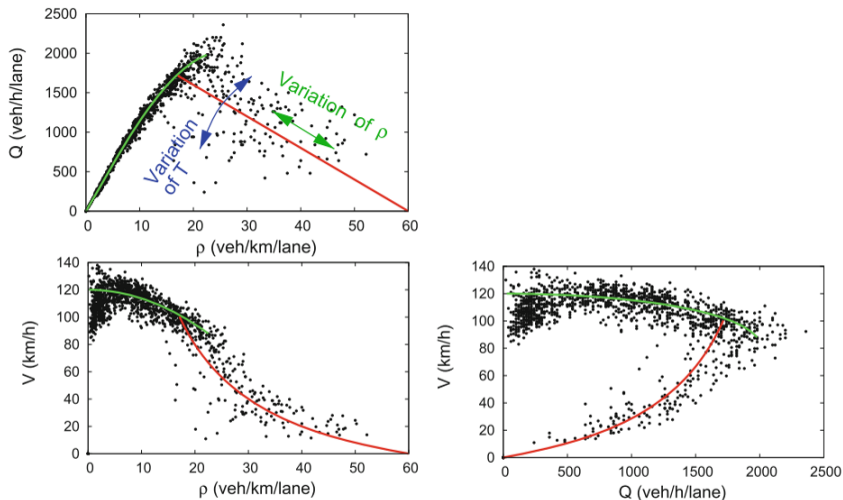
podstawowa zależność hydrodynamiczna:

- $Q = kv$ ,
- $v = Q/k$ ,
- $k = Q/v$

Fig. 8.8 Schematic fundamental diagram. The circles correspond to the traffic states illustrated in Fig. 8.7



# Diagram fundamentalny



**Fig. 4.12** Flow-density, speed-density, and speed-flow diagrams of the 1-minute data captured on the Autobahn A5 near Frankfurt, Germany using harmonic mean speed. The lines show the fit of a



# Diagram fundamentalny

rozszerzenie z opisu punktowego na przestrzeń i czas

**Diagram** opisuje stan w danej chwili czasu  $t$  w danym miejscu  $x$ :

$k(x, t)$ ,  $q(x, t)$ ,  $v(x, t)$ .

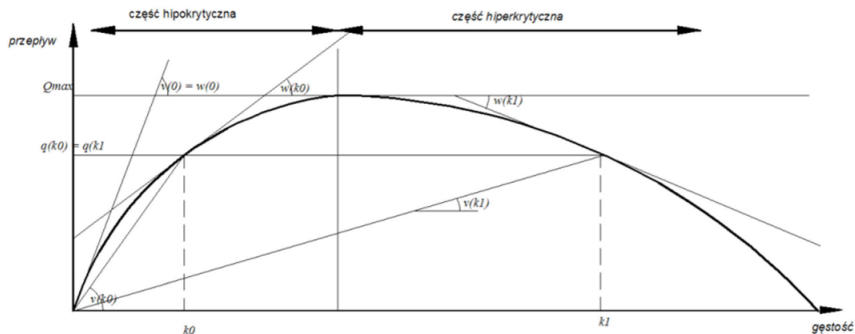
jak określić dynamikę w czasie:  $\frac{dk}{dt}$  i w przestrzeni  $\frac{dk}{dx}$  ?

**Fala wzburzeniowa**



# Diagram fundamentalny

## fala wzburzeniowa



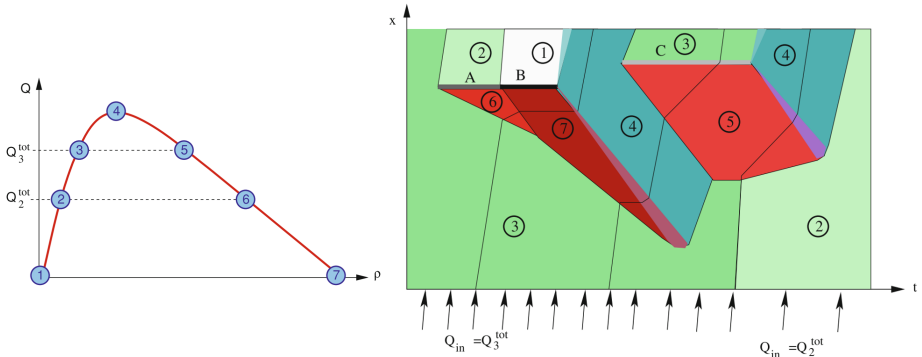
$$w(x, t) = \frac{dq(x, t)}{dk(x, t)}$$

**fala** - pochodna diagramu fundamentalnego  
kierunek i prędkość propagacji zmiany stanu (gęstości)



# Wykres czasoprzestrzenny

## rekonstrukcja

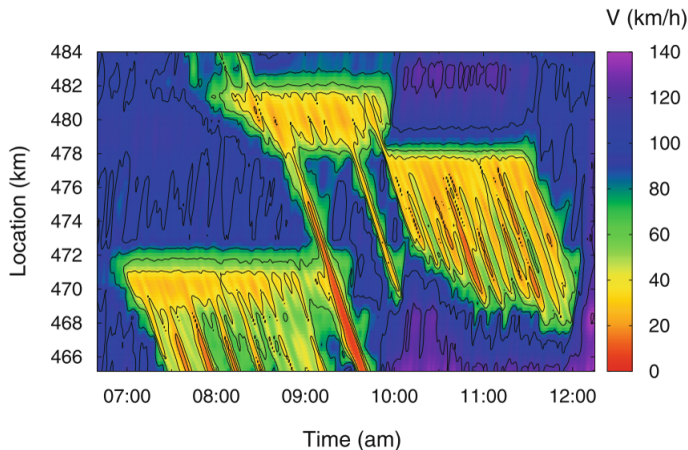


kolor oznacza prędkość (im ciemniej, tym mniejsza prędkość  $v$   
dla każdego punktu na diagramie możemy odczytać prędkość  $q/k$  ,  
prędkość i kierunek fali  $w$   
i odtworzyć ruch w czasie (oś  $x$ ) i w przestrzeni (na odcinku, oś  $y$ )



# Wykres czasoprzestrzenny

## przykład



- zator i spowolnienie od godziny 7 do 9 na 472 kilometrze
- zator z 482 kilometra propaguje **wstecz** i dociera (przed dziesiątą) na 466 kilometr
- wjeżdżając na odcinek o godzinie 9 trafimy na kilka różnych korków 'stop-and-go wave'



# Dynamiczny makroskopowy model przepływu

## synteza

Dynamiczny makroskopowy model przepływu:

- wyniki jako funkcja czasu i przestrzeni  $q(x, t)$
- uproszczony graf
- nie ma pojedynczych pojazdów, a **potoki**
- model deterministyczny, tzn. wszyscy zachowują się tak samo - przeciętnie
- bardzo szybki w obliczeniach (do zastosowań w czasie rzeczywistym)
- bogata reprezentacja zjawiska

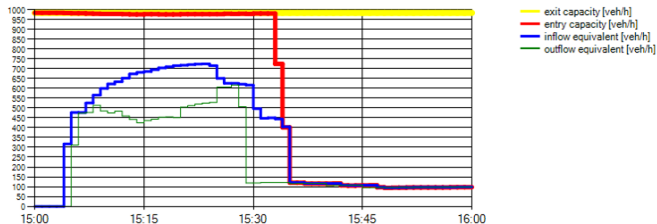




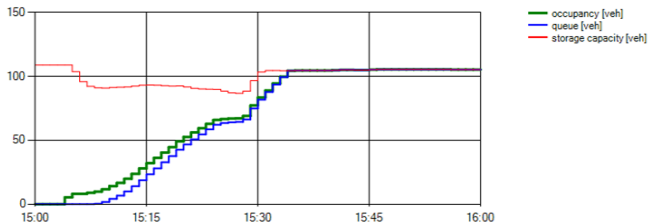
# Dynamiczny makroskopowy model przepływu

## przykład wyników

Flow of link (ID: 3087, tail: 243, head: 945)



Number of Vehicles on link (ID: 3087, tail: 243, head: 945)



# Model mikroskopowy

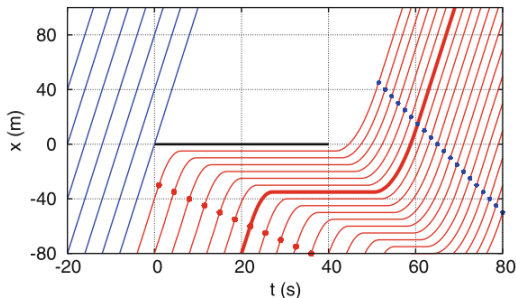
## podsumowanie

Model mikroskopowy:

- wyniki jako trajektorie indywidualnych pojazdów  $x_\alpha(t)$
- rozbudowany graf (uwzględnia geometrię i inżynierię ruchu)
- model stochastyczny, losowy (to dobrze, a nawet źle)
- długi czas obliczeń
- do analiz konieczność agregacji i uśredniania z kilku symulacji



# Powtórzenie



Pytania:

- co oznacza pozioma czarna linia?
- jaki jest czas przejazdu i opóźnienie dla pogrubiłego pojazdu?
- jaki jest dopływ pojazdów/h dla  $t \leq 20$  (poj./h)?
- jaka jest prędkość w ruchu swobodnym (km/h)?
- jaka jest gęstość pojazdów w kolejce (poj./km)?
- jaki jest przepływ pojazdów po usunięciu przeszkody (poj./h)?
- jaka jest prędkość fal: budowania i rozładowywania się kolejki (km/h)?



# Dziękuję za uwagę

zapraszam do dyskusji

na następnym wykładzie:

- model mikroskopowy deterministyczny (Newell's car-following model)
- model mikroskopowy rozbudowany (Wiedeman)
- modele wyboru dyskretnego
  - zmiana pasa
  - włączenie się do ruchu



# Dziękuję za uwagę

zapraszam do dyskusji

źródła wszystkich obrazów (jeśli nie podano inaczej)  
M. Treiber, A. Kesting Traffic Flow Dynamics, Springer 2013, lub własne

