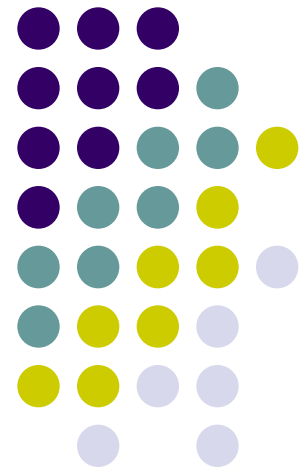


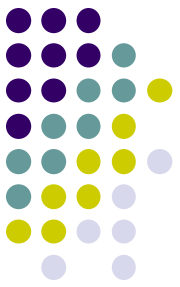
# Teorie dopravního proudu

veličiny, způsoby měření

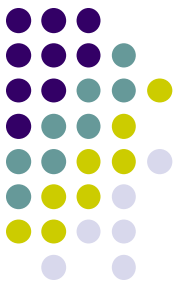
Aleš Bitter, Lukáš Čech

2.12.2010

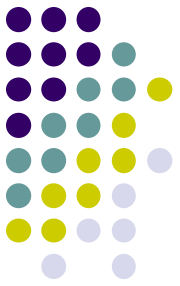




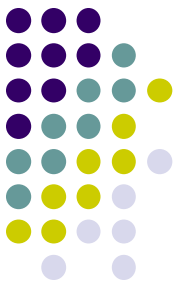
- **Úvod**
- **Historie**
- **Způsoby měření**
  - v bodě
  - podél komunikace
  - plovoucím vozidlem
- **Měřené veličiny**
  - intenzita
  - rychlost
  - hustota
  - obsazenost
- **Volný a přetížený dopravní proud**
  - závislost
  - druhy přetížení, jejich rysy a vliv na dopravní parametry
  - fundamentální diagram



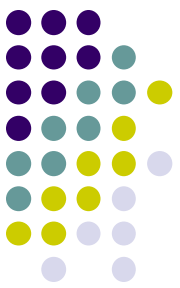
- **popis chování vozidel pomocí matematických a fyzikálních zákonů a teorie pravděpodobnosti**
- **stanovena obecná empirická řešení – potvrzeny praktickými verifikacemi**
- **oblast použití (např.):**
  - analýza dopravního proudu – kapacitní možnosti komunikace
  - analýza modelu pohybu vozidel – modelování zařízení pro ovlivnění dopravního proudu (liniové řízení vozidel)
  - předpověď zpoždění na křižovatce
  - předpověď chování odbočujícího proudu z dálnice
  - a další...



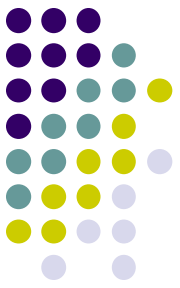
- **první práce v roce 1930**
- **rozvoj v padesátých a sedmdesátých letech**
- **v dnešní době nové přístupy k teorii – výpočetní technika, detekční zařízení, nové teoretické poznatky**



- **intenzita**  $q$
- **rychlost**  $v$
- **hustota**  $k$
- **obsazenost**  $R$



- **v bodě**
  - sběr dat v jistém řezu komunikace pro danou časovou periodu
- **podél komunikace**
  - obvykle fotografickou metodou z vysoko položeného měřicího bodu
  - nutno zaznamenat dva záznamy posunuté o časový úsek pro výpočet rychlosti
- **plovoucím vozidlem**
  - nejprve jede pozorovatel ve směru měřeného dopravního proudu - zaznamenány časy a počty předjížděných a předjíždějících vozidel
  - pak proti po proudu vozidel - zaznamenávají počty míjených vozidel



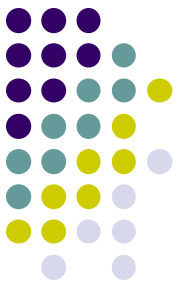
- **počet vozidel projíždějících jistým řezem komunikace za jednotku času**

$$q = \frac{N}{T}$$

$N$  ... počet vozidel

$T$  ... interval čítání

- **[voz/hod]**
- **obvyklý interval čítání je 15 min. nebo 1 hod.**

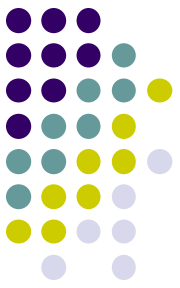


- **odstup  $h_t$**

- doba mezi průjezdy čelních nárazníků měřicím místem dvou následujících vozidel v sec.
- $\Sigma h_t$  ... součet odstupů za časový interval
  - +doba od začátku měření po průjezd prvního vozidla
  - +doba od průjezdu posledního vozidla do konce měření

$$\bar{h}_t = \frac{\sum h_t}{N} = \frac{T}{N} = \frac{1}{q} \quad \rightarrow \quad q = \frac{1}{\bar{h}_t}$$





$$q = \frac{x + y}{t_a + t_c}$$

$x$  ... počet vozidel v protisměru

$y$  ... počet vozidel ve směru jízdy (míjející - míjená)

$t_a$  ... doba jízdy proti směru

$t_c$  ... doba jízdy po směru

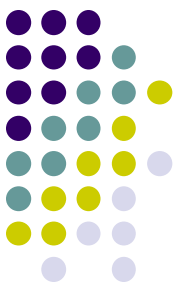


- **dráha ujetá za určitou časovou jednotku**

$$v = \frac{ds}{dt}$$

kde  $s$  (dráha) je funkce  $t$  (čas)

- **[km/h]**



- **Střední bodová rychlost**

- aritmetický průměr jednotlivých rychlostí v daném řezu komunikace měřených v delším časovém intervalu

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{ti}$$

- **Úseková rychlost**

- průměrná rychlost všech vozidel na úseku komunikace

$$\bar{v}_s = \frac{\Delta x}{\Delta t_i}$$

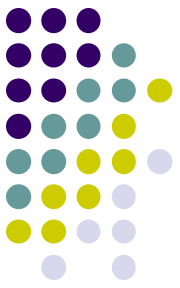
$\Delta x$  ... vzdálenost měřících bodů

$\Delta t_i$  ... průměrná doba jízdy

$$\bar{v}_s = \frac{N \cdot \Delta x}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i} = \frac{L}{T}$$

$L$  ... celková dráha ujetá všemi vozidly

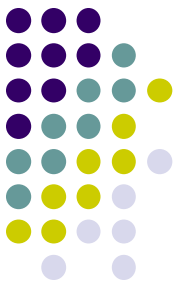
$T$  ... celková doba jízdy všech vozidel



- **Wardropův vztah**

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s}$$

$\sigma_t^2 \dots$  rozptyl úsekových rychlostí

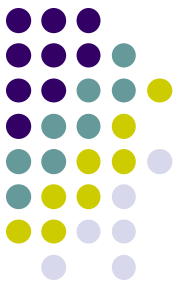


- **konstantní čas**
- **různá dráha**

$$v_i = \frac{s_i}{\Delta t}$$

$$\bar{v}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

# Rychlost $v$ – měření plovoucím voz.



$$v_s = \frac{l}{t}$$

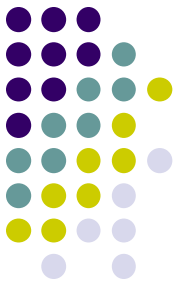
$$t = t_c - \frac{y}{q}$$

$l$  ... délka sekce komunikace

$t$  ... střední doba jízdy

$t_c$  ... doba jízdy po směru

$y$  ... počet vozidel míjených ve směru jízdy (míjející - míjená)

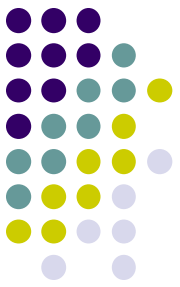


- **koncentrace vozidel na komunikaci**
- **počet vozidel na jednotku délky**

$$k = \frac{N}{l}$$

- **[voz/km]**

# Hustota $k$ – měření v bodě

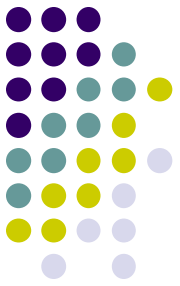


$$k = \frac{q}{v_s}$$

$$k = R \frac{1000}{L_e}$$

$L_e$  ... efektivní délka vozidla (délka detektoru + délka vozidla)





- **podíl obsazeného úseku komunikace za určitou periodu**

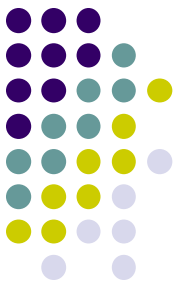
$$R = \frac{\sum t_{0i}}{T}$$

$\sum t_{0i}$  ... celková doba obsazenosti detektoru

$T$  ... perioda měření



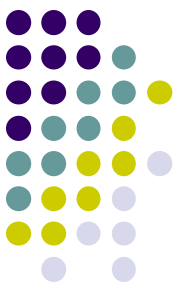
- **malá hustota dopravy**
- **minimální interakce mezi vozidly**
- **maximální možná rychlost vozidel**



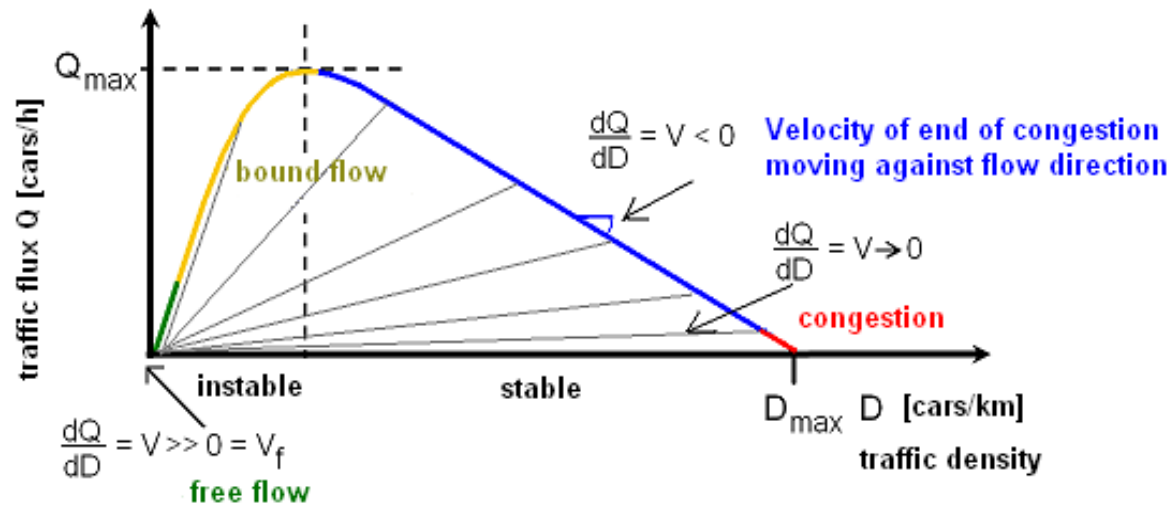
- **nárůst hustoty a intenzity dopravy nad maximální možnou hodnotu**
- **dochází ke snížení rychlosti vozidel**
  - minimální rychlost ve volném dopravním proudu
$$v_{min}^{(free,emp)} = q_{max}^{(free,emp)} / \rho_{max}^{(free,emp)}$$
  - dochází nejčastěji v místech zúžení na silnici (přípojně pruhy, práce na silnici, atd.)



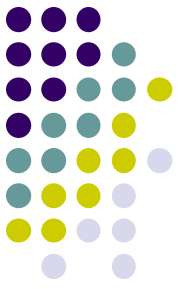
- **pro zobrazení vztahů mezi veličinami dopravního proudu používáme Fundamentální diagramy**
  - diagram intenzita – hustota
  - diagram rychlost – intenzita
  - diagram rychlost - hustota
- **využívají se pro predikci dopravy (spolehlivost, omezení)**



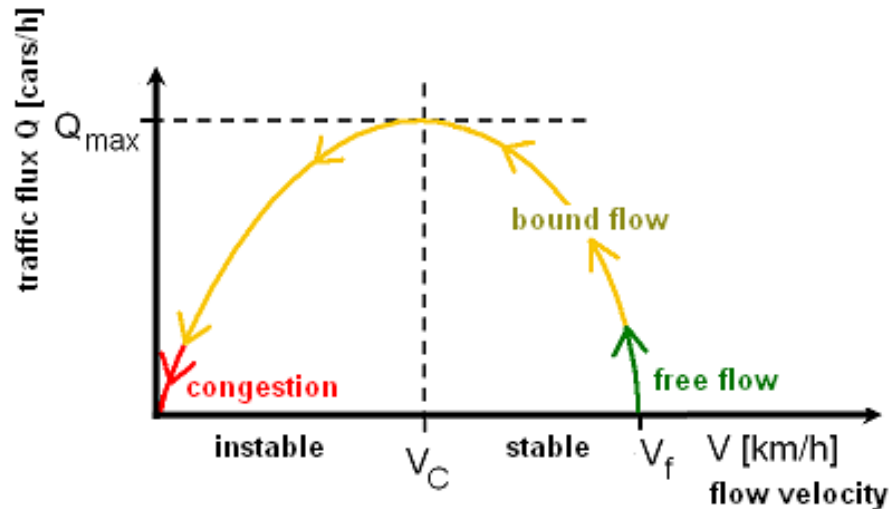
- využívá se pro stanovení dopravních stavů na komunikaci



- vrchol grafu určuje optimální intenzitu a hustotu dopravy (maximální dosažitelná intenzita)

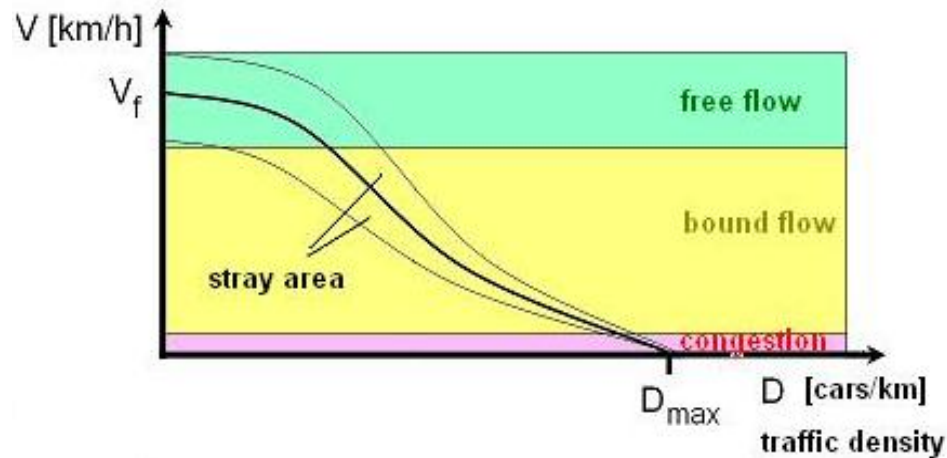
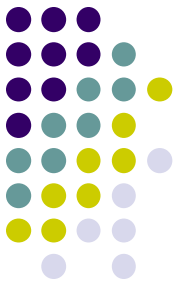


- využívá se ke stanovení rychlosti pro optimální intenzitu dopravy

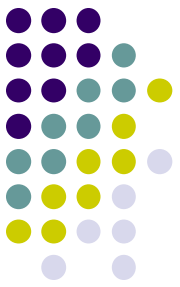


- pokud vzroste intenzita dopravy dochází ke snížení rychlosti vozidel

# Diagram rychlost - hustota



- rychlost vozidel se přibližuje rychlosti ve volném dopravním toku, když se hustota dopravy blíží k nule

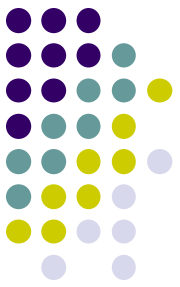


- **charakterizuje na komunikaci 3 různé stavy**
  - volný dopravní proud (free flow)
  - synchronizovaný dopravní proud (synchronized flow)
  - rozsáhlé přechodné kongesce (wide moving jam)

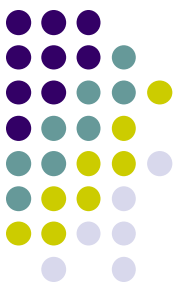




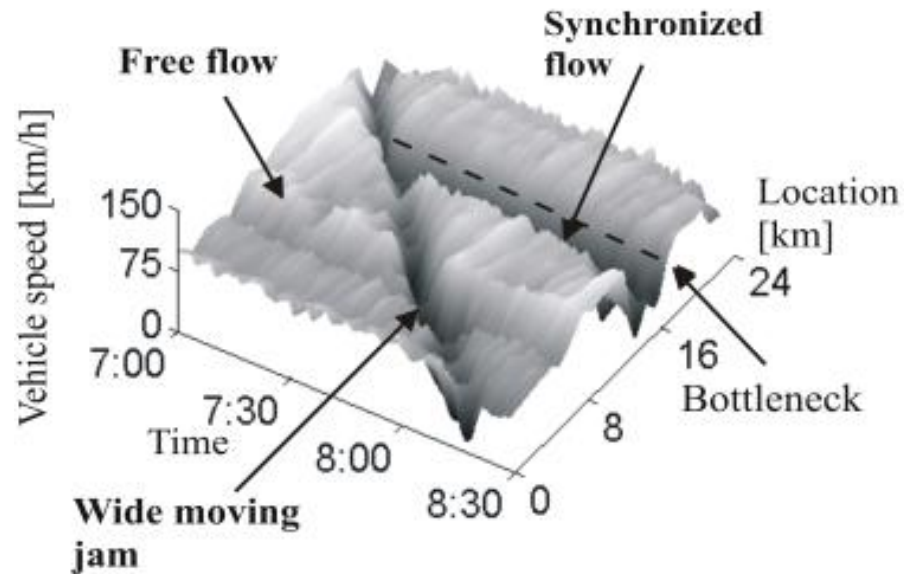
- **vzniká samovolně nebo může být vyvolán vnějšími náhodnými poruchami**
- **vlastnosti dopravní proudu se blíží stavu volného dopravního proudu**
- **dochází ke snížení rychlosti**
- **vzniká při zúžení komunikace**
  - účinné zúžení - Pokud v některém místě vzniká pravidelně

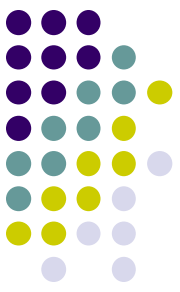


- **do tohoto stavu se dopravní proud dostává zhuštěním SF**
- **rozzůstají se proti směru jízdy**
  - může projít oblastí SF nebo jiným zúžením
- **značný pokles rychlosti a intenzity dopravy**
  - ve střední části WMJ je rychlost rovnoměrná
  - na začátku ve směru jízdy se rychlost zvyšuje (rozpad kongesce)
  - na konci se rychlost snižuje (přechod z volného dopravní proudu do kongesce)



- **Jak se projeví SF a WMJ v dopravním proudu**





- [http://filip.fd.cvut.cz/download/Cvic\\_2a\\_RSD.doc](http://filip.fd.cvut.cz/download/Cvic_2a_RSD.doc)
- Kerner, B.S.: Introduction to modern traffic flow theory and control. Springer, 2009.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Three\\_phase\\_traffic\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Three_phase_traffic_theory)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental\\_diagram\\_of\\_traffic\\_flow](http://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_diagram_of_traffic_flow)

# Děkujeme za pozornost

---

Aleš Bitter, Lukáš Čech  
2.12.2010

