

# Dopravní plánování a modelování (11 DOPM)

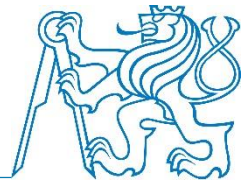
## Lekce 4: FSM: Trip generation

*Prof. Ing. Ondřej Přibyl, Ph.D.*

*Ing. Milan Kříž*

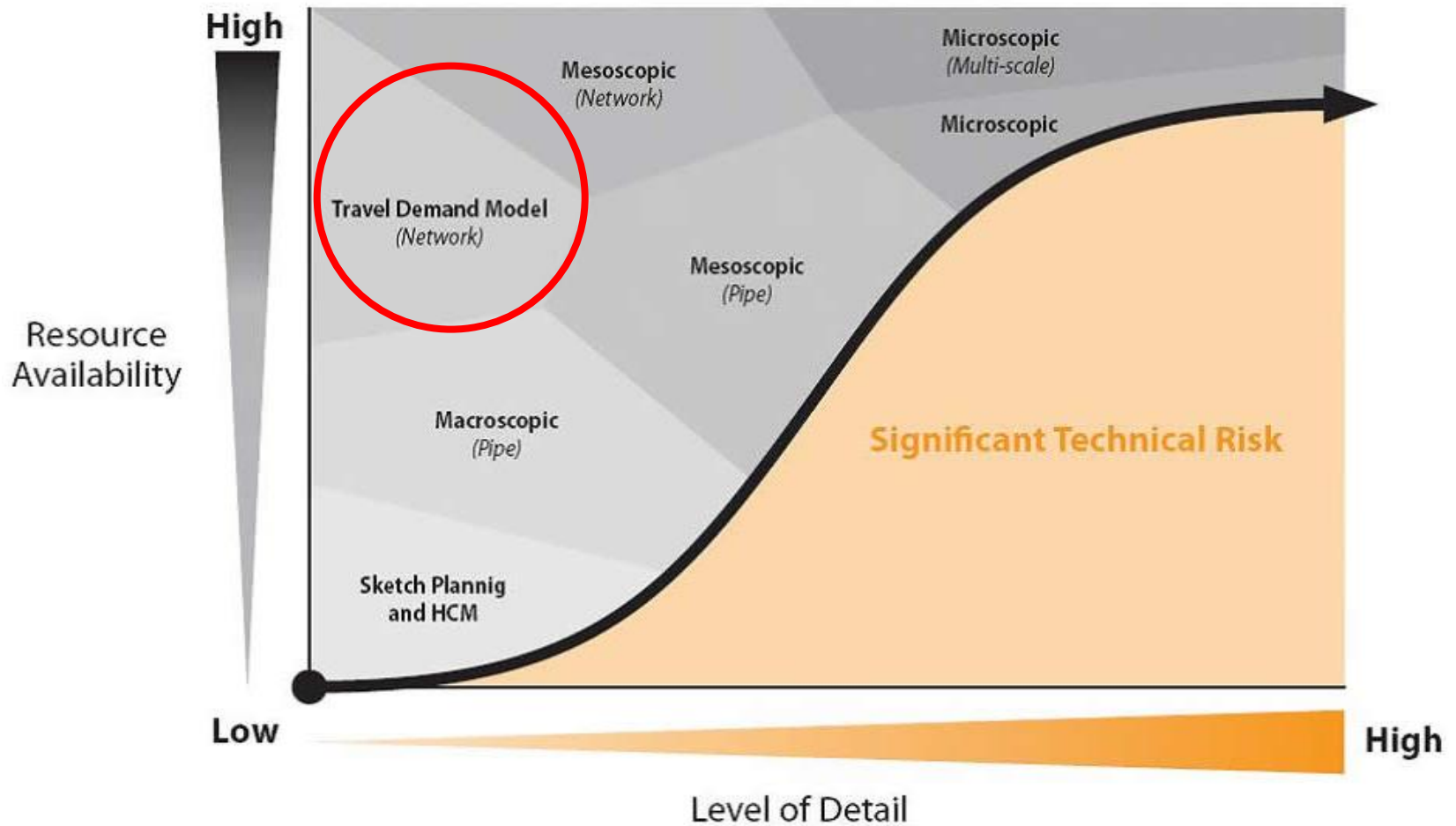
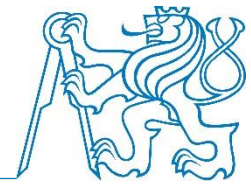
# Obsah přednášky

---



- Nabídka a poptávka
- Čtyřstupňový dopravní model
- Ohodnocení nákladů
- Desagregace modelu
- Trip generation

# Úvod



Source: [http://ops.fhwa.dot.gov/wz/traffic\\_analysis/tatv9\\_wz/sec4.htm](http://ops.fhwa.dot.gov/wz/traffic_analysis/tatv9_wz/sec4.htm)



- Ekonomická teorie: *„Poptávka je funkce, která vyjadřuje závislost poptávaného množství statku na mnoha proměnných: na ceně daného statku, na cenách dalších statků (které jsou vůči němu substituty nebo komplementy) a také na spotřebitelově důchodu.“*
- Poptávka po pečivu závisí na:
  - jeho kvalitě
  - ceně chleba
  - příjmu obyvatel
  - energetickém výdeji obyvatel
  - doporučením zdravé výživy
  - ...



- Je doprava houska na krámě?



- *Doprava: „Protože je poptávka ve smyslu ekonomie definována jako uspokojování potřeb, je možné o dopravní poptávce mluvit jako o uspokojování zprostředkované potřeby pohybovat se. Toto je způsobováno prostorovým oddělováním různých aktivit (např. bydlení, práce, nakupování). Za dopravní poptávku jsou proto považována všechna přemístění subjektů (např. osob) nebo objektů (např. vozidel), která jsou vykonána za daných politických, ekonomických a dopravně plánovacích okolností.“*

Zdroj: Schiller, Ch. Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. 2007.

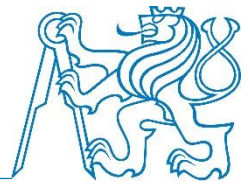


- **Ekonomie:** Nabídka vyjadřuje objem výstupu výroby, které chce vyrábějící subjekt na trhu prodat za určitou cenu.
- **Doprava:** *„Modely dopravní nabídky mají za úkol dostatečně přesně zobrazovat sítě jednotlivých druhů dopravy tak, aby byly modelovány všechny důležité síťové prvky pro příslušný výpočet. Stěžejním cílem je ocenění nákladů na překonání jednotlivých prvků sítě a s tím spojených rozhodnutí při volbách cílů, dopravních prostředků a tras, které jsou zobrazeny ve výpočtu dopravní poptávky.“*

Zdroj: Schiller, Ch. Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. 2007.

# Čtyřstupňový dopravní model

---

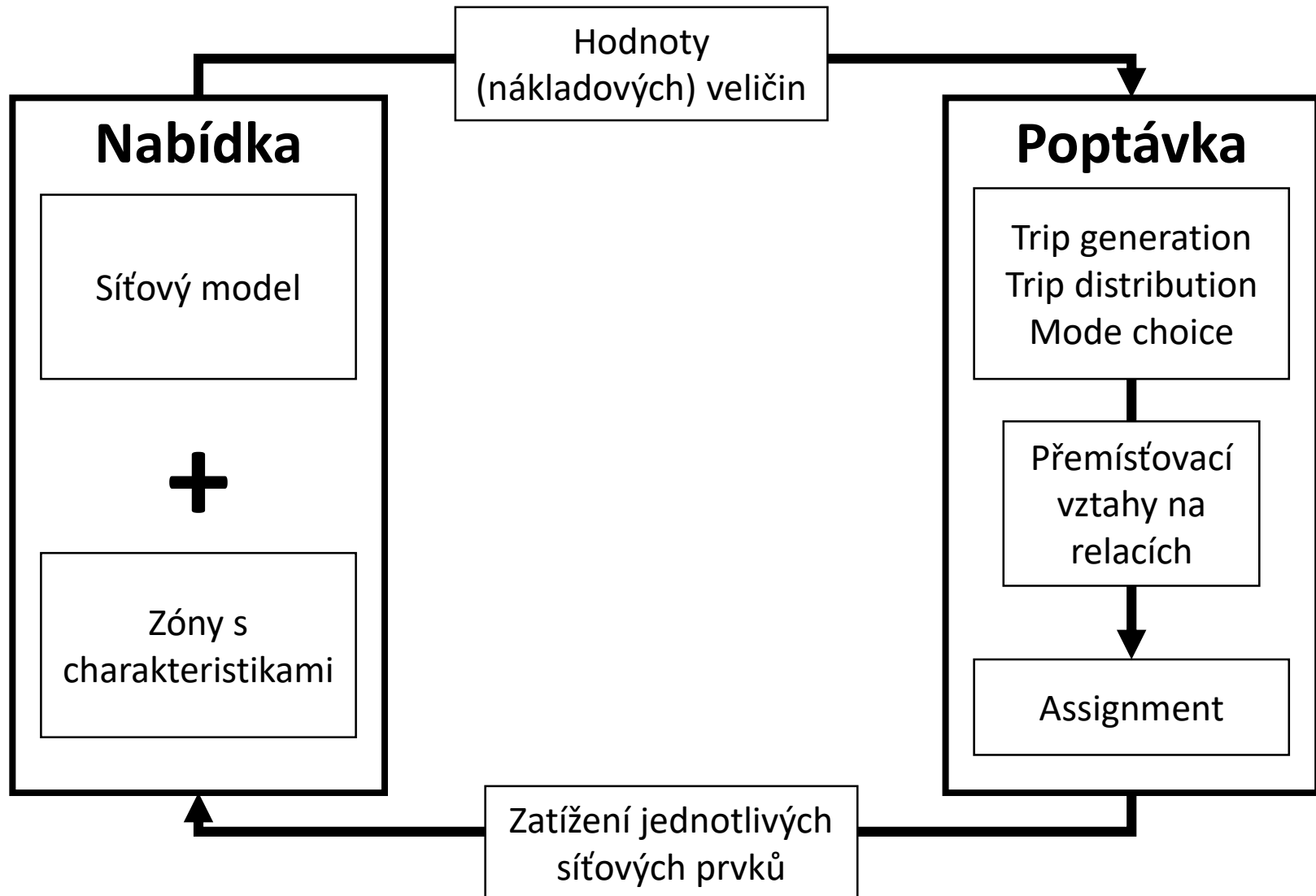
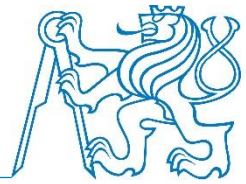


(four-step model)

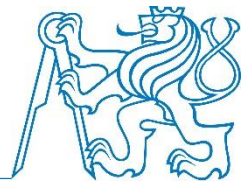
- Generování cest (Trip generation)
- Distribuce cest (Trip distribution)
- Modální volba (Mode choice)
- Přidělení na síť (Trip assignment)



# Rovnováha nabídky a poptávky



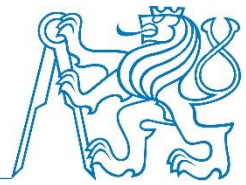
# Závislost cestovní doby na intenzitě



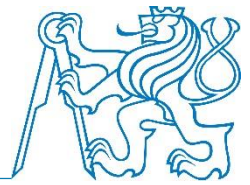
- Pomocí tzv. volume-delay (někdy též capacity restraint) funkcí
- Odvozeny částečně z fundamentálního diagramu
- Např. tzv. BPR1 funkce:

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

# Užitek a generalizované náklady



- Subjektivní pocit uspokojení plynoucí ze spotřeby statků
- V ekonomické teorii se racionálně chovající spotřebitel snaží svůj užitek maximalizovat
- Užitková funkce spojuje veličiny, které mohou ovlivňovat rozhodování uživatelů
- Negativně obvykle působí nákladové veličiny
- Pozitivně obvykle působí veličiny týkající se potenciálu území (počet obyvatel apod.)
- Generalizované náklady – užitek, když uvažujeme jen nákladové veličiny

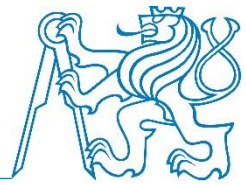


- Nejjednodušší situace – lineární funkce:

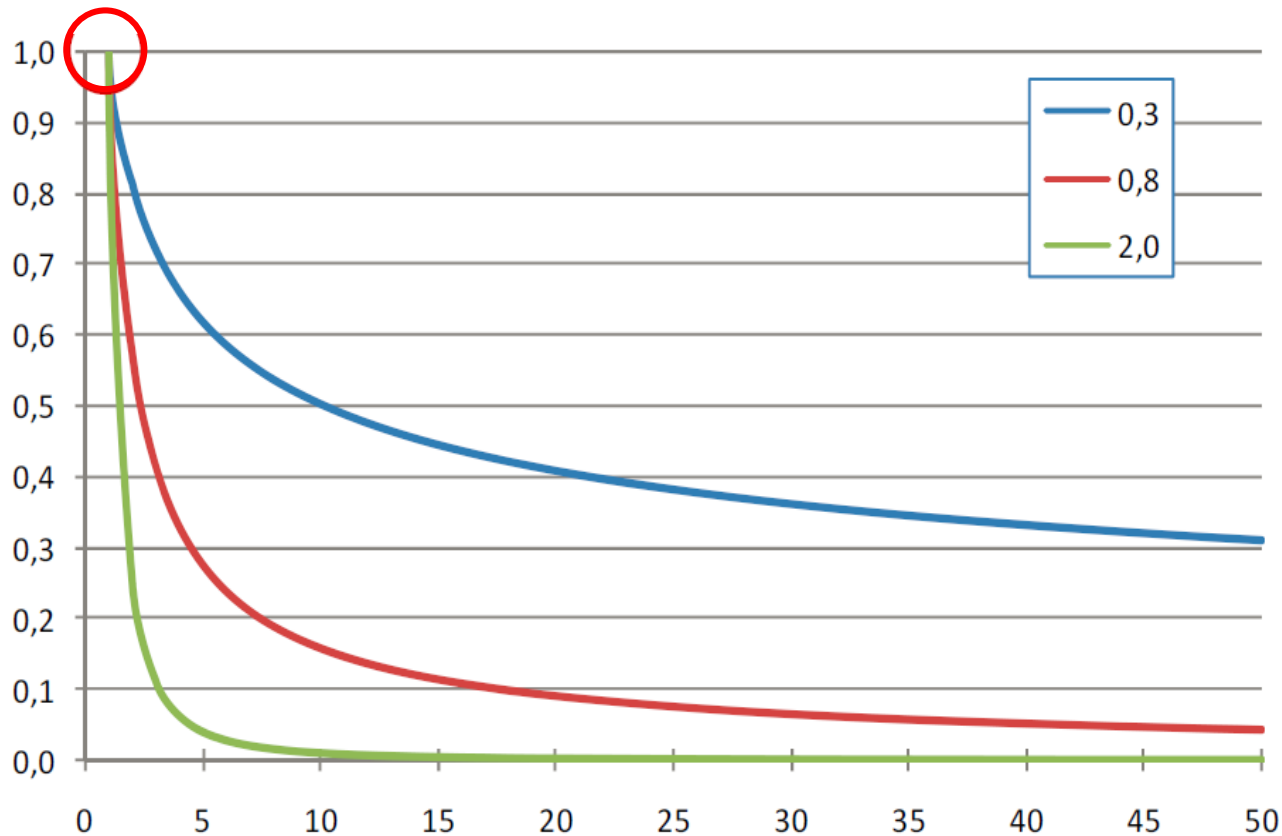
$$u = \beta_0 + \sum_{t \in T} \beta_t \cdot X_t$$

- Může být ale i nelineární
- Obvykle ale bývá „lineární v parametrech“

# Mocninná funkce



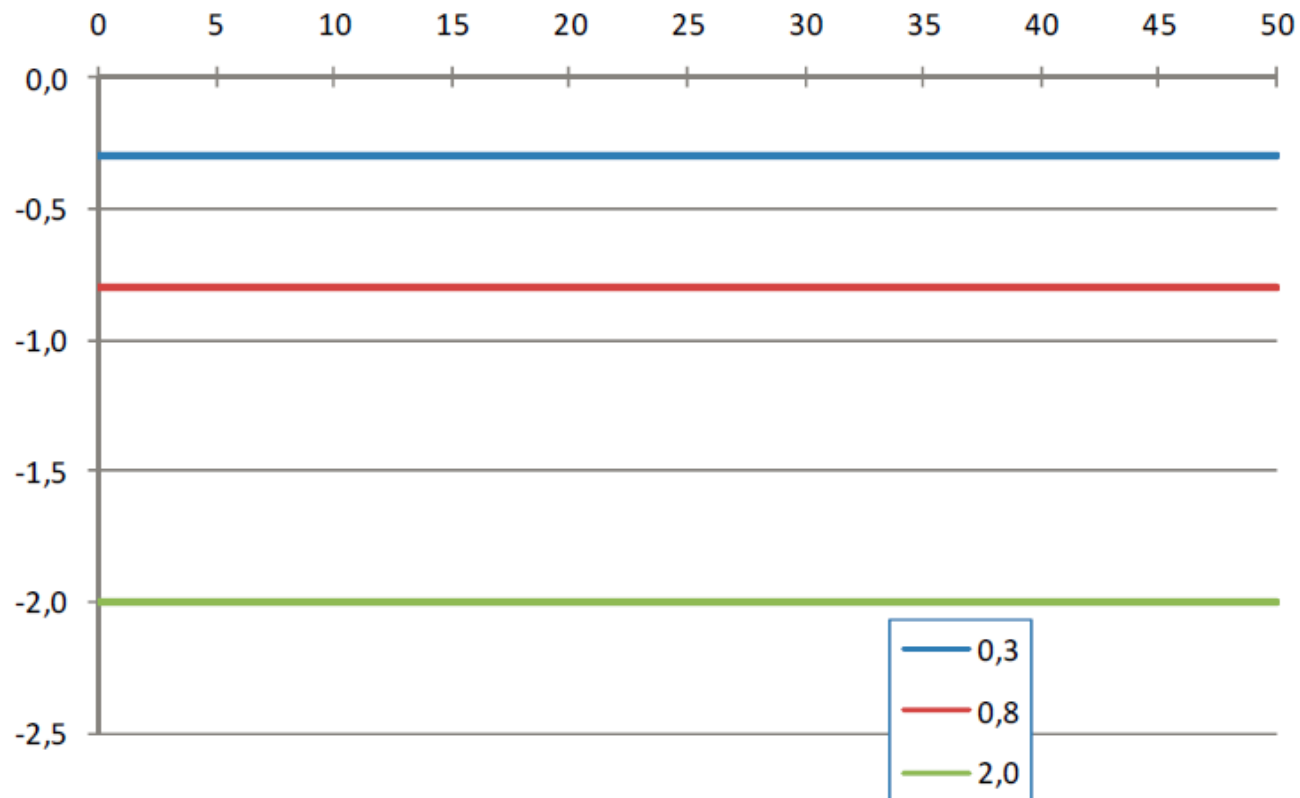
$$f(X) = \frac{1}{X^\alpha} = X^{-\alpha}$$



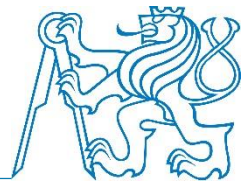
# Mocninná funkce



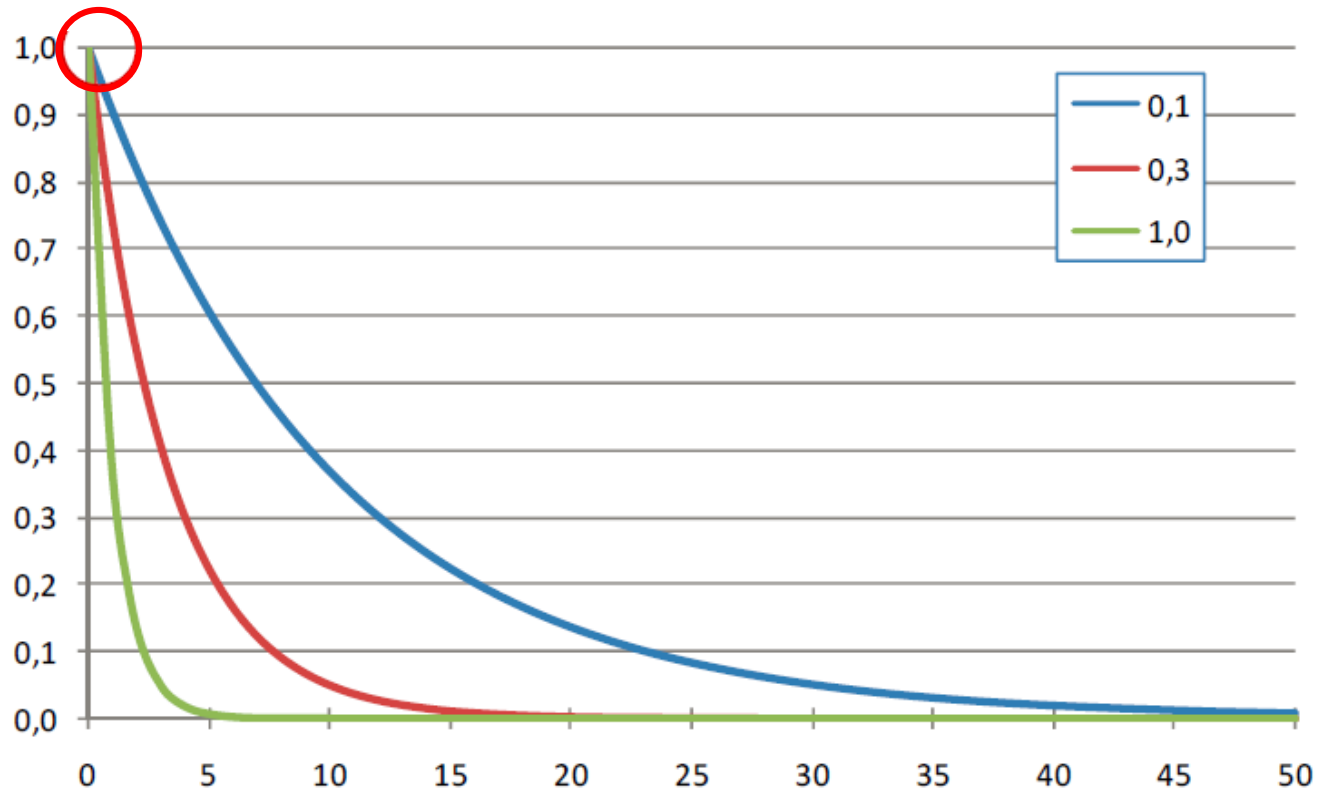
elasticita:  $\eta = -\alpha$



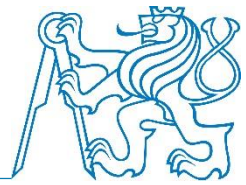
# Exponenciální funkce



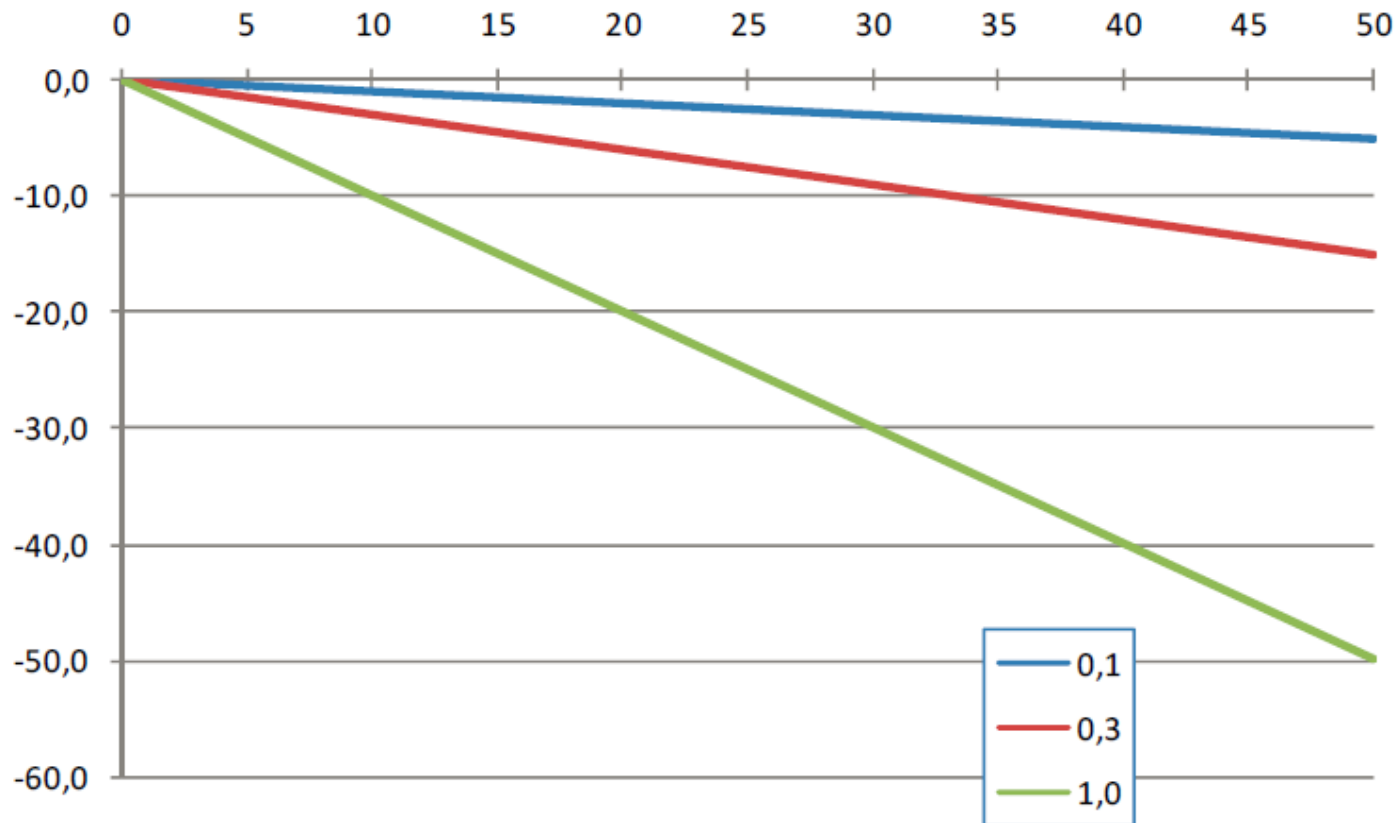
$$f(X) = e^{-\beta \cdot X}$$



# Exponenciální funkce



elasticita:  $\eta = -\beta \cdot X$

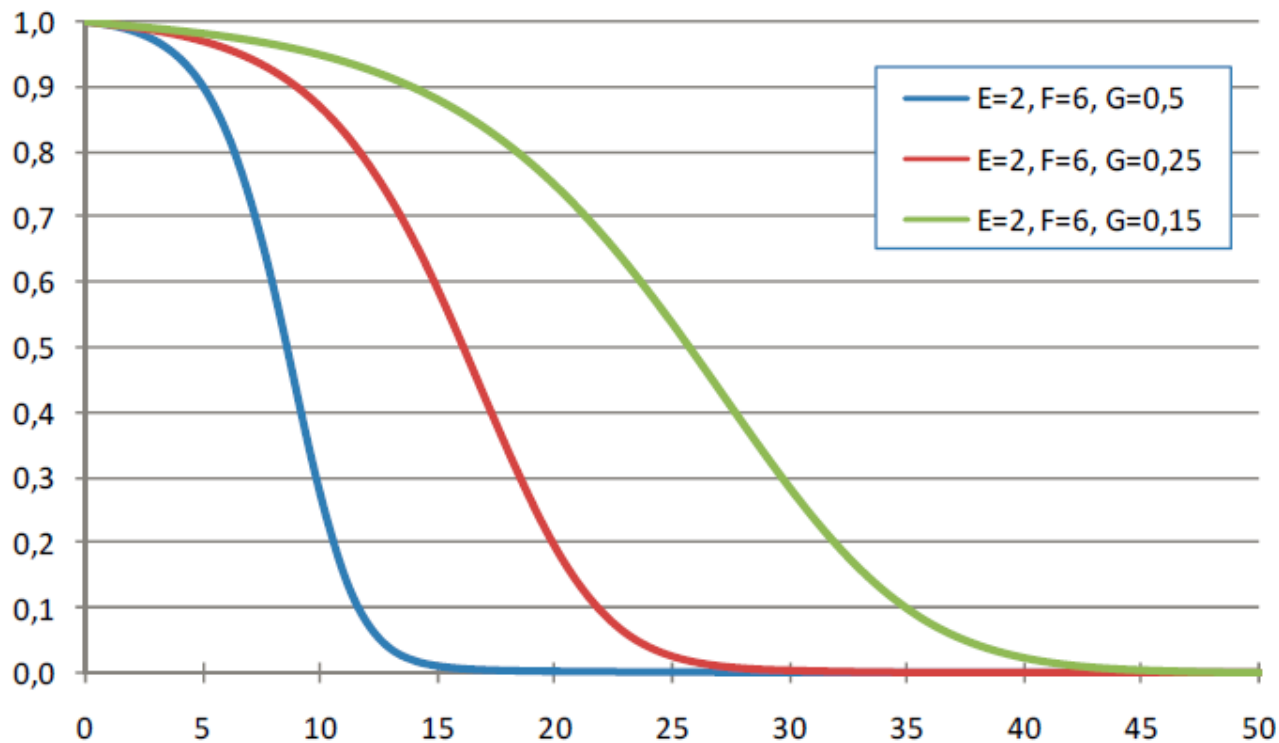




# EVA1 funkce



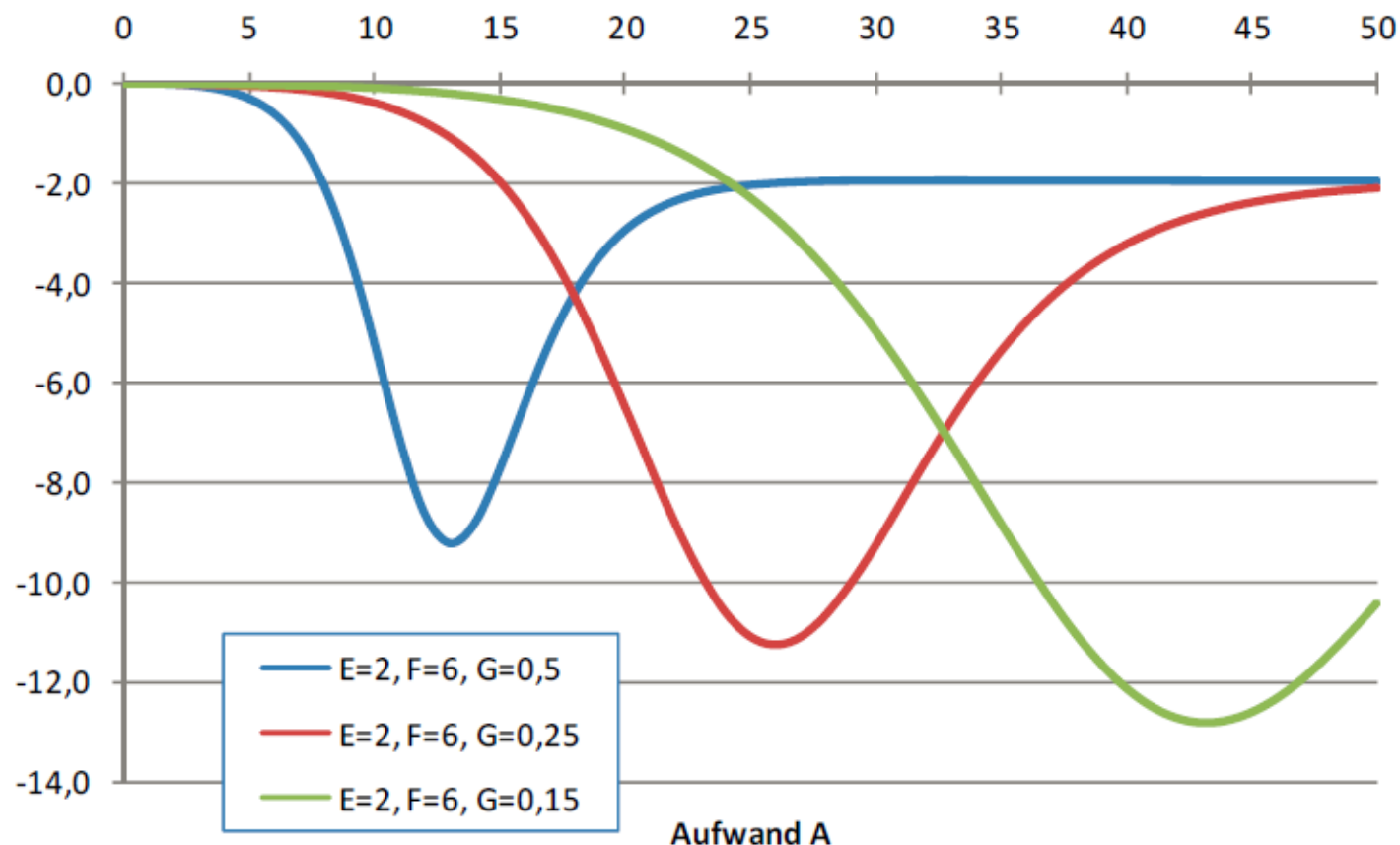
$$f(X) = \frac{1}{(1+X)^{\left(\frac{E}{1+e^{F-G \cdot X}}\right)}}$$



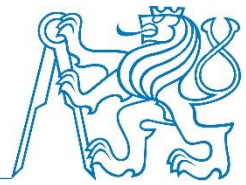
# EVA1 funkce



elasticita: 
$$\eta = -\frac{E \cdot X}{1 + e^{F-G \cdot X}} \cdot \left[ \frac{1}{1 + X} + \ln(1 + X) \cdot \frac{G \cdot e^{F-G \cdot X}}{1 + e^{F-G \cdot X}} \right]$$



# Spojení jednotlivých nákladů



- Aditivní spojení nákladových veličin

$$f(\alpha_1 \cdot X_1 + \alpha_2 \cdot X_2 + \dots + \alpha_n \cdot X_n)$$

- zpravidla při vzájemně se ovlivňujících veličinách (např. jednotlivé složky celkové cestovní doby)

- Multiplikativní spojení nákladových veličin

$$f(X_1) \cdot f(X_2) \cdot \dots \cdot f(X_n)$$

- zpravidla používáno u vzájemně nezávislých veličinách

# Desagregace poptávky

---



- Rozklad poptávky (množiny cest) na jednotlivé „vrstvy“ – každá vrstva je zpracovávána zvláště
- Kritéria rozdělení
  - typ cesty / typ řetězce cest
  - typ osoby, která přemístění vykonává

# Spojování aktivit



Plán

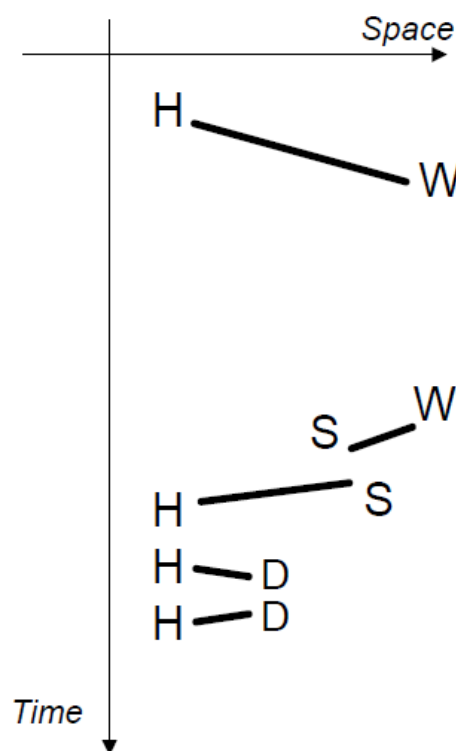
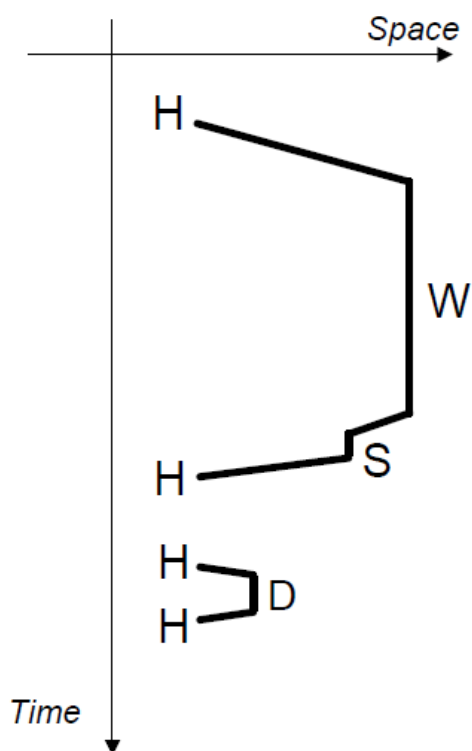
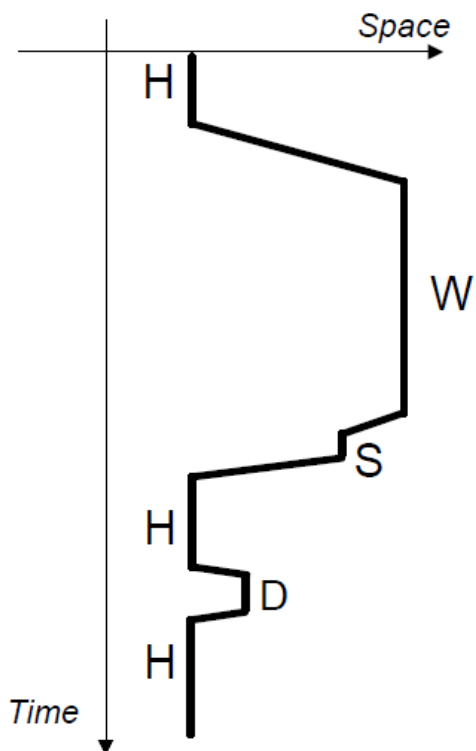
Uzavřené řetězce

Cesty (páry aktivit)

*Schedule*

*Tours*

*Trips*



**H:** Home

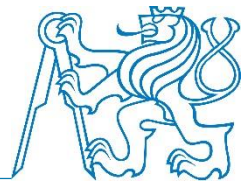
**W:** Work

**S:** Shop

**D:** Dinner out

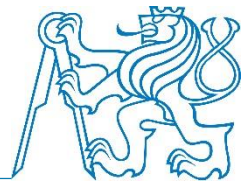
# Trip generation

---



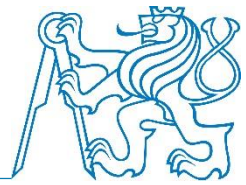
- Vztah mezi využitím území a objemy dopravy
- Určení počtu cest začínajících v každé zóně  $O_i$  (produkce nebo též disponibilita)
- Určení počtu cest končících v každé zóně  $D_j$  (atrakce nebo atraktivita zóny)

# Trip generation



Origins	Destinations					$\sum_i T_{ij}$
	1	2	3	$\dots j$	$\dots z$	
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	$\dots T_{1j}$	$\dots T_{1z}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	$\dots T_{2j}$	$\dots T_{2z}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	$\dots T_{3j}$	$\dots T_{3z}$	$O_3$
$\vdots$						
$I$	$T_{i1}$	$T_{i2}$	$T_{i3}$	$\dots T_{ij}$	$\dots T_{iz}$	$O_i$
$\vdots$						
$Z$	$T_{z1}$	$T_{z2}$	$T_{z3}$	$\dots T_{zj}$	$\dots T_{zz}$	$O_z$
$\sum_i T_{ij}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$\dots D_j$	$\dots D_z$	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

# Metoda růstových koeficientů



- Princip: Disponibilita/Atraktivita jsou přímo úměrné (sociodemografickým) charakteristikám zón
- Platí vztahy:

$$O_i^P = o_i \cdot O_i^A$$

$$D_j^P = d_j \cdot D_j^A$$

$$T^P = f \cdot T^A$$

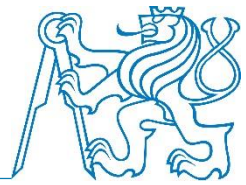
$$o_i = \frac{S_i^P}{S_i^A}$$

$$d_j = \frac{S_j^P}{S_j^A}$$

$$f = \frac{S^P}{S^A}$$



# Metoda růstových koeficientů

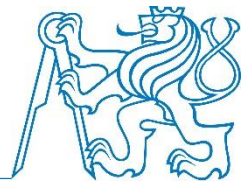


- Více veličin najednou (vzájemně nezávislé a závislé veličiny):

$$f = \frac{S_1^P}{S_1^A} \cdot \frac{S_2^P}{S_2^A} \cdot \frac{S_3^P}{S_3^A}$$

$$f = \frac{S_1^P + S_2^P}{S_1^A + S_2^A} \cdot \frac{S_3^P}{S_3^A}$$

# Regresní analýza

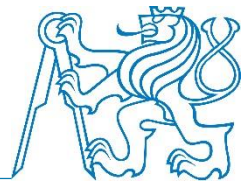


- Disponibilita/atraktivita závisí na více proměnných
- Tento vztah lze identifikovat pomocí regresní analýzy

$$O_i = a_0 + a_1 \cdot S_{1i} + a_2 \cdot S_{2i} + \dots a_n \cdot S_{ni}$$

$$D_j = a_0 + a_1 \cdot S_{1j} + a_2 \cdot S_{2j} + \dots a_n \cdot S_{nj}$$

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j = T$$



- Rozdělení na ZCS má za cíl rozdělení poptávky na pokud možno elementární a homogenní části z hlediska:
  - Prostorového a funkčního
    - Zájmové území – zóna – bydlení – byt
    - Zájmové území – zóna – zaměstnání – pracovní místo
  - Sociodemografického
    - Osoba – obyvatel – zaměstnaný
  - Dopravně sociologického
    - ZCS bydlení-zaměstnání – základní vzorec chování – specifická hybnost pro zaměstnané

# Zdroj-cílové skupiny



- Rozdělení do 17 ZCS

do	B	Z	P	V	S	N	F	O
Z								
Bydlení (vlastní)	–	BZ(1)	BP(1)	BV(1)	BS(1)	BN(1)	BF(1)	BO(1)
Zaměstnání (vlastní)	ZB(2)	–	ZO(1)					
Mateřská škola	PB(2)	OZ(1)	OO(3)					
Vzdělání	VB(2)							
Služební cesta	SB(2)							
Nákup	NB(2)							
Volný čas	FB(2)							
Ostatní	OV(2)							

# Zdroj-cílové skupiny



ZCS	Strukturální veličina zdrojového okrsku	Strukturální veličina cílového okrsku
BZ	ekonomicky aktivní obyvatelé	všichni zaměstnanci
BP	předškolní děti	jejich zaměstnanci / jejich kapacita
BV	žáci, učni, studenti	jejich zaměstnanci / jejich kapacita
BS	ekonomicky aktivní obyvatelé	všichni zaměstnanci
BN	obyvatelé	jejich zaměstnanci / jejich kapacita
BF	obyvatelé	jejich zaměstnanci / jejich kapacita
BO	obyvatelé	zaměstnanci vybraných ekon. subjektů
ZO	všichni zaměstnanci	zaměstnanci vybraných ekon. subjektů
ZB	všichni zaměstnanci	ekonomicky aktivní obyvatelé
PB	jejich zaměstnanci / jejich kapacita	předškolní děti
VB	jejich zaměstnanci / jejich kapacita	žáci, učni, studenti
SB	všichni zaměstnanci	ekonomicky aktivní obyvatelé
NB	jejich zaměstnanci / jejich kapacita	obyvatelé
FB	jejich zaměstnanci / jejich kapacita	obyvatelé
OB	zaměstnanci vybraných ek. subjektů	obyvatelé
OZ	zaměstnanci vybraných ek. subjektů	všichni zaměstnanci
OO	zaměstnanci vybraných ek. subjektů	zaměstnanci vybraných ek. subjektů

# Specifická hybnost



- Specifická hybnost vztažená ke skupině osob a ZCS:

$$SH = \frac{\text{pocet cest v ZCS vykonaných danou skupinou osob}}{\text{pocet osob v dané skupině osob}}$$

- Specifická hybnost vztažená k **určující** skupině osob a ZCS:

$$SH = \frac{\text{pocet cest v ZCS vykonaných všemi osobami}}{\text{pocet osob v dané určující skupině osob}}$$

# Specifická hybnost - příklad



Osoba	1. cesta		2. cesta		3. cesta		4. cesta	
Školák (10 let)	Bydlení	Vzdělání	Vzdělání	Bydlení				
Zaměstnaný (32 let)	Bydlení	Vzdělání	Vzdělání	Práce	Práce	Bydlení		
Zaměstnaný (32 let)	Bydlení	Práce	Práce	Vzdělání	Vzdělání	Bydlení		
Zaměstnaný (32 let)	Bydlení	Práce	Práce	Školka	Školka	Nákup	Nákup	Bydlení
Malé dítě (3 roky)	Bydlení	Školka	Školka	Nákup	Nákup	Bydlení		
Důchodce (67 let)	Bydlení	Ostatní	Ostatní	Nákup	Nákup	Bydlení		

- Určete:
  - Specifickou hybnost pro ZCS bydlení – práce pro zaměstnaného.
  - Specifickou hybnost pro ZCS bydlení – vzdělání pro děti 6 až 18 jako určující skupinu osob.

Zeitraum: **Gesamtes Jahr**Wochentag: **Mittlerer Werktag**

Berechnet am: 20.05.2015

**Anteile und spezifisches Verkehrsaufkommen  
nach 17 Quelle-Ziel-Gruppen (PG 1)**
Gruppe: **Personen unter 18 Jahre**

Quelle-Ziel-Gruppe	Anteil an allen Wegen	Wege/P,d
Wohnen-Arbeiten	0,5 %	0,02
Wohnen-Kindereinrichtung	5,7 %	0,19
Wohnen-Bildung	22,3 %	0,73
Wohnen-Dienstlich	0,0 %	0,00
Wohnen-Einkaufen	3,9 %	0,13
Wohnen-Freizeit	11,8 %	0,38
Wohnen-Sonstiges	0,5 %	0,02
Arbeiten-Wohnen	0,4 %	0,01
Kindereinrichtung-Wohnen	4,7 %	0,15
Bildung-Wohnen	20,6 %	0,67
Dienstlich-Wohnen	0,0 %	0,00
Einkaufen-Wohnen	4,5 %	0,15
Freizeit-Wohnen	13,6 %	0,44
Sonstiges-Wohnen	0,6 %	0,02
Sonstiges-Arbeiten	0,1 %	0,00
Arbeiten-Sonstiges	0,2 %	0,01
Sonstiges-Sonstiges	10,7 %	0,35
Summe	100 %	

*Ungewichtete Fallzahl* 4.271

*Gewichtete Fallzahl* 3.653





Tab 16.4

Zeitraum: **Gesamtes Jahr**

Wochentag: **Mittlerer Werktag**

Berechnet am: **20.05.2015**

**Anteile und spezifisches Verkehrsaufkommen  
nach 17 Quelle-Ziel-Gruppen (PG 3)**

Gruppe: **Personen 18 bis unter 65 Jahre, nicht erwerbstätig, mit Pkw-Zugang**

Quelle-Ziel-Gruppe	Anteil an allen Wegen	Wege/P,d
Wohnen-Arbeiten	3,8 %	0,14
Wohnen-Kindereinrichtung	1,8 %	0,06
Wohnen-Bildung	5,9 %	0,21
Wohnen-Dienstlich	0,5 %	0,02
Wohnen-Einkaufen	13,9 %	0,50
Wohnen-Freizeit	15,9 %	0,57
Wohnen-Sonstiges	1,4 %	0,05
Arbeiten-Wohnen	3,7 %	0,13
Kindereinrichtung-Wohnen	1,7 %	0,06
Bildung-Wohnen	5,0 %	0,18
Dienstlich-Wohnen	0,5 %	0,02
Einkaufen-Wohnen	14,8 %	0,53
Freizeit-Wohnen	15,4 %	0,55
Sonstiges-Wohnen	1,6 %	0,06
Sonstiges-Arbeiten	0,6 %	0,02
Arbeiten-Sonstiges	0,6 %	0,02
Sonstiges-Sonstiges	12,9 %	0,46
Summe	100 %	

*Ungewichtete Fallzahl* 2.752

*Gewichtete Fallzahl* 2.833

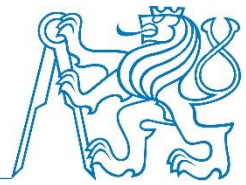
# Zdroj-cílové skupiny

---



- Typ 1: Počátek (zdroj) leží na „domácím“ stanovišti
  - Primárně vlastní bydlení, sekundárně zaměstnání
- Typ 2: Konec (cíl) leží na „domácím“ stanovišti
  - Primárně vlastní bydlení, sekundárně zaměstnání
- Typ 3: Ani počátek, ani konec neleží na domácím stanovišti
  - Primárně vlastní bydlení, sekundárně zaměstnání

# ZCS: typ 1



- 1. krok: 
$$O_i = \sum_p SH_{ip} \cdot P_{ip}$$

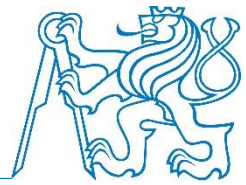
- 2. krok: 
$$T = \sum_i O_i$$

- 3. krok: 
$$D_j = \sum_s SH_{js} \cdot S_{js} \cdot f_j$$

$$f_j = \frac{T}{\sum_{j'} \sum_{s'} SH_{j's'} \cdot S_{j's'}}$$

- Poznámka: Zohlednění vnější dopravy je nutno započítat do specifické hybnosti (nebo přiměřeně jinak)

# ZCS: typ 2



- 1. krok: 
$$D_j = \sum_p SH_{jp} \cdot P_{jp}$$
- 2. krok: 
$$T = \sum_j D_j$$
- 3. krok: 
$$O_i = \sum_s SH_{is} \cdot S_{is} \cdot f_i$$
$$f_i = \frac{T}{\sum_{i'} \sum_{s'} SH_{i's'} \cdot S_{i's'}}$$

- Poznámka: Zohlednění vnější dopravy je nutno započítat do specifické hybnosti (nebo přiměřeně jinak)

# Příklad – ZCS typu 1



- ZCS bydlení – škola

Zóna	Školáci	Kapacita škol
1	30	80
2	50	120
3	70	90

SH (školáci)	SH (školy)
2,1	1

T <sub>ij</sub>	1	2	3	O <sub>i</sub>
1				63,000
2				105,000
3				147,000
D <sub>j</sub>	86,897	130,345	97,759	315,00
	80	120	90	290

f <sub>j</sub>	1,0862
----------------	--------

# Příklad – ZCS typu 2



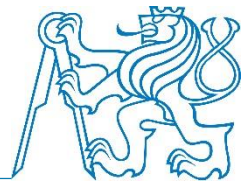
- ZCS zaměstnání - bydlení

Zóna	Pracovní místa	Zaměstnaní
1	80	100
2	70	120
3	60	140

SH (pr. místa)	SH (zaměst.)
1	0,7

T <sub>ij</sub>	1	2	3	O <sub>i</sub>	
1				96,000	80
2				84,000	70
3				72,000	60
D <sub>j</sub>	70,000	84,000	98,000	252,00	210

f <sub>i</sub>	1,2000
----------------	--------

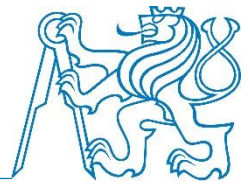


- **Neelastické**

- Zpravidla pro ZCS s „povinnými“ aktivitami
- Disponibilita a atraktivita jednotlivých zón určeny přesně již při **trip generation**
- Výhodnost polohy nehraje roli
- Typicky ZCS bydlení - zaměstnání
- Platí:

$$O_i^{\min} = O_i = \sum_j T_{ij} = O_i^{\max}$$

$$D_j^{\min} = D_j = \sum_i T_{ij} = D_j^{\max}$$



- **Elastické**

- zpravidla pro „nepovinné aktivity“
- Disponibilita, resp. atraktivita jednotlivých zón určeny přesně až při **trip distribution**
- Výhodnost polohy je zohledněna
- Platí:

$$O_i^{\min} \leq O_i = \sum_j T_{ij} \leq O_i^{\max}$$

$$D_j^{\min} \leq D_j = \sum_i T_{ij} \leq D_j^{\max}$$





- **Elastické/Neelastické**

- Příklad ZCS bydlení – nákup

$$O_i^{\min} = O_i = \sum_j T_{ij} = O_i^{\max}$$

$$D_j^{\min} \leq D_j = \sum_i T_{ij} \leq D_j^{\max}$$

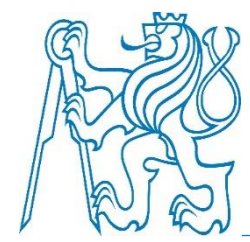
- Zdrojová strana (bydlení) je neelastická, cílová (nákup) je elastická.

# Použité zdroje

---



- Ahrens, G.-A. et al., 2015. *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt “Mobilität in Städten – SrV 2013”*: SrV-Stadtgruppe: Unter-/Grund-/Kleinzentren/ ländliche Gemeinden, Topografie: flach. Dresden, 2015.
- Ben-Akiva, Moshe. *Transportation Systems Analysis: Demand & Economics*. Podklady k přednáškám. 2008.
- Lohse, Dieter. *Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2, Verkehrsplanung*. Berlin, 2011.
- Schiller, Christian. *Theorie der Verkehrsplanung I+II*. Podklady k přednáškám. 2011.



Děkuji Vám za pozornost