

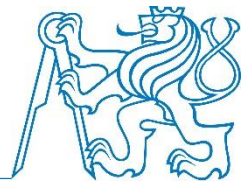
Dopravní plánování a modelování (11 DOPM)

Lekce 6: FSM: Mode choice

Prof. Ing. Ondřej Přibyl, Ph.D.

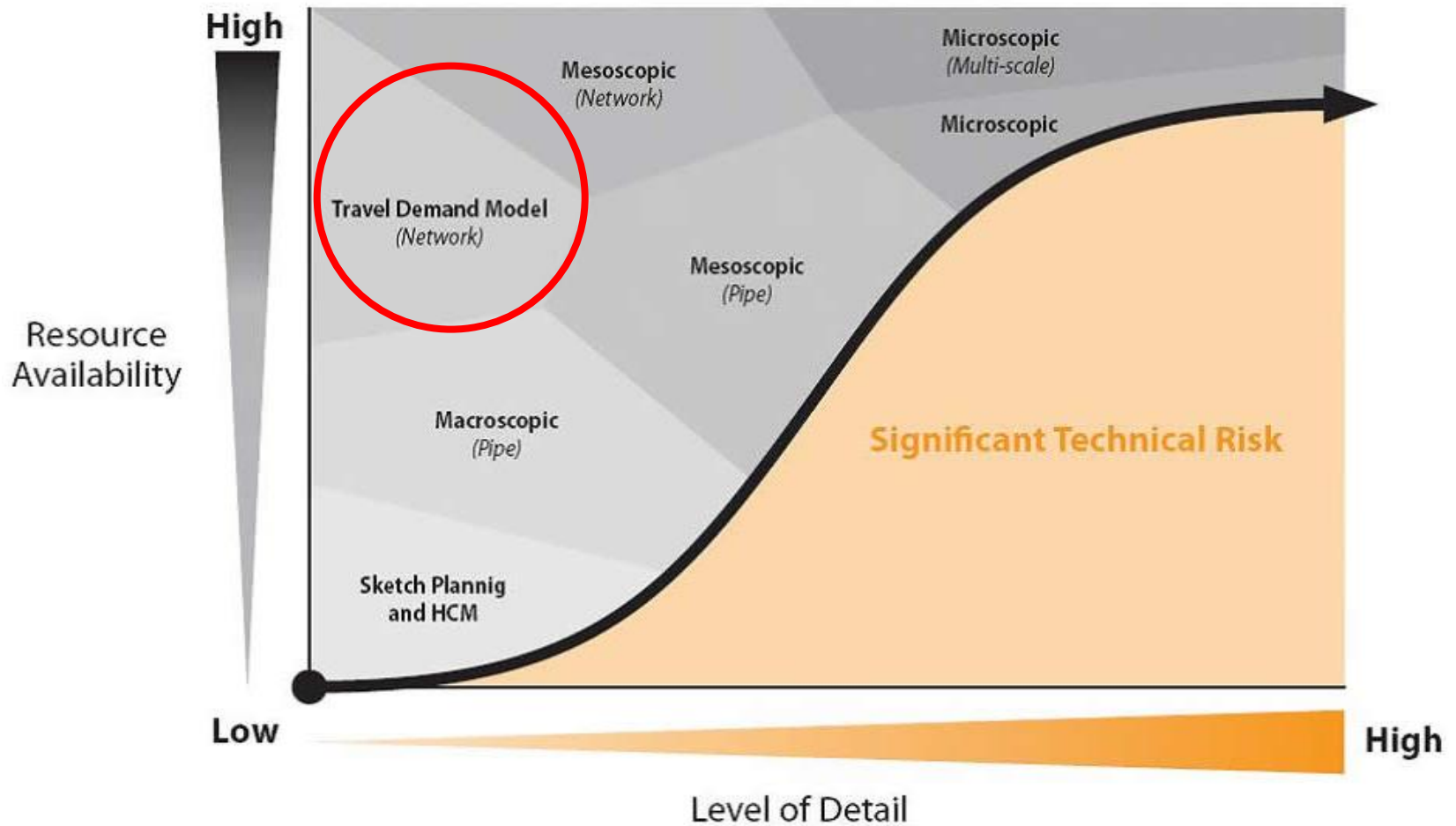
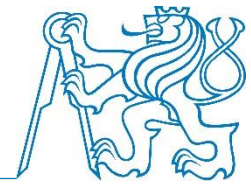
Ing. Milan Kříž

Obsah přednášky



- Úvod
- Faktory ovlivňující modální volbu
- Modely typu Trip-End
- Modely typu Trip-Interchange
- Teorie diskrétní volby
- Simultánní distribuce cest a modální volba

Úvod



Source: http://ops.fhwa.dot.gov/wz/traffic_analysis/tatv9_wz/sec4.htm

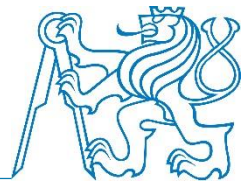
Mode choice



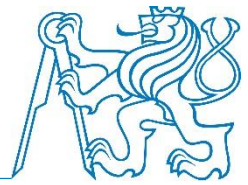
Origins	Destinations					$\sum_i T_{ij}$
	1	2	3	$\dots j$	$\dots z$	
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	$\dots T_{1j}$	$\dots T_{1z}$	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	$\dots T_{2j}$	$\dots T_{2z}$	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	$\dots T_{3j}$	$\dots T_{3z}$	O_3
\vdots						
I	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	$\dots T_{ij}$	$\dots T_{iz}$	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	$\dots D_j$	$\dots D_z$	$\sum_{ij} T_{ij} = T$



- Mód (dopravní prostředek)
 - místní a časová nabídka
 - dopravně-technické, dopravně-organizační a ekonomické podmínky nasazení
 - cestovní doba
 - komfort
 - náklady

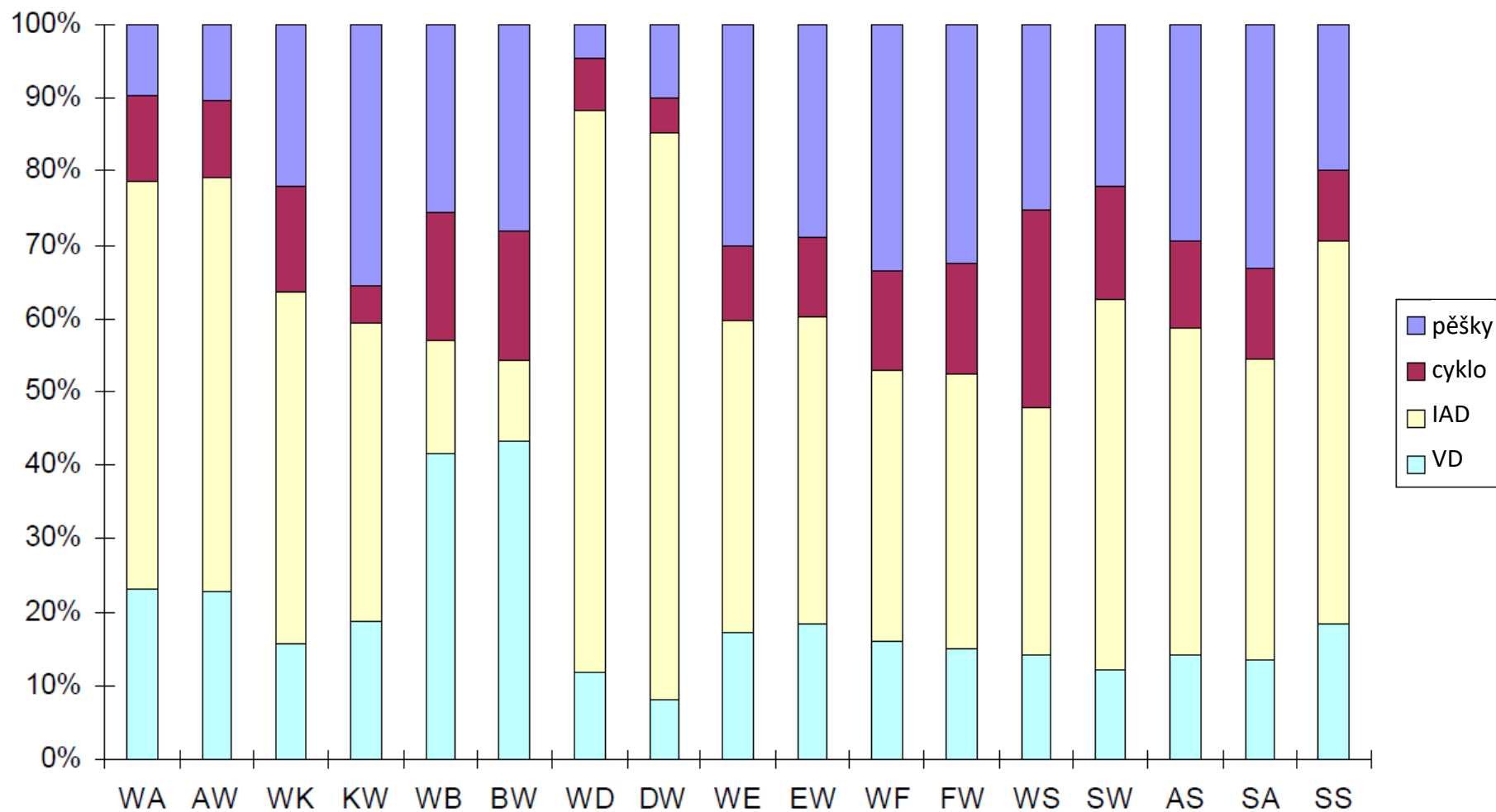


- Uživatel
 - životní standard
 - příjem
 - zaměstnání
 - společenské postavení
 - dostupnost dopravních prostředků
 - věk, fyzický a psychický stav

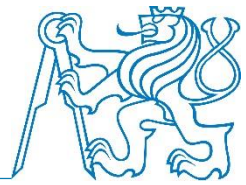


- Přemístění
 - účel (aktivita)
 - poloha cíle a zdroje
 - nákladové veličiny spojené s daným přemístěním

Modal split v jednotlivých ZCS

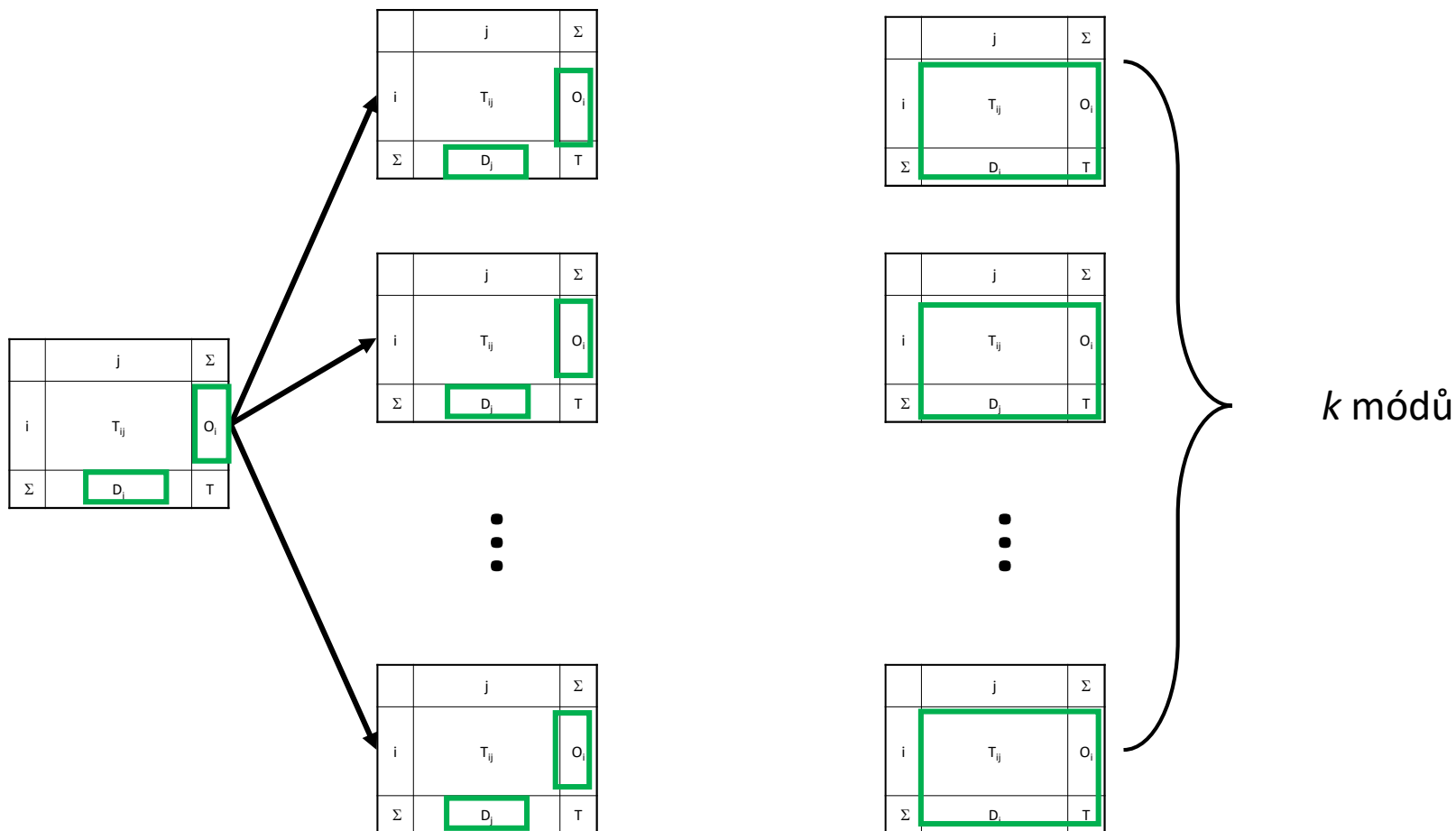


Trip-End



- Nejdříve rozdělí hodnoty O_i , D_j a T na jednotlivé módy
- Teprve poté se vypočtou T_{ij}
- Kvalita modelování závisí relativně hodně na získaných empirických datech
- Obvykle užíváno v zemích s vysokým podílem IAD a pro modelování nákladních dopravy

Trip-End

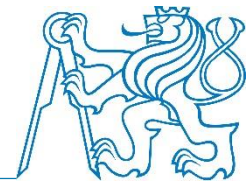


Trip-End



PG	Ziel-kategorie	Entf.-klasse	Erschl.-klasse	Mittlere Häufigkeit in [%]				
				FGV	ÖPV	MITF	PKW	RAD
1,3	1,2,3,4	0	1	20	2	10	65	3
			2	19	0	10	68	3
			3	19	0	10	68	3
		1	1	7	5	12	73	3
			2	7	3	12	75	3
			3	7	0	12	78	3
		2	1	1	4	12	82	1
			2	1	2	12	84	1
			3	1	0	12	86	1
		3	1	0	3	12	85	0
			2	0	0	12	88	0
			3	0	0	12	88	0
2,4	1,2,3,4	0	1	80	5	10	0	5
			2	85	0	10	0	5
			3	85	0	10	0	5
		1	1	38	40	12	0	10
			2	41	37	12	0	10
			3	43	35	12	0	10
		2	1	5	70	15	0	10
			2	7	68	15	0	10
			3	10	55	15	0	10
		3	1	0	79	20	0	1
			2	0	78	20	0	2
			3	0	77	20	0	3

Příklad



- Ve městě s průměrem 3 km vypočítejte metodou Trip-End kroky distribuce cest a modální volba pro pár aktivit domov – zaměstnání; jsou zadány výsledky generování cest a podíl jednotlivých módů

Tij	1	2	3	Oi
1				48,696
2				34,087
3				29,217
Dj	63,00	21,00	28,00	112,00

IAD	0,5
VD	0,25
Kolo	0,15
Pěšky	0,1

Příklad



Tij	1	2	3	Oi
1				48,696
2				34,087
3				29,217
Dj	63,00	21,00	28,00	112,00

IAD	0,5
VD	0,25
Kolo	0,15
Pěšky	0,1

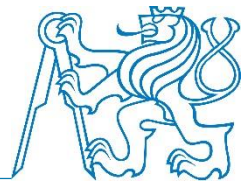
Tij	1	2	3	Oi
1	13,70	4,57	6,09	24,348
2	9,59	3,20	4,26	17,043
3	8,22	2,74	3,65	14,609
Dj	31,50	10,50	14,00	56,00

Tij	1	2	3	Oi
1	6,85	2,28	3,04	12,174
2	4,79	1,60	2,13	8,522
3	4,11	1,37	1,83	7,304
Dj	15,75	5,25	7,00	28,00

Tij	1	2	3	Oi
1	4,11	1,37	1,83	7,304
2	2,88	0,96	1,28	5,113
3	2,47	0,82	1,10	4,383
Dj	9,45	3,15	4,20	16,80

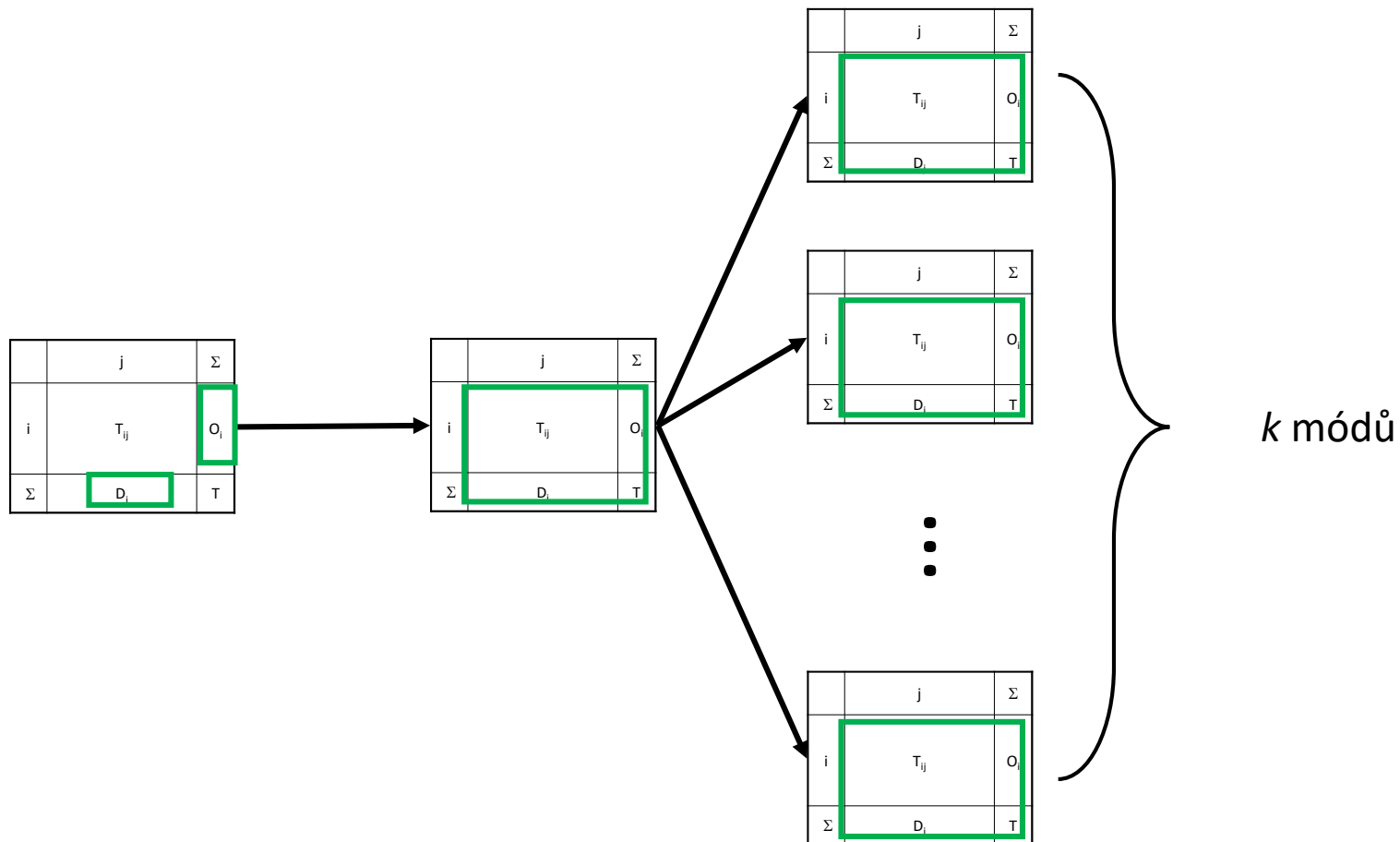
Tij	1	2	3	Oi
1	2,74	0,91	1,22	4,870
2	1,92	0,64	0,85	3,409
3	1,64	0,55	0,73	2,922
Dj	6,30	2,10	2,80	11,20

Trip-Interchange

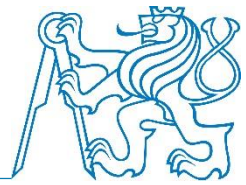


- Nejdříve je spočítána distribuce cest pro všechny cesty v rámci jednoho páru aktivit (jedné zdroj-cílové skupiny)
- Jednotlivé přemístovací vztahy jsou poté rozděleny na konkurující si módy
- Klasické modely trip-interchange používají „hrubé“ přístupy k distribuci cesty, následkem toho je každý vztah při modální volbě uvažován velmi rozdílně

Trip-Interchange

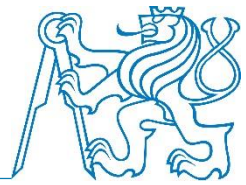


Teorie diskrétní volby

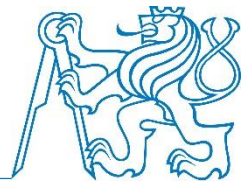


- Rozhodovatel (decision maker)
 - osoba / domácnost (/ firma)
 - socioekonomické charakteristiky
- Alternativy
 - množina alternativ C_n s počtem J_n alternativ
- Atributy těchto alternativ
- Rozhodovací pravidlo
 - dominance, užitek, ...

Cesta do práce

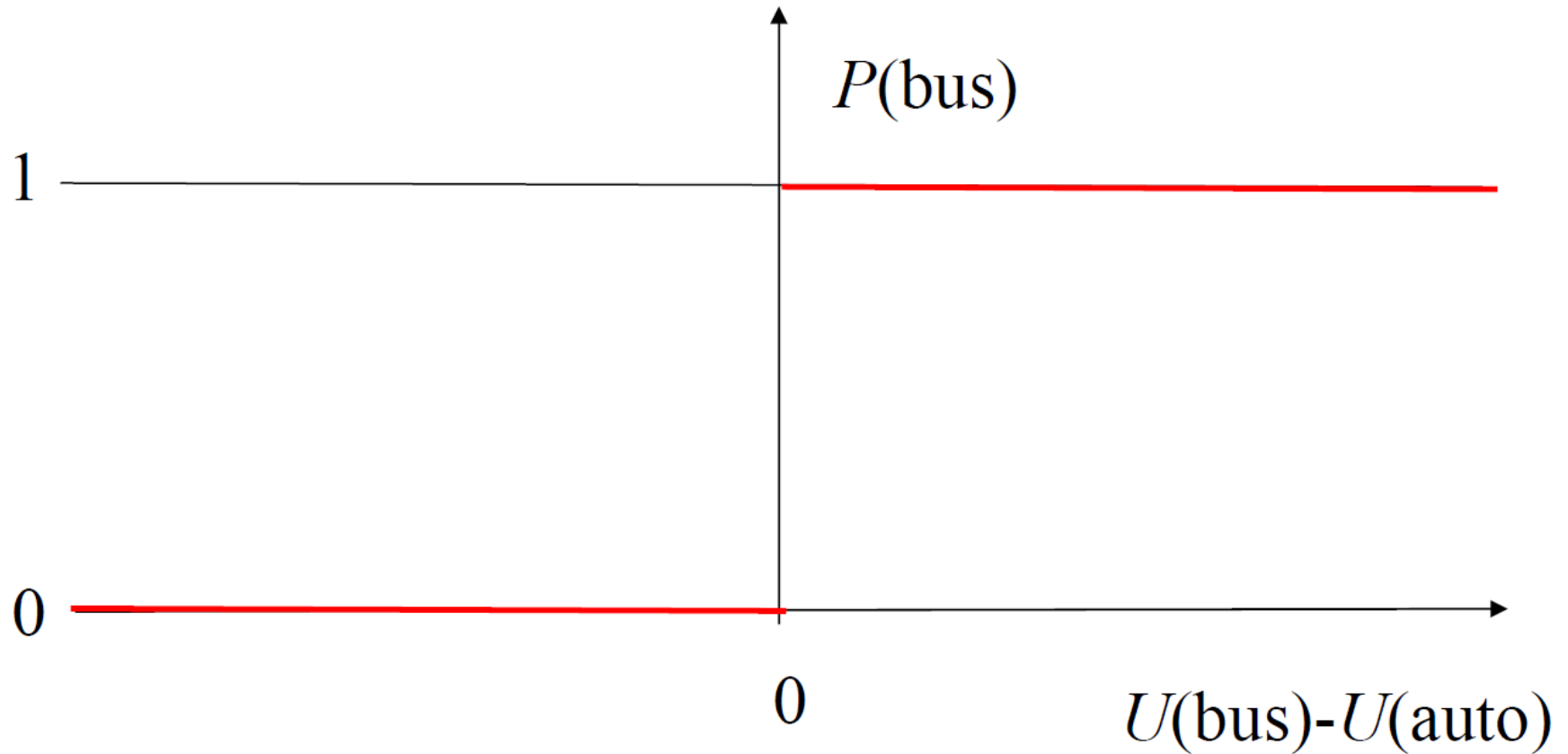
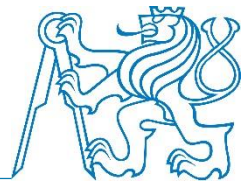


- Rozhodovatel: zaměstnanec
- Volba: jet autem, nebo autobusem?
- „Zboží“: auto, bus
- Užitková funkce: U(auto, bus)
- Kombinace statků: {1, 0}, {0, 1}

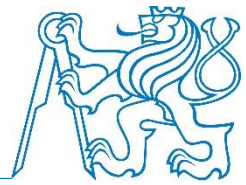


- Spotřebitel se snaží maximalizovat užitek
 - vybírá alternativu s maximálním užitekem (za splnění dalších okrajových podmínek – např. disponibilní příjem)
 - Pokud $U(\text{bus}) > U(\text{auto})$ -> vybere autobus
 - Pokud $U(\text{bus}) < U(\text{auto})$ -> vybere auto
- $U(\text{bus}) = ?$
- $U(\text{auto}) = ?$

Deterministický výběr

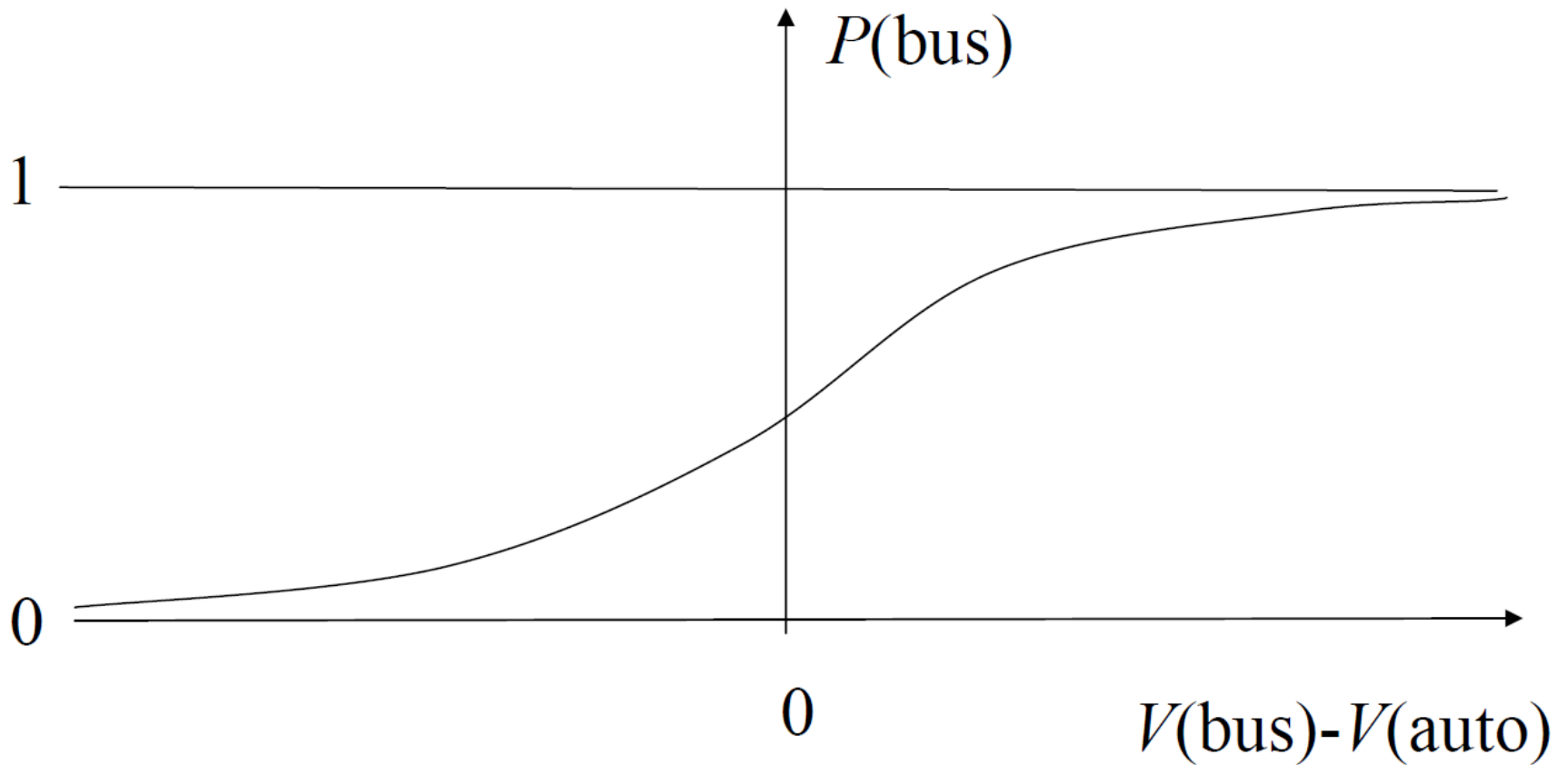
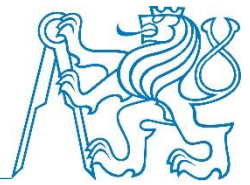


Pravděpodobnostní výběr

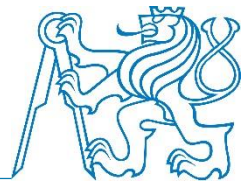


- Model užitku jako náhodné veličiny:
- Deterministická (V) a stochastická část (ε)
- $U_i = V(\text{atributy varianty } i; \text{ parametry}) + \varepsilon$
- Kde se vzalo epsilon? – nedokonalá znalost situace:
 - nepozorované veličiny
 - nepozorované preference
 - chyby měření
 - užití proxy proměnných

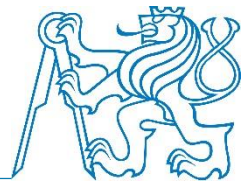
Pravděpodobnostní výběr



Pravděpodobnostní výběr



- $U(\text{bus}) = \beta_1 * (\text{cestovní doba}) + \beta_2 * (\text{doba ve vozidle}) + \beta_3 * (\text{cena/příjem}) + \dots + \text{epsilon}_{\text{bus}}$
- Nebo můžeme vytknout součinitele před závorku (pouze matematická operace):
 - $U(\text{bus}) = \mu * [\beta'_1 * (\text{cestovní doba}) + \beta'_2 * (\text{doba ve vozidle}) + \beta'_3 * (\text{cena/příjem}) + \dots] + \text{epsilon}_{\text{bus}}$
- Typ rozdělení náhodné složky \rightarrow typ modelu
 - logit model = epsilony alternativ nezávislé a stejně rozdělené podle Gumbelova rozdělení (generalized extreme value distribution type-I)



Binární probit:

$$P_n(i|C_n) = \Phi(V_n) = \int_{-\infty}^{V_n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\varepsilon^2} d\varepsilon$$

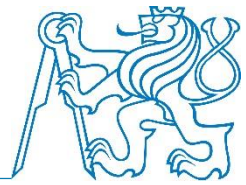
Binární logit:

$$P_n(i|C_n) = \frac{1}{1 + e^{-V_n}} = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{in}} + e^{V_{jn}}}$$

Multinomiální logit:

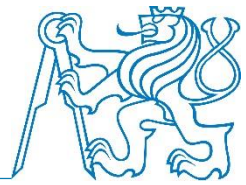
$$P_n(i|C_n) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}}$$

Proč logit

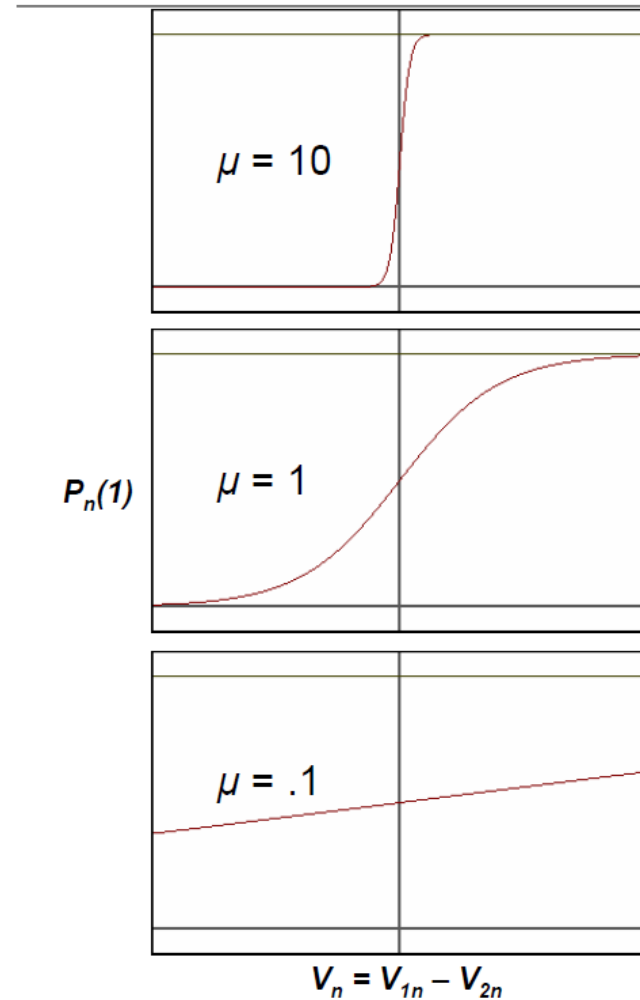


- Model probit nemá uzavřenou formu – pravděpodobnost je integrál
- Logistická distribuční funkce:
 - relativně dobře aproximuje normální rozdělení
 - je dobře analyticky uchopitelná
- Logit má „silnější konce“ než normální rozdělení

Limitní případy



- Co se stane, když $\mu \rightarrow \infty$?
- Co se stane, když $\mu \rightarrow 0$?



logit model



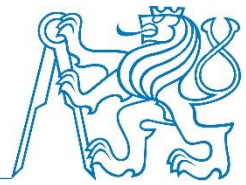
- $P_n(i) = P(U_{in} \geq U_{jn})$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{in} - V_{jn})}} \\ &= \frac{e^{\mu V_{in}}}{e^{\mu V_{in}} + e^{\mu V_{jn}}} \end{aligned}$$

- Pokud jsou V_{in} a V_{jn} lineární v parametrech:

$$P_n(i) = \frac{e^{\mu\beta'x_{in}}}{e^{\mu\beta'x_{in}} + e^{\mu\beta'x_{jn}}}$$

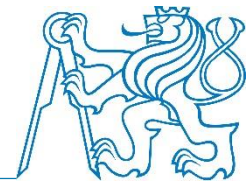
Multinomiální logit



$$P(i | C_n) = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{jn}}}$$

$$P(auto | C_n) = \frac{e^{\mu V_{auto,n}}}{e^{\mu V_{auto,n}} + e^{\mu V_{bus,n}} + e^{\mu V_{walk,n}}}$$

Multinomiální logit - příklad



- Zadání:

Mód (dopravní prostředek)	Nákladová veličina	Xij [min]	Parametr
IAD	Cestovní doba	5	-0,2
	Doba hledání místa na zaparkování	3	-0,15
VD	Cestovní doba ve vozidle	3	-0,09
	Přestupní doba	9	-0,11
Cyklo	Cestovní doba	17	-0,08
Pěšky	Cestovní doba	28	-0,07

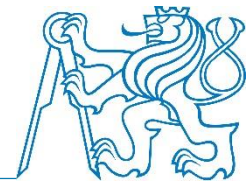
- Řešení:

Mód (dopravní prostředek)	Nákladová veličina	Xij [min]	Parametr	exp
IAD	Cestovní doba	5	-0,2	0,235
	Doba hledání místa na zaparkování	3	-0,15	
VD	Cestovní doba ve vozidle	3	-0,09	0,284
	Přestupní doba	9	-0,11	
Cyklo	Cestovní doba	17	-0,08	0,257
Pěšky	Cestovní doba	28	-0,07	0,141
				0,916

vij	800
-----	-----

IAD	204,9223
VD	247,8022
Cyklo	224,2207
Pěšky	123,0549

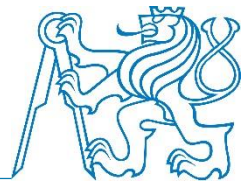
Určení parametrů



- Průzkum mezi jednotlivci:
 - množina alternativ
 - socioekonomické charakteristiky
 - atributy alternativ
 - volba jednotlivců

n	Income	Auto Time	Transit Time	Choice
1	35	15.4	58.2	Auto
2	45	14.2	31.0	Transit
3	37	19.6	43.6	Auto
4	42	50.8	59.9	Auto
5	32	55.5	33.8	Transit
6	15	N/A	48.4	Transit

Určení parametrů

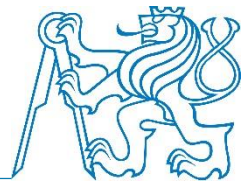


$$V_{auto} = \beta_0 + \beta_1 TT_{auto} + \beta_2 \ln(\text{Income})$$

$$V_{transit} = \beta_1 TT_{transit}$$

	β_0	β_1	β_2
Auto	1	TT_{auto}	$\ln(\text{Income})$
Transit	0	$TT_{transit}$	0

Určení parametrů



- Musíme najít takové parametry modelu, za jejichž použití bude model s největší pravděpodobností předpovídat stejná rozhodnutí, jako byla v průzkumu – např. metoda maximální věrohodnosti:

$$\max L^*(\beta) = P_1(\text{Auto})P_2(\text{Transit})\dots P_6(\text{Transit})$$

$$y_{in} = \begin{cases} 1, & \text{pokud osoba } n \text{ vybrala alternativu } i \\ 0, & \text{pokud osoba } n \text{ vybrala alternativu } j \end{cases}$$

- Pak maximalizujeme následující funkci (přičemž hledáme parametry beta):

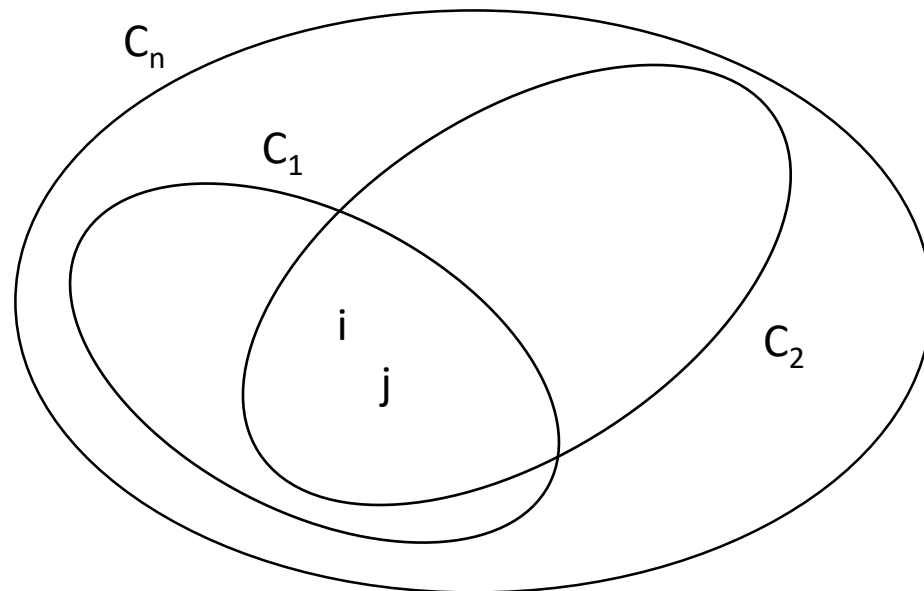
$$L^*(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) = \prod_{n=1}^N P_n(i)^{y_{in}} P_n(j)^{y_{jn}}$$

$$\begin{aligned} \beta^* &= \arg \max_{\beta} L^*(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) \\ &= \arg \max_{\beta} \log L^*(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) \end{aligned}$$



- IIA = independence from irrelevant alternatives
(nezávislost na nerelevantních alternativách)

$$- P_n(i|C_n) = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{jn}}}$$

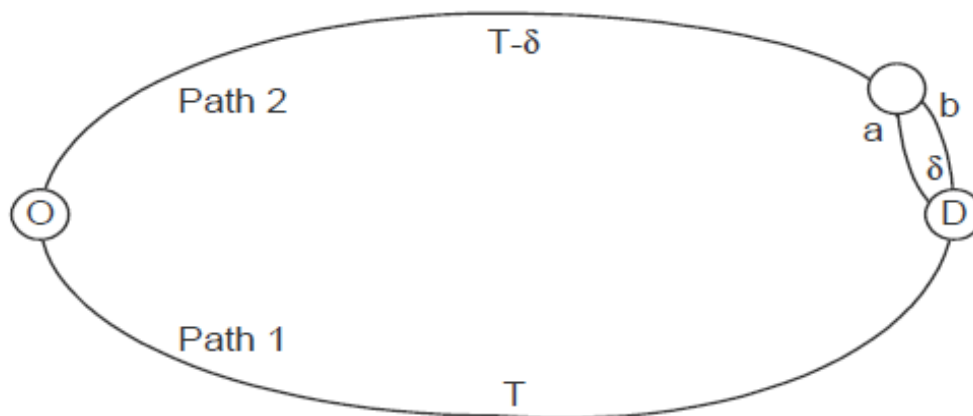


$$\text{so } \frac{P(i|C_1)}{P(j|C_1)} = \frac{P(i|C_2)}{P(j|C_2)} \quad \forall i, j, C_1, C_2$$

such that $i, j \in C_1$, $i, j \in C_2$, $C_1 \subseteq C_n$ and $C_2 \subseteq C_n$

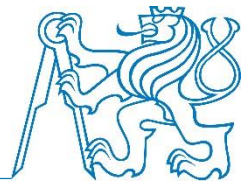


- Částečně se překrývající cesty



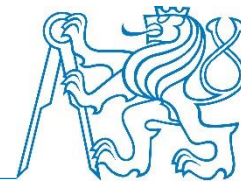
$$P(1|\{1,2a,2b\}) = P(2a|\{1,2a,2b\}) = P(2b|\{1,2a,2b\}) = \frac{e^{\mu T}}{\sum_{j \in \{1,2a,2b\}} e^{\mu T}} = \frac{1}{3}$$

Problematika IIA - příklad



- Uvažujme, že na začátku mají auto a autobus stejný užitek
 - $C_n = \{\text{auto, bus}\}, V_{\text{auto}} = V_{\text{bus}} = V$
 - $P(\text{auto}) = P(\text{bus}) = 1/2$
- Na trh přibude nový autobusový dopravce, liší se pouze barvou vozidel (např. červený vs. modrý)
 - $C_n = \{\text{auto, červený bus, modrý bus}\}, V_{\text{modrý bus}} = V_{\text{červený bus}} = V$
 - *logit předpovídá*: $P(\text{auto}) = P(\text{červený bus}) = P(\text{modrý bus}) = 1/3$
 - čekali bychom: $P(\text{auto}) = 1/2; P(\text{červený bus}) = P(\text{modrý bus}) = 1/4$

Problematika IIA - příklad



- Rozdělme populaci do 2 stejně velkých skupin – ty, kteří preferují auta, a ty kteří preferují veřejnou dopravu
- Podíly před zavedením modrého autobusu:

Skupina	IAD	Bus	
Preference IAD	90 %	10 %	$P(\text{auto})/P(\text{červený bus}) = 9$
Preference VD	10 %	90 %	$P(\text{auto})/P(\text{červený bus}) = 1/9$
Celkový podíl	50 %	50 %	

- Podíly jednotlivých módů po zavedení modrého autobusu:

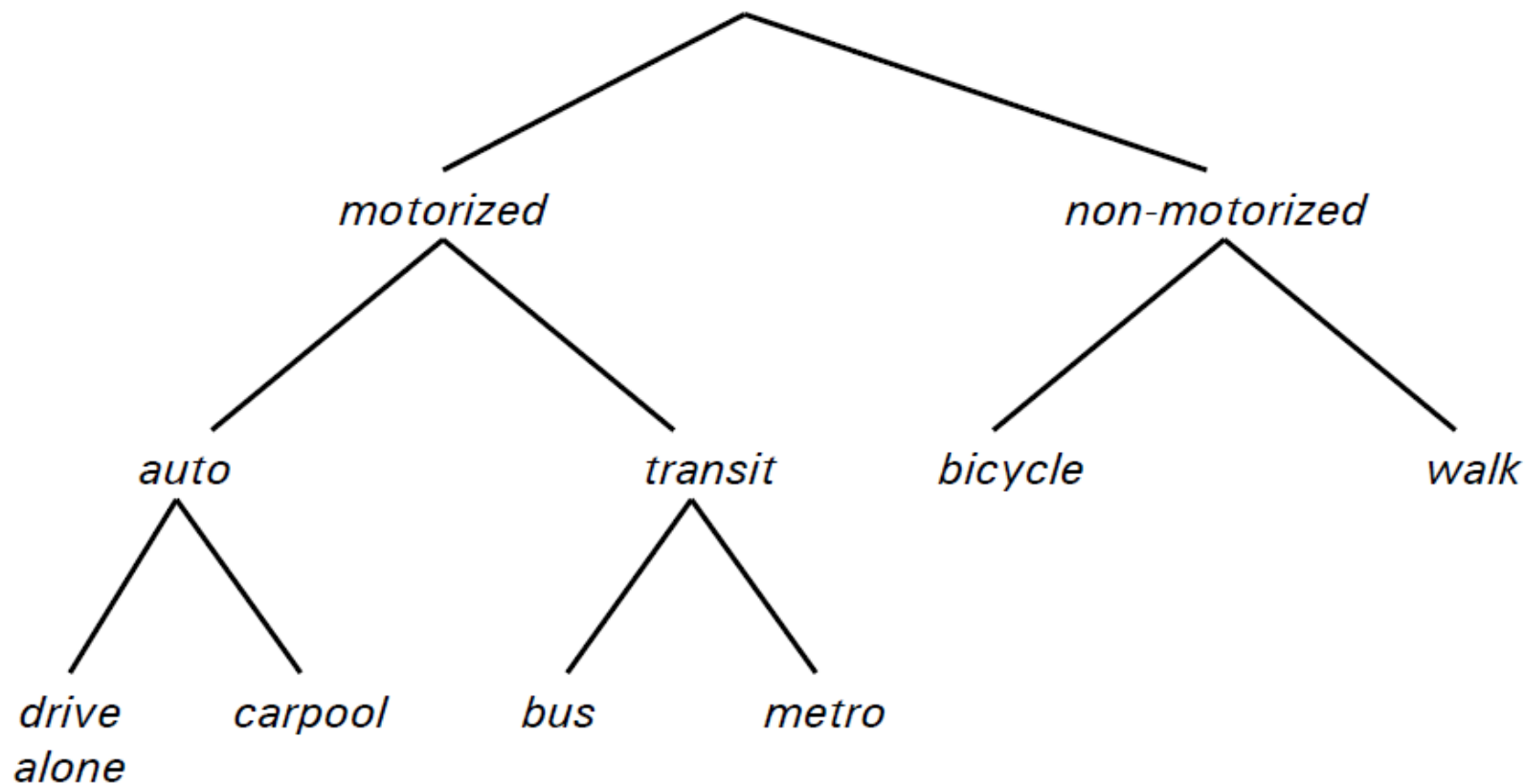
Skupina	IAD	Červený bus	Modrý bus
Preference IAD	81,8 %	9,1 %	9,1 %
Preference VD	5,2 %	47,4 %	47,4 %
Celkový podíl	43,5 %	28,25 %	28,25 %

Nested logit



- Jedna z možností, jak vyřešit rozpor mezi IIA a skutečností

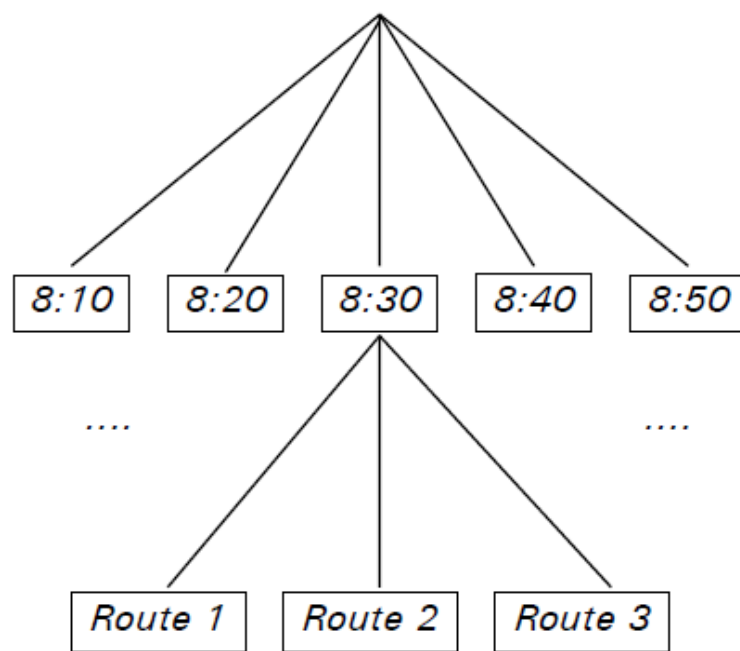
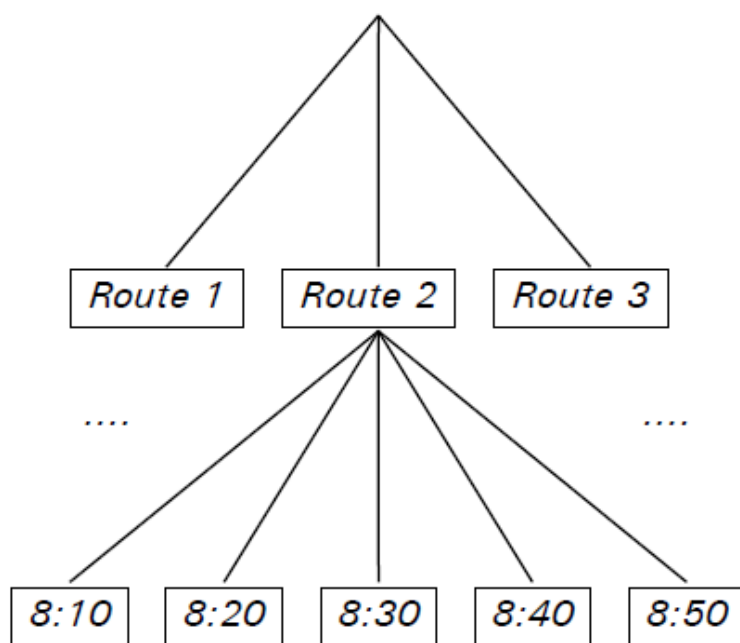
Example: Mode Choice (Correlated Alternatives)



Nested logit



Example: Route and Departure Time Choice (Multidimensional Choice)



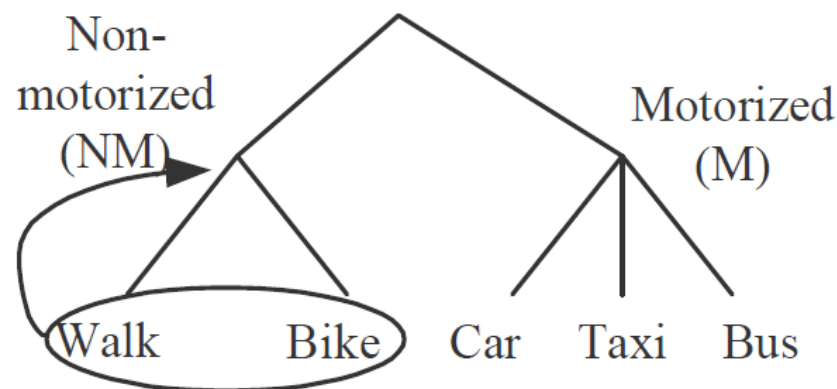
Nested logit



Logit at each node

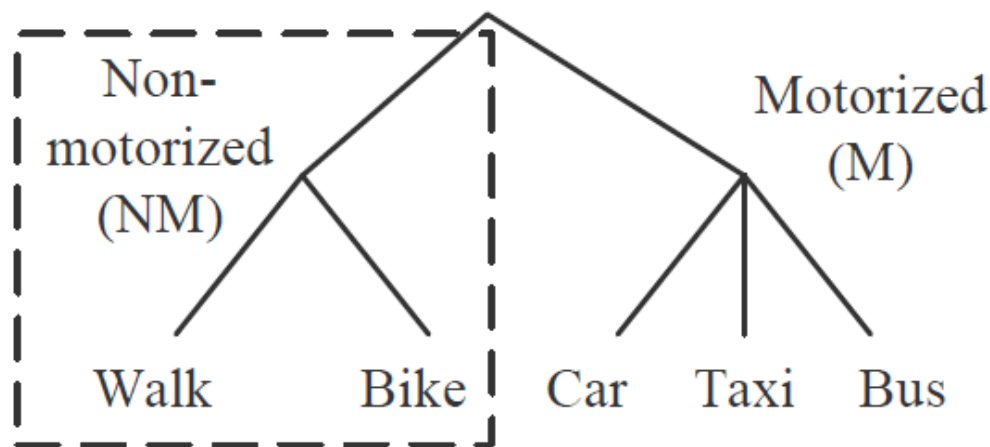
Utilities at lower level enter at the node as the *inclusive* value

$$I_{NM} = \ln \left(\sum_{i \in C_{NM}} e^{V_i} \right)$$



The inclusive value is often referred to as *logsum*

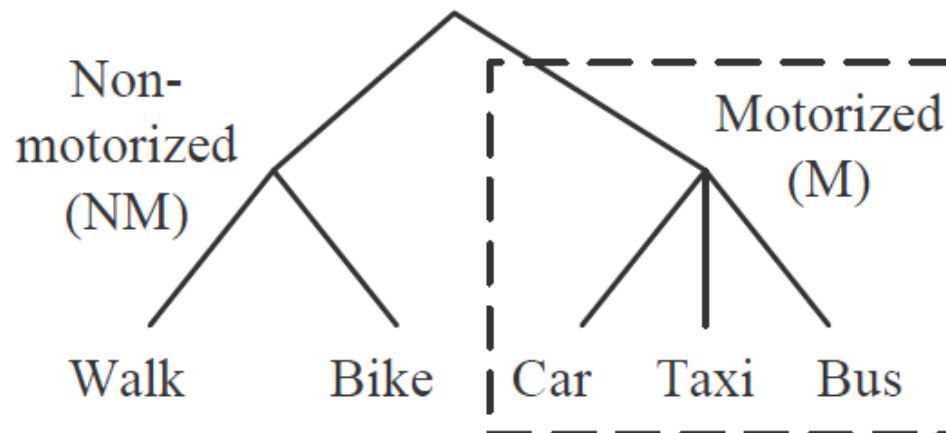
Nested logit



$$P(i | NM) = \frac{e^{\mu_{NM} V_i}}{e^{\mu_{NM} V_{Walk}} + e^{\mu_{NM} V_{Bike}}} \quad i = Walk, Bike$$

$$I_{NM} = \frac{1}{\mu_{NM}} \ln(e^{\mu_{NM} V_{Walk}} + e^{\mu_{NM} V_{Bike}})$$

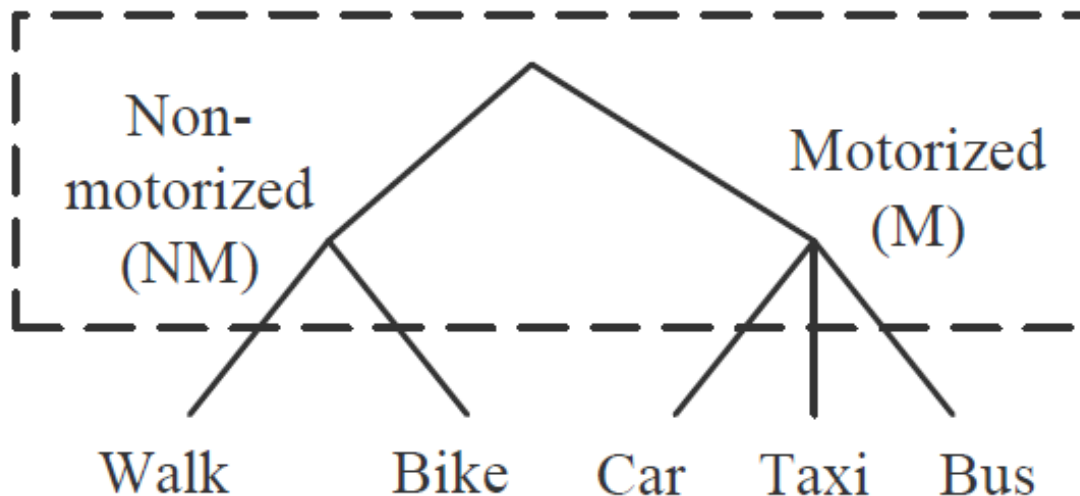
Nested logit



$$P(i | M) = \frac{e^{\mu_M V_i}}{e^{\mu_M V_{Car}} + e^{\mu_M V_{Taxi}} + e^{\mu_M V_{Bus}}} \quad i = Car, Taxi, Bus$$

$$I_M = \frac{1}{\mu_M} \ln(e^{\mu_M V_{Car}} + e^{\mu_M V_{Taxi}} + e^{\mu_M V_{Bus}})$$

Nested logit



$$P(NM) = \frac{e^{\mu I_{NM}}}{e^{\mu I_{NM}} + e^{\mu I_M}}$$

$$P(M) = \frac{e^{\mu I_M}}{e^{\mu I_{NM}} + e^{\mu I_M}}$$

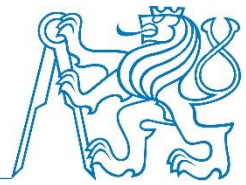
Nested logit



$$P(\text{Bus}) = P(\text{Bus} | M) \cdot P(M)$$

$$= \left[\frac{e^{\mu_M V_{\text{Bus}}}}{e^{\mu_M V_{\text{Car}}} + e^{\mu_M V_{\text{Taxi}}} + e^{\mu_M V_{\text{Bus}}}} \right] \cdot \left[\frac{e^{\mu_M}}{e^{\mu_{NM}} + e^{\mu_M}} \right]$$

$$= \left[\frac{e^{\mu_M V_{\text{Bus}}}}{e^{\mu_M V_{\text{Car}}} + e^{\mu_M V_{\text{Taxi}}} + e^{\mu_M V_{\text{Bus}}}} \right] \cdot \left[\frac{e^{\frac{\mu}{\mu_M} \ln(e^{\mu_M V_{\text{Car}}} + e^{\mu_M V_{\text{Taxi}}} + e^{\mu_M V_{\text{Bus}}})}}{e^{\frac{\mu}{\mu_{NM}} \ln(e^{\mu_{NM} V_{\text{Walk}}} + e^{\mu_{NM} V_{\text{Bike}}})} + e^{\frac{\mu}{\mu_M} \ln(e^{\mu_M V_{\text{Car}}} + e^{\mu_M V_{\text{Taxi}}} + e^{\mu_M V_{\text{Bus}}})}} \right]$$



- Řešení:

$$T_{ij} = f(X_{ij}) \cdot fo_i \cdot fd_j \cdot fa_k$$

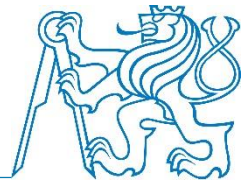
$$O_i^{\min} \leq O_i = \sum_k \sum_j T_{ij} \leq O_i^{\max}$$

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

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = MS_k$$

- Okrajové podmínky mohou být elastické nebo neelastické
- Obecně je možno použít libovolnou funkci ohodnocení

Motivace ke změně módu



- Jak přimět jednotlivce ke změně dopravního prostředku (módu)?

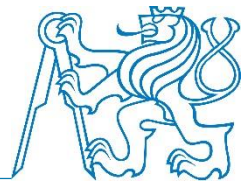
Plán mobility Brno



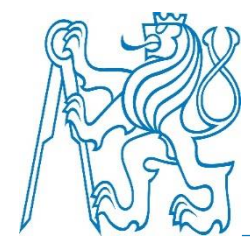
Brno se v roce 2050 umístuje na prvním místě žebříčku hodnotícím kvalitu života ve městech. Žije zde 480 tis. spokojených obyvatel, kteří ani ve volných dnech nejsou nuceni odjíždět z města za čistým vzduchem. Brno je městem, kde se velmi snadno žije bez automobilu. Je to město krátkých cest s propojenými a navazujícími dopravními mody. Mobilita je jakožto stavební kámen kvality života ve městě hlavním politickým tématem, obyvatelé města se již 35 let aktivně a zapojují do tématu městské mobility s tvůrčími podněty. Být seniorem nebo hendikepovaným v Brně neznamena žádné omezení cestovních návyků. Město dlouhodobě, koncepčně a koordinovaně řeší zefektivňování dopravního systému. Snadnost, možnost a rychlost cestování jsou hlavními cíli dopravního plánování. Zároveň je město na základě široké datové základny schopno v oblasti mobility pružně reagovat nejen na trendy v dopravě, ale i demografii, ekonomice a migraci obyvatel.

zdroj: <http://www.mobilitabrno.cz/vize>

Použité zdroje



- 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.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. *Modelling Transport*. Chichester, 2011.
- Schiller, Christian. *Theorie der Verkehrsplanung I + II*. Podklady k přednáškám. 2011.



Děkuji Vám za pozornost