FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

TECHNOLOGIE DOPRAVY

Optimalizace linkového vedení Četnost obsluhy, takt

17TEDL Technologie dopravy a logistika

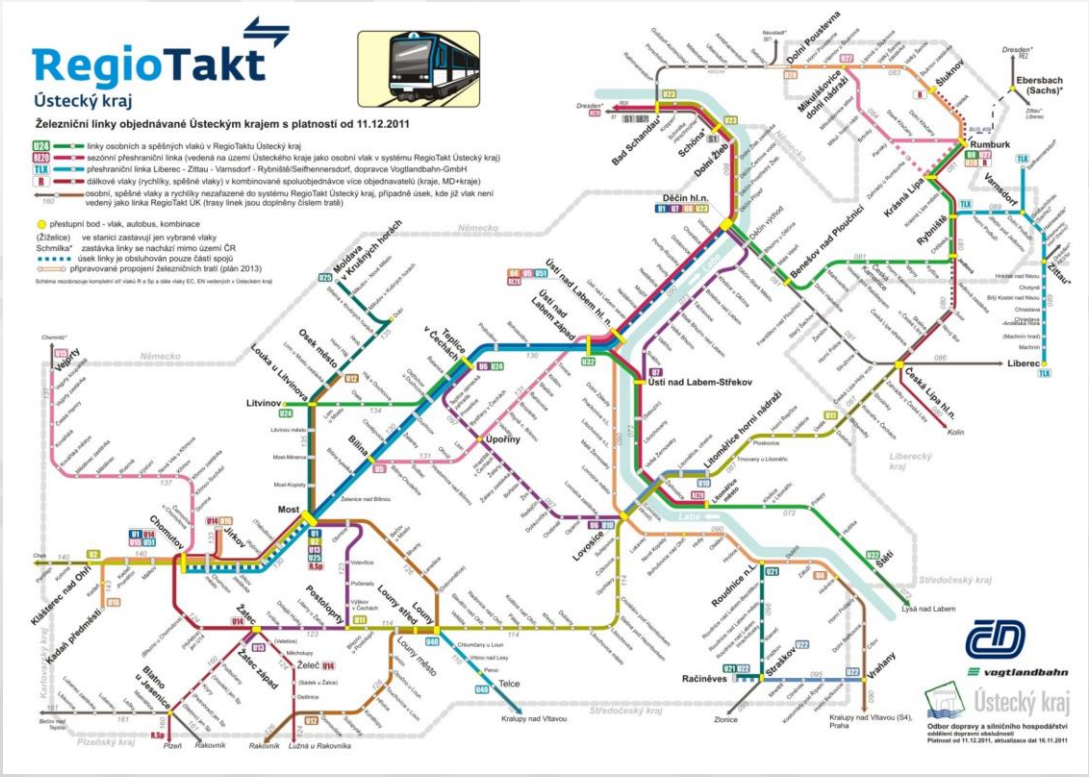
Cvičení č. 2

Ing. Zdeněk Michl

Ústav logistiky a managementu dopravy

Fakulta dopravní

ČVUT v Praze

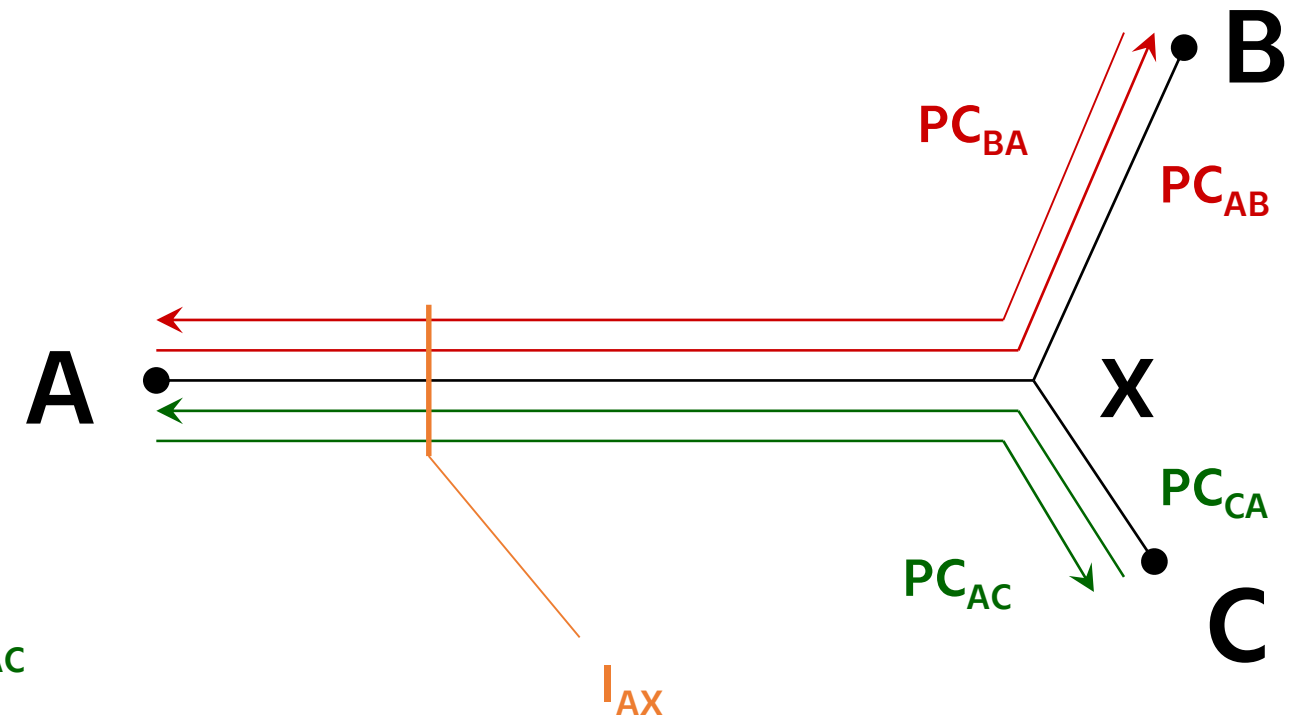


FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Témata cvičení

- Volba dopravního prostředku, LOGIT model
- Přepravní vztahy vs. přepravní proudy
- Dopravní síť - zobrazení v teorii grafů
- Optimalizace, heuristiky
- Plánování linek s ohledem na zákazníka
- Metoda základních (bazických) linek
- Četnost obsluhy – kapacita vs. atraktivita
- Přizpůsobení výkyvům poptávky

Přepravní vztahy vs. intenzita přepravního proudu



$I_{AX} = PC_{BA} + PC_{AB} + PC_{CA} + PC_{AC}$

I_{AX} … intenzita přepravního proudu mezi A a X

PC_{AB} … počet cest mezi A a B

za určitou dobu

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

7 KROKŮ PLÁNOVÁNÍ NABÍDKY VE VEŘEJNÉ OSOBNÍ DOPRAVĚ

- 1. Zjištění a modelování poptávky po přepravě
- 2. Návrh sítě linek
- 3. Promítnutí návrhu sítě linek na dopravní síť
- 4. Tvorba jízdního řádu
- 5. Oběhy souprav/vozidel a turnusy personálu
- 6. Vyhodnocování a kontrola provozu
- 7. Návrh úprav infrastruktury

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Popis vybrané sítě tratí (teorie grafů)

- Uzlové stanice a přípustné koncové stanice linek znázorňují uzly grafu
- Tratě spojující tyto stanice znázorňují hrany grafu (zpravidla znázorněné neorientovanými grafy, neboť linky mají být shodné v jednom i druhém směru)
- Linka = souhrn dopravních spojů pro pravidelnou obsluhu určených míst, je definovaná koncovými uzly, mezilehlými zastávkami a je označena
- Linky vyplynou ze vzájemného spojení dvou (přípustných) koncových uzlů, přes sled hran a vrcholů

Všeobecně se uvažuje mezi každým párem koncových uzlů pouze linka přes (zpravidla časově) nejkratší cestu

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

NP Complete

Problém plánování linek je teoreticky řešitelný úplným vyčíslením, tj.

- sestrojením všech potenciálních linek,
- sestrojením všech potenciálních sítí linek a ohodnocením každé sítě
- srovnáním všech ohodnocení, výběrem vhodné sítě

Z důvodu kombinatorické mnohotvárnosti je tento problém prakticky velmi obtížně řešitelný, neboť

- pro p potenciálních uzlů v síti existuje $n_L = \binom{p}{2}$ potenciálních linek přes nejkratší cestu
- z těchto n_L linek plyne $n_N = 2^{nL} - 1$ sítí linek

Př.: V síti se sedmi přípustnými koncovými uzly linek existuje $n_L = 21$ potenciálních linek a odtud přibližně $n_N = 2{,}1.\,10^6$ variant sítí.

Zdroj: Bär M.: Systemtechnik des Bahn- und ÖPN-Verkehrs, TU Dresden, 2005

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Cesta k optimalizaci

Metody plánování linek redukují kombinatorickou mnohotvárnost problému dvěma způsoby:

1. omezení potenciálních množin řešení před jejich sestavením, např. omezené počáteční podmínky nebo manuální předběžný výběr potenciálních linek
2. omezení potenciálních množin řešení během jejich sestrojení, např. předčasné přerušení metody větví a mezí

Stanovené cíle se zpravidla přemění ve vybranou účelovou funkci, podle které se bude optimalizovat, a v okrajové podmínky, které se určí pro konkrétní cíle.

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

PLÁNOVÁNÍ LINEK S OHLEDEM NA ZÁKAZNÍKA

Nejpodstatnějším kritériem pro zákazníka je z hlediska úkolu plánování linek počet nutných přestupů pro každou cestu.

Možnosti stanovení účelové funkce:

- Maximalizace počtu nepřestupujících cestujících v síti
- Minimalizace počtu přestupních procesů v síti

Plán linek s ohledem na zákazníka - příklad

Metoda:	Základní (bazické) linky
Účelová funkce:	Minimalizace počtu přestupních procesů v síti
Okrajové podmínky:	Právě jedna linka na hranu (je volena pro zjednodušení ukázkového příkladu)
	Rozložení poptávky na nejkratší cesty

1. krok: Zjištění nejkratší cesty (zde cesty s nejkratší jízdní dobou)

METODA ZÁKLADNÍCH/BAZICKÝCH LINEK

2. krok: Stanovení a ohodnocení všech základních linek (ZL)

Základní linky (bazické) jsou linky vedené **přes právě dvě hrany** s jedním vnitřním (mezilehlým) uzlem. Existují přes všechny uzly, které jsou incidentní s více než jednou hranou. Základní linky, týkající se uzlů, které nejsou vnitřními uzly alespoň jedné nejkratší cesty, neuvažujeme.

Pro každý tento uzel mohou být vytvořeny ze všech kombinací právě dvou incidentních hran základní linky ZL, nejsou-li z praktických důvodů vyloučeny.

Nechť je potom základní linka integrována do budoucí sítě linek, čímž odpadají přestupní procesy odpovídající intenzitě tohoto přepravního proudu.

$$Q(ZL) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_{ij}(ZL).Q_{ij}$$

kde $x_{ij}(ZL) = 1$, jestliže nejkratší cesta z i do j vede přes celou ZL

$x_{ij}(ZL) = 0$ v ostatních případech

$n =$ počet uzlů v síti

$Q(ZL) =$ intenzita přepravního proudu na základní lince ZL

$Q_{ij} =$ intenzita přepravního proudu v relaci $i \rightarrow j$

Metoda základních/bazických linek

3. krok: Výběr základních linek

Počet volitelných základních linek vztahujících se k mezilehlým uzlům odpovídá dolní celé části, poloviny součtu přípustných linek na těchto incidentních hranách:

$$n_{ZL}(P) = \mathrm{Int}\frac{\sum_{K=1}^{n_K(P)} n_L(K)}{2}$$

kde: $n_{ZL}(P)$ **= počet základních linek procházejících mezilehlým uzlem** P

$n_K(P)$ **= počet hran incidentních s uzlem** P

$n_L(K)$ **= počet přípustných, resp. požadovaných linek na hraně** K

Pro každý mezilehlý uzel se vybere kombinace základních linek, která:

- **nepřekročí počet přípustných linek (přípustné kombinace) na každou incidentní hranu**
- **spojuje přípustné kombinace maximálních intenzit tranzitních přepravních proudů na vybraných základních linkách**

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Metoda základních/bazických linek

4. krok: Spojení základních linek

Nechť nastane párové spojení základních linek, které **obsahují právě jednu společnou hranu**. Je-li hrana aspoň jednoho mezilehlého uzlu obsazena více než jednou vybranou základní linkou, existují různé varianty spojení. Přesné zhodnocení účinku určité varianty spojení v síti je problematické, obecně se proto volí různé heuristické metody pro spojení.

5. krok: Úplná síť linek

Úplná síť linek je tvořena následujícími třemi komponentami:

- spojené základní linky
- nespojené, vybrané základní linky
- případné krátké linky k obsazení dosud nepokrytých hran

6. krok: Hodnocení řešení

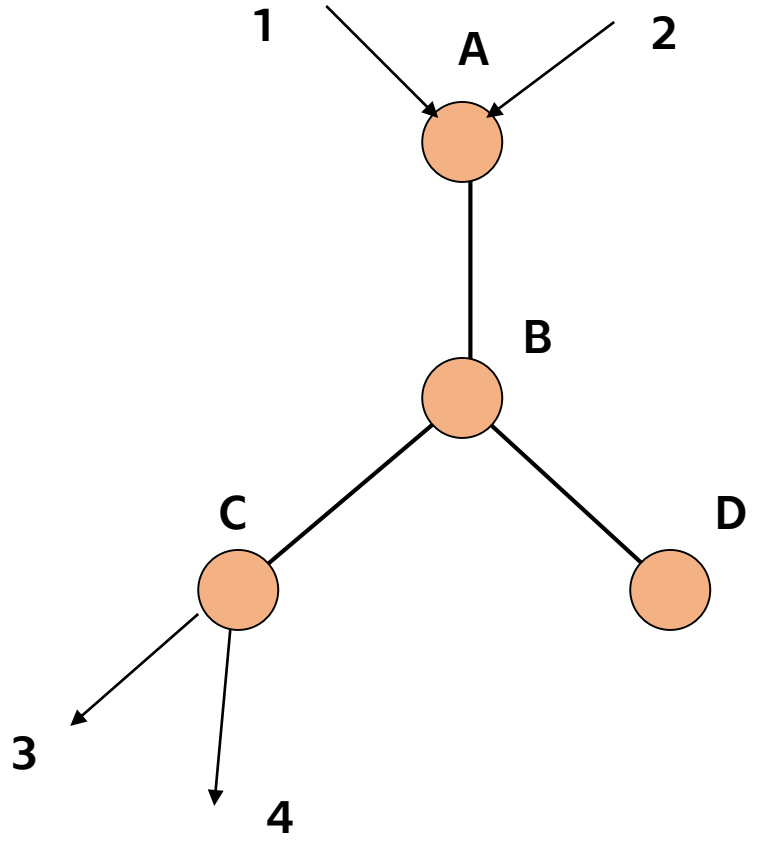
Hodnocení nastává v první řadě podle **splnění účelové funkce minimalizace počtu přestupů** a dalších veličin ohodnocení (celkový počet přestupů, počet přestupů na jednoho cestujícího, počet uspořených přestupů)

Metoda základních/bazických linek

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Cestující profitující z bazické (přímé) linky A – B – C:

1. A – B – C
2. 1 – A – B – C
3. 1 – A – B – C – 3
4. 1 – A – B – C – 4
5. 2 – A – B – C
6. 2 – A – B – C – 3
7. 2 – A – B – C – 4
8. A – B – C – 3
9. A – B – C – 4



Ohodnocení základní linky A-B-C se bude rovnat součtu přepravních proudů všech 9 výše uvedených relací

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

ČETNOST OBSLUHY

Poptávka:	Množství	+	Časový okamžik:
↓	↓		↓
Obsluha:	Odpovídající množství	+	V pravý čas
↓	↓		↓
Četnost obsluhy:	**a) Kapacita míst**	+	**b) Atraktivní interval**

buď odvozená z **potřebné nabídky kapacity** (míst)

nebo odvozená z **intervalu atraktivního pro cestující**

Volba vyšší četnosti ⇒ kratšího intervalu z obou



ČETNOST OBSLUHY – VLIV POČTU CESTUJÍCÍCH

Požadovaná nabídka míst v čase

$$t_T = \frac{1}{f} \qquad f = \frac{Q}{\gamma_{max} . K}$$

kde

f	= četnost (frekvence) obsluhy za směr	[spojů / čas. jednotku]
K	= kapacita vozidla	[nabízené místo]
Q	= přepravní proud	[osob / čas. jednotku]
γ_{max}	= maximální stupeň obsazenosti, tj. poměr přípustného počtu cestujících a kapacity	
t_T	interval mezi spoji, takt linky	[čas]

zjištěný interval mezi spoji musí být v síti technologicky realizovatelný, v opačném případě je nutno zvolit vozidlo/soupravu/dopravní prostředek s vyšší obsaditelností

ČETNOST OBSLUHY – ATRAKTIVITA INTERVALU

Maximální přípustný interval

- v městských dopravních systémech vychází z teoretické úvahy zamezení případné ztráty cestujících z důvodu nedostatečné nabídky
- předpoklad, že cestující i při ujetí spoje dorazí do cílové zastávky dalším spojem dříve než chůzí
- praxe: technické možnosti a hospodárnost systému, dopravně politické priority, objednávka dopravní obslužnosti

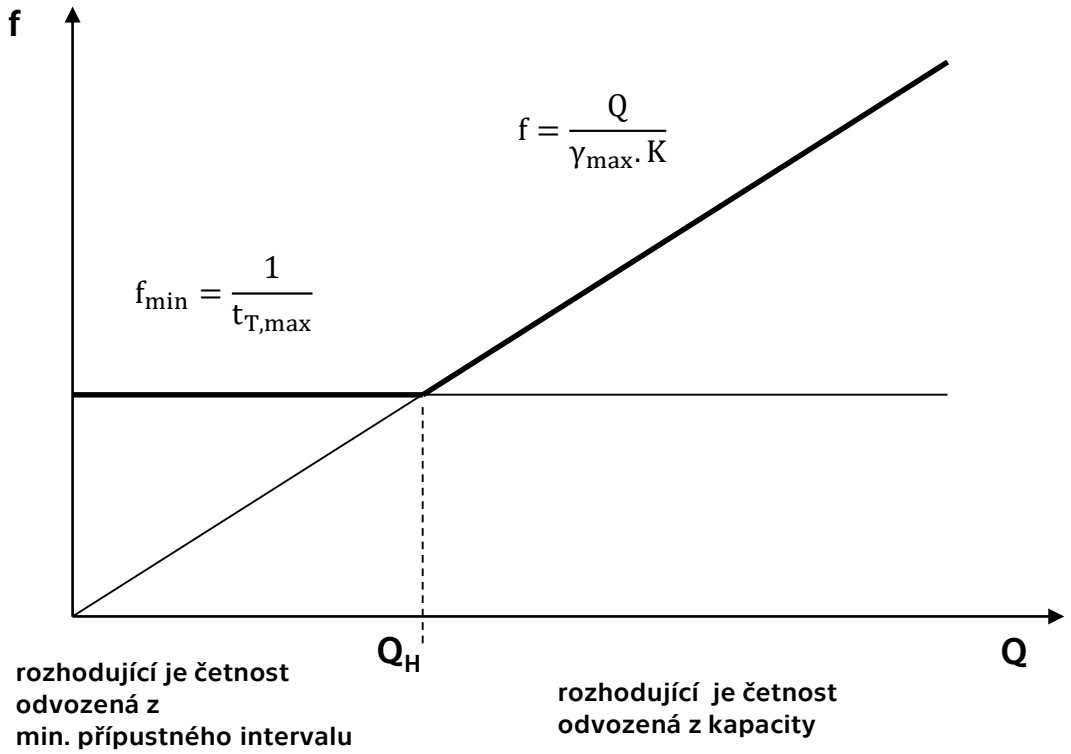
$$t_{T,max} + t_j \leq t_{ch} \qquad t_{T,max} \leq \frac{l_{ch}}{v_{ch}} - \frac{l_j}{v_j} \qquad f_{min} = \frac{1}{t_{T,max}}$$

kde
- $t_{T,max}$ = maximální přípustný interval [čas]
- f_{min} = minimální četnost obsluhy [čas]
- t_j, t_{ch} = doba jízdy, doba chůze [čas]
- l_j, l_{ch} = dráha spoje, délka chůze [spojů / čas. jednotku]
- v_j, v_{ch} = rychlost přepravy, rychlost chůze [km/h]

Zdroj: Rüger S.: Städtischer öffentlicher Verkehr, TU Dresden, 1986

Četnost obsluhy – rozdíly městská versus regionální/dálková doprava

Graf závislosti četnosti obsluhy na intenzitě přepravního proudu



V regionální a dálkové (železniční) dopravě je výsledný interval určen taktovými linkami a systémy

⇒ orientace na jednotný takt

- ve většině případů odpovídá taktu v síti
- ve speciálních případech násobku taktu v síti

Přizpůsobení variabilní poptávce se odehrává prostřednictvím různé nabídky míst k sezení ve vozidle

Hraniční hodnota intenzity přepravního proudu:

$$Q_H = \frac{\gamma_{max} \cdot K}{t_{T,max}}$$

Zdroj: Rüger S.: Städtischer öffentlicher Verkehr, TU Dresden, 1986

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Četnost obsluhy
Praxe: tabulka nejdelších přípustných intervalů

Denní doba	Dopravní prostředek	Centrum	Okolí – hustá zástavba	Okolí – řídká zástavba
Den (bez rána o víkendu)	Tram, T-Bus, A-Bus	10	15	20-30
	Metro	7,5	10	-
	S-Bahn	10	20	20-60
	Železnice	30	30	60
Večer (včetně rána o víkendu)	Tram, T-Bus, A-Bus	20	30	30-60
	Metro	10	10	-
	S-Bahn	20	20	30-60
	Železnice	60	60	60
Noc	Vše	45-90[1]	45-90[1]	45-90[1]
	[1] oběhy, vazby na dálkovou dopravu			

Zdroj: Rüger S.: Städtischer öffentlicher Verkehr, TU Dresden, 1986

Přizpůsobení výkyvům poptávky

Opatření k vyrovnání časových výkyvů **z pohledu nabídky**

1. Časové přizpůsobení **obsaditelnosti** jednotlivých spojů
   - Různá vozidla v různých obdobích dne, pokud jsou k dispozici
     - Autobusy různé délky
     - Klasická souprava → motorový vůz
   - Změna složení soupravy
   - Vyšší součinitel využití míst v případě výrazných špiček v krátkých úsecích

2. Časové přizpůsobení **četnosti** spojů
   - Různá četnost spojů v různých období dne či krátkodobé zahuštění taktu
     - Obvyklé v městské dopravě, v dálkové dopravě téměř nerealizovatelné
   - Různé jízdní řády pro různá roční období – letní JŘ, zimní JŘ, prázdninový provoz

Přizpůsobení výkyvům poptávky

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Opatření k vyrovnání výkyvů **z prostorového hlediska**

1. Přizpůsobení **kapacity míst** jednotlivých spojů v prostoru
   - Zesílení/zeslabení souprav
   - Dělení/spojování souprav na konci společně pojížděného úseku
   - Vyšší součinitel využití míst v případě výrazných špiček v krátkých úsecích

2. Přizpůsobení **četnosti obsluhy** v prostoru
   - Část spojů končících jízdu v mezilehlých koncových stanicích
     Opatření se využívá pouze v případě velmi dlouhých linek s výraznými rozdíly v zatížení

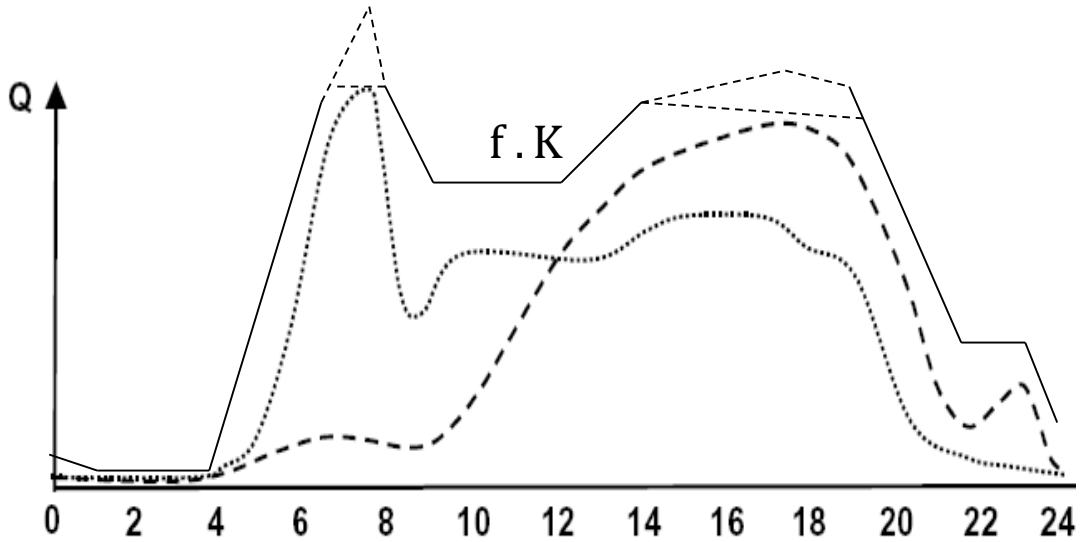
Přizpůsobení výkyvům poptávky

Graf vyprazdňování spojů z centra a možné kapacity soupravy při jedné jednotce a třech jednotkách v soupravě



Přizpůsobení nabídky časovým výkyvům poptávky během dne

(směr z a do centra)



FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

TECHNOLOGIE DOPRAVY

DĚKUJI ZA POZORNOST

HTTP://ZOLOTAREV.FD.CVUT.CZ/TEDL

TECHNOLOGIE@FD.CVUT.CZ

KONZULTACE MÍSTNOST A-262,
HTTPS://KONZULTACE.FD.CVUT.CZ/

