Část VI. – Metody prognózování v dopravě

Metody prognózování v dopravě

- Cílem prognózy dopravy je určení výhledových údajů o dopravě (např. výhledové intenzity dopravy apod.).
- Při prognózování v dopravě je užívána celá řada metod – analýza časových řad, regresní a korelační analýza, metody koeficientů růstu, gravitační metody atd.

Analýza trendu časové řady

- Nejjednodušším způsobem prognózy je **extrapolace dosavadních dat**.
- Mějme sledované údaje seřazené v **časové řadě**. Na základě analýzy této časové řady (**analýza trendu časové řady** apod.) jsme schopni extrapolovat hledané údaje pro výhledové období.

Analýza trendu časové řady

- Např. známe-li vývoj intenzit na pozemní komunikaci z předchozích období, jsme schopni na základě analýzy trendu této časové řady odhadnout výhledové intenzity.

Metoda jednotného součinitele růstu

Metoda jednotného součinitele růstu

- Při prognóze výhledových intenzit dopravních proudů se využívá **metoda jednotného součinitele růstu**.
- *„Silnice se navrhují, případně posuzují na výhledovou padesátirázovou intenzitu v jednom jízdním směru, uvažovanou pro dvacátý rok po uvedení do provozu. Výhledové intenzity nemají překročit návrhové intenzity."*

Metoda jednotného součinitele růstu

- Výhledovou intenzitu získáme podle vztahu:

$$M^v = M^s \cdot K,$$

kde: M^v – výhledová intenzita,

M^s – současná intenzita,

K – výhledový koeficient (součinitel růstu).

- Koeficient růstu lze získat např. analýzou časové řady intenzit dopravy.

Metoda jednotného součinitele růstu

- Koeficient růstu je dále možno pro určitou oblast (např. město) odvodit z růstu počtu obyvatel, z počtu vozidel a z růstu jejich proběhu. Pro koeficient růstu můžeme psát:

$$K = \frac{\text{Výhledový počet vozidel}}{\text{Současný počet vozidel}} \times \frac{\text{Výhledový proběh vozidel}}{\text{Současný proběh vozidel}}$$

Metoda jednotného součinitele růstu

- Jelikož se proběh vozidel (počet kilometrů najetých jedním vozidlem za rok) zpravidla nemění, lze psát:

$$K = \frac{\text{Výhledový počet obyvatel}}{\text{Současný počet obyvatel}} \times \frac{\text{Výhledový stupeň automobilizace}}{\text{Současný stupeň automobilizace}}$$

Metoda jednotného součinitele růstu

- Nevýhodou je, že koeficienty jsou jednotné a nezohledňují místní podmínky (nezohledňují např. různé změny v počtech obyvatel v jednotlivých oblastech), proto se používají pouze pro hrubé odhady.

Metoda průměrného součinitele růstu

Metoda průměrného součinitele růstu

- V případech, kdy prognózujeme intenzity dopravy mezi oblastmi, které mají rozdílný koeficient růstu, použijeme **metodu průměrného koeficientu růstu**. Výsledný koeficient růstu mezi dvěma oblastmi bude roven aritmetickému průměru koeficientů růstu obou oblastí.

Metoda průměrného součinitele růstu

- Výhledovou intenzitu stanovíme dle vztahu:

$$M_{ij}^{v} = M_{ij}^{s} \cdot \frac{K_i + K_j}{2} \; ,$$

kde M_{ij}^{v} – výhledová intenzita mezi oblastmi *i* a *j*,

M_{ij}^{s} – současná intenzita mezi oblastmi *i* a *j*,

K_i, K_j – koeficienty růstu.

Metoda průměrného součinitele růstu

- Nevýhodou koeficientu růstu je, že nemusí být přímo úměrný k růstu objemu dopravy. Objem dopravy mezi dvěma místy může vzrůst bez změny počtu obyvatel či počtu vozidel, např. na základě vzniku nových pracovních míst apod.
- Proto je vhodnější místo koeficientů růstu stanovovat přímo výhledové objemy dopravy.

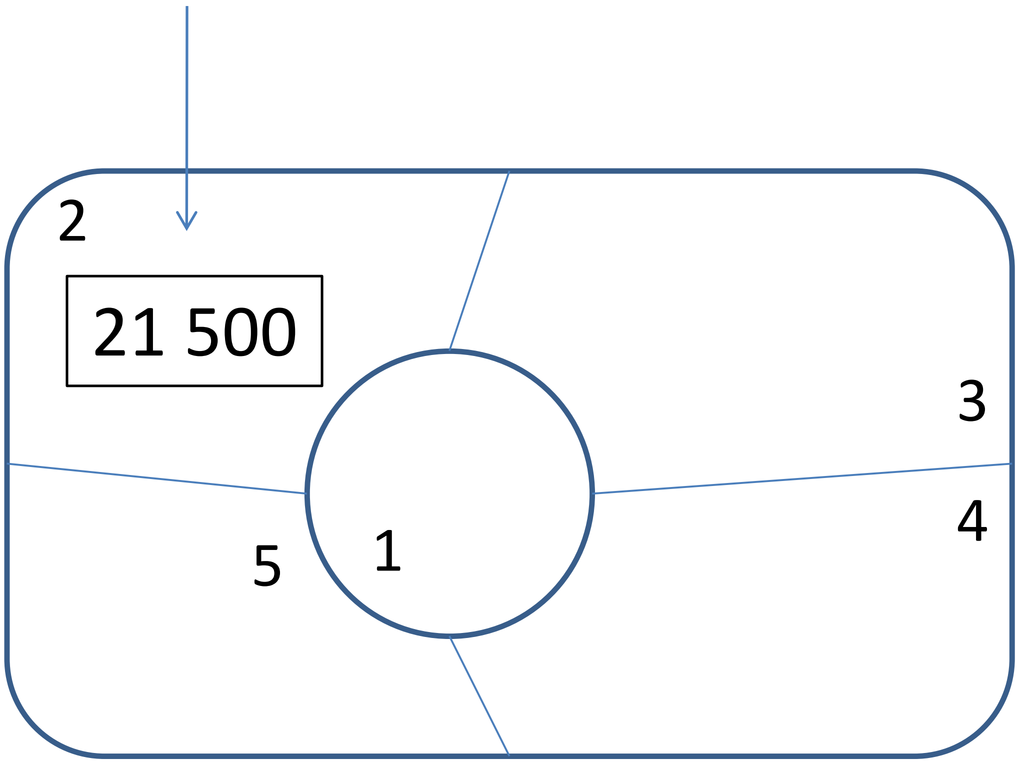
Prognóza dopravy v širším území

Prognóza dopravy v širším území

- Prognóza dopravy v zájmovém území se zpravidla skládá ze 4 fází:
  1. **Určení počtu cest C_i** (výpočet výhledových objemů přepravy) v každé oblasti, na které je území rozděleno. Stanovuje se buď zvlášť počet cest začínajících v oblasti (přepravní produktivita) a počet cest končících v oblasti (přepravní atraktivita) nebo souhrn všech cest majících v oblasti svůj zdroj nebo cíl.

Prognóza dopravy v širším území

Průměrný počet cest za den mající zdroj nebo cíl v oblasti

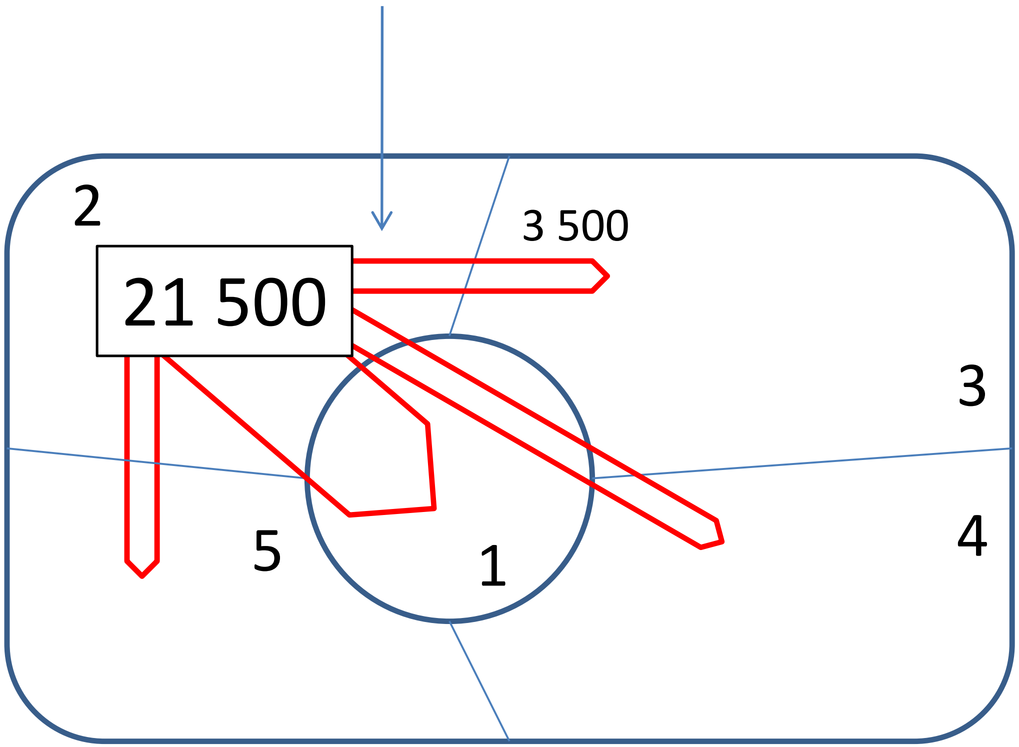


Prognóza dopravy v širším území

2. **Určení mezioblastních vztahů C_{ij}** – rozdělení cest v dané oblasti do přepravních vztahů mezi danou oblastí a ostatními oblastmi (rozdělení přemisťovacích vztahů).

Prognóza dopravy v širším území

Mezioblastní vztah (počet cest za den)

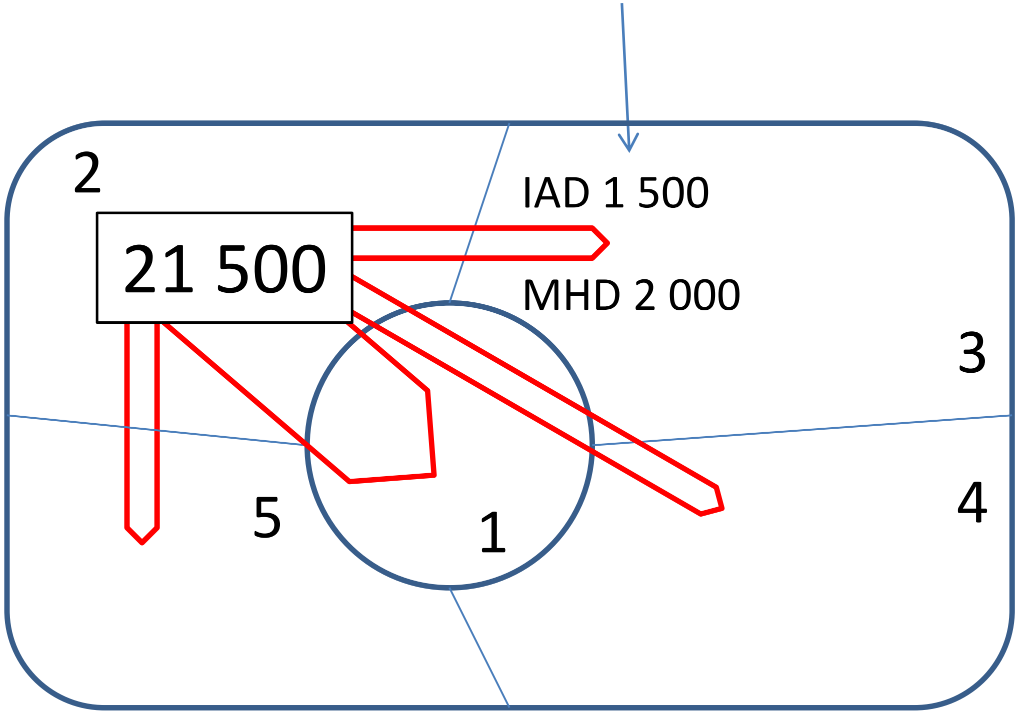


Prognóza dopravy v širším území

3. **Dělba přepravní práce** – stanovení podílů jednotlivých druhů doprav.

Prognóza dopravy v širším území

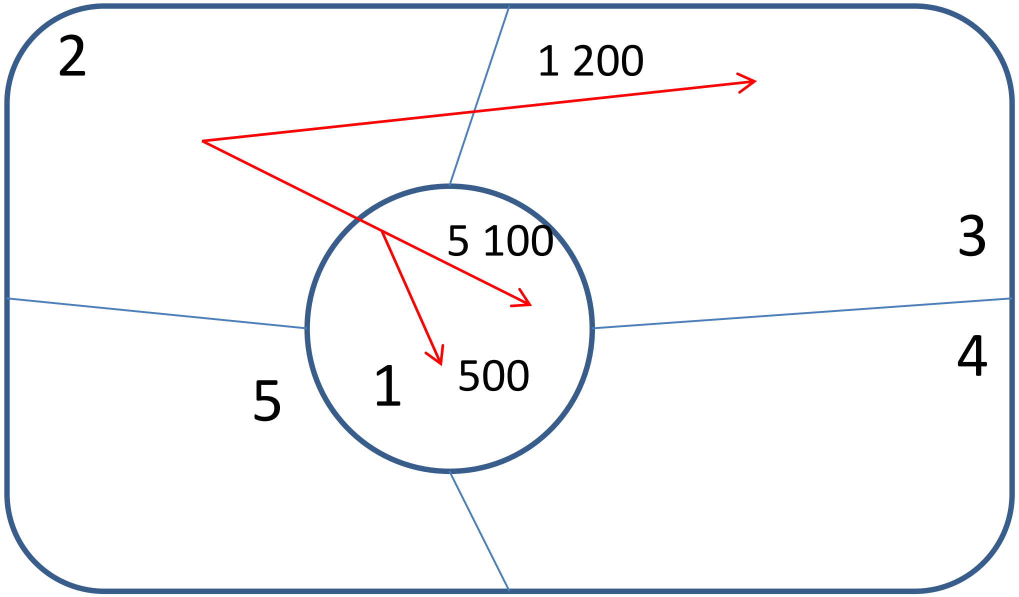
Mezioblastní vztah IAD a MHD (počet cest za den)



Prognóza dopravy v širším území

4. **Určení intenzit** na jednotlivých úsecích sítě (přidělení na síť), výsledkem jsou intenzity na jednotlivých úsecích, resp. křižovatkách apod.

Prognóza dopravy v širším území



Určení výhledových objemů přepravy

Určení výhledových objemů přepravy

- Úkolem je odhadnout objemy přepravy v každé oblasti řešeného území.
- Pokud přepravní vztah v oblasti vzniká, hovoříme o **přepravní produktivitě oblasti**.
- Pokud přepravní vztah do oblasti směřuje, hovoříme o **přepravní atraktivitě oblasti**.

Určení výhledových objemů přepravy

- Každý přepravní vztah je definován:
  - Objektem, který se přepravuje (osoba, náklad).
  - Zdrojem přepravy *i*.
  - Cílem přepravy *j*.
  - Časem *t*, ve kterém je přeprava realizována.
  - Dopravním prostředkem *p*, kterým se přeprava realizuje.
  - Účelem přepravy *u* v osobní přepravě, příp. druhem nákladu v nákladní přepravě.
  - Trasou přepravy *r*.

Určení výhledových objemů přepravy

- Objem přepravy budeme vyjadřovat v počtu cest za časovou jednotku, zpravidla za 1 den.
- Cestou rozumíme jednosměrné přemístění osoby nebo nákladu ze zdrojové oblasti do cílové oblasti a to buď pěšky nebo dopravním prostředkem.

Určení výhledových objemů přepravy

- Objemy přepravy lze stanovit metodami, které můžeme rozdělit do dvou skupin:
  - **Metody regresní a korelační analýzy**.
  - **Metody specifických hybností**.

Určení výhledových objemů přepravy

- Při použití metod regresní a korelační analýzy předpokládáme, že objem dopravy je funkcí jedné nebo více proměnných – počet obyvatel, počet pracovních příležitostí v oblasti atd.

Určení výhledových objemů přepravy

- **Př.:** Máme k dispozici data o počtu obyvatel, počtu pracovních příležitostí a počtu cest pro jednotlivá území. Úkolem je:
  - Ověřte, zda lze považovat závislosti počtu cest na počtu obyvatel a počtu cest na počtu pracovních příležitostí za statisticky významné (uvažujte lineární závislosti).
  - Nalezněte regresní funkci pro závislost počtu cest na obou proměnných současně.

Určení výhledových objemů přepravy

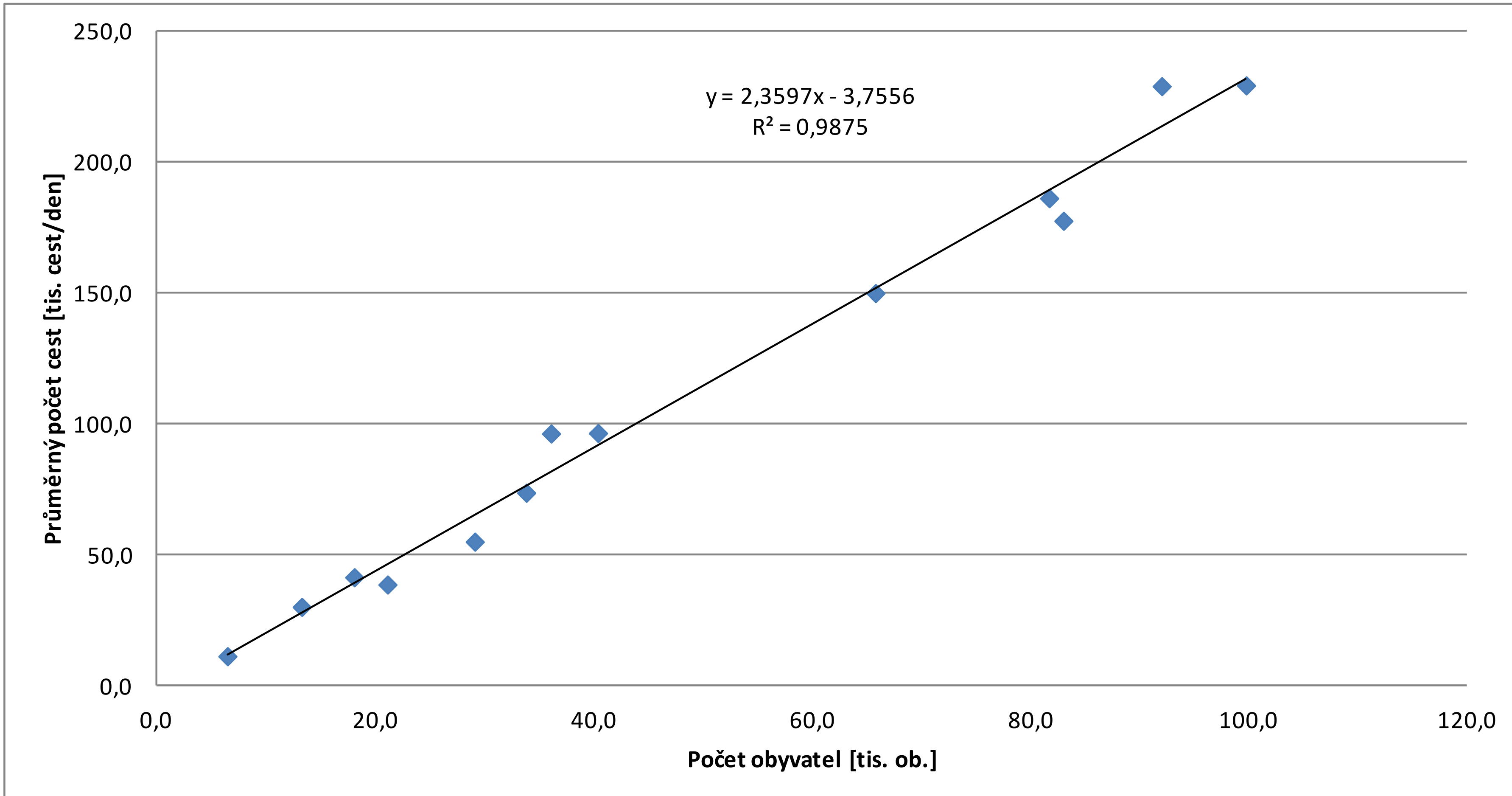
Počet obyvatel [tis. ob.]	Pracovní příležitosti [tis. prac. míst]	Průměrný počet cest [tis. cest/den]
18,1	14,7	41,4
83,0	51,3	177,7
40,4	24,2	96,5
33,8	26,8	73,7
29,1	19,7	55,0
65,8	42,8	150,1
21,1	11,0	38,6
99,8	58,0	229,5
36,1	24,4	96,4
13,2	8,4	30,1
81,7	47,6	186,4
92,1	76,1	229,2
6,4	3,4	11,2

Určení výhledových objemů přepravy

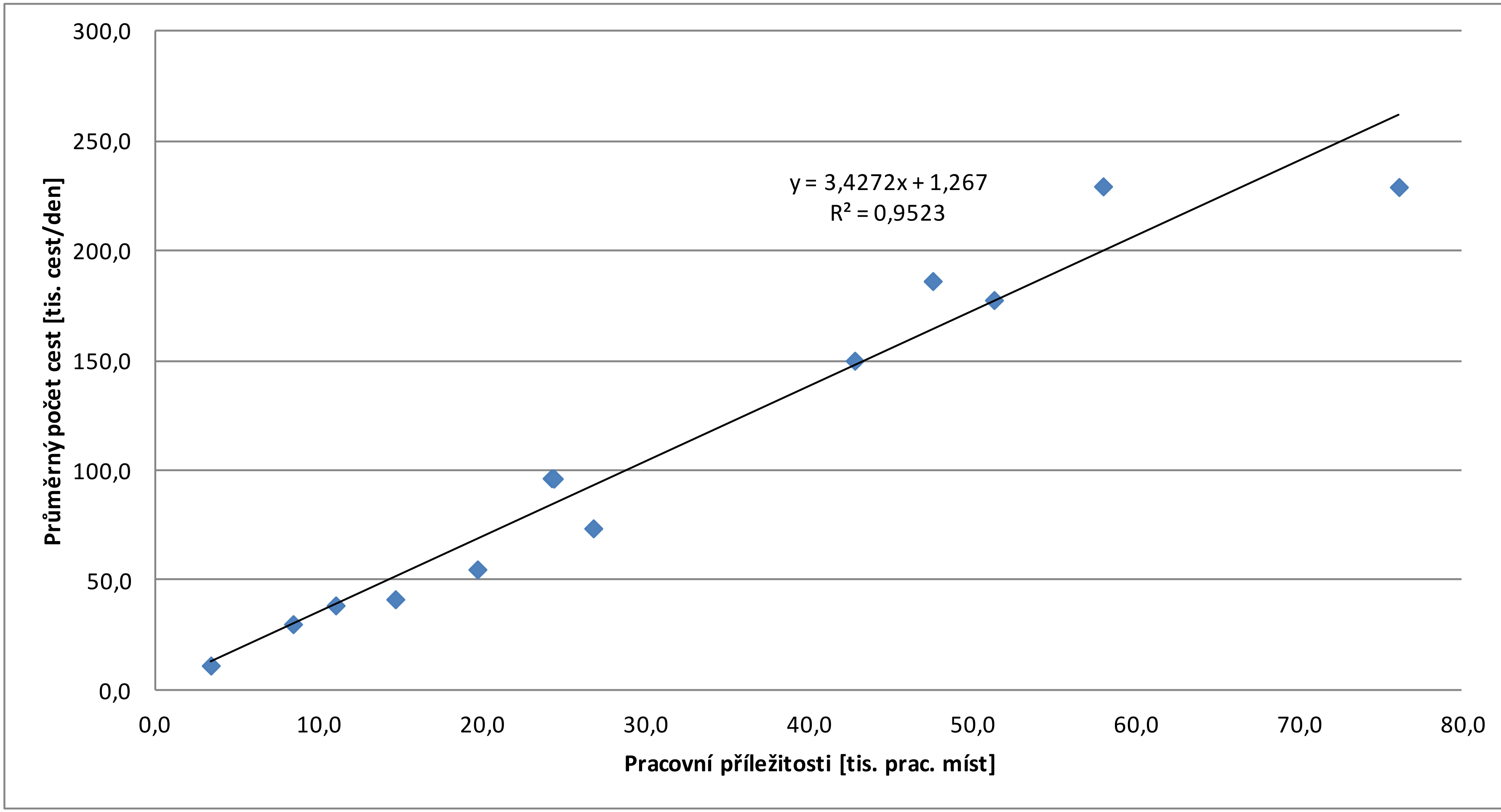
- Nejdříve nalezneme pomocí Excelu obě dílčí regresní funkce a stanovíme hodnotu Pearsonova korelačního koeficientu.

Závislost	Hodnota korelačního koeficientu
Počet cest na počtu obyvatel	0,99371
Počet cest na počtu pracovních příležitostí	0,97585

Určení výhledových objemů přepravy



Určení výhledových objemů přepravy



Určení výhledových objemů přepravy

- Vidíme, že v obou případech máme vysoké hodnoty korelačních koeficientů, lze tedy předpokládat platnost lineárních závislostí.
- Tento předpoklad bychom mohli dále otestovat nám již dobře známým testem.
- Přistoupíme tedy k odhadu koeficientů vícenásobné přímkové regresní funkce.

Určení výhledových objemů přepravy

$x_{1,i}$	$x_{2,i}$	y_i	$y_i \cdot x_{1,i}$	$y_i \cdot x_{2,i}$	$x_{1,i} \cdot x_{2,i}$	$(x_{1,i})^2$	$(x_{2,i})^2$
18,1	14,7	41,4	747,6	606,7	264,6	326,1	214,7
83,0	51,3	177,7	14759,2	9122,0	4262,6	6896,8	2634,6
40,4	24,2	96,5	3899,1	2338,8	978,6	1631,4	587,0
33,8	26,8	73,7	2492,7	1974,1	905,6	1143,5	717,2
29,1	19,7	55,0	1600,5	1082,5	572,8	846,8	387,4
65,8	42,8	150,1	9877,6	6422,1	2816,7	4332,3	1831,3
21,1	11,0	38,6	814,7	424,7	232,1	445,2	121,0
99,8	58,0	229,5	22903,5	13314,1	5788,7	9958,0	3365,0
36,1	24,4	96,4	3477,6	2347,7	879,3	1302,5	593,6
13,2	8,4	30,1	397,9	252,2	111,1	175,3	70,4
81,7	47,6	186,4	15233,7	8866,2	3888,7	6681,4	2263,3
92,1	76,1	229,2	21098,3	17449,3	7007,8	8473,2	5795,8
6,4	3,4	11,2	72,0	37,5	21,5	41,3	11,2
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
620,7	408,3	1415,8	97374,4	64238,1	27730,1	42253,8	18592,6

b_0	b_1	b_2
-3,97	1,80	0,86

$$\hat{C}_i = -3{,}97 + 1{,}80 \cdot O_i + 0{,}86 \cdot P_i$$

Určení výhledových objemů přepravy

y_i	$\hat{y}_i$	$(\hat{y}_i-y_p)^2$	$(y_i-y_p)^2$
38,3	41,1	4584,8	4974,6
177,7	189,5	6516,3	4748,4
96,5	89,5	372,4	150,7
73,7	79,9	838,1	1231,7
55,0	65,3	1894,0	2895,8
150,1	151,2	1797,3	1702,2
38,6	43,4	4272,4	4927,9
229,5	225,4	13593,8	14569,7
96,4	81,9	724,9	155,0
30,1	27,1	6683,2	6202,7
186,4	184,0	5648,0	6014,8
229,2	227,0	13967,8	14494,4
13,1	10,5	9668,9	9157,5
y_p		Σ	Σ
108,8		70562,0	71225,5

R^2
0,99068

Určení výhledových objemů přepravy

- Získali jsem odhad regresní závislosti průměrného počtu cest na počtu obyvatel a počtu pracovních příležitostí v dané oblasti.
- Z dosažené hodnoty indexu determinace vidíme, že zvolený model velice dobře vystihuje tuto závislost.
- Pokud bychom chtěli prognózovat výhledové počty cest, dosadili bychom do regresní funkce výhledové počty obyvatel a pracovních příležitostí v dané oblasti.

Určení výhledových objemů přepravy

- Chceme-li použít metody regresní a korelační analýzy při stanovení výhledového objemu přepravy, potřebujeme znát:
  - Současné objemy přepravy v každé oblasti (stávající stav).
  - Současné a výhledové hodnoty nezávislých proměnných.
- Výstupem bude buď počet cest celkem nebo výhledové přepravní produktivity a atraktivity jednotlivých oblastí.

Určení výhledových objemů přepravy

- Prognózu objemu přepravy s využitím regresní a korelační analýzy můžeme rozdělit do následujících kroků:
    1) Výběr nezávisle proměnných a ohodnocení jejich vlivu na závisle proměnnou. Stanovíme tedy korelační koeficienty pro jednotlivé dvojice závisle a nezávisle proměnné a otestujeme, zda je tato závislost statisticky významná. V opačném případě nemá smysl příslušnou nezávisle proměnnou v modelu uvažovat.

Určení výhledových objemů přepravy

2) Odhadneme koeficienty použité regresní funkce (metoda nejmenších čtverců):

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 \cdot x_{1,i} + b_2 \cdot x_{2,i} + \ldots + b_k \cdot x_{k,i} \,.$$

3) Známe-li odhad regresní funkce, můžeme výhledový objem přepravy pro danou oblast odhadnout dosazením výhledových hodnot nezávisle proměnných do získané regresní funkce:

$$\hat{y}_i^v = b_0 + b_1 \cdot x_{1,i}^v + b_2 \cdot x_{2,i}^v + \ldots + b_k \cdot x_{k,i}^v \,.$$

Určení výhledových objemů přepravy

- Nejčastěji používané nezávisle proměnné při prognóze objemu přepravy C_i se používá počet obyvatel v dané oblasti O_i a počet pracovních příležitostí v dané oblasti P_i.
- Regresní vztah můžeme potom zapsat ve tvaru:

$$\hat{C}_i = b_0 + b_1 \cdot O_i + b_2 \cdot P_i \,.$$

Určení výhledových objemů přepravy

- Nevýhodou tohoto přístupu je, nedojde-li ke změně počtu obyvatel a počtu pracovních příležitostí, potom nedojde ani ke změně objemu přepravy v dané oblasti.
- V oblasti ale může dojít i k jiným změnám, které podstatně ovlivní objem přepravy.
- Např. může dojít ke změně demografického složení obyvatelstva a jejich ekonomické aktivity.

Určení výhledových objemů přepravy

- Dalším problémem může být věcná interpretace parametrů regresní funkce.
- Ve vzorovém příkladě činí odhad parametru b_0=-3,97. Znamená to tedy, že pokud bude oblast bez obyvatel a bez pracovních příležitostí, bude počet cest záporný???

Určení výhledových objemů přepravy

- Především z těchto důvodů je tento postup nahrazen postupem jiným a to metodami založenými na specifických hybnostech.
- Tyto metody jsou založeny na náhradě jedné rovnice vícenásobné regrese několika rovnicemi jednoduché regrese bez parametru b_0, pomocí kterých odhadneme dílčí počty cest dle jejich účelu. Parametr b_1 je potom označován jako specifická hybnost.
- Sečtením těchto dílčích počtů cest získáme celkový počet cest v dané oblasti.

Určení výhledových objemů přepravy

- Mezi metody specifických hybností patří:
  - **Metoda specifických hybností obyvatel**.
  - **Metoda specifických hybností domácností**.

Určení výhledových objemů přepravy

- Metoda specifických hybností obyvatel rozděluje obyvatele dané oblasti na skupiny S_i, např. ekonomicky aktivní obyvatelé atd.
- Pro všechny obyvatele v jedné skupině se předpokládá určitá hodnota specifické hybnosti h_i, která představuje průměrný počet cest vykonané průměrným představitelem dané skupiny za 1 den.

Určení výhledových objemů přepravy

- Známe-li počet obyvatel O_i dané skupiny, potom pro počet cest C_i pro danou skupinu obyvatel S_i platí vztah:

$$C_i = O_i \cdot h_i \, .$$

- Pro celkový počet cest v dané oblasti potom musí platit:

$$C = \sum_i C_i \, .$$

Určení výhledových objemů přepravy

- Princip metody specifických hybností domácností je analogický, ale v tomto případě stanovujeme specifické hybnosti pro jednotlivé kategorie domácností.

Určení mezioblastních vztahů

Určení mezioblastních vztahů

- Známe-li počet vznikajících a končících cest v dané oblasti, můžeme přistoupit ke stanovení mezioblastních vztahů, tedy pro každé dvě oblasti určit počet cest mezi nimi.
- Výsledkem je matice přepravních vztahů (OD-matice).

Určení mezioblastních vztahů

- Ke stanovení OD-matice lze použít:
  - **Analogické metody**.
  - **Syntetické metody**.
- Analogické metody jsou založeny na znalostech koeficientů růstu.
- S rozvojem oblastí se bude vyvíjet objem přepravy, přičemž rozvoj oblasti je vyjádřen koeficientem růstu.

Určení mezioblastních vztahů

- Vztah pro výpočet výhledového počtu cest mezi dvěma oblastmi metodami analogickými lze obecně vyjádřit ve tvaru:

  $$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot f\left(K\right),$$

  kde $C_{i,j}^{s}$ představuje současný počet cest mezi oblastmi *i* a *j* a *f*(*K*) je funkce koeficientů růstu oblastí.

Určení mezioblastních vztahů

- Nejpoužívanějšími analogickými metodami jsou:
  - **Metoda jednotného součinitele růstu**.
  - **Metoda průměrného součinitele růstu**.
  - **Metoda detroitská**.
  - **Metoda Fratarova**.
- S prvními dvěma metodami jsme se již seznámili.

Určení mezioblastních vztahů

- **Detroitská metoda** uvažuje, že na počet cest mezi dvěma oblastmi nemá vliv pouze růst těchto oblastí, ale i růst celého města.
- Výhledový počet cest mezi oblastmi *i* a *j* je přímo úměrný současnému počtu cest a součinu koeficientů růstu těchto oblastí a nepřímo úměrný koeficientu růstu celého studovaného území.

Určení mezioblastních vztahů

- Vyjádřeno matematicky:

$$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot \frac{K_i \cdot K_j}{K},$$

kde koeficient růstu celého území *K* můžeme vyjádřit:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i^v}{\sum_{i=1}^{n} C_i^s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i^s \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{n} C_i^s},$$ kde *n* je celkový počet oblastí daného území.

Určení mezioblastních vztahů

- **Fratarova metoda** předpokládá, že výhledový počet cest mezi dvěma oblastmi *i* a *j* závisí na:
  - Současném počtu cest mezi dvěma oblastmi.
  - Koeficientech růstu obou oblastí.
  - Průměru místních součinitelů obou oblastí. Místní součinitel je vyjádřen poměrem současného počtu cest v oblasti *i* (resp. *j*) a součtu všech současných cest z oblasti *i* (resp. *j*) násobených příslušnými koeficienty růstu.

Určení mezioblastních vztahů

- Zapsáno matematicky:

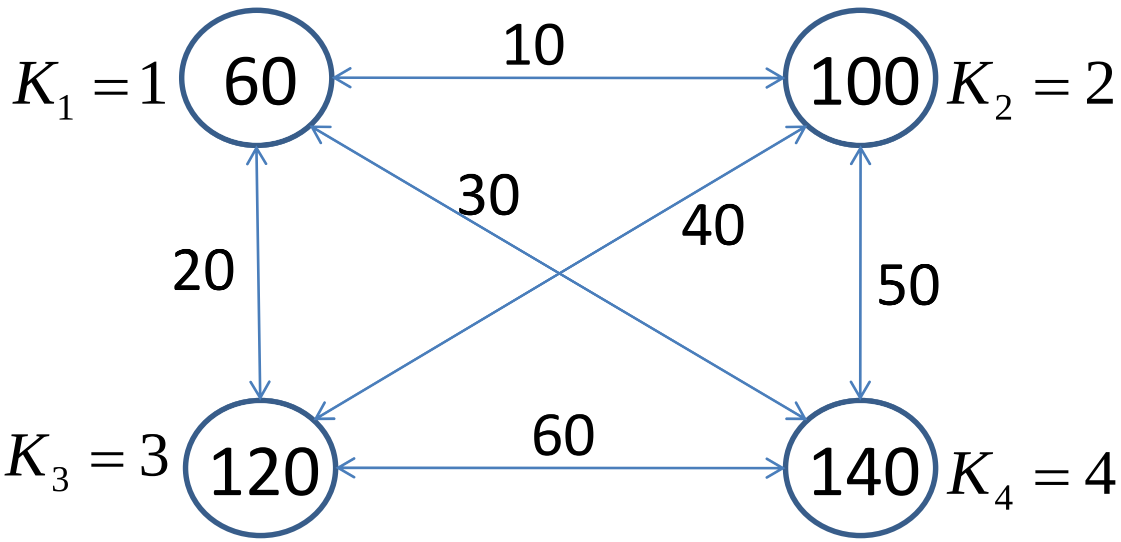
$$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot K_i \cdot K_j \cdot \frac{L_i + L_j}{2},$$

kde místní součinitel L_i určíme dle vztahu:

$$L_i = \frac{\sum_j C_{i,j}^{s}}{\sum_j C_{i,j}^{s} \cdot K_j},$$ místní součinitel L_j stanovíme analogicky.

Určení mezioblastních vztahů

- **Př.:** Vypočítejte výhledové mezioblastní vztahy (tedy počty cest) mezi čtyřmi oblastmi města.



Určení mezioblastních vztahů

- **Metoda průměrných koeficientů růstu:**

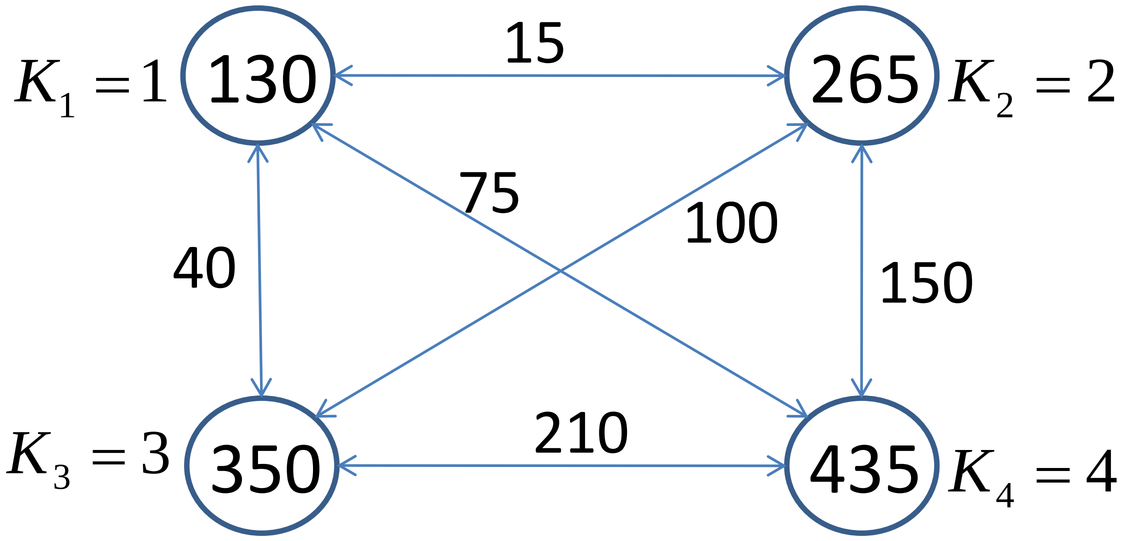
$$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot \frac{K_i + K_j}{2}$$

Např.

$$C_{1,2}^{v} = C_{1,2}^{s} \cdot \frac{K_1 + K_2}{2} = 10 \cdot \frac{1+2}{2} = 15 \text{ cest/den,}$$

$$C_{1,3}^{v} = C_{1,3}^{s} \cdot \frac{K_1 + K_3}{2} = 20 \cdot \frac{1+4}{2} = 40 \text{ cest/den atd.}$$

Určení mezioblastních vztahů



Určení mezioblastních vztahů

- **Detroitská metoda:**

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i^s \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{n} C_i^s} = \frac{C_1^s \cdot K_1 + C_2^s \cdot K_2 + C_3^s \cdot K_3 + C_4^s \cdot K_4}{C_1^s + C_2^s + C_3^s + C_4^s} =$$

$$= \frac{60 \cdot 1 + 100 \cdot 2 + 120 \cdot 3 + 140 \cdot 4}{60 + 100 + 120 + 140} = 2{,}81$$

Určení mezioblastních vztahů

$$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot \frac{K_i \cdot K_j}{K}$$

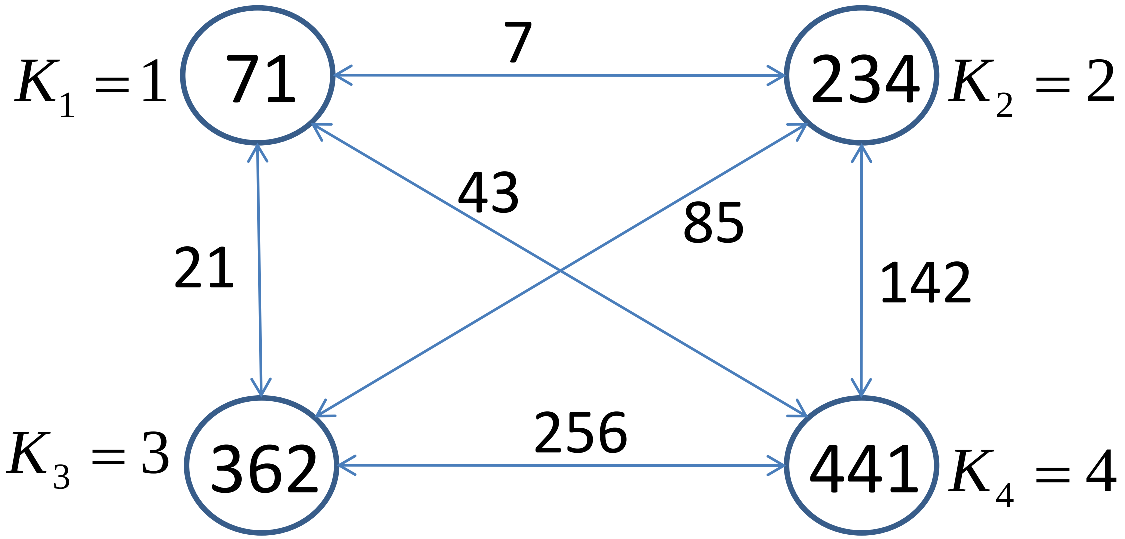
Např.

$$C_{1,2}^{v} = C_{1,2}^{s} \cdot \frac{K_1 \cdot K_2}{K} = 10 \cdot \frac{1 \cdot 2}{2,81} \doteq 7\,\text{cest/den},$$

$$C_{1,3}^{v} = C_{1,3}^{s} \cdot \frac{K_1 \cdot K_3}{K} = 20 \cdot \frac{1 \cdot 3}{2,81} \doteq 21\,\text{cest/den},$$

$$C_{1,4}^{v} = C_{1,4}^{s} \cdot \frac{K_1 \cdot K_4}{K} = 30 \cdot \frac{1 \cdot 4}{2,81} \doteq 43\,\text{cest/den atd.}$$

Určení mezioblastních vztahů



Určení mezioblastních vztahů

- **Fratarova metoda:**

$$L_i = \frac{\sum_j C_{i,j}^s}{\sum_j C_{i,j}^s \cdot K_j}$$

$$L_1 = \frac{C_{1,2}^s + C_{1,3}^s + C_{1,4}^s}{C_{1,2}^s \cdot K_2 + C_{1,3}^s \cdot K_3 + C_{1,4}^s \cdot K_4} = \frac{10+20+30}{10 \cdot 2 + 20 \cdot 3 + 30 \cdot 4} = 0{,}3$$

$$L_2 = \frac{C_{2,1}^s + C_{2,3}^s + C_{2,4}^s}{C_{2,1}^s \cdot K_1 + C_{2,3}^s \cdot K_3 + C_{2,4}^s \cdot K_4} = \frac{10+40+50}{10 \cdot 1 + 40 \cdot 3 + 50 \cdot 4} \doteq 0{,}3$$

Určení mezioblastních vztahů

$$L_3 = \frac{C^s_{3,1} + C^s_{3,2} + C^s_{3,4}}{C^s_{3,1} \cdot K_1 + C^s_{3,2} \cdot K_2 + C^s_{3,4} \cdot K_4} = \frac{20 + 40 + 60}{20 \cdot 1 + 40 \cdot 2 + 60 \cdot 4} \doteq 0{,}35$$

$$L_4 = \frac{C^s_{4,1} + C^s_{4,2} + C^s_{4,3}}{C^s_{4,1} \cdot K_1 + C^s_{4,2} \cdot K_2 + C^s_{4,3} \cdot K_3} = \frac{30 + 50 + 60}{30 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 60 \cdot 3} \doteq 0{,}45$$

Určení mezioblastních vztahů

$$C_{i,j}^{v} = C_{i,j}^{s} \cdot K_i \cdot K_j \cdot \frac{L_i + L_j}{2}$$

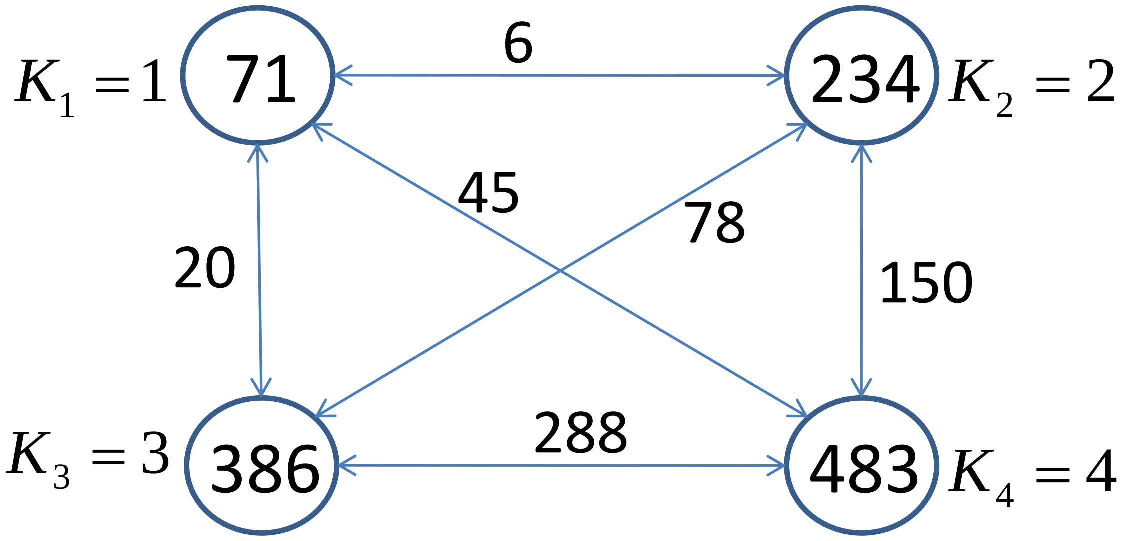
Např.

$$C_{1,2}^{v} = C_{1,2}^{s} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} = 10 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \frac{0,3 + 0,3}{2} = 6 \text{ cest/den},$$

$$C_{1,3}^{v} = C_{1,3}^{s} \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot \frac{L_1 + L_3}{2} = 20 \cdot 1 \cdot 3 \cdot \frac{0,3 + 0,35}{2} \doteq 20 \text{ cest/den},$$

$$C_{1,4}^{v} = C_{1,4}^{s} \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot \frac{L_1 + L_4}{2} = 30 \cdot 1 \cdot 4 \cdot \frac{0,3 + 0,45}{2} = 45 \text{ cest/den atd.}$$

Určení mezioblastních vztahů



Určení mezioblastních vztahů

Oblast	Očekávaný výhledový objem přepravy $C_i^v = C_i \cdot K_i$	Metoda průměrných koeficientů růstu	Detroitská metoda	Fratarova metoda
1 (K_1=1)	60	130 (+125%)	71 (+18%)	70 (+17%)
2 (K_2=2)	200	265 (+32%)	234 (+17%)	234 (+17%)
3 (K_3=3)	360	350 (-3%)	362 (-1%)	385 (+7%)
4 (K_4=4)	560	435 (-22%)	441 (-21%)	483 (-14%)

Určení mezioblastních vztahů

- Z tabulky vidíme, že vzniká nesoulad mezi námi očekávanými objemy přeprav pro jednotlivé oblasti s objemy přeprav vypočtenými jednotlivými metodami, neplatí vztah $C_i^v \neq \sum_j C_{i,j}^v$.
- Srovnáním dosažených výsledků vidíme, že největší nesoulad vzniká při použití metody průměrných koeficientů růstu (rozdíl až o 125%). Je to dáno tím, že tato metoda neuvažuje vliv růstu ostatních oblastí.

Určení mezioblastních vztahů

- Tento nesoulad je třeba odstranit **balancováním modelu**.
- Balancování modelu se provádí iteračně.
- Při balancování metody průměrných součinitelů růstu postupujeme následujícím postupem.

Určení mezioblastních vztahů

- Výsledky dosažené v rámci př. 5 považujeme za výsledky 1. iterace, tedy:

$$C_{i,j}^{v,1} = C_{i,j}^{s} \cdot \frac{K_i + K_j}{2}.$$

- Na základě tohoto výpočtu stanovíme opravné hodnoty součinitelů růst po 1. iteraci pomocí vztahu:

$$K_i^1 = \frac{C_i^s \cdot K_i}{C_i^{v,1}}, \text{kde } C_i^{v,1} = \sum_j C_{i,j}^{v,1}.$$

Určení mezioblastních vztahů

- Pomocí těchto opravných součinitelů růstu znovu spočítáme mezioblastní vztahy po 2. iteraci pomocí vztahu:

$$C_{i,j}^{v,2} = C_{i,j}^{v,1} \cdot \frac{K_i^1 + K_j^1}{2}.$$

- Potom spočítáme opravné součinitele růstu po 2. iteraci atd.

Určení mezioblastních vztahů

- Výpočet ukončíme po dosažení požadované přesnosti.
- K ukončení výpočtu dochází při *n*-té iteraci, přiblíží-li se dostatečně opravné součinitele růstu hodnotě 1, zpravidla se uvažuje, že

$$0{,}9 < K_{i,j}^{n} < 1{,}1.$$

- Balancování dalších metod je analogické.

Určení mezioblastních vztahů

- Syntetické metody odvozují výhledové dopravní vztahy ze strukturálních veličin na základě studia vzniku a rozdělování přemísťovacích vztahů. Při popisu těchto vztahů je využíváno analogie se zákony jiných vědních oborů (např. gravitační zákon apod.).
- Mezi syntetické metody patří **Metoda přitažlivosti (Gravitační metoda)**.

Gravitační modely

Gravitační modely

- Gravitační model použijeme, máme-li proveden přepravní průzkum (počty cest v daném období) pouze na vybraných relacích, na základě kterého potom odhadneme počty cest na zbývajících relacích.

Gravitační modely

- Gravitační model předpokládá, že vysoká přepravní poptávka nastává u oblastí s vysokou přepravní produktivitou a atraktivitou nacházející se blízko sebe.
- Se snižující se přepravní produktivitou a atraktivitou a se zvyšující se vzdáleností se přepravní poptávka snižuje.

Gravitační modely

- Gravitační metoda je analogie Newtonova gravitačního zákona. Počet cest mezi oblastmi *i* a *j* lze vyjádřit obecným vztahem:

$$C_{i,j} = k \cdot \frac{C_i \cdot A_j}{f_{i,j}},$$

kde $C_{i,j}$ je počet cest mezi oblastmi *i* a *j*,

k je vhodná konstanta,

Gravitační modely

C_i je přepravní produktivita oblasti *i* (počet cest začínajících v oblasti *i*),

A_j je přepravní atraktivita cílové oblasti *j (*počet cest končících v oblasti j),

$f_{i,j}$ je **odporová funkce**.

Gravitační modely

- Odporová funkce zohledňuje vliv faktorů jako např. vzdálenosti, ceny přepravy či doby přepravy na celkový počet cest mezi dvěma oblastmi *i* a *j*.
- Odporovou funkci můžeme například vyjádřit ve tvaru:

$$f_{i,j} = D_{i,j}^{\alpha},$$

kde α je vhodná konstanta,

$D_{i,j}$ je vzdálenost mezi oblastmi *i,j*.

Gravitační modely

- Je zřejmé, že musíme zajistit splnění těchto okrajových podmínek:

$$C_i = \sum_j C_{i,j} \quad \forall i,$$

$$A_j = \sum_i C_{i,j} \quad \forall j.$$

Gravitační modely

- Abychom mohli použít gravitační model, musíme získat hodnoty konstant k a α.
- Tyto konstanty získáme na základě znalostí počtu cest v relacích, u který jsme realizovali dopravní průzkum.
- Tomuto postupu se říká **kalibrace gravitačního modelu**.

Gravitační modely

- Kalibraci modelu lze realizovat např. s využitím doplňku Řešitel v Excelu.
- Pro potřeby kalibrace potřebujeme znát:
  - Přepravní produktivity C_i a atraktivity A_i jednotlivých oblastí.
  - Vzdálenosti (příp. ceny za přepravu, dobu přepravy) $D_{i,j}$ mezi jednotlivými oblastmi.
  - Počty cest $C_{i,j}^{skut}$ mezi oblastmi, které jsme zjistili dopravním průzkumem.

Gravitační modely

- Uvažujme, že dopravním průzkumem jsme zjistili počty cest pro *n* relací. Postup při kalibraci je následující:
  1) Zvolíme počáteční hodnoty parametrů *k* a *α*.
  2) Stanovíme odchylky $\varepsilon_{i,j}$ počtu cest mezi oblastmi *i* a *j* zjištěné průzkumem od teoretických hodnot získaných gravitačním modelem podle vztahu:

$$\varepsilon_{i,j} = C_{i,j}^{skut} - k \cdot \frac{C_i \cdot A_j}{D_{i,j}^{\alpha}}.$$

Gravitační modely

3) Nyní musíme najít takové hodnoty parametrů modelu, které budou splňovat podmínku:

$$\sum_{i}\sum_{j}\varepsilon_{i,j}^{2} \rightarrow \min$$

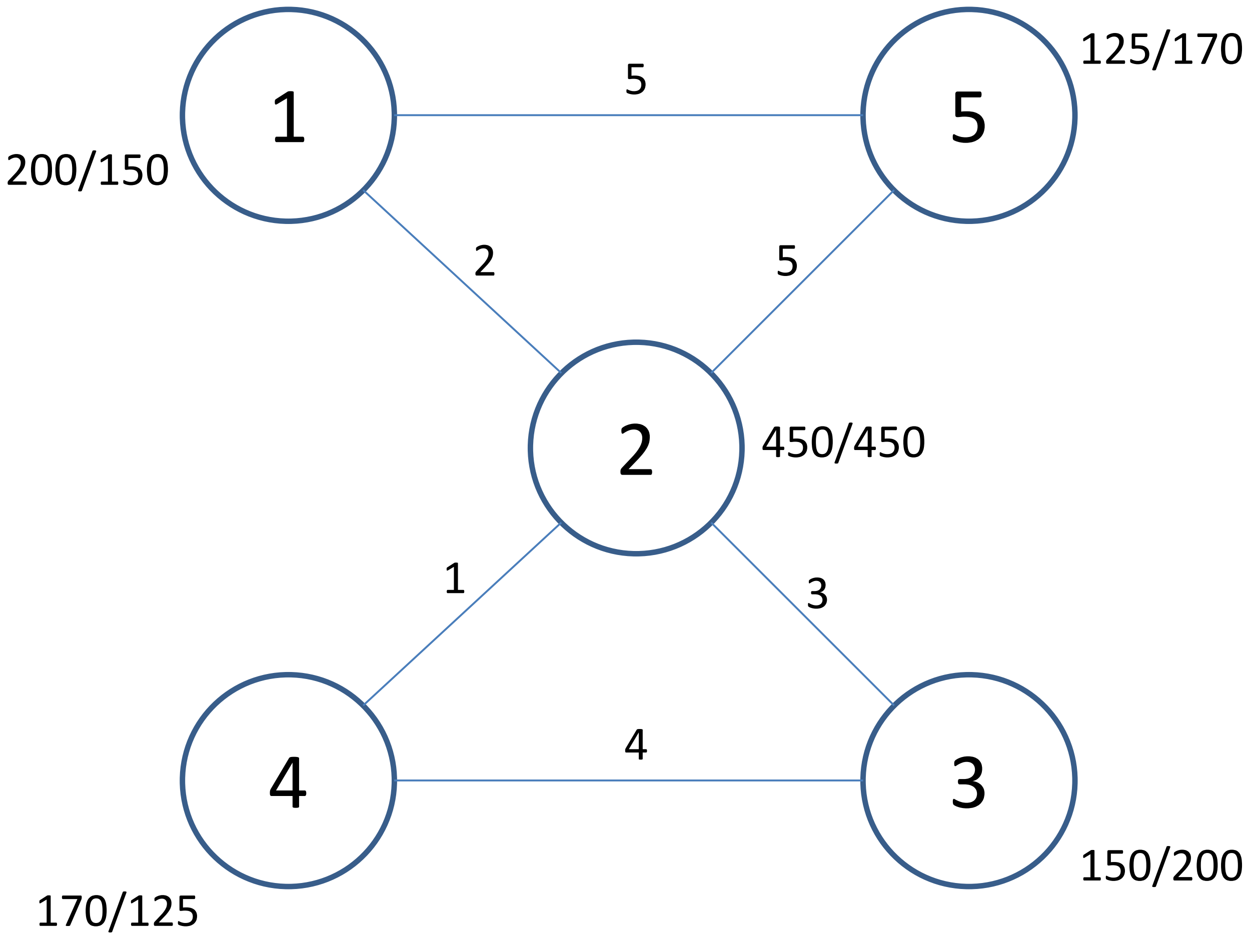
pro všechna *i* a *j* odpovídající relacím, na kterých máme proveden dopravní průzkum.

Gravitační modely

- **Př.:** Je dáno 5 oblastí, pro které známe přepravní produktivity a atraktivity. Dále známe vzdálenosti mezi těmito oblastmi.

Oblast	Přepravní produktivita C_i	Přepravní atraktivita A_i
1	200	150
2	450	450
3	150	200
4	170	125
5	125	170
∑	1095	1095

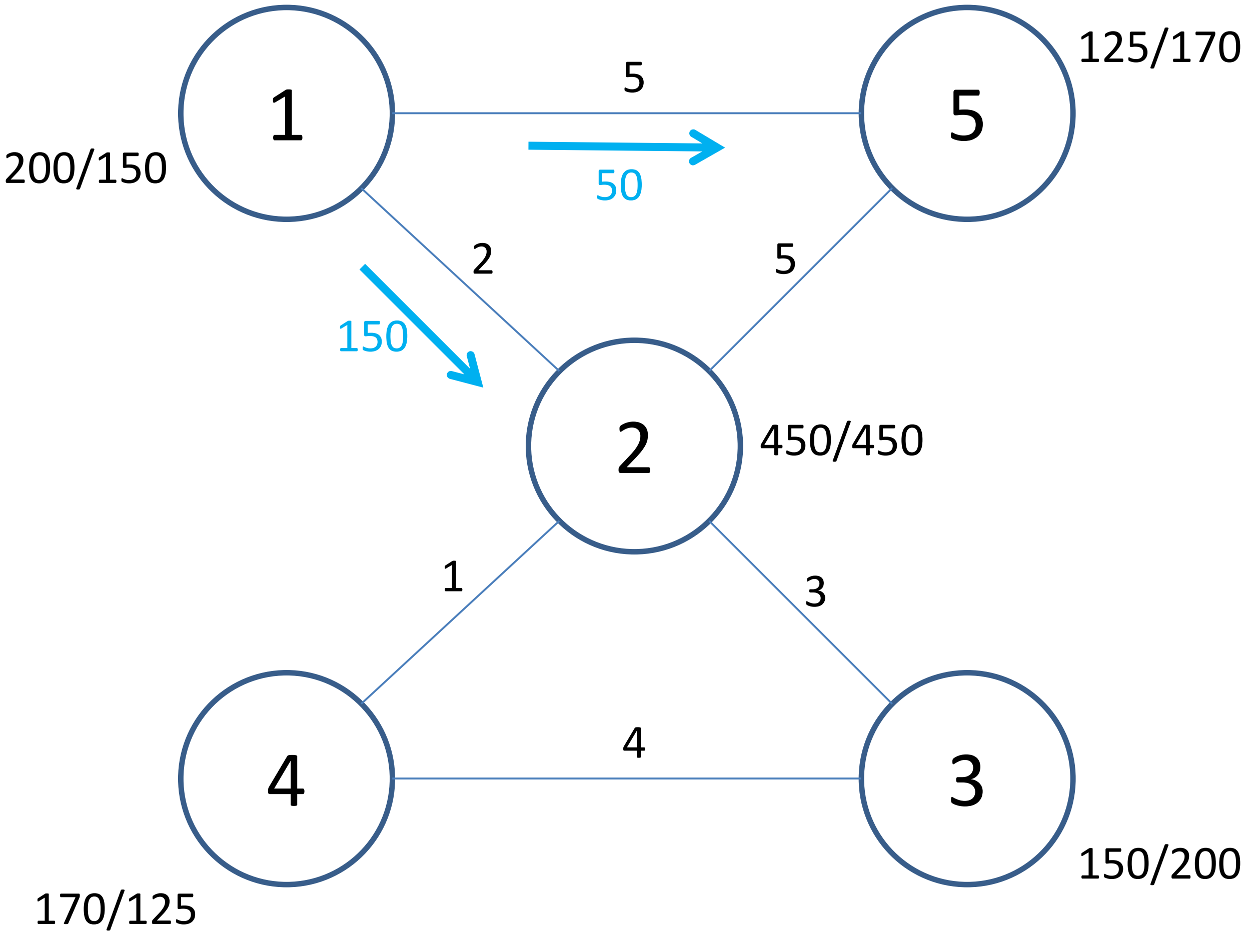
Gravitační modely



Gravitační modely

- Na relacích 1-2 a 1-5 byl proveden dopravní průzkum za účelem zjištění počtu cest mezi těmito oblastmi. Bylo zjištěno, že skutečný počet cest pro relaci 1-2 činí 150 cest/den a relaci 1-5 50 cest/den. Úkolem je odhadnout počty cest pro zbývající relace s využitím gravitačního modelu.

Gravitační modely



Gravitační modely

- V tabulce dole je uvedena celková chyba pro počáteční hodnoty parametrů modelu.

Relace	Přepravní produktivita C_i	Přepravní atraktivita A_j	Vzdálenost $D_{i,j}$	Skutečný tok	Teoretický tok
1-2	200	450	2	150	45000
1-5	200	170	5	50	6800

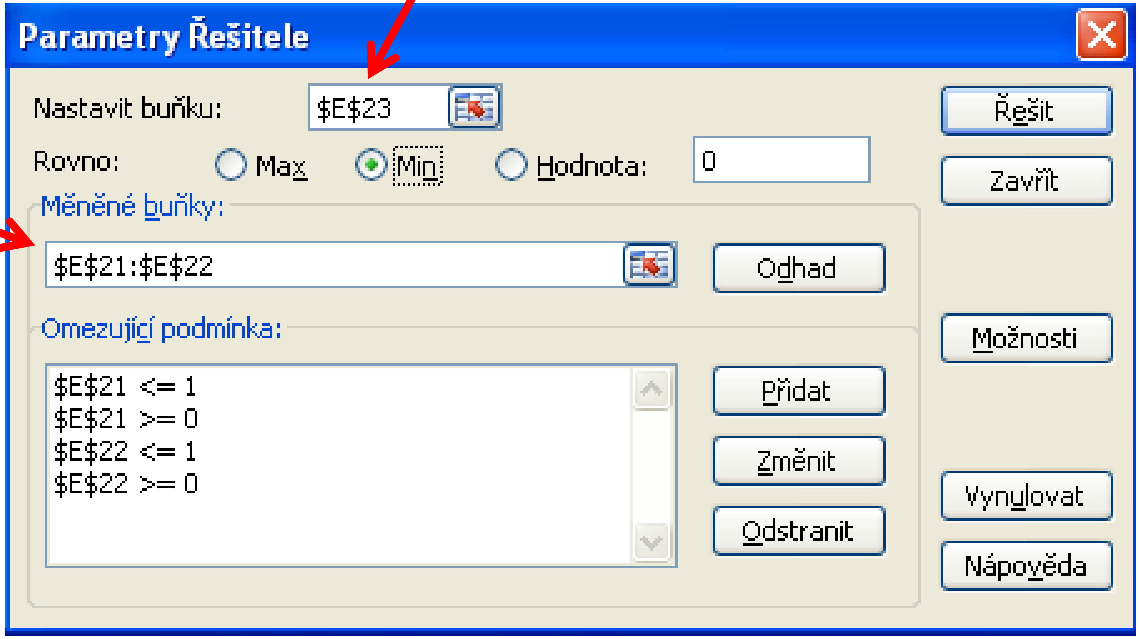
k	**1**
α	**1**
Chyba	2,057E+09

Gravitační modely

- Nyní použijeme doplněk Řešitel.

$$\sum_i \sum_j \varepsilon_{i,j}^2$$

k a *α*



Gravitační modely

Relace	Přepravní produktivita C_i	Přepravní atraktivita A_j	Vzdálenost $D_{i,j}$	Skutečný tok	Teoretický tok
1-2	200	450	2	150	149,9978152
1-5	200	170	5	50	50,00655355

k	**0,001831954**
α	**0,136438698**
Chyba	4,772E-05

$$C_{i,j} \doteq 0{,}00183 \cdot \frac{C_i \cdot A_j}{D_{i,j}^{0{,}13644}}.$$

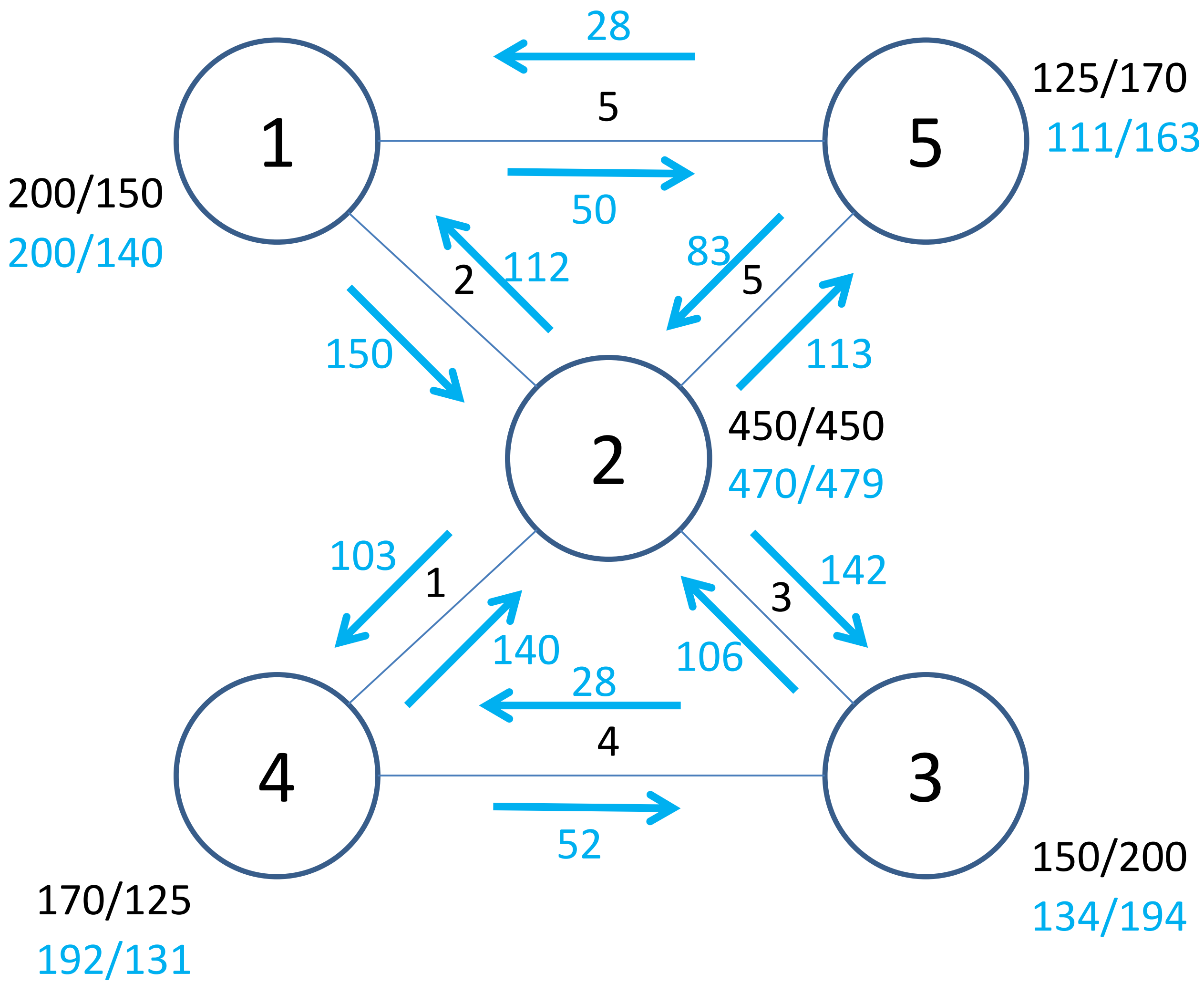
Gravitační modely

- Získali jsme hodnoty parametrů modelu, nyní můžeme stanovit zbývající počty cest pro ostatní relace.

Gravitační modely

Relace	Přepravní produktivita C_i	Přepravní atraktivita A_j	Vzdálenost $D_{i,j}$	Skutečný tok	Teoretický tok
1-2	200	450	2	150	150
1-5	200	170	5	50	50
2-1	450	150	2	-	112
5-1	125	150	5	-	28
2-5	450	170	5	-	113
5-2	125	450	5	-	83
2-4	450	125	1	-	103
4-2	170	450	1	-	140
2-3	450	200	3	-	142
3-2	150	450	3	-	106
4-3	170	200	4	-	52
3-4	150	125	4	-	28

Gravitační modely



Gravitační modely

- Z dosažených výsledků vidíme, že odchylky dopravních produktivit a atraktivit získaných aplikací gravitačního modelu poměrně dobře aproximuje hodnoty vstupující do výpočtu (odchylky jsou maximálně rovny 10%).

Dělba přepravní práce

Dělba přepravní práce

- Dělbou přepravní práce rozumíme způsob rozdělování přepravních objemů mezi jednotlivými druhy doprav – IAD, MHD,…
- Tento problém patří do teorie volby.
- Uvažujme, že máme *n* variant a každá z nich přináší určitý užitek (nebo ztrátu) u_i.
- Užitek potom ovlivňuje pravděpodobnost volby dané varianty.

Dělba přepravní práce

- Čím vyšší užitek u_i, tím vyšší je pravděpodobnost p_i zvolení příslušné alternativy.
- Jednou z možností je model LOGIT, který stanovuje pravděpodobnosti volby varianty i dle vztahu:

$$p_i = \frac{e^{a \cdot u_i}}{\sum_{i=1}^{n} e^{a \cdot u_i}},$$

kde a je vhodně zvolený parametr.

Přidělování na síť

Přidělování na síť

- Volba trasy závisí na dvou subjektech – dopravci a přepravci.
- Např. v nákladní železniční dopravě o volbě trasy rozhoduje dopravce.
- V MHD je přepravce (cestující) hlavním faktorem (volí si trasu sám), dopravce ovlivňuje volbu trasy linkovou sítí.
- V IAD o trase rozhoduje výhradně přepravce.

Přidělování na síť

- Grafickým výstupem jsou zátěžové diagramy intenzit (pentlogramy) a kartogramy intenzit na křižovatkách.
- Používají se např.:
  1) Metoda nejkratší trasy.
  2) Metoda přidělení na více tras.
  3) Metoda omezené kapacity.

Přidělování na síť

- ad 1) Metoda nejkratší trasy předpokládá, že při výběru trasy je jednoznačně preferována trasa nejkratší, ostatní trasy nejsou vůbec uvažovány.
- ad 2) Metoda přidělení na více tras vychází z předpokladu, že v 30% případů je vybírána i jiná trasa než nejkratší.

Přidělování na síť

- ad 3) Metoda omezené kapacity bere v úvahu i kapacity komunikací. Nejkratší trasa v oblasti dopravního sedla nemusí být nejkratší trasou i v případě dopravní špičky.