

## MODELOVÁNÍ PŘEPRAVNÍ POPTÁVKY V SYSTÉMU DOPRAVNÍ OBSLUHY

Jaroslav KLEPRLÍK

Katedra technologie a řízení dopravy

### 1. Marketingový přístup k přepravnímu trhu a udržitelná mobilita

Jedním z prvních kroků při řešení dopravní obsluhy území je marketingový přístup k přepravnímu trhu osobní dopravy. Přepravní trh je součástí trhu produktů. V tomto konkrétním případě se jedná o trh služeb. Jeho výkony se produkují a spotřebovávají mezi místem zdroje a místem cíle – v osobní dopravě mezi výchozí a cílovou zastávkou. Prodávající (dopraci) na přepravním trhu osobní dopravy nabízejí své služby kupujícím (cestujícím). Kromě základní služby dopravce, kterou je přemístění, je vhodné poskytnout z důvodu dosažení vyšší kvality i komplex doplňkových služeb přepravní povahy (čekárny, úschovny zavazadel, úschovny jízdních kol, informační střediska, apod.) a dalších doplňkových služeb (občerstvení, prodej novin a časopisů, apod.). Tyto služby mohou provozovat jednak dopravci, jednak i další podnikatelské subjekty.

Osobní doprava musí zabezpečit nepřetržitou, trvale udržitelnou mobilitu osob a umožnit hospodářský rozvoj společnosti. Proto například Mezinárodní silniční unie (IRU) na svém kongresu přijala deklaraci „Mobilita 2000+“ jako další krok k podpoře programu trvale udržitelného rozvoje. Ve spolupráci se svými členy IRU zpracovala flexibilní modulový systém pro realizaci účinných opatření a akčních programů pro dopravce a vydala „Příručku pro trvale udržitelný rozvoj“.

Trvale udržitelný rozvoj (sustainable development) je forma hospodaření a rozvoje, která odpovídá potřebám současných generací bez toho, aby byly ohroženy šance a možnosti budoucích generací uspokojovat jejich potřeby. Trvale udržitelný rozvoj zahrnuje úmyslnou tvorbu komplexů uceleným systémovým přístupem a inovacemi. Tento rozvoj je obsažen i v základních cílech dopravní politiky, která předpokládá vytvoření dopravního systému dostupného pro všechny a v souladu s požadavky na ochranu životního prostředí. V rámci zabezpečení trvale udržitelného rozvoje je třeba budovat dopravní systém, který odpovídá nejenom dnešním, ale i budoucím požadavkům. Jedním z nich je i veřejná hromadná osobní doprava, která se musí rozvíjet tak, aby každá osoba měla možnost cestovat.

Problematikou mobility osob se zabývá „Mobility Management (MM)“ jehož oblast je vymezena na všechny činnosti zaměřené na ovlivnění individuálního dopravního chování v souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje, přičemž je pro tyto činnosti charakteristické:

- dobrovolnost: k ovlivnění chování se využívají spíše pozitivní pobídky než restrikce,
- využití marketingu, informování cílových skupin obyvatelstva, zavedení zdokonalených metod řízení spolu s investicemi menšího rozsahu hlavně na lokální úrovni,
- vtažení podniků a institucí do procesu změny; oslovení zaměstnanců, zákazníků, návštěvníků institucí,
- partnerská spolupráce se všemi subjekty z veřejného i soukromého sektoru, které se zajímají o problémy dopravy.

Systém Mobility Management přináší do dopravního plánování soubor nových technik, které jsou založeny na poskytování informací, koordinaci a organizování, s cílem snížit počet jízd, délku jízd a vůbec potřebu využívat k jednotlivým jízdám motorová vozidla, a to zejména povzbuzováním lidí k tomu, aby své potřeby hybnosti uspokojovali využíváním udržitelných způsobů dopravy. Úlohou je zajistit jak uvádí [1] dostupnost veřejné dopravy pro všechny.

Mobilita a trvale udržitelný rozvoj úzce souvisí především s problematikou bydlení, politikou zaměstnanosti, strukturou školství, zabezpečením dostupnosti základní zdravotní péče, s rozmístěním úřadů a rovněž také s rozvojem obchodu a služeb. Právě řešení těchto základních lidských potřeb ovlivňuje organizaci a způsob zajištění jejich dostupnosti z dopravního hlediska. Proto se z pozice marketingového přístupu hledají odpovědi na následující základní otázky:

- Kdo cestuje, tedy pro koho je či má být doprava zabezpečena?
- Kdy cestuje či chce cestovat, tedy časová poloha strany poptávky?
- Odkud a kam se cestuje či bude cestovat, tedy zdroj a cíl cesty?
- Pro jaké množství zákazníků je či bude přeprava zabezpečována?

- Jaký je účel cesty?

Jedná se tedy o zjištění požadavků zákazníků. Tyto požadavky musí být následně brány jako prvotní vstupy do systému dopravní obsluhy s cílem uspokojit společenské a okamžikové potřeby.

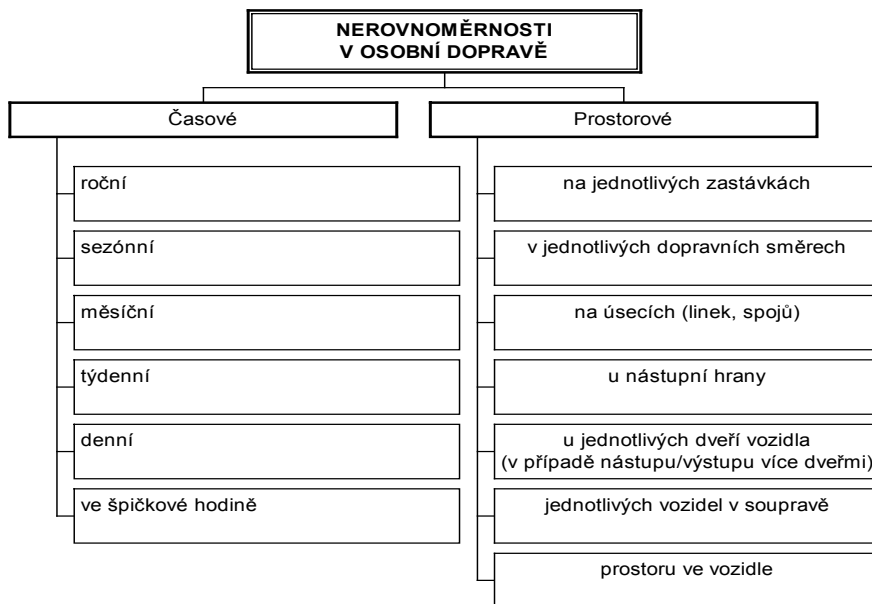
## 2. Možnosti modelování přepravní poptávky

Modelování poptávky je složitou částí modelování přepravním vztahů. Tyto vztahy lze zjistit:

- přepravním průzkumem,
- z dostupných statistických dat,
- pomocí technických zařízení instalovaných ve vozidle,
- modelováním poptávky s využitím empirických modelů.

### Přepravní průzkum

Přesné údaje o přepravních vztazích lze zjistit rozsáhlým přepravním průzkumem (anketou), který je však platný pouze k určitému časovému horizontu a při jeho provádění je nutné respektovat nerovnoměrnosti osobní dopravy. Hierarchické členění těchto nerovnoměrností uvádí obrázek **obr. 1**. Přepravní průzkum je možné provádět v dopravním prostředku, na zastávkách, ve školách, ve firmách, v obcích, atd. Vzory dotazníků pro přepravní průzkum jsou uvedeny např. [2].



**Obr. 1** Nerovnoměrnosti v osobní dopravě

**Fig. 1** Irregularity in Passenger Transport

Při průzkumu přepravních potřeb v obcích v zájmovém území lze užít oblastní neboli stratifikovaný výběr, někdy též nazývaný jako dvoustupňový výběr. Základní logické schéma je možno si představit takto: nejdříve se rozdělí soubor (celé zájmové území) na menší podskupiny (dílčí soubory), kterými jsou jednotlivé obce a potom se vybírají jednotky ve všech dílčích souborech. Dalším důležitým krokem před vlastním výběrovým šetřením je určení rozsahu výběru  $n$ , aby se dospělo k dostatečně kvalitním zobecňujícím úsudkům se spolehlivostí, která je zpravidla definována na některém z intervalů významnosti 90%, 95% a 99%. Rozsah výběru závisí rovněž na způsobu provedení průzkumu, který může být proveden:

- s návratem všech dotazníků - tazatel osobně předá a vyzvedne respondentovi dotazník, případně je přítomen při jeho vyplňování. V tomto případě je rozsah výběru stanoven dle vzorce (1).

$$n = \frac{t^2 * \sigma^2}{d^2} \quad (1)$$

- bez vrácení všech dotazníků - zde je třeba počítat s návratností v intervalu 15-30% rozdaných dotazníků. Rozsah výběru se stanoví podle vzorce (2).

$$n = \frac{t^2 * \sigma^2 * N}{t^2 * \sigma^2 + (N - 1) * d^2} \quad (2)$$

kde:

- $n$ ..... rozsah výběru,
- $t$ ..... koeficient spolehlivosti závisící na hladině spolehlivosti,
- $\sigma$ ..... směrodatná odchylka,
- $d$ ..... přípustná procentuelní chyba souboru,
- $N$ ..... velikost celého souboru.

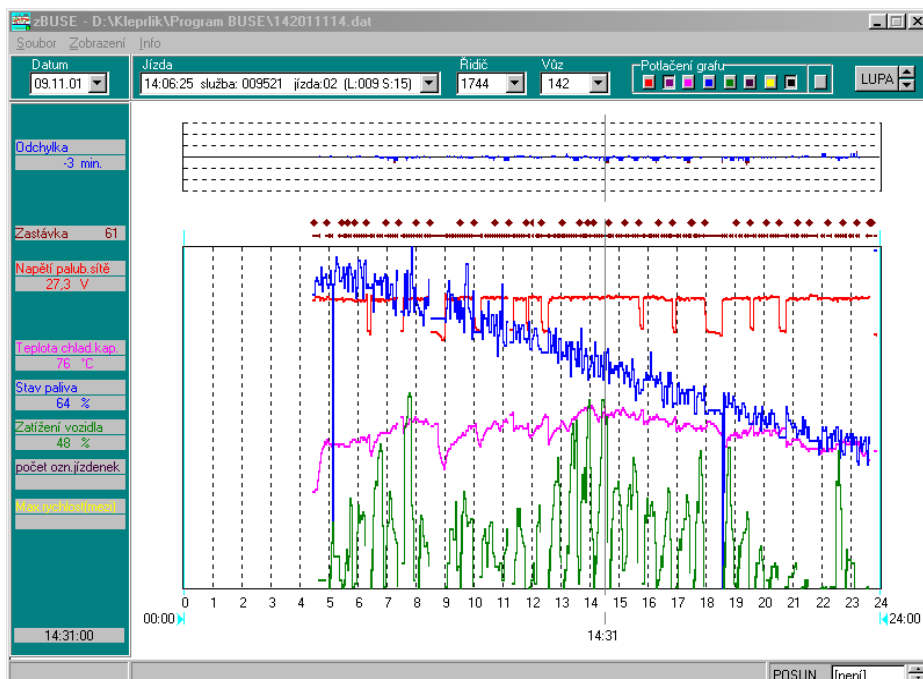
Větší počet vybraných respondentů pochopitelně není na závadu. Počet dotazníků může být větší, ale měl by být zvýšen rovnoměrně, například o 0,5 až 2,0%. Je nepřijatelné, aby v některé obci počet dotazníků stanovené číslo nepřekročil a v jiném překročil například o 5%.

### Využití dostupných statistických dat

S ohledem na variabilitu je možné poptávku modelovat z dostupných dat a to například z pokladen pro výdej jízdních dokladů. V tomto případě jde však o zjištění již realizované poptávky. Dalším zdrojem zmapování poptávky s využitím statistických dat je analýza vyhledávání spojení cestujícími v elektronických jízdních řádech (např. internetové jízdní řády), kdy lze vyhodnotit jaká spojení cestující vyhledávají.

## Využití technických zařízení instalovaných ve vozidle

Technická zařízení instalovaná ve vozidle umožňují sledovat ukazatele (napětí palubní sítě, tlak oleje, teplotu chladicí kapaliny, stav paliva, otáčky motoru) a dále zajímavé ukazatele z pohledu dopravní obsluhy (okamžitou rychlost, maximální rychlost mezi zastávkami, zatížení vozidla, počet označených jízdenek a odchylky od jízdního řádu.) Jedním z takových produktů je program BUSE, který lze využít k měření na autobusech. Výstupy měření jsou uvedeny na **obr. 2**.



**Obr. 2** Výstup z měření z programu BUSE na lince MHD

**Fig. 2** Output from measuring from programme BUSE

## Modelování poptávky s využitím empirických modelů

Při sestavování modelu poptávky se zájmové území rozdělí na zóny (okrsky) podle sociourbanistických funkcí a dále se pracuje s jejich zástupci - centroidy. Další postup lze rozčlenit do následujících fází:

- Trip generation,
- Trip distribution,
- Modal split,
- Traffic assignment.

**Trip generation** (vznik přemísťovacích vztahů) – jde o generování poptávky po přemísťení, zjištění celkové velikosti poptávky charakterizující okresek. Provádí se průzkumem nebo lineární regresi z existujících statistik. Cílem této fáze je určení objemu dopravy (počtu cest za časovou jednotku) v každé oblasti zájmového území v závislosti na tom, co vznik cest podmiňuje. Jde o stanovení rovnic, které určují výhledový rozsah přemísťení, který oblast produkuje (cesta zde vzniká) nebo atrahuje (cesta zde končí). Jako matematický model se používá vícenásobná lineární regresní analýza, která vyjadřuje závislost mezi počtem cest začínajících nebo končících v jednotlivých oblastech - závislá proměnná a nezávisle proměnnými demografickými veličinami. Jako závislá proměnná se určuje počet cest oddělených podle účelu (cesty s vazbou na bydliště a zpět - do práce, do školy, ad. a cesty bez vazby na bydliště - např. rekreace). Jako nezávislá proměnná se volí např. počet obyvatel oblasti, počet žáků a studentů, počet pracovních příležitostí, počet obchodů, atd. V prognóze má vícenásobná lineární regresní analýza tvar vyjádřený vzorcem (3).

$$y = b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n + k , \quad (3)$$

kde:

$y$ ..... závislá proměnná (počet cest za časovou jednotku),

$b_1, b_2, \dots, b_n$ .....regresní koeficienty,

$x_1, x_2, \dots, x_n$ .....nezávislé proměnné,

$k$  ..... regresní konstanta.

Závislost mezi počtem cest začínajících nebo končících v jednotlivých oblastech a nezávisle proměnnými demografickými veličinami  $P$  a  $O$  vyjadřuje vztah (4).

$$d'_i = a + b * O_i + c * P_i , \quad [\text{cest/den}] \quad (4)$$

kde:

$d_i$ .....objem dopravy v  $i$ -té oblasti (hodnota zjištěná průzkumem),

$d'_i$  .....objem dopravy v  $i$ -té oblasti (výpočtová hodnota pro výhledové období),

$a, b, c$  .....regresní koeficienty,

$O_i$  ..... počet obyvatel v  $i$ -té oblasti,

$P_i$ ..... počet pracovních příležitostí v  $i$ -té oblasti.

Hodnoty regresních koeficientů se určí z podmínky nejmenších čtverců odchylek skutečných hodnot  $d_i$  a  $d'_i$  .

$$\min A = \min \sum_{i=1}^n (d_i - d'_i)^2 , \quad (5)$$

kde:

$n$ ....počet oblastí

$$\min A = \min \sum_{i=1}^n [d_i - (a + b * O_i + c * P_i)]^2, \quad (6)$$

Uvedená minima se určí položením parciálních derivací rovno 0.

$$\frac{\partial A}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial A}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial A}{\partial c} = 0, \quad (7)$$

$$n * a + b * \sum_{i=1}^n O_i + c * \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n d_i, \quad (8)$$

$$a * \sum_{i=1}^n O_i + b * \sum_{i=1}^n O_i^2 + c * \sum_{i=1}^n O_i * P_i = \sum_{i=1}^n d_i * O_i, \quad (9)$$

$$a * \sum_{i=1}^n P_i + b * \sum_{i=1}^n O_i * P_i + c * \sum_{i=1}^n P_i^2 = \sum_{i=1}^n d_i * P_i, \quad (10)$$

Hodnoty  $d_i$ ,  $O_i$  a  $P_i$  se týkají současného stavu.

Výhledové objemy dopravy v oblastech  $D_i^y$  se vypočítají pomocí regresních koeficientů odvozených ze současného stavu dosazením výhledových hodnot  $O_i^y$  a  $P_i^y$  za předpokladu, že vztahy mezi objemem dopravy a proměnnými se ve výhledu nemění viz. vztah (11).

$$D_i^y = a + b * O_i^y + c * P_i^y, \quad [\text{cest/den}] \quad (11)$$

kde:

$D_i^y$  .....výhledový objem dopravy v i-té oblasti,

$O_i^y$  .....výhledový počet obyvatel i-té oblasti,

$P_i^y$  .....výhledový počet pracovních příležitostí v i-té oblasti.

Nevýhoda metody regresní analýzy spočívá v tom, že nezahrnuje podstatné změny, ke kterým může v budoucím období dojít (např. zrušení pracovních příležitostí, změna počtu žáků a studentů škol a s tím související redukce sítě škol, atd.).

**Trip distribution** (rozdělení přemístovacích vztahů) - v této části jde o analýzu směřování, zjištění meziokrskových přepravních vztahů a určení zdrojů a cílů cest. Výstupem je matice intenzit přepravních proudů (O/D matice). Používají se metody analogické a syntetické.

- **Analogické metody** využívají trendové analýzy a jsou založeny na předpokladu, že doprava se ve výhledu bude vyvíjet analogicky k současnému stavu. Výhledové přemístovací vztahy se určí vynásobením současných vztahů součinitelem růstu, viz vztah (12).

$$d'_{i,j} = d_{i,j} * f(k), \quad [\text{cest/den}] \quad (12)$$

kde:

$d'_{ij}$  .....výhledový přemístovací vztah z  $i$  do  $j$  [cest/den],

$d_{ij}$ .....současný přemístovací vztah z  $i$  do  $j$  [cest/den],

$f(k)$  .....funkce součinitelů růstu [-].

Mezi tyto analogické metody patří: Metoda průměrných součinitelů růstu, Detroitský model, Fratarova metoda popsané v [3].

- **Syntetické metody** vycházejí z předpokladu, že stanovení výhledových objemů dopravy vyplývá z rozboru a pochopení příčin vzniku a rozdělení dopravy a souvislostí, které způsobují růst dopravy. Tyto metody je možné vyjádřit obecně vztahem (13).

$$d'_{i,j} = d_{i,j} * P_{ij}, \quad [\text{cest/den}] \quad (13)$$

kde:

$d'_{ij}$  .....výhledový přemístovací vztah z  $i$  do  $j$  [cest/den],

$d_{ij}$ .....současný přemístovací vztah z  $i$  do  $j$  [cest/den],

$P_{ij}$ .....pravděpodobnost, že cesty vzniklé v oblasti  $i$  budou končit v oblasti  $j$ .

Reprezentantem syntetické metody je tzv. „Gravitační model“, který je založen na předpokladu, že počet cest mezi dvěma oblastmi  $i$  a  $j$  roste s růstem atraktivity pro daný druh cesty (přitažlivost cílové oblasti) a klesá s růstem odporu dopravní cesty. Model je vyjádřen vztahem (14).

$$d'_{ij} = \frac{D_i * F_j}{L_{ij}^n} * K, \quad [\text{cest/den}] \quad (14)$$

kde:



$d'_{ij}$  ..... výhledový přemístovací vztah z  $i$  do  $j$ ,

$D_i$  ..... vzniklý objem dopravy ve zdrojové oblasti (produktivita oblasti  $i$ ),

$F_j$  ..... objem dopravy končící v cílové oblasti (přitažlivost cílové oblasti  $j$ ),

$L_{ij}^n$  ..... odporová funkce vyjadřující závislost atraktivity cílové oblasti  $j$  na vzdálenosti od zdrojové oblasti  $i$ ,

$K$  ..... součinitel (jeho velikost závisí na charakteru míst).

**Modal split** (dělbá přepravní práce) - úkolem tohoto kroku je rozdělení celkového objemu přepravy mezi jednotlivé druhy dopravy jako procentuální podíl.

**Traffic assignment** (přidělení dopravy na dopravní síť) - zde už jde o určení konkrétních tras, po kterých se uskuteční vypočtené přemístovací vztahy a přiřazení proudů jednotlivým linkám, kdy se vyhodnotí obsazenost linek, časové ztráty cestujících, počet přestupů ad.

### 3. Modely poptávky a sledování poptávky

Poptávku lze sledovat ze dvou hledisek:

- **prostorově** - vyplývá z požadavku cestovat z určitých míst do určitých míst (což je způsobeno rozmístěním obydlí, ubytoven, škol, firem, úřadů, služeb, apod.),
- **časově** - vyplývá z požadavku cestovat ve stanovených časových obdobích (což je způsobeno stanovením začátku a konce vyučování, pracovní doby, úředních dní a hodin, apod.). Časové hledisko zapříčiňuje dopravní špičky a dopravní sedla.

Při optimalizaci se musí brát v úvahu celkový charakter poptávky, tedy obě výše uvedená hlediska současně.

Poptávka má ve své podstatě diskrétní charakter. V případech, kdy jsou přepravní požadavky dostatečně hustě rozprostřeny po časové ose, lze poptávku aproximovat spojitou veličinou, kterou je hustota (intenzita poptávky) a pro kterou platí, že integrál od  $t_1$  do  $t_2$  z hustoty poptávky je roven počtu cestujících s časem dopravního požadavku ležícího v intervalu  $(t_1, t_2)$ , jak uvádí vzorec (15).

$$\int_{t_1}^{t_2} h(t) dt = q(t_1, t_2), \quad [\text{osob/den}] \quad (15)$$

kde:

$h(t)$  ..... hustota poptávky [osob/den],

$q$  ..... počet cestujících [osob],

$(t_1, t_2)$  ..... časový interval [den].

Na základě této charakteristiky lze hovořit o časové nerovnoměrnosti poptávky, když hustota vykazuje v krátkých časových intervalech výrazná lokální maxima.

Důležité je, že charakter poptávky má dominující vliv na metody a algoritmy návrhu dopravní obsluhy (zejména pokud jde návrh jízdních řádů) a její charakter. Důležitou roli v tomto smyslu hraje skutečnost, do jaké míry je možné časově a prostorově rozlišit jednotlivé přepravní požadavky, tj. v podstatě problém diskrétního či spojitého charakteru poptávky [4].

Ve městech lze přepravní proud cestujících považovat za spojitý, který charakterizuje změna intenzity pro jednotlivá časová období. Při dopravě osob z obce do města je nutné respektovat diskrétní charakter, protože jde například o požadavek na přepravu dávky žáků do škol s pevně definovaným začátkem vyučování. Požadavky tak nejsou rozděleny spojitě, ale jsou rozděleny do jednoho nebo několika diskrétních časových okamžiků.

Jiné metody jsou vhodné v případě spojitého charakteru poptávky, kde je značná časová i prostorová různorodost přepravních požadavků, takže přepravní požadavek mezi dvěma uzly dopravní sítě je možné charakterizovat pouze celkovým průměrným počtem osob v určitém časovém intervalu a pro kterou je v konečném důsledku charakteristický intervalový charakter dopravní obsluhy. Jiné metody jsou vhodné pro diskrétní charakter poptávky, který má spíše charakter svozného a rozvozného úlohy.

Z hlediska matematického vyjádření má tedy poptávka charakter:

- **spojitý** - u městské hromadné dopravy a u dálkové dopravy,
- **diskrétní** - v případě příměstské a regionální dopravy.

Spojitý model vychází z přepravního proudu cestujících a jedné z jeho stavových veličin - intenzity (počtu cestujících za časovou jednotku) dle vztahu (16).

$$i = h * V, \quad [\text{cestujících/h}] \quad (16)$$

kde:

$i$  .....intenzita přepravy [cestujících/h],

$h$ ..... hustota [cestujících/km],

$V$ .....rychlost [km/h].

Jde o proud z výchozího místa - nástupní zastávky do cílového místa - výstupní zastávky. Zpravidla netvoří pouze jeden úsek, ale prochází více zastávkami a úseky jako úsekový. Z hlediska teorie grafů jej lze popsat jako proud z výchozího uzlu (zdroje) do cílového uzlu (ústí) přes mezilehlé uzly, směrově orientovaný a hranově ohodnocený (směr přepravy a počet cestujících). Průběhu hodinové intenzity přepravního proudu cestujících na lince lze znázornit pomocí pentlogramu.

Z matematického hlediska se chápá poptávka v případě spojitého modelu jako požadavek na přemístění  $q$  osob různých kategorií  $k$  z uzlu  $u_i$  do uzlu  $u_j$  dopravní sítě  $G$  v časovém intervalu  $T$ . Tento časový interval je větší než cestovní doba mezi zmíněnými uzly. Poptávka  $p$  se vyjádří matematicky jako (17):

$$p(u_i, u_j, k, q, T), \quad (17)$$

kde:  $u_i, u_j \in U$ ,

$U$  .... množina uzlů vybrané dopravní sítě  $G$ ,

$u_i$  .... výchozí uzel,

$u_j$  .... cílový uzel,

$k$  .... kategorie cestujících,

$q$  ..... velikost poptávky (celá kladná čísla),

$T$  ..... časové pásmo poptávky (platí, že  $T > 0$ ).

Poptávka vyjádřená ve vzorci (17) je složena z následujících dílčích částí:

$$p(u_i, u_j, k, q, T) = p_1(u_i, u_j, k_1, q_1, T) + p_2(u_i, u_j, k_2, q_2, T) + \dots + p_n(u_i, u_j, k_n, q_n, T), \quad (18)$$

kde:

$k$  ..... kategorie cestujících, ( $k_1$  žáci škol,  $k_2$  zaměstnanci,  $k_3$  cestující k lékařům, apod.),

$q$  ..... velikost poptávky ( $q_1$  žáci škol,  $q_2$  zaměstnanci,  $q_3$  cestující k lékařům, apod.),

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i, \text{ [osob]} \quad (19)$$

kde:

$n$  ..... počet kategorií cestujících.

Diskrétní model vychází z dávky (kontingentu) cestujících. Jako poptávka se tedy v tomto případě chápá požadavek na přemístění  $q$  osob různých kategorií  $k$  z uzlu  $u_i$  do uzlu  $u_j$  vybrané dopravní sítě  $G$  v čase  $t$ . Tento čas lze interpretovat jako:

- nejpozději nutný čas ukončení přepravy - čas ukončení svozné úlohy (např. stihnout začátek vyučování),
- nejdříve možný čas zahájení přepravy - čas zahájení rozvozné úlohy (např. čas kdy lze po ukončení vyučování nejdříve nastoupit cestu do místa bydliště či ubytování).

Poptávka  $p$  se vyjádří matematicky jako:

$$p(u_i, u_j, k, q, t), \quad (20)$$

kde:  $u_i, u_j \in U$ ,

$U$  .... množina uzlů dopravní sítě  $G$ ,  
 $u_i$  .... výchozí uzel,  
 $u_j$  .... cílový uzel,  
 $k$  ..... kategorie cestujících (celá kladná čísla),  
 $q$  ..... velikost poptávky (celá kladná čísla),  
 $t$  ..... čas poptávky (platí, že  $t > 0$ ).

Poptávka vyjádřená ve vzorci (20) je složena z dílčích částí:

$$p(u_i, u_j, k, q, t) = p_1(u_i, u_j, k_1, q_1, t) + p_2(u_i, u_j, k_2, q_2, t) + \dots + p_n(u_i, u_j, k_n, q_n, t), \quad (21)$$

kde:

$k$  ..... kategorie cestujících, ( $k_1$  studenti,  $k_2$  pracujících,  $k_3$  cestujících k lékaři, apod.),  
 $q$  ..... velikost poptávky ( $q_1$  studenti,  $q_2$  pracujících,  $q_3$  cestujících k lékaři, apod.),

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i, \text{ [osob]} \quad (22)$$

kde:

$n$  ..... počet jednotlivých kategorií cestujících.

Poptávka se zkoumá zpravidla v jistém maximálním časovém intervalu  $T$  (např. 24 hodin), jde o tzv. „základní interval“ a dále také v intervalech, které padnou do tohoto základního intervalu.

Součet velikostí všech požadavků vycházejících z uzlu  $u_i$  v intervalu  $T$  je výstupním tokem z uzlu  $u_i$  v intervalu  $T$  a označí se  $P(u_i, T)$ , viz. vztah (23).

$$P(u_i, T) = \sum_{p(u_i, u_j), u_j \in U} q, \quad (23)$$

Součet všech požadavků vcházejících do uzlu  $u_j$  v intervalu  $T$  je vstupním tokem do uzlu  $u_j$  v intervalu  $T$  a označí se  $Q(u_j, T)$ , viz. vztah (24).

$$Q(u_j, T) = \sum_{p(u_i, u_j), u_i \in U} q, \quad (24)$$

Pokud je myšlen základní interval, pak se namísto  $P(u_i, T)$ , respektive  $Q(u_i, T)$  píše pouze  $P(u_i)$ , resp.  $Q(u_i)$ . Dále se předpokládá, že pro libovolný uzel  $u_i$  platí:  $P(u_i) = Q(u_i)$ , tj. vstupní tok do libovolného uzlu v rámci základního intervalu se rovná výstupnímu toku z tohoto uzlu. Hodnota  $P(u_i)$  se nazývá vahou uzlu  $u_i$ .

O/D matice poptávky.

Poptávku po přepravě lze výsledně znázornit pomocí tzv. „O/D matic“ (original destination), matic přepravních vztahů. O/D matice je zjednodušeně definována jako:  $M = (q_{i,j})$  v čase  $t$ . Příklad zápisu O/D matic uvádějí tabulky **tab. 1** a **tab. 2**.

**Tab. 1** Příklad O/D matice pro nejpozději nutný čas ukončení přepravy

Z	DO	POČET CESTUJÍCÍCH	KATEGORIE	ČAS SVOZU
1	2	4	1	7:30
1	3	6	1	8:00
...	...	...	...	...

**Tab. 2** Příklad O/D matice pro nejpozději nutný čas zahájení přepravy

Z	DO	POČET CESTUJÍCÍCH	KATEGORIE	ČAS ROZVOZU
2	1	4	1	14:30
1	3	6	1	15:00
...	...	...	...	...

Dále lze O/D matice vytvořit jako:

- **O/D matice aposteriorní poptávky** - při její tvorbě se vychází z vyhodnocení skutečné poptávky. Jde o získání a zpracování již realizované poptávky, tzv. „*ex post*“.
- **O/D matice apriorní poptávky** - jde o získání a zpracování informací o poptávce, která je požadována a může být realizována v budoucnu, tzv. „*ex ant*“.

Po zjištění a popsání obou druhů poptávek (aposteriorní i apriorní) a následném vyhodnocení jednotlivých O/D matic a jejich porovnání lze dojít ke stanovení konkrétních požadavků dopravcům. Tedy objednávek na vytvoření nových linek a jízdních řádů či úpravy stávajících. To je rovněž významným podkladem při udělování licencí na jednotlivé spoje.

Vyhodnocení poptávky může být bráno globálně nebo podrobně s možností rozlišení dle kategorie cestujících, kategorie dopravních cílů a časových pásem. Podrobné vyhodnocení tedy zahrnuje:

- počet cestujících (objem přepravy),

- rozložení cestujících dle: kategorie cestujících, kategorie cílů, časových pásem.

Lektoroval: *Doc.Ing. Zdeněk Dvořák, Ph.D.*

Předloženo: 25.2.2005

*Příspěvek vznikl za podpory projektu institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravy“.*

### **Literatura**

1. KÖNIG H. *Mobilität für alle*. Nahverkehrs-praxis, 2001, č.1/2, s. 7 - 10, ISSN 0342-9849.
2. KLEPRLÍK J. *Integrovaný systém veřejné osobní dopravy v regionu*. Disertační práce, Pardubice 1999.
3. MEDELSKÁ V. A KOL. *Dopravné inženýrstvo*, Alfa, Bratislava 1991, ISBN 80-05-00737-X.
4. PLAŠIL J. *K dopravní obslužnosti*, Doprava-ekonomicko technická revue, č.4, 1998, s.20-24, ISSN 0012-5520.
5. ČERNÝ J. A KOL. *Grant GA ČR 103/00/0443 Optimalizace dopravní obsluhy územních celků veřejnou osobní dopravou*, závěrečná zpráva Pardubice, 2003.

### **Resumé**

#### **MODELOVÁNÍ PŘEPRAVNÍ POPTÁVKY V SYSTÉMU DOPRAVNÍ OBSLUHY**

Jaroslav KLEPRLÍK

Příspěvek se zabývá se problematikou zjišťování přepravní poptávky v osobní přepravě z pozice Mobility Managementu (MM). Cílem MM je zajistit dostupnost veřejné hromadné dopravy pro všechny. Článek popisuje způsoby zjišťování přepravní poptávky - přepravní průzkumy, využití dostupných statistických dat a využití technických zařízení v dopravních prostředcích. Dále předkládá možnosti modelování přepravní poptávky a shrnuje spojitě a diskrétní modely přepravní poptávky.

### **Summary**

#### **MODELLING OF TRANSPORT DEMAND IN THE TRANSPORT SERVICE SYSTEM**

Jaroslav KLEPRLÍK

The paper deals with the problem of demand in passenger transport from the Mobility Management's point of view. The goal of the Mobility Management is to ensure the availability of public transport for all. The paper describes ways of the transport demand eliciting – transport survey, utilization of available statistic data and utilization of technical equipment in vehicles. The paper offers possibilities of transport demand modelling and resumes continuous and discrete models of transport demand.

Jaroslav Kleprlík:

## Zusammenfassung

### DIE MODELLIERUNG DES BEFÖRDERUNGSBEDARFES IM SYSTEM DER VERKEHRSDIENSTLEISTUNG

Jaroslav KLEPRLÍK

Der Personenverkehr muss die glückliche und nichtgefährliche Bewegung der Personen sichern. Im Personenverkehr existiert die Konkurrenzsituation des Öffentlichenpersonennahverkehr (ÖPNV) und des Motorisierter Individualverkehr (MIV). In der letzten Epoche kam in der Tschechische Republik zur schnellen Entwicklung des MIV vom ÖPNV.

Die Hauptaufgabe ist des System ÖPNV erbauen, den modernen, schnellen, bequemen Verkehr sicherstellen. Deshalb müssen wir immer die Qualität aller Komponenten des Verkehrssystems erhöhen. Das Ziel ist den Aufstieg des ÖPNVs befördern und ihre höhere Verwertung.

Die Verkehrsbeförderung ist in der Straßenverkehrsgesetz und in der Eisenbahnverkehrsgesetz wird geteilt auf:

- primär die Verkehrsbeförderung,
- andere die Verkehrsbeförderung.

Primär die Verkehrsbeförderung ist der Verkehr in die Schulen, in die Arbeiten, in die Dienststellen, zu den Arzt, zu den Tribunale und zurück. Diesen Verkehr garantier der Staat mithilfe des Kreisverkehrsamts. Das Kreisverkehrsamt schließt mit dem Verkehrsträger den Vertrag über die Haftbarkeit der öffentlichen Dienstleitungen.

Die andere Verkehrsbeförderung hat andere Verkehrs die Bedürfnisse zu sichern. Die Gemeinden müssen diese Beförderung zu sichern.

Das Marketing hat die Aufgabe auf diese Fragen antworten: Für wenn wird der Transport gesichert? Wann? Woher und wohin man fährt? Für wie viele Kunden wird der Transport organisiert?

Der Bedarf wird geteilt auf:

- der wahre Bedarf – Sie werden oder waren realisiert. Wir müssen auswerten, wie der Bedarf saturiert wurde. Das macht man in ihrem Prozess oder ex post.
- der verlangte Bedarf – Welche Wünsche werden in der Zukunft – ex ante? Das macht man mit den Erforschungen bei den Kunden. (zum Beispiel in den Firmen).

Den Bedarf können wir ermitteln:

- mit dem Beförderung Erforschung – im Transportmittel, im Terminal (im Bahnhof, in der Station, im Busbahnhof, in der Bushaltestelle),
- aus dem Bordcomputer,
- aus der Statistik an dem Fahrkartenschalter.

Der Beitrag befasst sich mit der Problematikmittlung des Beförderungsbedarfes im Personenverkehr aus der Position des Mobilitätsmanagements. Das Ziel des Mobilitätsmanagement ist die Zugänglichkeit des Öffentlichenpersonennahverkehrs für alle zu sichern. Der Artikel beschreibt, wie die Arten des Beförderungsbedarfes festgestellt werden: die Verkehrsuntersuchung, die Verwendung der erschwinglichen statistischen Daten und die Verwendung technischen Anlagen im Transportmittel. Der Artikel präsentiert weiter die Möglichkeiten, wie die Verkehrsbeförderung modellieren und summiert die Kontinuierlichmodelle und die Unstetigermodelle des Beförderungsbedarfes.