SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE
Series B
The Jan Perner Transport Faculty
4 (1998)

VYUŽITÍ METOD OPERAČNÍHO VÝZKUMU PŘI NASAZOVÁNÍ VOZIDEL MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY

Milan PODOLÁK

Katedra informatiky v dopravě

1. ÚVOD

V období rozvoje individuálního motorismu a jeho negativních důsledků na životní prostředí ve velkých městech musí růst význam veřejné hromadné dopravy osob. Tato doprava musí být dotována z prostředků obcí. Je zájmem provozovatelů této dopravy, ale i zástupců organizace poskytujících dotace, aby byl provoz městské hromadné dopravy co nejhospodárnější. Jednou z možností jak snížit náklady na provoz je optimalizace počtu ujetých kilometrů při jízdách prázdných vozidel mezi místy jejich garážování a místy začátku a konce jejich výkonů na spojích jednotlivých linek. Tento příspěvek je zaměřen na nasazování vozidel tramvajové dopravy a vznikl jako výběr z postupu řešení dané problematiky ve studii „*Optimalizace prázdných jízd vozidel ED Praha*" řešené týmem ve složení Ing. Milan Podolák, Doc. Ing. Rudolf Kampf, CSc., Doc. Ing. Josef Volek, CSc., Linda Králová a Kateřina Havelková.

2. TECHNOLOGIE PROVOZU

Pro řešení úlohy je důležité důkladně analyzovat organizaci jízd vozidel během dne. Z této analýzy vyplynuly tyto závěry:

- Souprava vyjíždějící z určitého depa na první spoj linky obsluhuje další spoje pouze této linky a po obsluze posledního spoje turnusu se vrací zpět do depa, ze kterého ráno vyjela.
- Soupravy vyjíždějící z vozoven v ranních hodinách mají určeny celodenní turnusy.

- V období špiček se k soupravám s celodenním turnusem přidávají jiné soupravy, které po ukončení špičky odjíždějí zpět do vozoven.
- Ve všedních dnech je ranní a odpolední špička, v sobotu dopolední a v neděli odpolední špička.
- Během jízdy soupravy z vozovny k obsluze prvního spoje turnusu se část trasy z vozovny na nejbližší zastávku dané linky považuje za prázdnou jízdu. Během jízdy v úseku z nejbližší zastávky linky na výchozí zastávku prvního spoje turnusu již dochází k přepravě cestujících.

3. VERBÁLNÍ POPIS PROBLÉMU

Celou problematiku řešenou v této studii je možné verbálně popsat takto:

Velký podnik městské hromadné dopravy, který má vozidla garážována na více místech, má pro existující navržené spoje určené jejich spojení do větších celků (turnusů), které obsluhuje jedno vozidlo. Každý turnus je určen počátkem (doba, místo), koncem (doba, místo) a typem vozidla, které jej má obsloužit. Pro každé místo garážování jsou dány typy vozidel a jejich počty, které jsou v daném místě k dispozici. Během denního období dochází k nutnosti uskutečňovat prázdné jízdy z míst garážování vozidel na místa zahájení jízdy vozidel v turnusech (zahájení provozu na linkách v ranních obdobích, změna období provozu v sedle na provoz ve špičce) a z míst ukončení jízd vozidel v turnusech do míst garážování (změna období provozu ve špičce na provoz v sedle, ukončení provozu na linkách ve večerních obdobích).

Problém je přidělit vozidla vhodného typu jednotlivým turnusům tak, aby byly minimalizovány náklady na prázdné jízdy vozidel.

4. MATEMATICKÝ MODEL

Problém optimálního přiřazení vozidel MHD z dep na jednotlivé linky je možno formulovat jako speciální úlohu o neadresných tocích, kterou lze řešit metodami pro řešení klasického dopravního problému.

Předpokládejme, že se v daném obvodu sítě MHD nachází m dep $D_1, D_2, \ldots, D_i, \ldots, D_m$, kde jsou garážovány počty vozidel MHD daného typu $a_1, a_2, \ldots, a_i, \ldots, a_m$ a n linek $L_1, L_2, \ldots, L_j, \ldots, L_n$ s potřebou těchto vozů $b_1, b_2, \ldots, b_j, \ldots, b_n$, pro něž platí:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = A = B = \sum_{j=1}^{n} b_j \, . \qquad (1)$$

Přepravní náklady jednoho vozidla jsou z depa D_i na linku L_j jsou c_{ij}. Tyto náklady budeme také označovat jako přepravní sazbu.

Problémem je nalézt počet vozidel z jednotlivých dep, která mají obsluhovat spoje jednotlivých linek, aby celkové přepravní náklady byly minimální.

4.1 Matematický model klasického dopravního problému

Vyjadřuje-li x_{ij} množství vozidel z i-tého depa obsluhující spoje j-té linky je možné sestavit matematický model lineárního programování pro dopravní problém:

$$a_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\text{ , pro } i = 1, 2, ..., m \tag{2}$$

$$b_j = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}\text{ , pro } j = 1, 2, ..., n \tag{3}$$

$$x_{ij} \in N\text{ , pro } i = 1, 2, ..., m \text{ a pro } j = 1, 2, ..., n \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} = z(min). \tag{5}$$

Rovnice (2) a (3) se nazývají rovnicemi materiálových bilancí, které zaručují, že v nalezeném řešení nebudou překročeny kapacity dep a potřeby linek. Vztah (4) zaručuje celočíselnost řešení a to, že množství přiřazených vozidel jsou kladná čísla. Výraz (5) se nazývá účelovou funkcí a vyjadřuje celkové přepravní náklady.

Samozřejmě, že jen pro velmi málo úloh lze sestavit matematický model uvedený vztahy (2) až (5). Skoro všechny problémy v oblasti dopravní praxe mají velké množství omezení, která je nutno v matematickém modelu postihnout. To se týká i problematiky popisované v tomto příspěvku.

4.2 Upravený model lineárního programování

Před uvedením modelu je účelné shrnout skutečnosti, které jsou důležité pro jeho sestavení:

- Každé z dep má dánu remízovací kapacitu c_i, pro $i = 1...7$, která nesmí být v nalezeném řešení překročena.
- V provozu se využívají 3 typy vozidel (T3, 2*T3 a KT8). Každý typ vozidla je charakterizovaný proměnnou α^k ($k = 1, 2, 3$), která udává koeficient délky vozidla (poměr délky vozidla k-tého typu a délky jednotkového vozidla). V konkrétním případě se jednotlivé proměnné rovnají těmto hodnotám $\alpha^1 = 1$, $\alpha^2 = 2$, $\alpha^3 = 2$.
- Na každé lince jsou v provozu 4 základní skupiny vozidel (skupina vozidla $\rightarrow$ index l),
- $l = 1$ .... vozidlo T3, které jede mezi depem a linkou 2 jízdy.
- $l = 2$ .... vozidlo T3, které jede mezi depem a linkou 4 jízdy.
- $l = 3$ .... vozidlo 2*T3 nebo KT8, které jede mezi depem a linkou 2 jízdy.
- $l = 4$ .... vozidlo 2*T3 nebo KT8, které jede mezi depem a linkou 4 jízdy.
- Pro tyto čtyři skupiny vozidel je dán počet potřebných vozidel na j-té lince – P_j^l a počet jízd dané skupiny vozidla mezi depem a linkou za jeden den – n^l. Pro řešený případ se $n^1=2$, $n^2=4$, $n^3=2$, $n^4=4$.
- Pro všechny i, j, k, l je dána cena přiřazení vozidla skupiny k z depa i na linku j, kde je potřebné vozidlo typu l – c_{ij}^{kl}.
- Počet vozidel typu KT8 je označen t.
- Je dána množina dep, ve kterých je možné garážovat vozidla typu KT8 – K.
- Dále je dána množina linek, kde mohou být provozována vozidla typu KT8 – T.

V jednoduchém modelu lineárního programování pro dopravní problém je každý vztah mezi každým depem a linkou vyjádřen pomyslným polem, které je reprezentováno příslušným prvkem matice sazeb c_{ij} a množstvím přidělených vozidel z depa na linku x_{ij}.

Vzhledem k tomu, že každé depo může svou kapacitu využít dvěma, resp. třemi typy vozidel ($k = 1...3$) a na každé lince jsou v provozu 4 skupiny vozidel ($l = 1...4$), každé pole se rozroste do matice těchto polí. Na následujícím obrázku je uvedena jedna tato matice polí reprezentující vztahy mezi jedním depem a linkou.

Typ vozidla	*T3* *2 x*	*2xT3, KT8* *2 x*	*T3* *4 x*	*2xT3, KT8* *4 x*
T3	2	A	4	A
2xT3	N	2	N	4
KT8	N	N/2	N	N/4

Obr. 1 *Rozšíření pole matice plateb*

Ve sloupcích označených *„2x"* budou v celém dalším textu uváděny údaje o soupravách, které vykonávají dvě jízdy mezi depem a linkou (tam nebo zpět) za den, tzn. vozidla jezdící v pracovních dnech po celý den a v sobotu a neděli všechna vozidla. Ve sloupcích označených *„4x"* pak budou uváděny údaje o soupravách vykonávajících jízdy čtyři (provozovaná ve špičkách pracovního dne). S ohledem na nemožnost záměny jednotlivých typů vozidel nejsou některé přepravy reprezentované danými poli uskutečnitelné (tyto jsou označeny *„N"*). Pro ostatní přepravy je uveden počet jízd z depa na linku nebo zpět, což vlastně představuje hodnotu, kterou se pro matici plateb násobí sazba představující náklady na jednu jízdu z depa na linku nebo zpět. Označení polí *N/2*, resp. *N/4* znamená, že některá pole celé tabulky jsou označena *N* a ostatní příslušnou hodnotou. Číslo je uvedeno pouze v případě, že v daném depu je možné garážovat vozidla typu KT8 a tato vozidla je současně možné provozovat na příslušné lince.

Pokud se počet přidělených vozidel typu *k* z depa *i* na linku *j*, kde je potřebné vozidlo skupiny *l* označí x_{ij}^{kl}, je možné sestavit model lineárního programování pro daný případ:

$$\sum\sum\sum\sum x_{ij}^{kl} \cdot c_{ij}^{kl} \cdot n^l = f(min) \qquad (6)$$

$$\sum_k\sum_j\sum_l x_{ij}^{kl} \cdot \alpha^k \le c_i \quad pro \forall\, i \qquad (7)$$

$$\sum_i\sum_j\sum_l x_{ij}^{3l} = t \quad , \quad i \in K, j \in T \qquad (8)$$

$$\sum_i\sum_k x_{ij}^{kl} = P_j^l \quad , \quad pro \forall\, j\ a\ l \qquad (9)$$

$$x_{ij}^{kl} \in N \quad , \quad pro \forall\, i, j, k, l\ . \qquad (10)$$

Účelová funkce (6) minimalizuje hodnotu kritéria – celkové vlakové kilometry ujeté vozidly v prázdném stavu. Vztah (7) omezuje počet přidělených vozidel z jednotlivých dep tak, aby nebyla překročena jejich remízovací kapacita. Rovnice (8) zaručuje využití všech vozidel typu KT8. Všechny vztahy (9) omezují řešení tak, aby bylo na každou linku přiděleno přesně tolik vozidel jednotlivých skupin, kolik je jich potřeba. Poslední výraz (10) zabezpečuje, aby nalezené počty přidělených vozidel byla celá kladná čísla.

5. HABROVA FREKVENČNÍ METODA

Pro určení suboptimálního řešení byla vybrána Habrova frekvenční metoda.

Tato metoda má tu výhodu, že jsou jednotlivé proměnné (s určitou sazbou) určovány v závislosti na sazby v ostatních polích v řádku a sloupci. Je metodou snadnou a časově nenáročnou. Její konečné řešení je celočíselné povahy. Při této metodě se postupuje ve 3 krocích.

1. Vypočítají se prvky matice frekvencí Z podle vzorce:

$$z_{ij} = m_j \times n_i \times c_{ij} - n_i \times \sum_{i=1}^{m_j} c_{ij} - m_j \times \sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} \qquad (11)$$

m_j ......počet prvků ve sloupci

n_i........počet prvků v řádku.

2. Prvky matice frekvencí se seřadí vzestupně.
3. Vezme se první prvek v pořadí (z_{ij}). Určí se množství x_{ij}, které se rovná menší hodnotě z disponibilních množství a_i a b_j. Dále upravíme okrajové podmínky tak, že $a_i = a_i - x_{ij}$ a $b_j = b_j - x_{ij}$. V případě, že $a_i = 0$, vyřadí se všechna neobsazená pole v řádku i z pořadí prvků matice frekvencí. Pokud $b_j = 0$, pak se vyřadí všechna neobsazená pole ve sloupci j. Existuje-li, přejde se k dalšímu prvku v pořadí a pokračuje se určením množství x_{ij}.

Při ověřování naprogramované metody na konkrétním příkladě došlo k tomu, že nebyl vyčerpán disponibilní počet vozidel typu KT8 a dané potřeby na linkách byly pokrývány vozidly 2*T3. To samozřejmě nevyhovuje podmínkám úlohy. Bylo to zaviněno tím, že již ze zadání a rovnice (11) vyplývá, že prvky reprezentující vozidla typu 2*T3 jsou obsazována dříve než prvky typu vozidla KT8. Tento problém lze odstranit zvýhodněním prvků, které reprezentují možné nasazení vozidel typu KT8. Realizace původní myšlenky, a to obsadit nejdříve pole reprezentující vozidla typu KT8 a potom ostatní, nedávala dobré výsledky kritéria. Bylo proto přistoupeno k druhé možnosti, a to té, že došlo k částečnému posunu těchto polí v pořadí prvků matice frekvencí. Toho lze dosáhnout tím, že při výpočtu frekvence jednotlivých prvků podle vzorce 11, se dosáhne její snížení u daných prvků tak, že se zvolí v řádku reprezentujícím tyto prvky ($i \in K$, $k=3$) větší hodnota počtu prvků v tomto řádku.

Jak velkou hodnotu počtu prvků v daném řádku zvolit? Je to hodnota, která:

- zaručuje využití všech vozidel typu KT8,
- dává minimální hodnotu kritéria po provedení výpočtu.

6. POTŘEBNÉ VSTUPY DO ŘEŠENÍ

Z matematického modelu vyplývají potřebné vstupní údaje. Ty lze rozdělit do tří skupin: údaje o linkách, depech a síti a vzdálenostech na ní.

6.1 Linky

Pro každou linku bylo potřebné znát:

- trasy jejího vedení pro výpočet vzdáleností,

- počet potřebných vozidel v členění na jednotlivé skupiny a případy pracovní den a sobota + neděle,
- možnost provozu vozidel typu KT8 na lince.

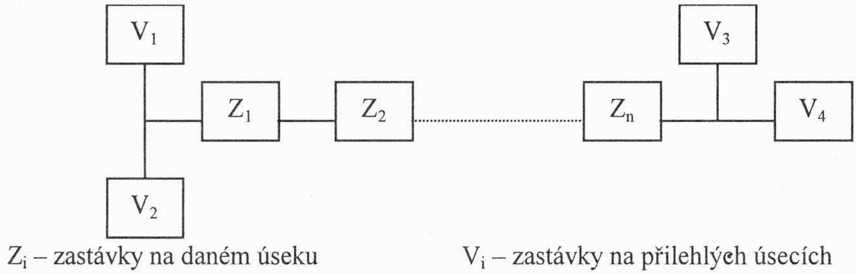
6.2 Depa

Pro každé depo bylo nutné získat tyto údaje:
- umístění na síti,
- možnost garážování vozidel typu KT8 v depu a jejich počet v provozu,
- remízovací kapacitu depa, popř. kolik vozidel je možné z této kapacity využít (členění na jednotlivé typy a případy pracovní den, sobota a neděle).

6.3 Síť a výpočet vzdáleností

Dalším potřebným vstupem do modelu jsou sazby za jízdu vozidla z depa na linku. Poskytnuté materiály týkající se sítě, nebyly ve tvaru využitelném pro řešení, zejména z důvodu nemožnosti určování vzdáleností pomocí metod teorie grafů. Bylo potřebné provést její transformaci.

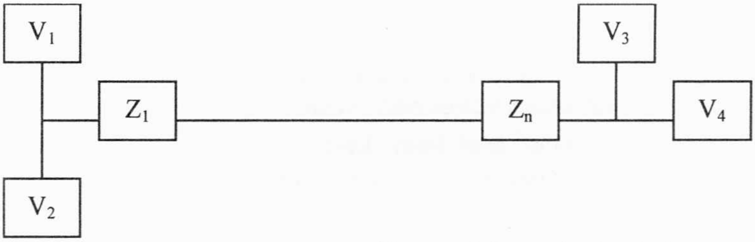
Transformace sítě tramvajové dopravy



***Obr. 2** Schématické znázornění části původní sítě.*

Síť tramvajové dopravy je možné definovat jako orientovaný graf.

Vrcholy grafu jsou v daném případě vybrané zastávky sítě a vozovny. Za vrcholy grafu byly vybrány pouze některé zastávky proto, aby byla co nejkratší doba výpočtu. Kritériem pro vybrání zastávky za vrchol grafu byla její poloha na síti. Vybrány byly především ty, které jsou umístěny jako krajní na každém úseku sítě. Tato transformace je nazvána jako transformace 1. typu.

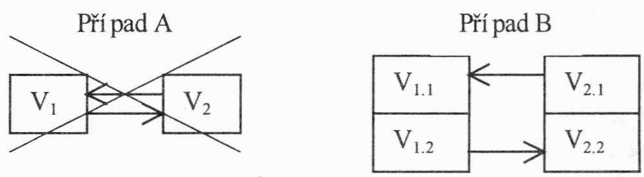


Z_i – zastávky na daném úseku
V_i – zastávky na přilehlých úsecích

***Obr.** 3 Schématické znázornění části sítě po transformaci 1. typu.*

Každou zastávku je nutné reprezentovat dvěma vrcholy, aby bylo možné nacházet vzdálenosti v grafu bez možnosti změny směru jízdy ve vrcholu (transformace 2. typu).

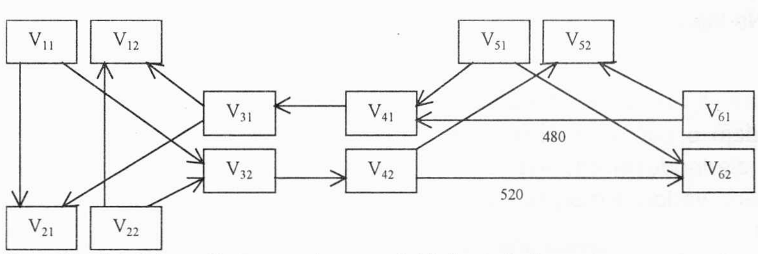
Na obr. 4 je vidět, že případ A nevyhovuje charakteru úlohy, protože umožňuje nalézt orientovaný sled v grafu (*V1,[V1,V2],V2, [V2,V1],V1*), který nevyhovuje z technologického hlediska (nutná změna směru jízdy). Je proto nutné každý vrchol rozdělit na dva samostatné (Případ B). V tomto grafu poté můžeme nalézt pouze orientovaný sled, který vyhovuje směru jízdy kompletů po síti.



***Obr.** 4 Schématické znázornění transformace 2. typu.*

Hranami grafu jsou úseky sítě mezi vrcholy. Ohodnocením hrany je délka hrany, která udává vzdálenost příslušných dvou vrcholů.

Dále je třeba podotknout, že obr. 2 a obr. 3 jsou schématickým vyjádřením sítě, nikoliv grafem. Bylo uvedeno, že vrcholy grafu budou zastávky nebo vozovny a hranami budou úseky mezi nimi. Graf základní situace z obrázku 2 bude tedy po všech změnách vypadat takto:



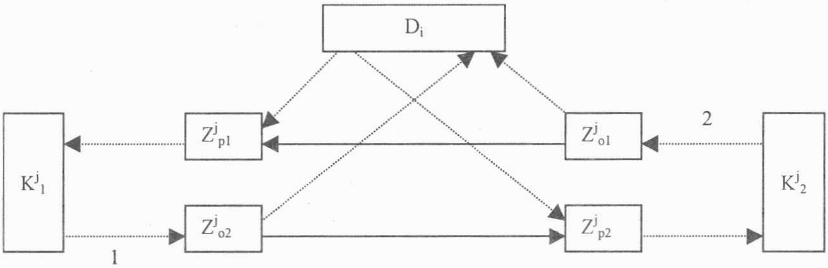
Pozn. Ve výsledném grafu jsou uvedeny pro přehlednost ohodnocení pouze u dvou hran.

***Obr. 5** Graf reprezentující část původní sítě.*

Určení vzdáleností mezi depy a linkami

Pro výpočet vzdáleností, které vozidla překonávají prázdná, a které byly určeny jako kritérium, je dobré analyzovat situaci vzájemného vztahu depa a důležitých vrcholů na lince.

Pozn. pololinkou nazveme část trasy linky. Výchozí zastávka jedné pololinky je konečnou zastávkou druhé pololinky dané linky a naopak.



1, 2	číslo pololinky,
Z^j_{p1}, Z^j_{p2}	nejbližší zastávky na lince j při jízdě soupravy z depa na první spoj jedoucí na dané pololince
Z^j_{o1}, Z^j_{o2}	nejbližší zastávky na lince j při jízdě soupravy z posledního spoje jedoucího na dané pololince do depa
K^j_1, K^j_2	počáteční zastávky daných pololinek linky j
D_i	depo

***Obr. 6** Vzájemný vztah depa a linky.*

Z obrázku je patrné, které jízdy jsou jízdami prázdnými. Existují dvě varianty při nástupu soupravy na první spoj turnusu. Tyto varianty se liší podle toho, jestli jede první spoj v trase pololinky 1 nebo 2. Prázdné jízdy potom budou v úsecích $D_i - Z^j_{p1}$ (pokud jede první spoj v trase pololinky 1) a $D_i - Z^j_{p2}$ (pokud jede první spoj v trase pololinky 2). Tyto jízdy se nazývají přístavnými. Rovněž při návratu soupravy do depa z posledního spoje existují dvě možnosti lišící se podle toho, zda jede poslední spoj v trase pololinky 1 nebo 2. Prázdné jízdy potom budou v úsecích Z^j_{o1} - D_i (pokud jede poslední spoj v trase pololinky 1) a Z^j_{o2} - D_i (pokud jede poslední spoj v trase pololinky 2). Těmto jízdám se říká odstavné.

Z výše uvedeného vyplývá, co je třeba znát pro každý turnus, aby bylo možné určit počet ujetých prázdných kilometrů pro tento turnus. Jsou to:

1. Linka, jejíž spoje turnus obsluhuje.
2. Depo přidělující na daný turnus soupravu.
3. Ze které výchozí zastávky linky (na které pololince) vyjíždí první spoj.
4. Na které konečné zastávce linky (na které pololince) končí poslední spoj.

Vzhledem k manuálně náročnému zjišťování údajů v bodě 3 a 4 bylo využito souhrnných údajů o počtu přidělovaných souprav z každého depa na jednotlivé linky. Bylo možné použít zjednodušeného výpočtu prázdné ujeté vzdálenosti, neboť koleje tramvajové sítě obou směrů vedou s malými výjimkami souběžně, a proto jsou minimální rozdíly ve vzdálenostech.

$$L_i^j = 2 \times l_i^j \times n_i^j \tag{12}$$

$$l_i^j = \frac{d\left[D_i, Z_{p1}^j\right] + d\left[D_i, Z_{p2}^j\right] + d\left[Z_{o1}^j, D_i\right] + d\left[Z_{o2}^j, D_i\right]}{4} \tag{13}$$

$$d\left[D_i, Z_{p1}^j\right] = \min_{z \in M_{1,j}} \{d[D_i, z]\} \tag{14}$$

$$d\left[D_i, Z_{p2}^j\right] = \min_{z \in M_{2,j}} \{d[D_i, z]\} \tag{15}$$

$$d\left[Z_{o}^j, D_i\right] = \min_{z \in M_{,j}} \{d[z, D_i]\} \tag{16}$$

$$d\left[Z_{o2}^j, D_i\right] = \min_{z \in M_{2,j}} \{d[z, D_i]\} \tag{17}$$

L_i^j celkový počet ujetých prázdných kilometrů za všechny vozidla vyjíždějící z depa *i* na linku *j*,
l_i^j průměrná vzdálenost depa *i* na linku *j*,
n_i^j počet souprav vyjíždějících z depa *i* na linku *j*,
$M_{1,j}$; $M_{2,j}$ množina zastávek linky *j* v trase dané pololinky.

Celkový počet ujetých prázdných kilometrů za všechna vozidla vyjíždějící z depa *i* na linku *j* se vypočte jako dvojnásobek (každý turnus obsahuje přístavnou i odstavnou jízdu) průměrné vzdálenosti depa *i* na linku *j* vynásobené počtem souprav vyjíždějících z depa *i* na linku *j* (u souprav vyjíždějících ve špičkách všedního dne musíme počítat se dvěma výjezdy za den). Průměrnou vzdálenost depa *i* na linku *j* určíme zjednodušeně jako aritmetický průměr vzdáleností všech 4 variant přístavných a odstavných jízd.

Vzdálenost z depa na jednotlivé pololinky je možné chápat jako minimální hodnotu ze vzdáleností z tohoto depa na všechny zastávky této pololinky. Analogicky vzdálenosti z pololinek do dep jsou minimálními hodnotami ze vzdáleností mezi všemi zastávkami dané pololinky a depem. Pro určení délky přístavných a odstavných jízd, je tedy potřebné určit vzdálenosti mezi depy a zastávkami sítě a mezi zastávkami a depy. Protože jak depa, tak zastávky jsou vrcholy grafu, je výše uvedený problém problémem nalezení minimální cesty mezi dvěma libovolnými vrcholy sítě. K určení těchto vzdáleností byl využit Dijkstrův algoritmus.

7. ZÁVĚR

Popsaná teorie byla využita v praktickém příkladě při optimalizaci prázdných jízd vozidel elektrických drah Praha. Oproti skutečnému stavu v grafikonu tramvajové dopravy platnému do 8. 11. 1998 došlo ke snížení počtu najetých prázdných vlakových kilometrů:

- v pracovní den na 95% současného stavu,
- v sobotu a neděli přibližně na 75 % současného stavu.

Řešení problému bylo značně zjednodušeno tím, že:

- vozidla jsou pevně přidělena jednotlivým depům, což znamená, že se vozidlo vrací do téhož depa, ze kterého vyjelo,

- turnusy jsou tvořeny pouze ze spojů jedné linky,
- vozidla jsou během dne přidělena stejným linkám, což znamená, že posilová vozidla obsluhují v dopolední i odpolední špičce spoje jedné linky,
- během dne existuje takový časový okamžik, kdy jsou provozu všechna vozidla.

Statický model uvedený v tomto příspěvku řeší pouze tuto zjednodušenou situaci. Pro složité příklady by bylo potřebné využít dynamického modelu.

Lektoroval: RNDr. Antonín Tuzar, CSc.
Předloženo v listopadu 1998.

Literatura

[1] Kolektiv autorů: Optimalizace prázdných jízd vozidel ED Praha, Studie, Univerzita Pardubice – Přepravní laboratoř, Pardubice, září 1998.

Resumé

VYUŽITÍ METOD OPERAČNÍHO VÝZKUMU PŘI NASAZOVÁNÍ VOZIDEL MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY

Milan PODOLÁK

Článek se zabývá časovou spolehlivostí veřejné regionální dopravy. Je zde popsán obecný model GOP - 1 [1] na síťových grafech.

Summary

APPLICATION OF OPERATING RESEARCH'S METHODS TO CITY TRANSPORTVEHICLE'S ALLOCATION

Milan PODOLÁK

The article deals with minimize of empty transpose of city transport's vehicles. The model of linear programming for better yards and vehicle's types is stated. The Habr's frequency method to find solution of transport problem is presented in detail. Transformation of tram network to distance's calculations by dint of operating research's methods is sketched.

Zusammenfassung

DER METHODEN VON DER OPERATIONSVORSCHUNG FÜR DIE ZUTEILUNG DER FAHRZEUGE DES STADVERKEHRS

Milan PODOLÁK

Der Beitrag löst die Minimalisation der Leerfahrten der Fahrzeuge des Stadverkehrs (MHD). Er setzt den Moden von der Linearprogramierung für mehr Depo und mehr Fahrzeugtypen. Ausführlich ist die Frequenzemethode von Hober für die Lösung des Verkehrsproblem analysiert. Die Transformation des Netz vom Strassenbahnverkehr unterstützt die Beschleunigung der Berechnungen der Entfernungen mit der Hilfe der Methoden von der Operationsvorschung.