

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE
Series B
The Jan Perner Transport Faculty
7 (2001)

K OPTIMALIZACI V INTERMODÁLNÍ PŘEPRAVĚ

Ladislav BÍNA, Vlastislav MOJŽÍŠ, Antonín TUZAR

Katedra technologie a řízení dopravy

1. Úvod

Intermodální přeprava (IP) je jedním z nosných směrů v udržitelném rozvoji dopravy [9]. V oblasti IP je však řada závažných problémů, které je potřebné řešit objektivními prostředky, jež vedou k jejich optimalizaci [7]. K tomu účelu jsou vhodné modifikované metody operačního výzkumu (teorie grafů [5,6], lineární programování aj.). Příspěvek pojednává o řešení úlohy optimalizace rozmístění terminálů IP a úlohy optimalizace rozvozu a svozu přepravních elementů (kontejnerů, výměnných nástaveb) v atraktivním okruhu terminálu IP [8].

2. Úloha optimálního rozmístění terminálů IP

Pro návrh optimálního rozmístění terminálů, určených k překládce přepravních elementů mezi dálkovou (železniční, vodní) dopravou a silniční dopravou na kratší vzdálenosti lze jako jedno z hledisek použít kritérium pro lokaci daného počtu stanic pro obsluhu uzlů na dopravní síti. Silniční síť použitelnou pro svoz a rozvoz přepravních elementů na uvažovaném území lze znázornit (pro jednoduchost) neorientovaným grafem s délkově ohodnocenými hranami [5, 6] :

$$S = (V, H, d) \quad (1)$$

kde:

- V množina uzlů (vrcholů),
 H množina úseků (hran),
 d délkové ohodnocení úseků sítě .

Z množiny V mají v dané úloze význam pouze podmnožiny K uzlů, ve kterých mohou být umístěny terminály a podmnožina Z uzlů, v nichž jsou potenciální zákazníci IP. Množina K sestává z těch uzlů z V , které jsou zároveň uzly dálkové (např. železniční) dopravy, nebo které lze k takovým uzlům snadno připojit (např. vlečkou). Uzly se označí malými písmeny u, v, \dots , jejich nejkratší vzdálenosti v síti S se označí $d(u, v), \dots$ a symbol Z_t představuje předem určený atraktivní obvod uzlu $t \in K$. Očekávaný průměrný počet jízd pro obsluhu uzlu z během zvoleného období (např. za měsíc) se označí $w(z)$. Vzniká pak tato úloha: Pro dané n nalézt *n-prvkovou* podmnožinu $T \subset K$ uzlů sítě S , pro kterou nabývá svého minima funkce:

$$F(T) = \sum_{t \in T} \sum_{z \in Z_t} w(z) \cdot d(t, z) \quad (2)$$

kde:

- T hledaná podmnožina prvků sítě S
 t prvky množiny T
 Z_t množina uzlů, ve které se nacházejí zákazníci
 z prvky množiny Z_t
 $w(z)$ očekávaný průměrný počet jízd k zákazníkovi z
 $d(t, z)$ délkové ohodnocení úseku z t do z .

K řešení této úlohy lze využít např. následující modifikaci interaktivního heuristického algoritmu lokace středisek obsluhy, který obecně vede k suboptimálnímu řešení:

Krok 1: Volba počátečního řešení. Zvolí se množina T_n po dvou různých uzlů t_1, \dots, t_n z K a označí se:

$$N = K - T_n \quad (3)$$

množina neprozkoumaných uzlů. Položí se $i = 0$ (pomocný indikátor) a pokračuje se krokem 2.

Krok 2: Rozhodujeme, zda

- $N = \emptyset$, pokračuje se krokem **K3**,
- $N \neq \emptyset$, zvolí se $v \in N$ a nahrazují se postupně uzly $t_j \in T_n$ tímto uzlem. Tím vzniknou množiny:

$$T_n^j = T_n - \{t_j\} \cup \{v\} \quad \text{pro } j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Pro tyto množiny se vypočte $f(T_n^j)$ a určí j^* , pro které

$$f(T_n^{j^*}) = \min_{j=1, \dots, n} f(T_n^j) \quad (5)$$

Je-li $T_n^{j^*} \in N(T_n)$, vyloučí se uzel v z množiny A a opakuje se krok 2.

Je-li $T_n^{j^*} \notin N(T_n)$, vytvoří se nová množina.

$$T_n^{(nová)} = T_n - \{t_{j^*}\} \cup \{v\} \quad (6)$$

vyloučí se uzel v z množiny N , položí se $i = 1$ a opakuje se pro novou množinu terminálů $T_n^{(nová)}$ krok 2.

Krok 3: Rozhodujeme, zda

- $i = 0$, následuje krok **K4**,
- $i = 1$, položí se $i = 0$ a vytvoří se nová množina neprozkoumaných uzlů:

$$N^{(nová)} = K - T_n^{(nová)} \quad (7)$$

kde

$T_n^{(nová)}$ je naposledy určená množina v kroku 2.

Přechod na krok **K2**.

Krok 4: Naposledy určená $T_n^{(nová)}$ je suboptimální řešení úlohy.

Uvedená formulace úlohy lokace je zjednodušena mimo jiné i tím, že nepřehlídí k případnému sdružování obslužných jízd, nicméně může dát dobrou apriorní informaci o vhodnosti návrhu rozmístění terminálů, je-li jejich počet zadán.

3. Optimalizace svozu a rozvozu přepravních elementů v atrakčním okruhu terminálu IP

Atrakčním okruhem terminálu IP se nazývá část dopravní sítě, na které probíhá rozvoz a svoz ložených nebo prázdných přepravních elementů mezi terminálem a jeho zákazníky, rozmístění v uzlech dopravní sítě. Pro přidělení zákazníka do atrakčního obvodu terminálu je zpravidla splněna podmínka, že jeho vzdálenost od tohoto terminálu není větší než od ně kterého jiného.

Úlohu rozvozu a svozu z terminálu IP po silniční síti atrakčního okruhu lze obecně formulovat jako problém lineárního programování. Označí se nejprve terminál jako vrchol v_0 a jako v_1, \dots, v_n uzly silniční sítě, v nichž jsou umístěni zákazníci terminálu. Množina všech uzlů se označí $V = \{v_0, \dots, v_n\}$. Dále se označí $D = \{d\}$ množina vozidel určených pro rozvoz a svoz přepravních elementů, pro každé $d \in D$ se zavede množina požadovaných čísel okružních jízd $N(d) = \{1, 2, \dots, n_d\}$. Vzdálenosti mezi sousedními uzly v_i a v_j se označí c_{ij} a symbolem x_{ij}^{kd} se označí indikátor, který je rovný 1, právě, když vozidlo d při realizaci své k -té okružní jízdy (začínající a končící v terminálu) použije

hranu z v_i do v_j , jinak je tento indikátor roven 0 . Celková délka všech tras použitých dopravních prostředků je potom rovna:

$$F = \sum_{d \in D} \sum_{k \in N(d)} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} c_{ij} x_{ij}^{kd} \quad (8)$$

Úlohou je nalézt taková x_{ij}^{kd} pro všechna $v_i \in V$, $v_j \in V$, $d \in D$ a $k \in N(d)$, pro která je kritérium F minimální a splní ní řadu podmínek na přípustnost řešení. Jsou to tyto podmínky:

(1) Počet vozidel, která pojedou po okružní trase do kteréhokoliv uzlu je rovný počtu vozidel, která odjedou, neboli:

$$\sum_{v_i \in V} x_{ij}^{kd} = \sum_{v_j \in V} x_{jl}^{kd} \quad \text{pro všechna } j \in V, d \in D, k \in N(d) \quad (9)$$

(2) Každým uzlem projde kterákoliv okružní trasa nejvýš jednou s výjimkou terminálu:

$$\sum_{v_j \in V - \{v_0\}} x_{ij}^{kd} \leq 1 \quad \text{pro všechna } j \in V, d \in D, k \in N(d) \quad (10)$$

(3) Okružní trasy vesměs začínají a končí ve středisku, neboli:

$$\sum_{v_i \in V - \{v_0\}} x_{0i}^{kd} + \sum_{v_j \in V - \{v_0\}} x_{j0}^{kd} = 2 \quad (11)$$

(4) Není překročena maximální přípustná pracovní doba T_d dopravního prostředku d (vì tšinou nezávislá na d):

$$\sum_{k \in N(d)} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} t_{ij} x_{ij}^{kd} < T_d \quad \text{pro všechna } d \in D, \quad (12)$$

kde:

t_{ij} je doba potřebná pro přesun z v_i do v_j a pro manipulaci ve v_j .

Dále se rozlišují přepravní elementy, jejichž příjemce je určen, ty se budou nazývat plné a přepravní elementy, jejichž příjemce určen není. V druhém případě jde o prázdné, v uvedeném úloze vzájemně zamítnuté přepravní elementy, stručně jsou nazvány prázdné. Každý uzel v_i síti na počátku určování tras je charakterizován požadavky na přesun r_i plných a p_i prázdných a také na odvoz s_i plných a z_i prázdných přepravních elementů. V dalších podmínkách úlohy se označí r_{ij}^{kd} , s_{ij}^{kd} počty rozvážených a svážených plných přepravních elementů a p_{ij}^{kd} počty prázdných přepravních elementů na vozidle d v úseku (v_i, v_j) jeho k -té jízdy.

Je třeba splnit ještě tyto podmínky:

(5) Nebude překročena kapacita K_d vozidla v žádném úseku okružní trasy:

$$r_{ij}^{kd} + s_{ij}^{kd} + p_{ij}^{kd} \leq x_{ij}^{kd} \cdot K_d \text{ pro všechna } v_i \in V, v_j \in V, d \in D, k \in N(d) \quad (13)$$

(6) Rozvážené plné přepravní elementy jsou pouze vykládány:

$$\sum_{v_j \in V} r_{ij}^{kd} - \sum_{v_j \in V} r_{jl}^{kd} \geq 0 \text{ pro každé } v_j \in V - \{v_0\}, d \in D, k \in N(d) \quad (14)$$

(7) Svážené plné přepravní elementy jsou pouze nakládány:

$$\sum_{v_i \in V} s_{ij}^{kd} - \sum_{v_i \in V} s_{ij}^{kd} \geq 0 \text{ pro každé } v_j \in V - \{v_0\}, d \in D, k \in N(d) \quad (15)$$

(8) Jsou splněny požadavky všech zákazníků na rozvoz a svoz plných přepravních elementů:

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in N(d)} \left(\sum_{v_i \in V} r_{ij}^{kd} - \sum_{v_i \in V} r_{jl}^{kd} \right) = r_j \text{ pro každé } v_j \in V - \{v_0\} \quad (16)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in N(d)} \left(\sum_{v_i \in V} s_{ij}^{kd} - \sum_{v_i \in V} s_{ij}^{kd} \right) = s_j \text{ pro každé } v_j \in V - \{v_0\} \quad (17)$$

(9) V každém uzlu v_j jsou prázdné přepravní elementy vykládány jen tehdy, když jsou tam požadovány a jsou nakládány, jen když jsou k dispozici:

$$\sum_{v_i \in V} p_{ij}^{kd} - \sum_{v_i \in V} p_{jl}^{kd} \leq p_j \text{ pro každé } v_j \in V, d \in D, k \in N(d) \quad (18)$$

$$\sum_{v_i \in V} p_{ji}^{kd} - \sum_{v_i \in V} p_{ij}^{kd} \leq z_j \text{ pro každé } v_j \in V, d \in D, k \in N(d) \quad (19)$$

Podmínky (1) až (9) stačí, pokud $\sum_{v_i \in V} p_i = \sum_{v_i \in V} z_i$, jinak je třeba připojit další

podmínky, jež vyloučí rozvoz nebo svoz většího počtu prázdných přepravních elementů než je požadováno.

Řešením této úlohy je konečný výběr ukazatelů x_{ij}^{kd} , což v úlohách menšího rozsahu lze uskutečnit na počítači. Jinak existuje řada metod pro nalezení suboptimálního řešení, ve kterých se kombinuje rozvozní-svozní úloha pro plné přepravní elementy, kde situace je dosti přehledná při kapacitě $K = 1$ pro všechna vozidla a lze ji řešit v konečném mnoha krocích i pro $K = 2$. Řešení je pak doplnit tak, že začíná rozvozem nebo končí svozem plného (plných) přepravních elementů a vozidlo je možno zároveň využít pro složení nebo před naložením plného přepravního elementu k přepravě prázdných přepravních elementů v síti atraktivního okruhu. Tyto činnosti lze navrhnout řešením podstatně jednodušší úlohy lineárního programování. Jiný přístup umožňují heuristické metody, například modifikace Clarke-Wrightovy metody pro slučování elementárních tras podle ukazatelů výhodnosti.

Dlužno ještě poznamenat, že pro úlohu organizace dopravy v atrakčním obvodu kontejnerového přecladišti byl vytvořen program OPTIMA, který určuje okružní jízdy tahaèu složené nejvýše z pì ti úsekù [1].

4. Závìr

Metody operaèního výzkumu nabízejí široké možnosti jejich implementace v optimalizaci dopravních úloh, tedy také v IP. Dosud pøevážnì uplatòované subjektivní pøístupy k øešení uvedených problémù nepánázejí oèekávaný efekt a• už z hlediska lokace terminálu IP nebo v rozvozu a svozu pøepravních elementù v atrakním okruhu terminálu IP. Nutno však souèasnì podotknout, že pø optimalizaci úloh tohoto typu může existovat øada dalších omezujících podmínek, které nebyly v pøspìvku prezentovány. Napø pø rozmístìní terminálù IP může sehrát rozhodující úlohu územní plán èi aktivity ekologických organizací, pø optimalizaci rozvozu a svozu pøepravních elementù v atrakním okruhu schopnost jejich plné nebo èásteènè zastupitelnosti z hlediska jejich druhù èi možnosti jejich použití s ohledem na rùzné vlastnìky. Smyslem pøspìvku bylo poukázat na možnost a potøebu využití objektivních metod operaèního výzkumu k øešení problémù v dopravì .

Lektoroval: Doc. Ing. Karel Kavalec, CSc.

Pøedloženo: v kvìtnu 2002.

Literatura:

- [1] Janáèek, J., Slavík, J.: *Optimalizace kontejnerové dopravy v atrakním obvodu kontejnerového přecladišti*. Ekonomicko - matematický obzor 3, 1980, s. 339–346.
- [2] Skýva, L. a kol.: *Energeticky optimální øízení dopravních systémù*. Nadas Praha, 1987.
- [3] Tuzar, A., Maxa, P., Svoboda, V.: *Teorie dopravy* (skriptum), ÈVUT Praha, 1997.
- [4] *Závìreèná zpráva - Projekt V+V S 205/210/801*, DFJP, Univerzita Pardubice, 2001.
- [5] Ford, L. R. - Fulkerson, D. R.: *Flows in Networks*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1962.
- [6] Christofides, N.: *Graph Theory - an Algorithmic Approach*. Management Science Imperial College London, Academic Press London, London 1975.
- [7] Mojžíš, V. a kol.: *Teoretické základy technologie a øízení kombinované dopravy*. Grant Grantové agentury Èeské republiky. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Pardubice 1996.
- [8] Mojžíš, V. a kol.: *Kvalita dopravních a pøepravních procesù a služeb*. Výroènì zpráva o øešení projektu institucionálního výzkumu v roce 2001. Dopravní fakulta Jana Pernera, Pardubice 2001.
- [9] Komise evropských spoleèenství: *Bílá kniha – Evropská dopravní politika pro rok 2010: èas rozhodnout*. Èeské dráhy, s. o., odšitì pný závod DATIS, Praha 2001.

Resumé

K OPTIMALIZACI V INTERMODÁLNÍ PŘEPRAVĚ

Ladislav BÍNA, Vlastislav MOJŽÍŠ, Antonín TUZAR

Intermodální přeprava je jedním z nosných směrů v udržitelném rozvoji dopravy. V oblasti intermodální přepravy je však řada závažných problémů, které je potřeba řešit objektivními prostředky, jež vedou k optimálnímu či suboptimálnímu řešení. K tomu účelu jsou vhodné modifikované metody operačního výzkumu (zejména teorie grafů, lineární programování aj.). Příspěvek pojednává o optimalizaci řešení úlohy rozmístění terminálů IP a optimalizace úlohy rozvozu a svozu přepravních elementů v atraktivním okruhu terminálů IP. Autoři přispívají také upozorují na obtížnost až nemožnost vyjádřit je podmínkami matematicky.

Summary

ABOUT OPTIMIZATION IN INTERMODAL TRANSPORT

Ladislav BÍNA, Vlastislav MOJŽÍŠ, Antonín TUZAR

Intermodal transport represents one of basic trends in the maintainable development of transport. But in the sphere of the intermodal transport there exists a series of serious problems, which have to be solved using objective means, that lead to the optimal or suboptimal solution. For this purpose some modified methods of operations research are suited. The contribution gives an account of two such methods. In section 2. the algorithm for suboptimal dislocation of intermodal transport terminals is introduced. The considered criterion of optimality expresses the minimal total length of rides taken by the transport service of all terminals in a given period of time. The method is based on the slightly adapted heuristic algorithm by Hakimi, where only certain, usually not numerous subset of nodes is taken into account as set of potential terminals.

In section 3. a more detailed mathematical model of the movement of transport means in the range of activity of a terminal is derived. This model consists of the criterion of optimality, expressing the total length of routes passed by vehicles, both loaded and empty, and of restricting conditions, expressing the admissibility of solutions in the form of equalities and inequalities.

These restrictions follow from the equality of the number of vehicles arriving to and departing from every node, from the complementary demand, that each circular route passes through the nodes only once, with exception of the terminal, where all circular routes begin and end. Moreover there exist some limit for the time spent by a vehicle outside of the terminal and also the capacity of vehicle, usually the integer number of containers loaded on a vehicle is limited and the supplies and demands of in customers nodes are fulfilled. Both the criterion and the complementary conditions in the model are linear, therefore the problem can be solved, at least theoretically, using linear programming methods. As the dimensionality of this problem is usually large, some simplification with asking for only suboptimal solution based on heuristic methods is there desirable. Finally the authors draw attention to difficulties connected with mathematical expression of complementary restrictions, that may follow from special demands to the environment and from specific properties of the region, where the terminal is situated.

Zusammenfassung

ZUR OPTIMIERUNG IM INTERMODALEN VERKEHR

Ladislav BÍNA, Vlastislav MOJŽÍŠ, Antonín TUZAR

Der intermodale Transport stellt eine von fundamentalen Tendenzen in der haltbaren Entwicklung des Verkehrs dar. Im Bereich des intermodalen Transports gibt es eine ganze Reihe der wichtigen Probleme, welche soll man lösen mit Hilfe der objektiven Mittel, die führen zur optimalen oder suboptimalen Lösung. Zweckentsprechend sind hier die modifizierte Methoden der Operationsvorsehung (namentlich die Methoden der Graphentheorie, der linearen Programmierung und andere). Der Beitrag behandelt die Optimierung im Problem der Unterbringung der Terminale von Intermodaltransport und die Optimierung der Auseinanderführung und Miteinanderführung der Transportelemente im Wirkungskreis eines Terminals. Die Verfasser machen auch die Beschwerlichkeit der mathematischen Äußerung mancher einschränkender Bedingungen aufmerksam.