

NĚKOLIK ZKUŠENOSTÍ S VYUŽITÍM METOD LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ PŘI PLÁNOVÁNÍ DOPRAVNÍHO ZABEZPEČENÍ PLOŠNÉ EVAKUACE OBYVATELSTVA

Jan Daněk^{1*)}, Dušan Teichmann²⁾

ABSTRAKT

Předložený článek obsahuje lineární matematické modely pro dopravní zajištění evakuace. Experimenty byly zatím prováděny na úlohách menších rozsahů.

Klíčové slová: zóny havarijního plánování, evakuace, matematické modelování,

ABSTRACT

There are the linear mathematical models for evacuation of citizens presented in this paper. The experiments are applied to some tasks of lesser range yet.

Key words: emergency planning zone, evacuation, mathematical modelling

1 ÚVOD

Problematika plánování plošné evakuace civilního obyvatelstva spadá v ČR do problematiky ochrany obyvatelstva. Plošná evakuace obyvatelstva probíhá podle [1] z území ohrožených mimořádných událostí, kterými jsou zejména radiální a jiné kategorie průmyslových havárií, povodně, ohrožení státu a válečný stav. Náš příspěvek je věnován plánování evakuace vtzv. zónách havarijního plánování, tj. oblastech, ve kterých může dojít k ohrožení civilního obyvatelstva vlivem mimořádné události průmyslového charakteru.

Pro každou zónu havarijního plánování je vypracován vnější havarijní plán, jehož součástí je také plán evakuace obyvatelstva. Evakuace může probíhat buď

1) prof. Ing. Jan Daněk, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ostrava-Poruba, 17.listopadu 15/2172, tel. 597321229, fax. 596916490, e-mail jan.danek@vsb.cz

2) Ing. Dušan Teichmann, Ph.D., VŠB-TU Ostrava VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ostrava-Poruba, 17.listopadu 15/2172, tel. 597324575, fax. 596916490, e-mail dusan.teichmann@vsb.cz

formou samoevakuace (zpravidla prostředky IAD) nebo hromadnými dopravními prostředky, přičemž je žádoucí, aby jejich nasazování probíhalo v souladu s co nejúčelnější obsluhou evakuované zóny. Je důležité také uvést, že ochrana obyvatelstva formou evakuace se provádí v kombinaci s ukrytím obyvatelstva, přičemž v konkrétních případech se volí vždy ten způsob, který obyvatelstvo méně ohrozí. Příkladem kombinace forem ochrany, kterými jsou evakuace a ukrytí, může být informace uveřejněná např. ve zdroji [3], kdy je přímá evakuace obyvatelstva ze zóny havarijního plánování vymezené v okolí Jaderné elektrárny Dukovany naplánována pouze pro tzv. předúnikovou fázi radiační havárie nebo až v poúnikové fázi radiační havárie (po průchodu radioaktivního oblaku). Hrozí-li zasažení civilního obyvatelstva radioaktivním oblakem, je před evakuací preferováno ukrytí. Na průběh evakuace mohou být kladeny různé požadavky, v souvislosti se zónami havarijního plánování patří k základním požadavkům kladeným na evakuaci požadavek, aby evakuace proběhla co nejrychleji, při respektování omezení plynoucích z funkčnosti disponibilní dopravní infrastruktury [4].

V předloženém článku budou prezentovány lineární modely, které mohou napomoci zefektivnění plánování výše zmiňovaného procesu plošné evakuace. Lineární modely mají tu výhodu, že jsou poměrně dobře řešitelné a to do úloh značných rozsahů. V úloze se předpokládá dostačující vozidlový park. Dalším předpokladem, který musí být splněn, je předpoklad, že ubytovací a ostatní kapacity jsou v evakuačních střediscích rozmístěny tak, aby každá z evakuovaných obcí byla kapacitně přiřaditelná alespoň jednomu z daných evakuačních středisek.

Další varianty matematických modelů je možno najít např. v [5]. V této souvislosti je zapotřebí upozornit i na počítačové podpůrné nástroje, které je možno najít např. v [6].

2 MATEMATICKÉ MODEL Y

2.1 MODEL 1

Jako první bude prezentován poměrně jednoduchý model publikovaný v článku [7]. Je dáno území, na kterém je vybudováno m evakuačních středisek, přičemž kapacita evakuačního střediska S_i v počtu přijímaných autobusů bude označena symbolem a_i , kde $i = 1, \dots, m$, dále je známo n evakuovaných obcí, přičemž u každé evakuované obce O_j bude definován její požadavek na počet autobusů b_j , kde $j = 1, \dots, n$, které jsou potřebné k realizaci evakuace. Dále je známa matice dob evakuace T , ve které prvek t_{ij} reprezentuje dobu evakuace do evakuačního střediska S_i z evakuované obce O_j . Máme rozhodnout o přiřazení evakuovaných obcí evakuačním střediskům, přičemž cílem optimalizace je minimalizace doby evakuace z časově nejhůře dostupné obce. Do úlohy zavedeme dva typy proměnných, a to proměnnou x_{ij} modelující přiřazení evakuované obce O_j evakuačnímu středisku S_i a proměnnou h , která bude modelovat maximální dobu evakuace.

Především je třeba odpovědět na otázku, jaký evakuační plán bude považován za přípustný. Přípustným řešením bude takový plán, v němž bude každá

z evakuovaných obcí přiřazena právě jednomu evakuačnímu středisku, přičemž v rámci přiřazení nesmí být kapacita žádného z evakuačních středisek překročena. Zapotřebí je ještě uvést, že nutnou podmínkou řešení úlohy je pochopitelně skutečnost, že v evakuačních střediscích máme k dispozici dostatečný počet míst pro obyvatelstvo z evakuovaných obcí.

Obecný matematický model 1 bude mít při respektování výše uvedených omezení tvar :

$$\min f(h) = h \quad (1)$$

za podmínek

$$t_{ij} x_{ij} \leq h, \text{ pro } i = 1, \dots, m \text{ a } j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \text{ pro } j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n b_j x_{ij} \leq a_i, \text{ pro } i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \text{ pro } i = 1, \dots, m \text{ a } j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$h \geq 0 \quad (6)$$

Výraz (1) představuje účelovou funkci, omezující podmínky (2) časově omezují shora dobu evakuace obyvatelstva z evakuované obce O_j do evakuačního střediska S_i a zároveň vytvářejí vazbu mezi soustavou omezujících podmínek a účelovou funkcí. Omezující podmínky (3) zajistí, aby každá evakuovaná obec byla v rámci evakuace přiřazena právě jednomu evakuačnímu středisku, omezující podmínky (4) zajistí, aby kapacita žádného z evakuačních středisek nebyla v důsledku přiřazení evakuovaných obcí překročena. Omezující podmínky (5) a (6) jsou podmínkami obligatorními.

2.2 MODEL 2

Na základě modelu (1)-(6) byl sestaven podrobnější model, který byl publikován v [8]. Zohledňuje omezení formulovaná v případě modelu 1, na rozdíl od předchozího modelu však umožňuje pracovat s heterogenním vozidlovým parkem (pro zjednodušení se předpokládá, že doba evakuace nezávisí na typu vozidla) a kromě přiřazování obcí evakuačním střediskům umožňuje rozhodovat o tocích vozidel podle jednotlivých typů mezi všemi stanovišti významnými z hlediska evakuace (stanoviště, ze kterých vozidla k provedení evakuace vyjíždějí, evakuované obce a evakuační střediska). Optimalizační kritérium zůstalo nezměněno včetně cíle optimalizace. Protože je model 2 zcela součástí třetího modelu, z důvodu úspory místa jej v předloženém článku vynecháme.

2.3 MODEL 3

Je zatím nejrozpracovanější variantou předchozích modelů. V zásadě obsahuje celý model 2. Protože však u tohoto modelu v rámci provádění experimentů vyplynul určitý nedostatek a to, že řešící algoritmus nepřihlížel při přiřazování vozidel, jimiž měla být evakuace provedena, evakuovaným obcím, k dalším aspektům, jako např.

vytíženosti vozidel stávalo se, že v rámci přiřazení byla některým evakuo vaným obcím přidělena zbytečně velká kapacita vozidel. Protože však obsahuje celou řadu vstupních veličin, které nejsou v modelu 1 obsaženy, uvedeme znovu formulaci celého problému.

Ve zvoleném území se nachází množina obcí K , ze kterých má být obyvatelstvo evakuováno, množina stanovišť J , ze kterých vozidla vyjíždějí k provedení evakuace a množina evakuačních středisek L . K evakuaci máme množinu typů vozidel I . Pro každé stanoviště $j \in J$ je k dispozici údaj a_{ij} , který vyjadřuje počet vozidel typu $i \in I$, které mohou k evakuaci obyvatelstva z uvedeného stanoviště odjíždět. Pro každou obec $k \in K$ je k dispozici informace b_k , která vyjadřuje požadavek obce na přistavení počtu míst určených pro evakuaci obyvatelstva, které se neevakuuje formou samoevakuace. Pro každé evakuační středisko $l \in L$ známe údaj q_l vyjadřující jeho kapacitu. Pro každou dvojici stanoviště $j \in J$ - obec $k \in K$ je známa doba jízdy vozidla t_{1jk} , pro každou dvojici obec $k \in K$ - evakuační středisko $l \in L$ je známa doba jízdy t_{2kl} . Za účelem získání optimálních rozhodnutí zavedeme do modelu proměnné x_{ijk} , které budou reprezentovat počet vozidel typu $i \in I$ jedoucích ze stanoviště $j \in J$ do evakuované obce $k \in K$, proměnné y_{ikl} představující počet vozidel typu $i \in I$ jedoucích z evakuované obce $k \in K$ do evakuačního střediska $l \in L$, proměnnou h reprezentující maximální dobu, která uplyne od obdržení informace o nutnosti provedení evakuace do okamžiku příjezdu posledního vozidla do určeného evakuačního střediska a proměnnou r_k reprezentující nevyužitý počet míst ve vozidlech přistavených do obce $k \in K$. V modelu se dále vyskytují dvě skupiny pomocných proměnných, a to proměnné w_{jk} a z_{kl} zajišťující provázanost tras vozidel vedoucích ze stanoviště $j \in J$ do evakuované obce $k \in K$ a následně do evakuačního střediska $l \in L$ s proměnnou h . Proměnná z_{kl} bude dále modelovat rozhodnutí o (ne)přiřazení obce $k \in K$ evakuačnímu středisku $l \in L$. Kladné rozhodnutí bude modelováno hodnotou 1, záporné rozhodnutí hodnotou 0.

Model 3 má dvě optimalizační kritéria. První optimalizačním kritériem bylo převzato z modelů 1 a 2, druhým optimalizačním kritériem bude celková nevyužitá kapacita vozidel nasazených k evakuaci, přičemž v rámci procesu optimalizace bude rovněž uplatněn požadavek na jeho minimalizaci.

Dvokriteriální matematický model má tvar (symbolem Z_0^+ je označena množina celých nezáporných čísel, symbolem P je označena prohibivní konstanta):

$$\min f(h) = h \quad (7)$$

$$\min f(r) = \sum_{k \in K} r_k \quad (8)$$

za podmínek

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq a_{ij} \quad \text{pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_i x_{ijk} \geq b_k \quad \text{pro } k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} = \sum_{l \in L} y_{ikl} \quad \text{pro } i \in I \text{ a } k \in K \quad (11)$$

$$x_{ijk} \leq P w_{jk} \quad \text{pro } i \in I, j \in J \text{ a } k \in K \quad (12)$$

$$y_{ikl} \leq P z_{kl} \quad \text{pro } i \in I, k \in K \text{ a } l \in L \quad (13)$$

$$\sum_{l \in L} z_{kl} = 1 \quad \text{pro } k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K} b_k z_{kl} \leq q_l \quad \text{pro } l \in L \quad (15)$$

$$t_{1,jk} w_{jk} + t_{2,kl} z_{kl} \leq h \quad \text{pro } j \in J, k \in K \text{ a } l \in L \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_i x_{ijk} = b_k + r_k \quad \text{pro } k \in K \quad (17)$$

$$x_{ijk} \in Z_0^+ \quad \text{pro } i \in I, j \in J \text{ a } k \in K \quad (18)$$

$$y_{ikl} \in Z_0^+ \quad \text{pro } i \in I, k \in K \text{ a } l \in L \quad (19)$$

$$w_{jk} \in \{0;1\} \quad \text{pro } j \in J \text{ a } k \in K \quad (20)$$

$$z_{kl} \in \{0;1\} \quad \text{pro } k \in K \text{ a } l \in L \quad (21)$$

$$h \geq 0 \quad (22)$$

$$r_k \geq 0 \quad \text{pro } k \in K \quad (23)$$

Funkce (7) reprezentuje první a funkce (8) druhé optimalizační kritérium. Omezující podmínky typu (9) zajistí, že při plánování evakuace obyvatelstva nebudou překročeny disponibilní počty vozidel podle jednotlivých typů na každém ze stanovišť, odkud vozidla k evakuaci vyjždějí. Omezující podmínky typu (10) zajistí, že do každé evakované obce bude přistaven takový počet vozidel, aby bylo možno evakuovat všechny osoby, které nevyužijí způsobu samoevakuace. Omezující podmínky typu (11) zajišťují kontinuitu toků vozidel v jednotlivých evakovaných obcích. Omezující podmínky typů (12) a (13) vytvářejí potřebné vazby mezi hodnotami toků vozidel v jednotlivých stupních a rozhodováním o vzájemné provázanosti míst podílejících se na evakuaci obyvatelstva. Omezující podmínky typu (14) zajistí, aby každá z evakovaných obcí byla přiřazena právě jednomu evakuačnímu středisku. Omezující podmínky typu (15) zajistí, aby při evakuaci nebyla překročena kapacita žádného evakuačního střediska. Omezující podmínky typu (16) vytvářejí vazbu mezi proměnnými reprezentujícími provázanost stanovišť podílejících se na evakuaci s účelovou funkcí (7). Omezující podmínky typu (17) vytvářejí vazbu mezi proměnnými reprezentujícími nevyužitou kapacitu vozidel podílejících se na evakuaci s účelovou funkcí (8). Omezující podmínky (18)-(23) jsou podmínkami obligatorními.

Zatímco pro optimalizaci hodnoty účelové funkce (7) jsou zapotřebí skupiny omezujících podmínek (9) - (16) a (18) - (22) (což mj. zcela odpovídá modelu 2), k optimalizaci hodnoty účelové funkce (8) jsou zapotřebí skupiny podmínek (9), (11), (13) - (15), (17) - (19), (21) a (23). K řešení dvoukriteriálního modelu je možno použít metodu STEM, viz např. [9].

O výsledcích konkrétních výpočetních experimentů bude podána informace v průběhu vystoupení na konferenci.

4 ZÁVĚR

Předložený článek se zabývá problematikou aplikace metod lineárního programování při plánování plošné evakuace obyvatelstva ze zón havarijního plánování. Obsahuje tři původní lineární modely lišící se od sebe počtem zohledňovaných faktorů. O výsledcích výpočetních experimentů bude podána informace v průběhu přednesení příspěvku na konferenci. Výpočetní experimenty sice zatím nebyly prováděny na úlohách větších rozměrů (několik desítek evakuovaných obcí), jak je však patrné, např. podle [2], kde jsou uvedeny příklady zón havarijního plánování, pro které se plošná evakuace plánuje, k řešení určité třídy praktických úloh jsou použitelné.

LITERATÚRA

- [1] KRATOCHVÍLOVÁ, D.: Havarijní plánování, 3. část – Plány konkrétních činností. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, SPBI, 2002. 88 s.
<http://www.fbi.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fbi/Havarijni-plano-vani-III.pdf>
- [2] Příručka pro ochranu obyvatel při radiační havárii Jaderné elektrárny Dukovany
www.trebic.cz/_files.asp?file_id=7329
- [3] Výpis z vnějšího havarijního plánu pro zónu havarijního plánování JE Dukovany
http://www.krvysocina.cz/vismo5/dokumenty2.asp?id_org=450008&id=854177&p1=34170
- [4] ŘEZÁČ, Miloslav. Dopravní infrastruktura v zátopových územích aglomerací. In *Sborník Mezinárodní konference Doprava v městských aglomeracích*. Stavebná fakulta Žilinskej univerzity, 25.-26.10.2001, s. 45 – 49. ISBN 80-7100-881-8.
- [5] JANÁČEK, Jaroslav. Optimal Evacuation Plan Design with IP-solver. *Communications*, 2009, roč. 11, č. 3, s 29-35. ISSN 1335-4205
- [6] SOUŠEK, Radovan; KOLONIČNÝ, Alois. Počítačová podpora plánování dopravního zabezpečení evakuace osob. In *Institute a zařízení regionu v systému ochrany obyvatelstva : sborník příspěvků z konference*. Univerzita obrany Brno, 19.10.2005, s. 140-147. ISBN 80-7231-029-1
- [7] TEICHMANN, Dušan. Příspěvek k problematice evakuace obyvatelstva a možnosti využití matematického modelování při jejím plánování. *Krízový management*, 2009, roč. 8, č. 1, s 91-94. ISSN 1336-0019
- [8] TEICHMANN, Dušan. Exaktní podpora plánování svozu obyvatelstva do evakuačních středisek. In *Sborník Mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva 2010*. VŠB-TU Ostrava, 3.-4.únor.2010, s. 354 – 361. ISBN 978-80-7385-080-7, ISSN 1803-7372.
- [9] FIALA, P.: Modely a metody rozhodování. Praha: Oeconomica, 2006. 292 s.. ISBN 80-245-0622-X.

Článek recenzoval:
doc. Ing. Ladislav Novák, PhD.