

## OPTIMALIZÁCIA TRASY PREPRASY PITNEJ VODY PRI NÚDZOVOM ZÁSOBOVANÍ DO MIEST UBYTOVANIA

### OPTIMIZATION OF THE DRINKING WATER TRANSPORT ROUTE AT EMERGENCY SUPPLIES TO THE PLACE OF ACCOMMODATION

Júlia MIHOKOVÁ JAKUBČEKOVÁ, Miroslav TOMEK  
Julia.Mihokova@fbi.uniza.sk, Miroslav.Tomek@fbi.uniza.sk

#### Abstract

*An inseparable part of the civil protection of the population is, besides evacuation, the solution of the emergency supply of the population too. To ensure the emergency supply populations of drinking water on incident is it necessary for the crisis management authorities to pay the utmost attention also to the issues of transport security for the transport of drinking water to the places where are accommodated evacuated persons or other places of material outgoing. Part of the evacuation traffic safety solution must be also the optimization of transport routes. Authors in the article on solution of optimization the drinking water transport route in the emergency supply of place of material outgoing were used by the Clark-Wright method.*

#### Key words

*Transport, evacuation, extraordinary, optimization, means, resort, route, event, water, facility.*

#### ÚVOD

Ochrana obyvateľstva pri vzniku mimoriadnej udalosti (ďalej len „MU“) je okrem iného riešená ukrytím alebo evakuáciou. Evakuácia obyvateľstva sa vykonáva buď s využitím príslušných evakuačných stredísk alebo samoevakuáciou. Pri evakuácii, ale aj pri samoevakuácii je potrebné do miest ubytovania evakuovaného obyvateľstva zabezpečiť v súlade s [1] dodávky pitnej vody. Treba si uvedomiť, že aj v miestach ubytovania nemusí byť dostatočné množstvo pitnej vody z vlastných zdrojov. Prípadne dodávka vody môže byť narušená vplyvom mimoriadnej udalosti. V prípade mimoriadne nepriaznivých podmienkach je toto množstvo stanovené tri po sebe nasledujúce dni na päť litrov na osobu a deň. Nasledujúce dni desať litrov na osobu a deň [1]. Z uvedeného vyplýva, že neoddeliteľnou súčasťou odborného zabezpečenia evakuácie je aj oblasť zásobovania miest ubytovania evakuovaných osôb, prípadne miest výdaja potravín, potrebného materiálu (napr. hygienických potrieb atď.) a vody (pitnej a úžitkovej). Na zásobovanie obyvateľstva budú využité najmä cestné dopravné prostriedky s vhodnou neporušenou cestnou sieťou. Zásobovanie musí byť bezpečné a rýchle. Z uvedeného dôvodu je potrebné zo strany orgánov krízového riadenia venovať pri riešení zásobovacieho zabezpečenia evakuácie aj tejto oblasti mimoriadnu pozornosť a voliť optimálne trasy za účelom prepravy potrebného množstva vody.

#### 1 NÚDZOVÉ ZÁSOBOVANIE PITNEJ A ÚŽITKOVEJ VODY DO MIEST UBYTOVANIA

Podmienkou na prežitie MU alebo krízovej situácie človekom je okrem iného aj zabezpečenie základných potravín, pitnej a úžitkovej vody pre človeka. Šancu na prežitie

ovplyvňuje aj situácia, v ktorej sa osoba postihnutá MU nachádza (napr. prostredie, počasie, fyzická a psychická odolnosť danej osoby atď.).

Pod pojmom zásobovacie zabezpečenie evakuácie je potrebné rozumieť núdzové zásobovanie evakuantov najmä základnými potravinami, pitnou vodou, hygienickými potrebami, atď. [2] Preprava uvedených komodít bude smerovať najmä do vybraných miest výdaja, ale aj do miest ubytovania evakuovaných osôb. Zásobovanie evakuantov bude ovplyvňovať celý rad faktorov, k najvýznamnejším okrem počtu osôb možno zaradiť:

- miesta spotreby vody (miesta ubytovania evakuantov, miesta výdaja vody a pod.),
- druh, množstvo a typ vozidiel, ktoré budú použité na prepravu vody,
- trasy prepravy (ich stav s dôrazom na priechodnosť, voľba čo najkratšej vzdialenosti),
- veľkosti a geografického charakteru priestoru evakuácie, atď.

Jedným z miest, kam bude potrebné zabezpečiť prepravu pitnej vody je aj miesto ubytovania evakuantov, ktoré je možno charakterizovať v súlade s [3], ako zariadenie určené na ubytovanie a dočasný pobyt evakuovaných osôb. Miesta ubytovania môžu byť zriadené vo vhodných rekreačných, kultúrnych, spoločenských, zdravotníckych, sociálnych, školských alebo iných zariadeniach, vrátane improvizovaných (stany, obytné kontajnery a pod.) vhodných na ubytovanie evakuovaných osôb. [4] V niektorých prípadoch musia byť niektoré zariadenia dodatočne zabezpečené prostriedkami na ubytovanie evakuovaných osôb, prostriedkami na prípravu stravy, výdaj pitnej vody, vykonanie základných hygienických opatrení a pod. Tieto zariadenia pre evakuované osoby okrem iného zabezpečujú:

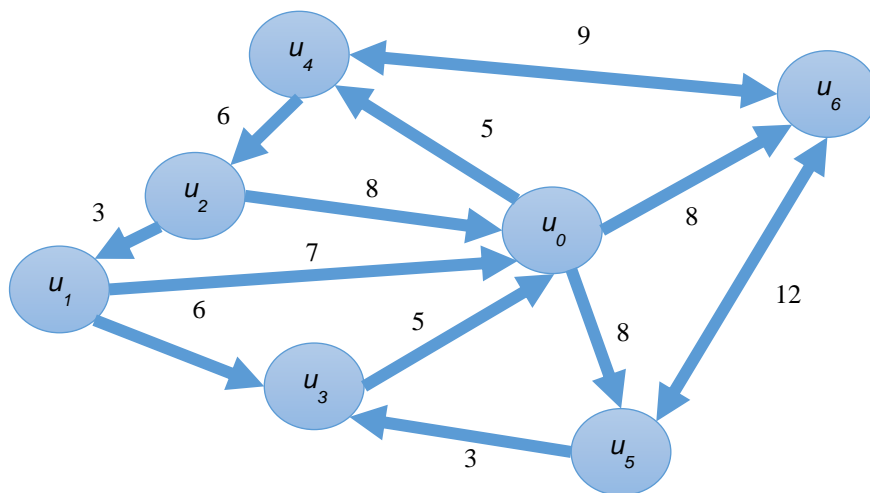
- ich príjem a ubytovanie,
- spravidla aj ich stravovanie,
- výdaj pitnej vody,
- základné hygienické zabezpečenie,
- organizáciu ich zapojenie do zásobovacieho, bezpečnostného a zdravotníckeho systému, atď.

Dodávka pitnej a úžitkovej vody do príslušných miest ubytovania (alebo iných miest výdaja) môže byť riešená rôznym spôsobom. Najčastejšie sa predpokladá s využitím miestnej verejnej vodovodnej siete. [5] V prípade jej poškodenia vplyvom MU alebo prerušením dodávky vody z iných sekundárnych dôvodov sa predpokladá zásobovanie vykonávať s využitím cestných dopravných prostriedkov (pitnej a úžitkovej vody s využitím cisternových automobilov – návesov a privesov o rôznej kapacite alebo pitnej balenej vody s využitím nákladných valníkových vozidiel, návesov, dodávkových alebo osobných automobilov – podľa počtu núdzovo zásobovaných osôb). Kalkulácia počtov uvedených dopravných prostriedkov na prepravu pitnej vody v rámci núdzového zásobovania obyvateľstva bolo autormi modelovo riešené v [6]. Ďalším možným variantom náhradného zásobovania do miest distribúcie pitnej vody je možno v rámci núdzového zásobovania pitnou vodou použitie náhradného diaľkového potrubia. [6]

## 2 OPTIMALIZÁCIA TRÁS PREPRAVY PITNEJ VODY

V rámci evakuácie ako už bolo spomenuté v úvode, je nutné orgánmi krízového riadenia riešiť aj problematiku núdzového zásobovania osôb životne dôležitými potravinami, pitnou vodou a pod. s využitím rôznych optimalizačných metód [7, 8]. Jednou z nich môže byť aj Clark – Wrightová metóda. Metóda je vhodná na určenie optimálneho množstva základných potravín, pitnej vody atď., ktoré budú dodávané do jednotlivých miest výdaja, prípadne miest ubytovania evakuantov. Súčasne je možné ju použiť aj na určenie čo najkratšej možnej prepravnej trasy tak, ako je nasledovne uvedené.

Pri riešení konkrétneho príkladu sme sa zamerali na optimalizáciu trás prepravy pitnej vody pri núdzovom zásobovaní obyvateľstva, ako životne dôležitej súčasti prežitia človeka pri MU. Predpokladajme, že minimálna potreba pitnej vody pri núdzovom zásobovaní pitnou vodou v mimoriadne nepriaznivých podmienkach bude 5 l na osobu denne [1]. Požiadavky na množstvo pitnej vody v jednotlivých miestach núdzového ubytovania sú nasledovné:  $q_1 = 19\ 000$ ,  $q_2 = 8\ 000$ ,  $q_3 = 12\ 000$ ,  $q_4 = 18\ 000$ ,  $q_5 = 7\ 000$  a  $q_6 = 14\ 000$  l. Kapacita skladu pitnej vody je 39 000 l (ide o sklad, ktorý zabezpečuje balenou pitnou vodou určité územie, ktoré vyplýva zo zmluvy o budúcej zmluve o zásobovaní v období MU medzi obcou a subjektom hospodárskej mobilizácie, v prípade väčšieho počtu ohrozených osôb, je možné využiť ďalšie subjekty). Úlohou je nájsť taký spôsob distribúcie pitnej vody, aby boli uspokojené všetky požiadavky odberateľov, aby nebola prekročená kapacita skladu a aby vzdialenosť k jednotlivým miestam ubytovania po dopravnej ceste bola minimálna. Ako vrchol  $u_0$  zvolíme miesto zdroja vody (u balenej vody sklad zásob), ktorý môže byť predurčený ako subjekt hospodárskej mobilizácie v prípade MU. Ostatné vrcholy určujú miesta ubytovania ( $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$ ).



Obr. 1

Grafické znázornenie nenarušenej dopravnej siete k jednotlivým miestam ubytovania (resp. výdajniam pitnej vody)

Prvým krokom metódy je zo zadaných vzdialeností jednotlivých vrcholov (Tabuľka 1) hľadať najkratšej vzdialenosti medzi všetkými vrcholmi siete (Tabuľka 2). Do Tabuľky 1 uvedieme konkrétne zistené hodnoty  $u_{ij}$  nasledovne:

- ak existuje cesta z uzla  $i$  do uzla  $j$  zapíšeme  $u_{ij}$ ,
- ak sa  $i = j$  neudávame žiadnu hodnotu,
- ak neexistuje cesta z uzla  $i$  do uzla  $j$  označíme  $M$ .

*Tabuľka 1*  
*Určené vzdialenosti medzi niektorými vrcholmi siete*

	$u_0$	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
$u_0$	-	$M$	$M$	$M$	5	8	8
$u_1$	7	-	$M$	6	$M$	$M$	$M$
$u_2$	8	3	-	$M$	$M$	$M$	$M$
$u_3$	5	$M$	$M$	-	$M$	$M$	$M$
$u_4$	$M$	$M$	6	$M$	-	$M$	9
$u_5$	$M$	$M$	$M$	3	$M$	-	12
$u_6$	$M$	$M$	$M$	$M$	9	12	-

Na zistenie najkratších vzdialenosti možno použiť rôzne metódy (napr. pomocou metód Floydov algoritmus, operáciou minimálneho sčítania matic atď.). Autori aplikovali metódu Floydov algoritmus, kde bola zvolená matica pre  $k=0$ , v tvare (1), ktorá zodpovedá Tabuľke 1:

$$D^k = \{d_{ij}^k\} \quad (1)$$

Pre  $k = k+1$  budú použité konkrétne hodnoty, v prípade ak  $i = j$  neudávame žiadnu hodnotu, ak  $d_{ij}^k = M$  a aj  $d_{ik}^k + d_{kj}^k = M$  pre  $i, j \neq k$  označíme  $M$ , v ostatných prípadoch uvedieme hodnotu  $\min(d_{ij}^{k-1}, d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1})$ . Riešenie metódy je konečné, keď  $k = i$ . Zistené hodnoty sú uvedené v Tabuľke 2.

*Tabuľka 2*  
*Riešenie vzdialenosti medzi všetkými vrcholmi siete*

	$u_0$	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
$u_0$	-	14	11	11	5	8	8
$u_1$	7	-	18	6	12	15	15
$u_2$	8	3	-	9	13	16	16
$u_3$	5	19	16	-	10	13	13
$u_4$	14	9	6	15	-	22	9
$u_5$	8	22	19	3	13	-	12
$u_6$	20	18	15	15	9	12	-

Východiskovým přípustným riešením z Tabuľky 2 a Obrázku 1 je trasa (2). Ide o trasu  $T$ , ktorá prechádza všetkými spojmi medzi vrcholmi:

$$T = u_0 - u_1 - u_0 - u_2 - u_0 - u_3 - u_0 - u_4 - u_0 - u_5 - u_0 - u_6 - u_0 \quad (2)$$

S celkovou dĺžkou trasy

$$L_{TV} = (u_0 - u_1, u_1 - u_0, u_0 - u_2, u_2 - u_0, u_0 - u_3, u_3 - u_0, u_0 - u_4, u_4 - u_0, u_0 - u_5, u_5 - u_0, u_0 - u_6, u_6 - u_0) = (14 + 7 + 11 + 8 + 11 + 5 + 5 + 14 + 8 + 8 + 8 + 20) = 119 \text{ km}.$$

V ďalšom kroku sa určí zobrazenie okružných trás a ich požiadaviek (Tabuľku 3), kde sa zdefinujú všetky nestrediskové vrcholy ( $F_i$ ), okružné trasy ( $r$ ) a ich stanovené požiadavky ( $Q_i$ ). V tabuľke 3 je určený vrchol ( $F_1$ ) ako odberové miesto prvého okruhu ( $r_1$ ), kam je potrebné zabezpečiť prepravu 19 000 l ( $Q_1$ ) pitnej vody.

Tabuľka 3  
Zobrazenie okružných trás a ich požiadavky

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
$F_i$	1	2	3	4	5	6
$r$	1	2	3	4	5	6
$Q_i$	19 000	8 000	12 000	18 000	7 000	14 000

Pre všetky neusporiadané dvojice vrcholov ( $u_1, u_6$ ) prepravnej siete sa vypočíta koeficient podľa vzťahu [8]:

$$l_{ij} = u_{i0} + u_{0j} - u_{ij} \quad (3)$$

Kde  $i \neq j, i \neq 0, j \neq 0$ .

Získaná matica úspor (Tabuľka 4), podľa vzťahu 3 sa doplní hodnotami do tabuľky pre jednotlivé vrcholy. Napríklad hodnota  $l_{13}$  bola vypočítaná  $l_{13} = u_{10} + u_{03} - u_{13} = 7 + 11 - 6 = 12$  ostatné získané hodnoty sú uvedené v Tabuľke 4.

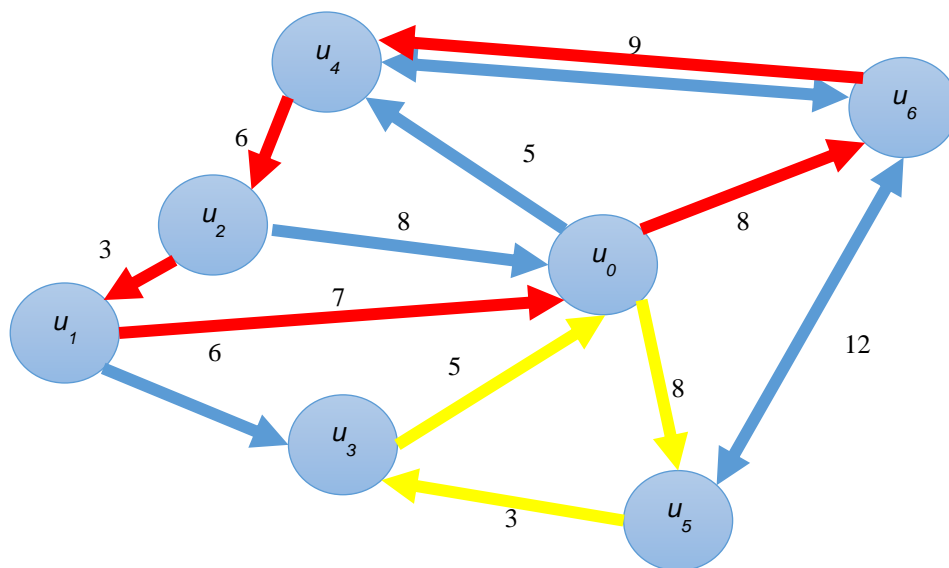
Tabuľka 4  
Matica úspor

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
$u_1$	-	0	12	0	0	0
$u_2$	19	-	10	0	0	0
$u_3$	0	0	-	0	0	0
$u_4$	19	19	10	-	0	13
$u_5$	0	0	16	0	-	4
$u_6$	16	16	16	16	16	-

Postup metódy spočíva v tom, že sa určí najväčšia kladná hodnota  $l_{ij}$  (v prípade že už také číslo pri výpočtoch neexistuje, uzavrie sa výpočet a zostáva konkrétna trasa). V prípade, že platí nerovnosť  $Q(F_i) + Q(F_j) \leq K$  (súčet požiadaviek na konkrétnu trasu nie je väčší alebo je rovný s kapacitou skladu), položíme  $l_{ij} = 0$  a zlúčime príslušné dve jazdy. Číslo novej jazdy  $r$  určíme ako  $\min\{F_i, F_j\}$ . Ďalej zvolíme  $Q_r = Q(F_i) + Q(F_j)$  a pre všetky vrcholy  $k$  zo spojených jazd  $F_k = r$ . Ak po spojení vrcholov  $u_i$  a  $u_j$  aspoň jeden z nich už nebude spojený so strediskom  $u_0$ , zvolíme všetky hodnoty  $l_{rs} = 0$ , kde sa buď  $r$ , alebo  $s$  rovná číslu označenia takéhoto vrcholu. Takisto sa budú rovnat nule tie koeficienty  $l_{rs}$ , kde vrcholy  $u_r$  aj  $u_s$  patria do novovzniknutej cesty. Tento postup opakujeme pokiaľ nevyvlnujeme celú maticu úspor [8]. Výsledkom týchto úprav je najkratšia prepravná trasa  $T_{\min}$ , ktorá má v riešenom prípade hodnotu  $L_{\min} = 49 \text{ km}$  a prechádzka cez trasu (4), (Obrázok 2):

$$T_{\min} = u_0 - u_6 - u_4 - u_2 - u_1 - u_0 - u_5 - u_3 - u_0 \quad (4)$$

Z Obrázku 2 ďalej vyplýva, že optimálne zásobovanie balenou pitnou vodou zo skladu musí byť vykonané v dvoch obehoch. V prvom obehu budú vozidlá prepravovať balenú pitnú vodu v rámci núdzového zásobovania obyvateľstva zo skladu do miest ubytovania a opäť do skladu po trase  $u_0 - u_6 - u_4 - u_2 - u_1 - u_0$  (označenej červenou farbou) a druhý obch pôjde po trase  $u_0 - u_5 - u_3 - u_0$  (označenej žltou farbou).



Obr. 2

Grafické zobrazenie kolobehov pri optimálnom zásobovaní pitnou vodou

## ZÁVER

Núdzové zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou predstavuje súhrn organizačných, materiálnych a technických opatrení a činností. Náhradné zásobovanie pitnou vodou do miest distribúcie, prípadne miest spotreby (napr. miest núdzového ubytovania) sa môže realizovať rôznymi osobitnými prepravnými prostriedkami určenými na prepravu vody (cisternami), formou dodávky balenej pitnej vody atď. Jedným z predpokladov bezpečného a rýchleho použitia vozidiel rôzneho druhu a kategórií použitých na prepravu pitnej vody pri núdzovom zásobovaní obyvateľstva je aj voľba trasy prepravy týchto vozidiel z miest zdrojov vody (skladov) do miest ich výdaja (spotreby). Plánovanie a realizácia dopravného zabezpečenia núdzového zásobovania obyvateľstva bude ovplyvnená množstvom kritérií, ktoré vychádzajú z konkrétnych podmienok MU, jej vplyvu na dopravnú infraštruktúru a informáciách o situácii na príslušných cestných komunikáciách. Vďaka týmto informáciám môžu orgány krízového riadenia naplánovať optimálnu trasu prepravy pitnej vody do jednotlivých miest ubytovania osôb (prípadne miest výdaja) pitnej vody aj v prípade, že dôjde k narušeniu pôvodne plánovanej cestnej siete. Na zistenie optimálnej trasy prepravy pitnej vody pri núdzovom zásobovaní si autori zvolili metódu Clark-Wrightov algoritmus, ktorá zatiaľ v praxi nebola využitá.

*Článok vznikol za podpory projektu VEGA č.1/0240/15 Procesný model riadenia bezpečnosti a ochrany kritickej infraštruktúry v sektore dopravy.*

## Literatúra

- [1] Vyhláška MŽP SR č. 220/2012, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o zásobovaní vodou na obdobie krízovej situácie.
- [2] TOMEK, M., J. STROHMANDL, J. MIHOKOVÁ JAKUBČEKOVÁ. Ochrana obyvateľstva – plánovanie a zabezpečovanie evakuácie. *The Science for Population Protection*. 2017, vol 9, č. 1, s. 99–112. ISSN 1803-568X.
- [3] Vyhláška MV SR č. 328/2012, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o evakuácii.
- [4] SEIDL, M., M. TOMEK a D. VIČAR. *Evakuácia osôb, zvierat a vecí*. 1. vyd. Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2014. 262 s. ISBN 978-80-554-0939-9.
- [5] TOMEK, M., J. STROHMANDL a J. RAK. *Zásobování obyvateľstva pitnou vodou za mimořádných situací*. Praha: Academia, 2014. ISBN 978-80-7454-462-0.
- [6] TOMEK, M., J. JAKUBČEKOVÁ a N. BENČÍKOVÁ. *Núdzové zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou*. Žilina: ŽU v Žiline, 2011. ISBN 978-80-554-0521-6.
- [7] RAK, J., P. SVOBODA, V. LOSEK a Z. SAFARIK. GIS Application in Optimization of Evacuation Routes. In: *Proceedings of the 20th International Scientific Conference Transport Means 2016*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2016, s. 463–466. ISSN 1822-296X.
- [8] BREZINA, I., Z. ČIČKOVÁ a M. REIFF. *Kvantitatívne metódy v logistike. Zbierka príkladov*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo Ekonóm, 2005. ISBN 80-225-1967-7.