



ŘEŠENÍ SVOZNĚ ROZVOZNÍ ÚLOHY S HETEROGENNÍM VOZOVÝM PARKEM TŘÍDĚNÍM VOZIDEL DO TYPŮ SE ZOHLEDNĚNÍM REALIZACE OBJEDNÁVEK

SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH HETEROGENEOUS VEHICLE FLEET BY CLASSIFYING VEHICLES INTO TYPES WITH RESPECT TO ORDER PROCESSING

Markéta Brázdová^{1,*}

Abstrakt Příspěvek se zabývá problematikou svozně rozvozních úloh s heterogenním vozovým parkem. Svozně rozvozní úlohy představují složitý optimalizační problém obvykle s mnoha omezujícími podmínkami. Pro úlohu s vozovým parkem zahrnujícím různé typy vozidel charakterizovaných dílčími parametry předkládá článek tři základní varianty řešení úlohy. První možností je seřazení vozidel podle jednoho jejich parametru, druhou možností je rozdělení vozidel do skupin tak, aby všechny parametry vozidel ve skupině byly shodné. Třetí varianta, která je také z hlediska optimalizačního nejvýhodnější, je kombinace třídění vozidel do skupin se současným zohledněním přípustnosti vozidla pro objednávku.

Klíčová slova svozně rozvozní úlohy, heterogenní vozový park, třídění vozidel do typů a kategorií, přípustnost vozidla pro objednávku

Summary The paper deals with the issue of vehicle routing problem with a heterogeneous vehicle fleet. Vehicle routing problem presents a complex optimization problem, usually with many constraints. For a task with a fleet including different types of vehicles characterized by partial parameters the article presents three basic variants of problem solving. The first option is to sort the vehicles according to one of their parameters, the second option is to divide the vehicles into groups so that all the parameters of vehicles in the group are identical. The third variant, which is also the most advantageous from the point of view of optimization, is the combination of sorting vehicles into groups while taking into account the admissibility of the vehicle for ordering.

Keywords vehicle routing problem, heterogeneous vehicle fleet, classification of vehicles into types and categories, admissibility of the vehicle for ordering

¹ Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra informatiky a matematiky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2, Česká republika

* korespondenční autor, tel.: +420 036 258, e-mail: marketa.brazdova@upce.cz

1 ÚVOD

Častým problémem v oboru logistiky a distribuce zboží je řešení svozně rozvozních úloh. Jedná se o úlohy, kdy je za různých podmínek převáženo zboží ze skladů k zákazníkům, obalový materiál od zákazníků zpět do skladů, případně může být realizován převoz zboží nebo jiného materiálu mezi zákazníky navzájem. Svoz a rozvoz se zpravidla uskutečňuje několika typy vozidel s různými parametry, v úloze se může vyskytovat také více dep (skladů), ze kterých je zboží rozváženo, případně do kterých je sváženo. Tento typ úloh se obecně vyznačuje velkou variabilitou parametrů v závislosti na praktickém užití.

Svozně rozvozní úlohy jsou komplexním problémem vyžadujícím zpravidla individuální přístup řešení závislý na charakteru konkrétní úlohy. Pro nejjednodušší typ úlohy s jedním depem, homogenním vozovým parkem a kapacitním omezením lze použít heuristický algoritmus Clarka a Wrighta (Pastor, Tuzar, 2007). Novějšími metodami pro řešení tohoto typu úloh jsou tzv. metaheuristiky (Cook, 2012). Uvedené metody však ve svých základních variantách předpokládají homogenní vozový park.

Příspěvek se zabývá možnostmi řešení svozně rozvozních úloh s heterogenním vozovým parkem. Možnosti řešení takového typu problému jsou závislé i na dalších parametrech úlohy, charakteristice vstupů úlohy a požadovaných výstupech. Je možné použít tzv. sekvenční přístup postupné tvorby tras, kdy jsou vozidla heterogenního vozového parku uspořádána podle zvoleného kritéria do posloupnosti a trasa složená z více okružních jízd je sestavována vždy pro jedno vozidlo (Cenek, Klima, Janáček, 1994). Na tomto principu je založena také navrhovaná metoda, která vozidla třídí do skupin (typů vozidel) podle jejich parametrů. Ještě výhodnější se jeví postup spočívající v kombinaci třídění vozidel do typů se zohledněním objednávek, které je možné vozidlem realizovat.

2 ALGORITMY ŘEŠENÍ SVOZNĚ ROZVOZNÍCH ÚLOH

Problematika svozně rozvozních úloh úzce souvisí s pojmem logistika. Podle Cempírka (Cempírek a kol., 2010) se jedná o souhrn činností systematicky zaměřených na získání materiálů z primárních zdrojů pro zhotovení výrobku až po ukončení životnosti výrobku včetně jeho likvidace nebo recyklace. Kompletní logistika tedy zahrnuje přesuny materiálu od získání surovin přes různé typy skladování, distribuci výrobku ke spotřebiteli až po konečnou likvidaci výrobku na konci jeho doby životnosti. Ve všech fázích tohoto procesu je třeba navrhnout trasy převozu zboží co nejefektivněji. K těmto úlohám stanovení optimálních tras patří svozně rozvozní úlohy.

2.1 Metoda Clarka a Wrighta

Nejnámějším algoritmem pro řešení svozně rozvozních úloh je heuristická metoda navržená Clarkem a Wrightem v roce 1964. Základní varianta této metody pracuje s homogenním vozovým parkem a jedním depem. Trasa jednoho vozidla je tvořena jednou okružní jízdou, omezení je pouze kapacitní, tedy užitečnou hmotností nebo ložnou plochou či prostorem. Do základní úlohy je možné zakomponovat řadu dalších omezujících podmínek. Nejčastěji se vyskytují omezení časová, ať už se jedná o omezení doby trvání jedné trasy, časová okna v obsluhovaných vrcholech, přestávky v řízení řidičů nebo maximální povolenou dobu jízdy jednoho vozidla. Dalšími poměrně obvyklými omezeními mohou být omezení objemu vozidla, nosnosti vozidla nebo rozměru nákladu. V případě omezení doby trvání jedné trasy vozidla může být vozidlo použito opakovaně a trasa vytvořena z více okružních jízd. Základní metoda neobsahuje žádná časová omezení pro obsluhu vrcholů (Pastor, Tuzar, 2007).

Algoritmus Clarka a Wrighta je často využíván pro řešení praktických svozně rozvozních úloh např. v oblasti distribuční logistiky zboží k zákazníkovi (Jeřábek et al., 2016). Tento algoritmus byl také použit

pro řešení úlohy svozu komunálního odpadu. Vysoce robustní a flexibilní model pro trasu svozového vozidla našli Sarmah, Yadav a Rathore (Sarmah, Yadav a Rathore, 2019).

2.2 Moderní trendy řešení svozně rozvozních úloh

Nejnovejší trend v řešení svozně rozvozních úloh představují tzv. metaheuristiky. Jedná se o heuristické metody tvořící nadstavbu nad jinými typy heuristik. K neznámějším variantám moderních metaheuristik lze zařadit horolezecké algoritmy, simulované žíhání, genetické algoritmy nebo optimalizace mravenčích kolonií. Obecně jsou tyto metody založeny na principech víceúčelových technik. Navrhované metody řešení často odrážejí charakter přírodních jevů, chování živočichů, výzkumy v oblasti genetiky a další (Cook, 2012).

Z praktických aplikací byly metaheuristiky použity např. při řešení úlohy distribuce léků. Autoři studie porovnávali heuristické algoritmy pro řešení svozně rozvozních úloh. Z jejich výzkumu vyplynulo, že pro řešení této distribuční úlohy se jeví jako nejvýhodnější použití algoritmu Clarka a Wrighta (Destyanto et al., 2020). Jinou praktickou aplikací svozně rozvozních úloh je doručování poštovních zásilek. Problematikou se zabývali Z. Huang, W. Huang a Guob. Úlohu aplikovali na doručovací službu, navrhli dva celočíselné modely pro doručovací službu využívající hybridní a oddělené strategie. Hybridní heuristický algoritmus je opět kombinací algoritmu Clarka a Wrighta s metaheuristickým algoritmem (Huang, Huang a Guo, 2019). Použití kombinace algoritmu Clarka a Wrighta s optimalizací mravenčích kolonií prozkoumávali také Zhai, Ather, Wang a Zheng (Zhai et al., 2016).

3 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉ ÚLOHY

Předpokládejme svozně rozvozní úlohu s heterogenním vozovým parkem. Je dán seznam objednávek, které je třeba realizovat. V každé objednávce jsou uvedeny údaje o místě odeslání a místě určení zboží, přepravované množství zboží, jeho teplotní režim, v případě úlohy s časovými okny zde může být stanoven čas nakládky a vykládky zboží. V praxi se u objednávek běžně vyskytuje také seznam vozidel, která lze pro přepravu použít. Vozidla jsou v tomto seznamu zadána pomocí svých identifikátorů (SPZ, ID apod.).

V případě úlohy s více depy jsou objednávky již roztříděny k depům. Je-li místem odeslání nebo místem určení objednávky některé depo, je objednávka přidělena k tomuto depu. Kritériem pro roztřídění zbývajících objednávek může být např. minimalizace vzdálenosti místa odeslání objednávky a depa a místa určení objednávky a depa. Také vozidla jsou garážována vždy v depech, pro každé depo je tedy znám seznam vozidel, kterými dané depo disponuje. Dále předpokládejme pouze úlohu s jedním depem, pro více depů lze algoritmus použít opakovaně pro každé depo zvlášť.

Vozový park je tvořen vozidly charakterizovanými dílčími parametry. Mezi tyto parametry lze zařadit náklady (na nasazení vozidla, na čekání např. při nakládce nebo vykládce, náklady jízdy závislé na ujeté vzdálenosti), kapacitu vozidla, jeho nosnost, objem, distanční matici (jedná se o matici udávající vzdálenosti mezi depem, místy odeslání zásilek a místy určení zásilek i mezi těmito místy navzájem). U vozidel mohou být případně uvedeny ještě další charakteristiky, například možnost kombinace teplotních režimů převáženého zboží, mýtná kategorie vozidla, maximální doba jízdy vozidla apod. Každé vozidlo je jednoznačně určeno svým identifikátorem (SPZ, ID apod.).

Cílem komplexní úlohy je stanovit trasy vozidel tak, aby byla vozidla kapacitně co nejlépe využita a aby byly minimalizovány celkové náklady na distribuci zboží. Pro úlohu s heterogenním vozovým parkem je třeba řešit také podúlohu, v jakém pořadí budou vozidla na trasy nasazována.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ ÚLOHY

Pro úlohy s homogenním vozovým parkem spočívá řešení úlohy ve vytvoření tras např. podle algoritmu Clarka a Wrighta, možné by bylo i použití některé metaheuristiky. Při vytváření tras je vždy třeba kontrolovat přípustnost vzniklé trasy v závislosti na omezujících podmínkách úlohy. Vzniklé trasy jsou pak přidělovány vozidlům homogenního vozového parku.

Pro úlohu s heterogenním vozovým parkem lze použít několik způsobů, jak vozidla setřídít do seznamu. Podle takto vzniklého seznamu pak budou vozidla přidělována k vytvářeným trasám. První variantou je seřazení vozidel podle jednoho parametru vozidla, např. podle nákladů jízdy, kapacity apod. Druhou možností je třídění vozidel do typů. Toto třídění je možné podle parametrů uvedených u vozidel, nebo je možné do třídění zahrnout také objednávky, které lze daným vozidlem realizovat.

4.1 Řazení podle jednoho parametru vozidla

První možnost řešení představuje seřazení vozidel podle jednoho jejich parametru. Zvoleným parametrem mohou být náklady jízdy v závislosti na ujeté vzdálenosti, vozidla by pak byla v rámci jednoho depa setříděna od nejnižších nákladů po nejvyšší. Jinou možností je setřídění vozidel podle jejich kapacity od nejvyšší po nejnižší apod. Je-li zvolený parametr shodný pro více vozidel, lze tato vozidla seřadit dále ještě podle jiného parametru. Pro tento případ je vhodné zvolit pořadí parametrů podle jejich důležitosti a při řazení vozidel postupovat podle takto stanovené stupnice.

Pro názornost je uveden příklad seřazení vozidel podle jednoho parametru. Předpokládejme úlohu s deseti vozidly. Sledované parametry vozidel jsou náklady na nasazení vozidla, náklady jízdy, náklady na čekání, kapacita vozidla, maximální počet zastávek vozidla na trase a maximální doba jízdy vozidla. Hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Řazení podle jednoho parametru - parametry vozidla; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady jízdy (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)
V_1	450	35	40	250	10	10
V_2	720	70	30	350	6	16
V_3	550	60	25	300	8	18
V_4	400	35	60	350	10	10
V_5	550	80	55	400	8	18
V_6	300	82	65	500	6	16
V_7	270	70	70	350	10	10
V_8	720	35	40	650	12	12
V_9	300	60	35	400	8	18
V_{10}	550	80	80	500	10	10

Podle parametru **Náklady na nasazení vozidla** budou vozidla seřazena v pořadí uvedeném v tabulce 2.

Tab. 2 Seřazení vozidel podle parametru **Náklady na nasazení vozidla**; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady jízdy (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)
V_7	270	70	70	350	10	10
V_6	300	82	65	500	6	16
V_9	300	60	35	400	8	18
V_4	400	35	60	350	10	10
V_1	450	35	40	250	10	10
V_3	550	60	25	300	8	18
V_5	550	80	55	400	8	18
V_{10}	550	80	80	500	10	10
V_2	720	70	30	350	6	16
V_8	720	35	40	650	12	12

Pokud bude zvolen pro seřazení vozidel jiný parametr, bude pořadí vozidel jiné. Např. podle parametru **Náklady jízdy** budou vozidla seřazena v pořadí uvedeném v tabulce 3.

Tab. 3 Seřazení vozidel podle parametru **Náklady jízdy**; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady jízdy (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)
V_1	450	35	40	250	10	10
V_4	400	35	60	350	10	10
V_8	720	35	40	650	12	12
V_3	550	60	25	300	8	18
V_9	300	60	35	400	8	18
V_2	720	70	30	350	6	16
V_7	270	70	70	350	10	10
V_5	550	80	55	400	8	18
V_{10}	550	80	80	500	10	10
V_6	300	82	65	500	6	16

Podle parametru **Náklady jízdy** jsou vozidla V_1 , V_4 a V_8 rovnocenná. V takovém případě je možné vozidla seřadit dále ještě podle jiného parametru, např. podle parametru **Náklady na nasazení vozidla**. Pořadí vozidel podle tohoto principu je uvedeno v tabulce 4.

Tab. 4 Seřazení vozidel podle parametrů **Náklady jízdy** a **Náklady na nasazení vozidla**; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady jízdy (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)
V_4	400	35	60	350	10	10
V_1	450	35	40	250	10	10
V_8	720	35	40	650	12	12
V_9	300	60	35	400	8	18
V_3	550	60	25	300	8	18
V_7	270	70	70	350	10	10
V_2	720	70	30	350	6	16
V_5	550	80	55	400	8	18
V_{10}	550	80	80	500	10	10
V_6	300	82	65	500	6	16

Problémem tohoto přístupu je ale samotné vytváření tras. Jak při použití algoritmu Clarka a Wrighta, tak také při užití některé metaheuristiky je při tvorbě trasy třeba kontrolovat omezující podmínky úlohy. Mezi tyto podmínky patří také to, zda je možné objednávku, která by kapacitně na vozidlo zařazena být mohla, tímto vozidlem realizovat. Je tedy třeba vždy ověřit, zda je vozidlo, pro které je trasa právě sestavována, přípustným vozidlem pro danou objednávku. Pokud tato podmínka není splněna, trasa se v algoritmu vyhodnotí jako nerealizovatelná. Tento způsob řešení úlohy s heterogenním vozovým parkem však může vést k situaci, kdy bude značná část vytvářených tras nepřipustná, což bude v algoritmu působit problémy.

4.2 Třídění vozidel do typů podle všech parametrů vozidla

Druhou možností řešení úlohy je setřídění vozidel heterogenního vozového parku do skupin, tzv. typů vozidel. Do každé skupiny jsou zařazena pouze taková vozidla, která mají shodné všechny dílčí parametry. Vozidla zařazená do stejného typu jsou pak v rámci tohoto typu záměnná. Pro názornost je uveden příklad vytváření typů vozidel. V tabulce 5 jsou vozidla a jejich parametry.

Tab. 5 Třídění vozidel do typů - parametry vozidla; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady jízdy (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)
V_1	450	35	40	250	10	10
V_2	720	70	30	350	6	16
V_3	550	60	25	300	8	18
V_4	450	35	40	250	10	10
V_5	550	60	25	300	8	18
V_6	550	60	25	300	8	18
V_7	550	60	25	300	8	18
V_8	450	35	40	250	10	10
V_9	720	70	30	350	6	16
V_{10}	720	70	30	350	6	16

Vozidla budou podle parametrů roztríděna do tří typů. První typ zahrnuje vozidla V_1 , V_4 a V_8 , do druhého typu budou zařazena vozidla V_2 , V_9 a V_{10} , ve třetím typu budou vozidla V_3 , V_5 , V_6 a V_7 .

Takto vytvořeným typům vozidel je třeba ještě dále přiřadit priority, podle kterých budou jednotlivé skupiny přidělovány k vytvářeným trasám. Priority je možné stanovit stejným způsobem jako u předchozí varianty řešení, tj. podle některého zvoleného parametru vozidla. Výhodnější je ale stanovení priorit způsobem, který zohlední více parametrů zároveň. Příkladem takového určení priorit je vztah zahrnující náklady jízdy vozidla, užitečnou hmotnost vozidla a přepravní vzdálenost. Protože trasy v této fázi výpočtu nejsou ještě stanoveny, ale teprve se vytvářejí, nelze do vztahu zahrnout vzdálenosti mezi depem a konkrétními vrcholy trasy. Vzdálenost je proto ve vztahu zohledněna započítáním největší možné (d_{max}) a nejmenší možné (d_{min}) dojezdové vzdálenosti od depa k potenciálním vrcholům na trase. Výsledné kritérium vyjadřuje vztah (1).

$$nakl = \frac{(nakl_j \cdot (d_{min} + d_{max}) + nakl_v)}{C}, \quad (1)$$

kde $nakl$ jsou přepočtené náklady pro daný typ vozidla, $nakl_j$ jsou náklady na km jízdy vozidla, $nakl_v$ jsou náklady na nasazení vozidla, C je užitečná hmotnost vozidla, d_{min} je hodnota z distanční matice vyjadřující vzdálenost depa od nejbližšího místa odeslání/určení objednávky a d_{max} je hodnota z distanční matice vyjadřující vzdálenost depa od nejvzdálenějšího místa odeslání/určení objednávky. Všechny parametry ve vztahu (1) se vztahují k jednomu typu vozidla.

Výsledkem bude tedy hodnota $nakl$ určená pro každý typ vozidla. Typy vozidel pak budou seřazeny podle této hodnoty od nejnižších nákladů po nejvyšší a v tomto pořadí budou jednotlivé typy vozidel nasazovány na sestavované trasy.

Předností této varianty řešení je setřídění vozidel do rovnocenných skupin (typů), konkrétní vozidla stejného typu jsou pak navzájem zastupitelná. Přínosem je i zohlednění nákladů a vzdáleností v kritériu pro seřazení typů vozidel, což se projeví v celkové minimalizaci nákladů úlohy. Nevýhodou ale zůstává stejně jako v předchozím případě nutnost kontrolovat, zda je vozidlo, pro které je trasa právě sestavována, přípustným vozidlem pro objednávku zařazenou do trasy. Pokud tato podmínka není splněna, trasa se opět stává nepřipustnou.

4.3 Třídění vozidel do typů se zohledněním objednávek

Třetí možností řešení úlohy je kombinace předchozího postupu setřídění vozidel heterogenního vozového parku do typů vozidel a zároveň zohlednění přípustnosti konkrétního vozidla pro realizaci určité objednávky. Vozidla budou opět setříděna do typů vozidel podle předchozího postupu. K parametrům vozidla bude přidán ještě další, tzv. kategorie vozidla. Kategorie bude určovat množinu vozidel, která mohou realizovat stejné skupiny objednávek.

K určení kategorií vozidel je možné použít binární matici rozměru $n_o \times n_v$, kde n_o je počet objednávek, které budou z daného depa realizovány, n_v je počet vozidel vozového parku daného depa. Prvek matice bude roven jedné v případě, že objednávku O_i ($i = 1, \dots, n_o$) je možné realizovat vozidlem V_j ($j = 1, \dots, n_v$), v opačném případě bude prvek matice roven nule. Vozidla, která budou mít shodné sloupce matice, mohou být použita pro distribuci stejných objednávek a jsou tedy navzájem zastupitelná. Taková vozidla budou zařazena do stejné kategorie.

Pro názornost je uveden příklad vytvoření kategorií vozidel pro 10 vozidel heterogenního vozového parku a 4 objednávky realizované z jednoho depa. Seznam vozidel přípustných pro každou objednávku je uveden v tabulce 6.

Tab. 6 Seznam přípustných vozidel pro objednávky; zdroj: autor

Objednávka	Seznam přípustných vozidel
O_1	$V_1, V_3, V_4, V_7, V_8, V_9$
O_2	V_2, V_5, V_6, V_{10}
O_3	$V_2, V_3, V_5, V_6, V_8, V_{10}$
O_4	V_1, V_4, V_7, V_9

Z tabulky 6 je podle výše popsaných pravidel vytvořena matice (2) rozměru $n_o \times n_v$, kde $n_o = 4$, $n_v = 10$.

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}
O_1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
O_2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
O_3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
O_4	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0

(2)

V matici (2) jsou shodné sloupce pro vozidla V_1, V_4, V_7 a V_9 . Tato vozidla budou zařazena do první kategorie. Další shodné sloupce mají vozidla V_2, V_5, V_6 a V_{10} , budou tvořit druhou kategorii. Třetí kategorií pak tvoří vozidla V_3 a V_8 .

Určená kategorie vozidla se stává dalším parametrem, kterým jsou vozidla charakterizována. Při třídění vozidel do typů je pak třeba vzít v úvahu i tuto položku, do stejného typu vozidla budou tedy zařazena jen taková vozidla, která kromě zbývajících parametrů mají shodnou i kategorii vozidla. U každé objednávky je pak třeba evidovat seznam kategorií vozidel, kterými lze tuto objednávku obsloužit.

V tabulce 7 jsou uvedeny parametry vozidel s přidáním kategorie vozidel.

Tab. 7 Parametry vozidla s kategorií vozidla; zdroj: autor

Vozidlo	Náklady na nasazení vozidla (cena)	Náklady na jízdu (cena/km)	Náklady na čekání (cena/h)	Kapacita (kapacitní jednotka)	Maximální počet zastávek na trase	Maximální doba jízdy (h)	Kategorie vozidla
V_1	450	35	40	250	10	10	kategorie 1
V_2	720	70	30	350	6	16	kategorie 2
V_3	550	60	25	300	8	18	kategorie 3
V_4	450	35	40	250	10	10	kategorie 1
V_5	550	60	25	300	8	18	kategorie 2
V_6	550	60	25	300	8	18	kategorie 2
V_7	550	60	25	300	8	18	kategorie 1
V_8	450	35	40	250	10	10	kategorie 3
V_9	720	70	30	350	6	16	kategorie 1
V_{10}	720	70	30	350	6	16	kategorie 2

Vozidla budou podle parametrů zahrnujících kategorii vozidla roztržena do sedmi typů. Do prvního typu budou zařazena vozidla V_1 a V_4 , do druhého typu bude zařazeno pouze vozidlo V_8 , do třetího typu budou zařazena vozidla V_2 a V_{10} , do čtvrtého typu vozidlo V_9 , v pátém typu bude vozidlo V_3 , v šestém typu budou vozidla V_5 a V_6 a do sedmého typu bude zařazeno vozidlo V_7 .

Další postup při řešení úlohy je shodný s předchozí variantou. Jednotlivé typy vozidel lze opět seřadit podle hodnoty *nakl* určené ze vztahu (1) pro každý typ vozidla od nejnižších nákladů po nejvyšší a v tomto pořadí jednotlivé typy vozidel nasazovat na sestavované trasy.

Přínos této varianty řešení spočívá jak v zohlednění nákladů a vzdáleností v kritériu pro seřazení typů vozidel, tak především v tom, že tento postup zaručuje záměnnost vozidel ze stejné kategorie a pro přidělování konkrétního vozidla k trase již není potřeba další test na přípustnost vozidla pro danou objednávku.

5 ZÁVĚR

Svozně rozvozní úlohy jsou komplexním problémem zahrnujícím kromě kritéria, kterým je zpravidla minimalizace celkových nákladů, celou řadu dalších omezení. Při řešení podobných komplikovaných úloh je třeba uplatnit systémový přístup zahrnující dekompozici problému na dílčí podúlohy. Jednou z těchto podúloh je pro úlohu s heterogenním vozovým parkem problematika přidělování vozidel ke vznikajícím trasám.

K řešení této úlohy lze přistupovat různými způsoby. První z možností je seřazení vozidel do seznamu podle jednoho jejich parametru. Nevýhodou této varianty je ale nutnost ověřovat pro každou objednávku zařazenou do trasy, zda je uvažované vozidlo přípustným vozidlem pro tuto objednávku. Je také otázkou, jakým způsobem se tento přístup projeví v účelové funkci úlohy představující minimalizaci nákladů. Protože náklady vozidla v tomto případě nejsou při přidělování vozidla na trasu zohledněny, je pravděpodobné, že nákladová funkce nedosáhne optimální hodnoty.

Druhý přístup řešení úlohy spočívá v setřídění všech vozidel do skupin, tzv. typů vozidel. Vozidla zařazená do stejného typu musí mít shodné všechny parametry důležité pro přepravu daného zboží. Typy vozidel jsou pak dále ještě seřazeny podle vztahu zohledňujícího náklady vozidla a potenciální ujeté vzdálenosti. Výhodou tohoto přístupu je záměnnost vozidel v rámci jednoho typu, stále ale zůstává nutnost ověřit přípustnost vozidla přiděleného k trase pro každou objednávku zařazenou do této trasy.

Třetí možností řešení úlohy je kombinace setřídění vozidel do typů vozidel a zároveň zohlednění přípustnosti konkrétního vozidla pro realizaci objednávky. Vozidla jsou opět setříděna do typů podle svých dílčích parametrů. K parametrům vozidla je ale přidán ještě další, tzv. kategorie vozidla. Kategorie vozidla určuje množinu vozidel, která mohou realizovat stejné skupiny objednávek. Takto stanovené typy vozidel lze opět seřadit podle vztahu zohledňujícího náklady vozidla a vzdálenosti. Přípustná kategorie vozidla se uvede jako další údaj u objednávek. Přínosem této varianty je kromě zohlednění nákladů také záměnnost vozidel v rámci jedné kategorie, dále pak odpadá nutnost ověřovat přípustnost vozidla pro objednávku zařazenou do trasy.

Jako nejvýhodnější z uvedených přístupů se jeví třetí možnost, tedy kombinace setřídění vozidel do typů a zároveň zohlednění přípustnosti konkrétního vozidla pro realizaci objednávky. Na příkladu bylo demonstrováno citlivější rozdělení vozidel do typů než v předchozím případě, kdy objednávky nebyly zohledňovány. Lze předpokládat, že s využitím tohoto přístupu budou minimalizovány i celkové náklady.

Literatura

Cempírek, V. **2010**. *Logistická centra*. Pardubice: Institut Jana Pernera.

Cenek, P., Klima, V. a Janáček, V. **1994**. *Optimalizace dopravních a spojových procesů*. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov.

Cook, W. **2012**. *Po stopách obchodního cestujícího: matematika na hranicích možností*. Praha: Argo.

Destyanto, A. R., Fajar, N. F., Mandhasiya, D. G., Mansur, F. A., Masyhur, M. Z., Aji, N. A. a Bramasta, R. R. **2020**. Improving service level and utilization of distribution using discrete event simulation by comparing three vehicle routing problem algorithm: A case study of drugs distribution company. *AIP Conference Proceedings*, 2227, 040021. <<https://doi.org/10.1063/5.0001058>>

Huang, Z., Huang, W. a Guo, F. **2019**. Integrated sustainable planning of self-pickup and door-to-door delivery service with multi-type stations. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 412-425. <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106853>>

Jeřábek, K., Majercak, P., Kliestik, T. a Valaskova, K. **2016**. Application of Clark and Wright's Savings Algorithm Model to Solve Routing Problem in Supply Logistics. *Naše More*, 63(3), 115-119. <<https://doi:10.17818/nm/2016/si7>>

Pastor, O. a Tuzar, A. **2007**. *Teorie dopravních systémů*. Praha: ASPI.

Sarmah, S., Yadav, R. a Rathore, P. **2019**. Development of vehicle routing model in URBAN solid waste management system under periodic variation: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1961-1965. <<https://doi:10.1016/j.ifacol.2019.11.490>>

Zhai, L., Ather, I. M., Wang, Z. a Zheng, Q. **2016**. Improved ant system algorithm and its application for vehicle routing problem. *Proceedings of the 2016 2nd Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications*. Dalian, 14. – 15. května. Atlantis Press, 1496-1501. <<https://doi:10.2991/wartia-16.2016.304>>