

MOŽNOSTI MODELOVÁNÍ OBĚHŮ AUTOBUSŮ V SYSTÉMU DOPRAVNÍ OBSLUŽNOSTI

THE POSSIBILITIES FOR MODELLING OF BUS CIRCULATION IN THE CASE OF TRANSPORT SERVICE

Jaroslav Kleprlík¹

Anotace: Příspěvek je zaměřen na možnosti tvorby oběhů autobusů při zajištění dopravní obslužnosti obce nebo dopravní obslužnosti kraje. Nutnou podmínkou řešení této optimalizační úlohy je obsadit požadovaným druhem autobusu všechny spoje uvedené v jízdním řádu. Cílem řešení je minimalizovat počet autobusů a minimalizovat neproduktivní jízdy, které lze ohodnotit kritérii vzdálenost, doba trvání a provozní náklady.

Klíčová slova: autobus, dopravní obslužnost, modelování oběhů, oběh autobusu.

Summary: The paper is focused on possibilities for design of bus circulation in the case of transport service in the frame of a municipality or of a region. Necessary condition is to allocate a bus of adequate type to all connections declared in time schedule in the case of this optimization task. The aim of the solution is to minimize number of buses as well as to minimize volume of unproductive drives. Unproductive drives are evaluated by criterions of distance, time duration (travel time) and operational costs.

Key words: bus, transport service, modelling of circulation, circulation bus.

ÚVOD

Zajišťování dopravní obslužnosti obce a dopravní obslužnosti kraje je prioritou veřejné hromadné osobní dopravy. Musí probíhat v souladu s právními předpisy Evropské unie. Především jde o Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1370/2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici (1). Dále musejí být dodržena ustanovení právních předpisů České republiky, především zákona č. 194/2010 Sb., o veřejných službách v přepravě cestujících ve znění pozdějších předpisů (2) a zákona č. 111/1994 Sb., o silniční dopravě ve znění pozdějších předpisů (3).

Zajištění dopravní obslužnosti je zabezpečováno především autobusovou dopravou. To dokládají statistiky dopravy (4) a výroční zprávy (5), (6).

¹ doc. Ing. Jaroslav Kleprlík, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, ČR, Tel.: +420 46 603 6431, Fax: + 420 46 603 6303, E-mail: Jaroslav.Kleprlik@upce.cz

Tab. 1 – Počty přepravených osob v dopravní obslužnosti v České republice (mil. osob)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Autobusová doprava (mil. osob)	372,6	364,6	345,0	338,0	349,5	350,9
Železniční doprava (mil. osob)	164,8	167,9	172,8	174,5	176,1	176,6
Městská hromadná doprava (mil. osob)	2 260,3	2 138,5	2 224,2	2 173,3	2 142,9	2 160,8

Zdroj: (4)

Tab. 2 – Jízdní výkony v dopravní obslužnosti Pardubického kraje (mil. km)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Veřejná linková osobní doprava	13,45	14,4	18,9	16,51	15,98	15,98
Veřejná drážní osobní doprava	4,8	4,79	4,78	4,78	4,78	4,78

Zdroj: (5)

Tab. 3 – Jízdní výkony v dopravní obslužnosti za Dopravní podnik města Pardubic, a.s. (km)

		2013	2014	2015
Autobusy	pro město	3 017 671	2 981 074	3 004 111
	pro kraj	188 546	185 957	185 570
Trolejbusy	pro město	2 106 977	2 173 355	2 154 516
	pro kraj	160 900	148 067	126 463

Zdroj: (6)

Autobusy veřejné linkové dopravy mohou být přiřazeny:

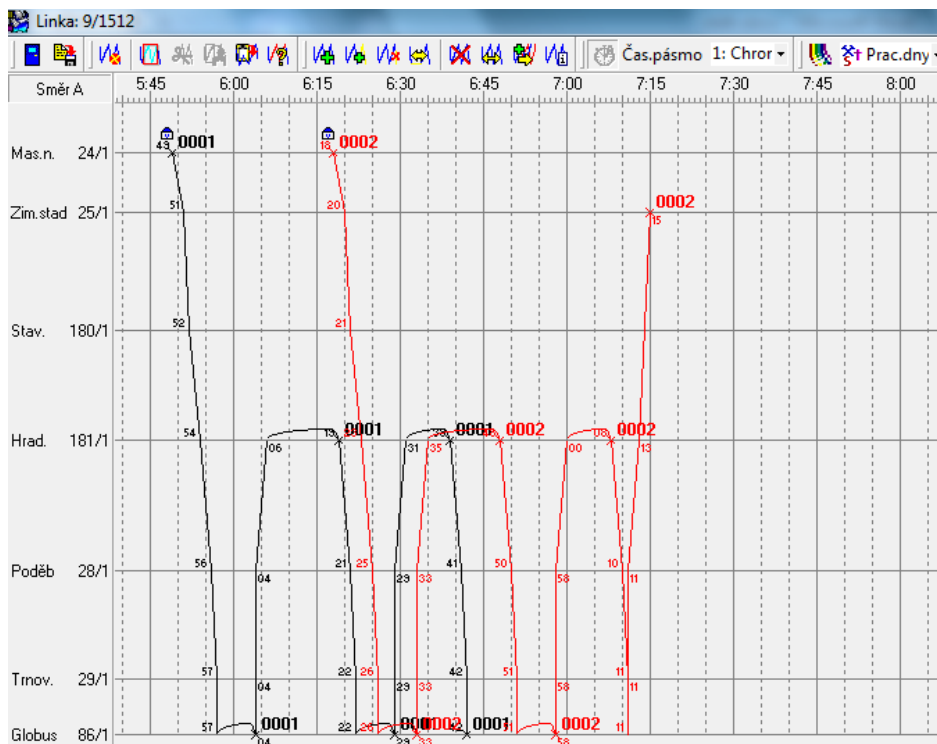
- pravidelně na jednu linku po celý den,
- pravidelně na jednu linku pouze v dopravní špičce,
- tak, že v průběhu dne přejíždí z linky na linku,
- mimořádně na linku v případě výluky (např. v trolejbusové dopravě).

Přiřazení autobusu na linku ovlivňuje:

- objednávka od objednatele na základě „Smlouvy o závazku veřejné služby v přepravě cestujících“,
- obsaditelnost autobusu,
- délka autobusu,
- bezbariérovost provozu,
- počet autobusů, které má dopravce k dispozici,
- prohlídky, opravy a údržba autobusů,
- ostatní vlivy.

Problematika tvorby oběhů autobusů je velmi aktuálním problémem řešení s ohledem na určení velikosti potřebného vozového parku a jeho druhové skladby. Oběhy ovlivňuje limitované stáří vozového parku autobusů a bezbariérovost, které jsou požadovány pro dopravní obslužnost jako dva základní ukazatele kvality stanovené v nařízení vlády č. 63/2011 Sb., o stanovení minimálních hodnot a ukazatelů standardů kvality a bezpečnosti a o způsobu jejich prokazování v souvislosti s poskytováním veřejných služeb v přepravě

cestujících ve znění pozdějších předpisů (7). Oběhy autobusů musí samozřejmě vycházet z počtu obsluhovaných linek a spojů. K řešení a tvorbě oběhů autobusů lze využít metod operačního výzkumu, teorie dopravy a modelování v dopravě (8). S využitím těchto metod byly vytvořeny i specializované softwary k tvorbě oběhů např. SKELETON od firmy FS Software, s.r.o. (9). Příklad produktivní části dvou oběhů vozidel v SW SKELETON vytvořený autorem příspěvku v Dopravní laboratoři Katedry technologie a řízení dopravy je na obrázku č. 1.



Zdroj: Autor s využitím SW SKELETON

Obr. 1 – Produktivní část oběhů dvou autobusů v SW SKELETON

1. MODEL ÚLOHY OBĚHŮ AUTOBUSŮ

Základní problém optimalizace oběhů autobusů je možné formulovat následujícím způsobem. Dopravní požadavek je určen množinou spojů S . Každý spoj $s \in S$ je charakterizován výchozí a konečnou zastávkou, mezilehlými zastávkami, časem odjezdu z výchozí zastávky, časem příjezdu do konečné zastávky, jízdními dobami dle platného a schváleného jízdního řádu. Je dána dopravní síť. Na dopravní síti jsou určeny vozovny, zastávky, autobusové linky a spoje na linkách.

Úlohou je určit oběhy autobusů, tedy posloupnosti spojů, které mají být obsluženy tak, aby celkové náklady na provozování dopravy byly minimální. Sestavené oběhy musí splňovat celou řadu omezujících podmínek (např. garantované bezbariérové spoje).

Účelová funkce bude vyjadřovat minimalizaci nákladů na zajištění dopravních požadavků, které jsou vyjádřeny množinou spojů.

Kritéria pro optimalizaci množiny oběhů $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_r\}$, kde r je počet oběhů mohou být:

- minimalizace počtu náležitostí,

- minimalizace neproduktivních jízd,
- minimalizace neproduktivních jízd a prostojů.

Minimalizace počtu náležitostí:

Každý oběh představuje jízdu jedné náležitosti, jedná se tedy o minimalizaci počtu oběhů r . Prakticky to znamená minimalizaci počtu potřebných autobusů.

Minimalizace neproduktivních jízd:

Tyto neproduktivní jízdy se skládají z přístavných jízd (z vozovny na výchozí zastávku prvního spoje), z odstavných jízd (z konečné zastávky posledního spoje do vozovny) a z přejezdů autobusu mezi po sobě následujícími spoji.

Minimální náklady z neproduktivních jízd získáme minimalizací účelové funkce (1).

$$\min c(Z) = \sum_{z \in Z} f(z) \quad (1)$$

kde:

$f(z)$ je nezáporná funkce vyjadřující náklady na neproduktivní jízdy mezi spoji.

Minimalizace neproduktivních jízd a prostojů:

Mezi spoji nemusí být pouze prostorová vzdálenost, která vyžaduje neproduktivní přejezdy náležitostí, ale i časová prodleva. Ta je určena hodnotou rozdílu mezi časem přistavení (popřípadě odjezdu) na následující spoj a časem příjezdu do konečné zastávky prvního spoje, sníženou o čas potřebný na případný přejezd na následující spoj.

Pokud předpokládáme, že různé manipulační doby jsou součástí doby přejezdu mezi spoji, potom prostoje před nasazením na druhý spoj lze vyjádřit vztahem (2).

$$p_i = T_o^{i+1} - T_p^i + t_j^{i,i+1} \quad (2)$$

kde:

T_o^{i+1} je čas odjezdu z výchozí zastávky spoje $i+1$,

T_p^i je čas příjezdu na konečnou zastávku i -tého spoje,

$t_j^{i,i+1}$ doba potřebná na přejezd mezi spoji i a $i+1$.

Nutno je počítat i s časem bezpečnostních přestávek řidičů, které jsou povinně stanoveny právními předpisy (10), (11). Tyto časy proto nelze počítat mezi prostoje. Účelová funkce je dána vztahem (3).

$$\min c(Z) = \sum_{z \in Z} f(z) + \sum_{z \in Z} g(z) \quad (3)$$

kde:
 $g(z) = c_p \cdot \sum_{i=2}^m p_i$ je nezáporná funkce vyjadřující náklady na prostoje vozidel před

nasazením na další spoj

c_p je koeficient nákladů na jednotku prostoje

Minimalizace počtu náležitostí i neproduktivních jízd:

Jedná se o kombinaci předešlých kritérií, viz vztah (4).

$$\min c(Z) = c_n \cdot r + \sum_{z \in Z} f(z) + \sum_{z \in Z} g(z) \quad (4)$$

kde:

c_n je koeficient zatěžující kritérium náklady při použití dalšího vozidla zjišťovaný z ekonomického rozboru.

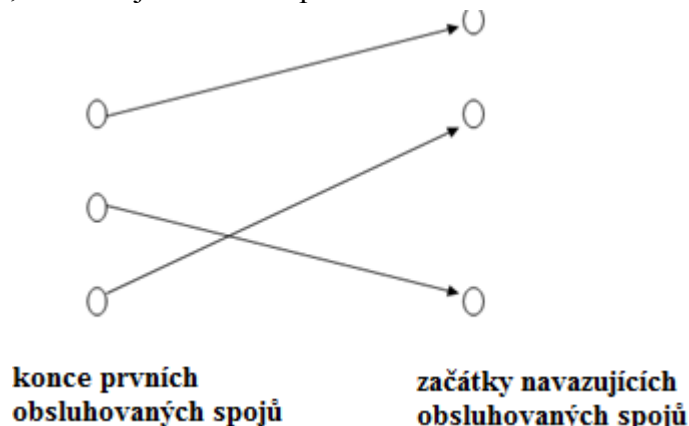
Vyjádření účelové funkce může být pomocí různých jednotek. Pro minimalizaci neproduktivních jízd se nabízí délka těchto jízd. Musí se však počítat i s prostoji, což do úlohy přináší faktor času. Jedna z možností je převod vzdáleností neproduktivních jízd na jízdní doby. Po převodu na časové kritérium bude v modelu možné sledovat a minimalizovat i případné prostoje autobusů. Do modelu pak lze zahrnout splnění takových omezujících podmínek, jako jsou například bezpečnostní přestávky řidičů, pokud nedochází ke střídáním řidičů tzv. „na ose“. Bezpečnostní přestávky jsou stanoveny v linkové osobní dopravě, u které délka žádného ze spojů nepřesahuje 50 km, vyhláškou č. 478/2000 Sb., kterou se provádí zákon o silniční dopravě ve znění pozdějších předpisů (10). V případě, že, délka spoje přesáhne 50 km, platí nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 561/2006 ve znění pozdějších předpisů (11).

Problémem je, že takto vyjádřené hodnoty kritéria nepopisují praktické náklady rovnoměrně. Nejjednodušší řešení je přepočítání všech parametrů, které jsou obsaženy v účelové funkci, pomocí vhodně zvolených cenových koeficientů. Prakticky by se mohlo jednat například o ocenění:

- potřeby použití dalšího autobusu,
- neproduktivní časové prodlevy – prostoje,
- ostatní časové prodlevy – přestávka na oběd, bezpečnostní přestávky,
- neproduktivní přejezdy,
- ostatní.

2. OMEZUJÍCÍ PODMÍNKY OBĚHŮ

V úloze optimalizace oběhů autobusů je celá řada omezujících podmínek. Základní omezující podmínkou modelu je nutnost obslužení všech spojů a to tak, že každý spoj musí být obslužen právě jedním vozidlem. Přechody autobusů mezi prvními obsluhovanými spoji a začátky dalších spojů, na které jsou vozidla přiřazena uvádí obr 2.



Zdroj: Autor

Obr. 2 – Přejezdy autobusů mezi spoji

Možnosti organizace případných přejezdů autobusů mezi spoji v SW SKELETON lze zadávat v kartě „Vlastnosti kurzu“, viz obrázek 3.

Zdroj: Autor s využitím SW SKELETON

Obr. 3 – Vlastnosti kurzu s hlediska kategorizace přejezdů autobusů

Velkou množinu omezujících podmínek představují časová omezení. Spoj nemůže být zařazen do oběhu, pokud jeho doba odjezdu z výchozí zastávky je menší než doba příjezdu do cílové zastávky předešlého spoje zvýšená o čas potřebný k manipulacím a přejezdu. Dalšími

omezujícími podmínkami, které by se daly nazvat jako globální, protože platí stejně pro všechny sestavované oběhy, mohou být:

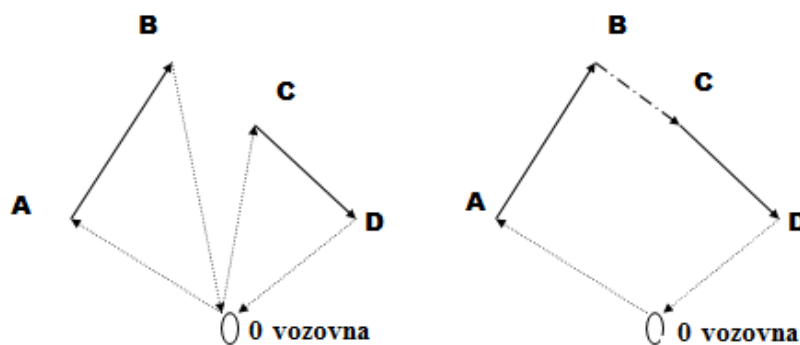
- maximální doba trvání oběhu, která je závislá například na pracovní době řidiče,
- délka trasy oběhu, použitelné pro speciální případy (např. kapacita baterií u elektrobuseů),
- povinné bezpečnostní přestávky řidičů,
- přestávky na jídlo a oddech stanovené zákoníkem práce,
- maximální doba prostoje,
- maximální délka přejezdů v rámci oběhů.

3. METODA OKRUŽNÍCH JÍZD PRO OBĚHY

K řešení oběhů lze využít také metodu okružních jízd. Příklad je na obrázku č. 4. Máme obslužit autobusem dvě linky A-B a C-D.

První možností, je že autobus může vykonat neproduktivní přistavnou jízdu z vozovny 0 do výchozí zastávky A, pak produktivní jízdu z A do B a končit neproduktivní odstavnou jízdou z konečné zastávky B do vozovny 0. Poté opět vykoná neproduktivní přistavnou jízdu z vozovny 0 do výchozí zastávky C, pak produktivní jízdu z C do D a končit bude neproduktivní jízdou z konečné zastávky D do vozovny 0.

Druhou možností je, že autobus může vykonat neproduktivní přistavnou jízdu z vozovny 0 do výchozí zastávky A, pak produktivní jízdu z A do B. Poté bude následovat neproduktivní přejezd z konečné zastávky B do výchozí zastávky C. Dále bude následovat produktivní jízda z C do D a oběh bude končit neproduktivní odstavnou jízdou z konečné zastávky D do vozovny 0.



Zdroj: autor

Obr. 4 – Příklad oběhu autobusu

Matematicky lze obrázek č. 4 vyjádřit vztahem (5). Zde první závorka uvádí obsluhu prvního spoje (délky jízd, doby jízd, náklady na jízdy). Druhá závorka uvádí obsluhu druhého spoje (délky jízd, doby jízd, náklady na jízdy).

$$f = (d_{0A} + d_{AB} + d_{B0}) + (d_{0C} + d_{CD} + d_{D0}) \quad (5)$$

kde:

d_{0A} ... přistavná jízda z vozovny 0 na výchozí zastávku A [km, h, Kč]

d_{AB} ... obsluha spoje mezi výchozí zastávkou A a konečnou B [km, h, Kč]

d_{B0} ...odstavná jízda z konečné zastávky B do vozovny 0 [km, h, Kč]

d_{0C} ... přístavná jízda z vozovny 0 na výchozí zastávku C [km, h, Kč]

d_{CD} ...obsluha spoje mezi výchozí zastávkou C a konečnou zastávkou D [km, h, Kč]

d_{D0} ... odstavná jízda z konečné zastávky D do vozovny 0 [km, h, Kč]

Neproductivní části oběhů, v případě dvou přístavných a odstavných jízd, lze vyjádřit vztahem (6).

$$f = (d_{0A} + d_{B0}) + (d_{0C} + d_{D0}) \quad (6)$$

Neproductivní části oběhů, v případě přístavné jízdy, přejezdu a odstavné jízdy, lze vyjádřit vztahem (7).

$$f = (d_{0A}) + d_{BC} + (d_{D0}) \quad (7)$$

Výsledný efekt z organizace oběhů vyjadřuje vztah (8).

$$u = d_{B0} + d_{0C} - d_{BC} \quad (8)$$

kde:

u ... výsledný efekt z organizace oběhů [km, h, Kč]

Mohou nastat následující případy:

- $u > 0$ Dojde k úspoře kilometrů nebo času nebo nákladů. Je výhodné místo první odstavné jízdy a druhé přístavné jízdy realizovat přejezd.
- $u = 0$ Nedojde k úspoře nebo ke změně nákladů. Je jedno, jaký způsob oběhů zvolíme.
- $u < 0$ Dojde ke zvýšení počtu kilometrů nebo času nebo nákladů. Je výhodné odstavovat a přistavovat autobus a nerealizovat přejezd.

ZÁVĚR

Problematika tvorby oběhů autobusů veřejné linkové dopravy při zajišťování dopravní obslužnosti je významnou oblastí optimalizace veřejné hromadné dopravy. Cílem jejího řešení je minimalizovat potřebný počet autobusů a zvýšit jejich využití. Řešení představuje sestavení účelové funkce s možností minimalizace - počtu náležitostí, neproductivních jízd, neproductivních jízd a prostojů, počtu náležitostí i neproductivních jízd. Při řešení musí být dodrženy definované omezující podmínky. Pro tvorbu oběhů autobusů jsou využívány SW programy, které vycházejí z metod operačního výzkumu, teorie dopravy a modelování v dopravě.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1370/2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici
- (2) Zákon č. 194/2010 Sb., o veřejných službách v přepravě cestujících ve znění pozdějších předpisů
- (3) Zákon č. 111/1994 Sb., o silniční dopravě ve znění pozdějších předpisů
- (4) Statistická ročenka dopravy České republiky 2016
- (5) Výroční zprávy Pardubického kraje za roky 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
- (6) Výroční zprávy Dopravní podnik města Pardubic, a.s. za roky 2013, 2014, 2015
- (7) Nařízení vlády č. 63/2011 Sb., o stanovení minimálních hodnot a ukazatelů standardů kvality a bezpečnosti a o způsobu jejich prokazování v souvislosti s poskytováním veřejných služeb v přepravě cestujících ve znění pozdějších předpisů
- (8) Pastor, O, Tuzar, A. Teorie dopravních systémů. Praha: ASPI, 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.
- (9) Internetové stránky FS Software, s.r.o., program SKELETON [online]. c2016 [cit. 2017-02-15]. <<http://www.www.fssoftware.cz>>.
- (10) Vyhláška č. 470/2000 Sb., kterou se provádí zákon o silniční dopravě ve znění pozdějších předpisů
- (11) Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 561/2006 o harmonizaci některých předpisů v sociální oblasti týkajících se silniční dopravy, o změně nařízení Rady (EHS) č. 3821/85 a (ES) č. 2135/98 a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 3820/85 v platném znění