

Zkouška citlivosti metody STEM modifikované pro prioritizaci přidělení kapacity dopravní cesty

Ing. Pavel Purkart¹

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů

Horská 3, 128 03 Praha 2

e-mail_1: purkapav@fd.cvut.cz

Abstrakt

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, se zabývá ve svém výzkumu problematikou přidělování kapacity železniční dopravní cesty. Kapacita jakékoli dopravní cesty je omezujícím prvkem z pohledu její funkčnosti. Ne vždy lze tak vyhovět všem požadavkům a přidělcce stojí před otázkou, jak kapacitu přidělit, a to tak, aby to bylo co nejučelnější a dosáhl co nejvíce celospolečenských přínosů. Vědecký tým se zabývá touto problematikou a pro jeho výzkum využívá modifikovanou metodu STEM (Step Method), což je nástroj lineární optimalizace. Článek čtenáře seznamuje s užitím této metody na železniční trati Plzeň – Žatec na území České republiky. Především se zabývá její citlivostí při změně parametru počtu cestujících v jednotlivých segmentech osobní železniční dopravy. Zde vznikají požadavky na přidělení kapacity dráhy od jednotlivých objednatelů osobní dopravy v závazku veřejné služby (často nejen tyto požadavky), nicméně infrastruktura není schopna pojmout smysluplně všechny. V článku je představena simulace tří variant počtů cestujících očekávaných ve spěšných vlacích, což právě reprezentuje možnosti přidělení kapacity různým segmentům vlaků v případě takové kapacity dopravní cesty, která není schopna uspokojit všechny požadavky.

Klíčová slova

kapacita železniční dopravní cesty, požadavky dopravců a objednatelů, organizování veřejné dopravy, metoda STEM, trať Plzeň – Žatec, optimalizace

Sensitivity Test of the STEM Method Modified to Prioritize the Allocation of Traffic Path Capacity

Abstract

CTU in Prague Faculty of Transportation Sciences, Department of Transport Systems, deals in its research with the issue of allocating the capacity of a railway transport path. The capacity of any transport route is a limiting element in terms of its functionality. It is not always possible to meet all requirements and the allocator has to decide how to allocate capacity, so that it is as efficient as possible and achieves as many societal benefits as possible. The research team deals with this issue by using a modified STEM (Step Method) method for its research, which is a tool for linear optimization. The article presents the use of this method on the railway line Plzeň – Žatec in the Czech Republic. It deals with its sensitivity while changing the parameter of the number of passengers in the individual segments of the passenger rail transport. There are many requirements for the allocation of railway capacity, but the infrastructure is not able to satisfy all of them. The article presents a simulation of three variants of the number of passengers expected in regional expresses. This represents the possibility of allocating capacity to different train segments in situations when the infrastructure cannot satisfy all requirements for railway capacity allocation

Keywords

railway infrastructure capacity, requirements of carriers operators and orderers, regional public transport managers, STEM method, Plzeň – Žatec railway line, optimization

1. Úvod

Kapacita železniční dopravní cesty je jednoznačně parametrem, který ovlivňuje její využitelnost. Nejen v České republice, ale ve všech vyspělých zemích, kde se železniční doprava využívá jako páteř dopravní obsluhy regionů, se jedná o významný problém. Je tak nastolena otázka, jak realizovat provoz vlaků tak, aby toto bylo s ohledem na omezující infrastrukturu co nejučelnější. Neexistují přitom jednotné postupy a prakticky každý stát k této problematice přistupuje jinak.

2. Popis metody STEM

Metoda STEM má tu výhodu, že vyžaduje minimální spolupráci mezi zadavatelem úlohy a jejím řešitelem oproti jiným metodám. Metoda stanoví váhy pro jednotlivá kritéria vlastním výpočtem a následně se zadavatel musí rozhodnout, zda je výsledek pro něj akceptovatelný či nikoli. Metoda se tak skládá jednak z procesu výpočetního, a jednak z procesu rozhodovacího. Pokud zadavatel rozhodne, že výsledek výpočtu je pro něj akceptovatelný, výpočet je konečný. Pokud tomu tak není, musí zadavatel informovat řešitele úlohy o změně vybraných kritérií nebo úpravě jejich počtu a výpočet je proveden znovu.

Metoda STEM se skládá z následujících kroků:

1. Řešitel spočte optimální řešení pro jednotlivá kritéria (účelové funkce) zvlášť. Počet výpočtů tedy odpovídá počtu kritérií.
2. Řešitel vyčíslí váhy jednotlivých kritérií na základě následujícího vzorce:

$$w_i = \frac{z_{ii} - \min_{j=1, \dots, k} z_{ij}}{z_{ii}} \frac{\alpha}{\sqrt{\sum_{i=1}^n c_{ij}^2}} \quad (1)$$

kde:

z_{ij} – prvek matice hodnot optimalizačních kritérií pro optimalizaci pro jednotlivá optimalizační kritéria (z_{ij} je hodnota optimalizačního kritéria $j = 1, \dots, k$ v případě optimalizace podle kritéria $i = 1, \dots, k$ [-])

c_{ij} – prvek tzv. „cenové matice“ – prvek matice koeficientů jednotlivých optimalizačních kritérií [-] [-]

Hodnota α se získá z následující rovnice:

$$\sum_{i=1}^k \frac{z_{ii} - \min_{j=1, \dots, k} z_{ij}}{z_{ii}} \frac{\alpha}{\sqrt{\sum_{i=1}^n c_{ij}^2}} = 1 \quad (2)$$

V praxi musíme nejdříve vypočítat hodnotu tohoto koeficientu a pak teprve můžeme vyčíslit váhy jednotlivých kritérií. Pokud je zadavatel spokojen s vybranými hodnotami optimalizačních kritérií, pak stanoví hodnotu $w_i = 0$.

Pokud váha pro více kritérií splňuje podmínku $w_i > 0$, řešitel přidá novou proměnnou $d \geq 0$ a řeší model s novým optimalizačním kritériem:

$$\min f(x, d) = d \quad (3)$$

Pro korektní výpočet se zavede jednoduchá omezující podmínka:

$$w_{ii}(z_{ii} - \sum_{j \in J} c_{ij} X_j) \leq d \quad (4)$$

Pokud podmínka $w_i > 0$ platí pouze pro jedinou hodnotu $i = 1, \dots, k$, řešitel smí zjednodušit omezující podmínku takto:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^k w_{ii}(z_{ii} - \sum_{j \in J} c_{ij} X_j) \quad (5)$$

3. Řešitel prezentuje výsledky zadavateli. Pokud výsledek pro zadavatele není uspokojivý, ten musí upravit kritéria, případně jiná přidat nebo použítá zčásti odebrat. Následně se řešitel vrací k výpočtům dle bodu 2. Pokud je zadavatel s výsledky spokojen, řešitele nalezl tzv. kompromisní řešení. Pokud dosáhne při řešení problému hodnota $d = 0$, bylo dosaženo řešení optimálního.

3. Úprava modelu a konkrétní stanovení stabilních hodnot veličin

Hodnotící kritéria pro jednotlivé linky byla stanovena pro modifikovanou metodu STEM následovně:

Denní předpokládaný průměrný počet cestujících v omezujícím úseku v tisících

Parametr vyjadřuje denní průměrný počet cestujících na lince v omezujícím úseku, tj. v úseku s nejnižší propustností. Hodnota vyjadřuje využití vlaků dané linky v tomto úseku.

Denní předpokládaný průměrný počet cestujících v rámci celé linky v tisících

Parametr vyjadřuje denní průměrný počet cestujících na celé lince, resp. logicky omezeném provozním úseku linky. Parametr poskytuje hodnocení celkového využití linky. Není dostačující uvažovat potenciál pouze na omezujícím úseku, ale je klíčové hodnotit i potenciál linky jako celku.

Využití traťové rychlosti v logicky ohraničeném úseku

Nezřídka se vyskytují případy, kdy na trati v logicky ohraničeném úseku (zde patrně nevhodněji v omezujícím úseku) jezdí soupravy nižší rychlostí bez schopnosti využít plné traťové parametry. Pokud je souprava schopna vyvinout rychlost v omezujícím úseku železniční trati dle traťové rychlosti určených pro daný traťový profil, pak poměr bude činit 1 (100 %). Pokud toto dosaženo nebude, poměr se bude snižovat. Pokud tak na trati v omezujícím

úseku bude traťová rychlost až 100 km/h a souprava bude schopna vyvinout maximální rychlost pouze 80 km/h, poměr se logicky sníží na 0,8 (80 %).

Ohodnocení systémových přípojových vazeb na lince v logicky vymezeném úseku

Parametr je nastaven z důvodu hodnocení návazností na další linky, cílem je určit míru síťového charakteru linky. Celkové ohodnocení parametrů je součtem následujících bodů za všechny přestupní uzly v logicky ohraničeném úseku linky. Přestupní uzly/body se ohodnotí následovně:

- 2 body – železniční přestupní uzel se systémovými návaznostmi na linky alespoň do tří dalších směrů (tj. minimálně křižovatková železniční stanice, spíše však uzlová) v gesci železniční dopravy s možností systémových vazeb i na veřejnou linkovou dopravu či MHD;
- 1 bod – železniční přestupní bod se systémovými návaznostmi na linky alespoň do jednoho nebo dvou dalších směrů v působnosti železniční dopravy s možností systémových vazeb i na veřejnou linkovou dopravu či MHD, případně přestupní bod s možností četných systémových vazeb pouze na veřejnou linkovou dopravu či MHD.

Je-li linka trasována přes důležitý přestupní uzel, za tento uzel obdrží 2 body. Za každý přestupní bod (tj. přestupní uzel s nižší důležitostí) obdrží 1 bod. Čím vyšší součet bodů, tím jsou návaznosti četnější a důležitější, a tudíž je provoz linky klíčový pro účelnou funkci dalších linek veřejné dopravy.

Porovnání cestovních dob IAD a dané linky ve třech nejzatíženějších relacích na lince

Parametr je nastaven za účelem porovnání konkurenceschopnosti vlakové linky vůči IAD. V logicky ohraničeném úseku linky budou vybrány tři nejvytíženější relace a stanoven poměr cestovní doby IAD v daném úseku vůči cestovní době při využití spoje dané linky. Pro tyto relace bude stanovena hodnota zvlášť a následně spočítán průměr tří hodnot, který vstoupí do hodnocení. Z výše uvedeného principu plyne, že překračuje-li hodnota číslo 1, veřejná doprava je v daném vějíři relací průměrně rychlejší než IAD.

Pro test modelu byla vybrána trať Plzeň – Žatec. Trať vede z krajského města Plzeň v západní oblasti České republiky do aglomerace v Podkrušnohorské pánvi v severní části státu (města Žatec, Chomutov, Most a Jirkov). Zejména v plzeňské aglomeraci je propustnost železniční infrastruktury na této trati velmi omezující, proto byla vybrána jako testovací. Metoda STEM byla modifikována z původního použití primárně pro hodnocení projektů, kdy poskytuje hodnocení a výsledky pro výběr projektů při omezených finančních možnostech. Nově je dáno obsazení kapacitně

limitujícího úseku železniční dopravní cesty za daný časový interval, kterým mají projet takové vlaky, aby celospolečenský přínos byl maximalizován.

Je uvažováno, že na trati zhruba ve stávajícím stavu infrastruktury dojde ke střetu následujících požadavků objednatelů veřejné hromadné dopravy v působnosti železniční dopravy:

- linka R fast train category Plzeň – Most v intervalu 120 minut;
- linka Sp Plzeň – Žihle v intervalu 120 minut;
- linka Os č. 1 Plzeň – Žihle v intervalu 60 minut;
- linka Os č. 2 Nýřany – Plzeň – Plasy v intervalu 60 minut.

Takto stanovené linkové vedení zajišťuje dosažení souhrnného intervalu rychlého segmentu vlaků v úseku Plzeň – Žihle v intervalu 60 minut a v případě osobních vlaků souhrnného intervalu osobních vlaků ve špičkovém období 30 minut.

S ohledem na skutečnost, že základní interval nejrůznějších zastoupených segmentů vlaků činí 120 minut, byla i tato hodnota zvolena jako výchozí pro stanovení délky hodnotícího období. Uvažujeme rovnoměrný provoz v obou směrech, je tím pádem pro každý směr je v tomto období k dispozici kapacita dráhy se započtením všech úkonů (rušení a stavění vlakových cest apod.) 60 minut, vyjádříme-li ji počtem minut, nikoli počtem tras, jak je v modelu uvažováno. Aby nedošlo ke stupeň obsazenosti 100 %, je tato hodnota snížena na 50 minut. V tomto případě je zároveň uvažováno, že ve špičkových obdobích je provoz nákladních vlaků na této trati minimální, tudíž pro ně nejsou vyžadovány pravidelné trasy, jinak by tato hodnota musela být snížena ještě více.

Z nákrešného jízdního řádu plyne, že nejzásadněji omezujícím úsekem je úsek Horní Bříza – Kaznějov. Ten je pro výpočet uvažován s tím, že pro jednotlivé linky je uvažován následující čas obsazení:

- linka R 8 minut;
- linka Sp 9 minut;
- linky Os 10 minut.

4. Test citlivosti metody STEM modifikované na dopravní problém přidělení kapacity železniční dopravní cesty

Citlivost metody STEM byla prakticky otestována na změnách v počtech cestujících. Změna byla provedena na segmentu spěšných vlaků, které prakticky dnes nejsou na trati provozovány, ale pro rychlé a četnější napojení severního Plzeňska na krajské město Plzeň je ke zvážení tyto vlaky provozovat. Cílem testu bylo pokusit se stanovit, od zhruba jaké hranice cestujících je tyto vlaky vhodné vést na úkor jiných segmentů osobní dopravy.

Jako vstupní data (var. 0) byly zvoleny tyto denní hodnoty počtu cestujících (shrnuty v tabulce 1):

Tabulka 1: Počty cestujících – var. 0

linka	počet cestujících v omezujícím úseku [tis. cestujících za 24 hodin]	počet cestujících v rámci celé linky [tis. cestujících za 24 hodin]
R	0,9	1,4
Sp	0,8	0,9
Os č. 1	0,5	1,5
Os č. 2	0,3	2,5

Pro tuto variantu byl sestaven model, a to s výsledkem, že preferovány jsou linky **R, Sp a Os č. 2, přičemž** hodnota $d = 0,167$. Jedná se tak o řešení kompromisní. To lze reprezentovat již tak, že uvedený denní počet cestujících pro spěšné vlaky je dostačující k vyvození závěru, že je účelné je provozovat na úkor jiných linek.

Pro další test tak byly denní počty cestujících spěšných vlaků sníženy. Ve variantě A tak byly sníženy předpokládané počty cestujících ve spěšných vlacích dle tabulky 2:

Tabulka 2: Počty cestujících – var. A

linka	počet cestujících v omezujícím úseku [tis. cestujících za 24 hodin]	počet cestujících v rámci celé linky [tis. cestujících za 24 hodin]
R	0,9	1,4
Sp	0,7	0,8
Os č. 1	0,5	1,5
Os č. 2	0,3	2,5

I v případě varianty A je byl modelem kalkulován výsledek linkového vedení shodný s hodnotou $d = 0,1638$. Opět se tak jedná o řešení kompromisní, nikoli globální optimum.

Z výše uvedeného plyne, že stále nebyla zjištěna hrubá hladina přepínací hodnoty, kdy bude upřednostněna jiná linka. Byl tak proveden třetí test ve variantě B, přičemž počty cestujících ve spěšných vlacích byly sníženy o dalších sto cestujících denně. Vstupní počty cestujících varianty B shrnuje tabulka 3:

Tabulka 3: Počty cestujících – var. B

linka	počet cestujících v omezujícím úseku [tis. cestujících za 24 hodin]	počet cestujících v rámci celé linky [tis. cestujících za 24 hodin]
R	0,9	1,4
Sp	0,6	0,7
Os č. 1	0,5	1,5
Os č. 2	0,3	2,5

V případě varianty B již došlo k finální kalkulaci, kdy preferovány k přidělení kapacity dopravní cesty jsou linky R, Os. č. 1 a Os. č. 2. Hodnota d dosáhla 0,1695, tedy opět se jedná o kompromisní řešení. Kalkulací se tak došlo k výsledku, že přepínací hodnota ke spuštění provozu spěšných vlaků je mezi 600 – 700 cestujícími denně v omezujícím úseku Kaznějov – Horní Bříza a 700 – 800 cestujícími denně na celé lince spěšných vlaků s tím, že uvažujeme, že počty cestujících na ostatních linkách jsou stabilní a nemění se. Při takto málo významných změnách však došlo i k minimálním změnám vah jednotlivých hodnotících kritérií, což je velmi pozitivní zjištění v tom, že modifikovaná metoda je i velmi dobře prakticky využitelná.

5. Závěr

Výše uvedená forma výzkumu ukazuje, že Metoda STEM vykazuje jednak praktickou použitelnost pro řešení problémů při stanovení preference přidělení kapacity dopravní cesty, ale že uspokojivě funguje i při změně vybraných parametrů. Výzvou je tak testování i změn ostatních parametrů. V konkrétním případě byl měněn parametr počtu cestujících předpokládaný v jednotlivých segmentech dopravy.

Metodu STEM bude pravděpodobně možné modifikovat nejen pro problém kapacity železniční dopravní cesty, ale i pro řešení jiných úloh výpočetní cestou. Ve výše uvedené úloze dosahuje metoda relativně uspokojivých výsledků, nicméně je úlohou vědeckého týmu otestovat i jiné konkrétní případy tratí, a i jiné metody a porovnat jimi dosažené výsledky.

Je však zřejmé, že hodnotící kritéria musí být volena pečlivě a odpovědně, jinak metoda neposkytne uspokojivé výsledky. Pokud je však toto splněno, může být vhodným nástrojem k rozhodování nebo posuzování situací, jejichž optimální, příp. suboptimální řešení, není zřejmé.

Literatura

- [1] HANSEN, Ingo Arne and Jörn PACHL. Railway timetable and traffic. Hamburg: DVV Media Group GmbH - Eurailpress, 2008. ISBN 978-3-7771-0371-6.
- [2] PACHL, Jörn. Systemtechnik des Schienenverkehrs: Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, mit Beispielen. 4., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: B.G. Teubner, 2004. ISBN 3-519-36383-6.
- [3] PURKART, Pavel. Optimal cooperation of public transport segments. Praha: Defense date 2019-12-06. Doctoral Minimum. CTU FTS. Department of Transportation Systems. Supervised by L. TÝFA.
- [4] TEICHMANN, Dušan and Michal DORDA. Comparison of Two Selected Methods In Evaluating Of Investments in Transport Infrastructure. In: Finance and Performance of Firms in Science, Education and Practice : proceedings of the 7th International Scientific Conference : April 23-24,

2015, Zlín, Czech Republic. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2015.
pp. 1524-1536. ISBN 978-80-7454-482-8.

- [5] Veřejně dostupné materiály týkající se provozování dráhy (jízdni řády atd.) od Správy železnic, státní organizace

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty.