

NOVÁ METODIKA HODNOTENIA DOPRAVNÝCH SPOJENÍ V ZÁVISLOSTI OD INTEGROVANEJ DOPRAVNEJ SIETE

NEW METHODOLOGY FOR TRANSPORT CONNECTIONS ASSESSING DEPENDING ON THE INTEGRATED TRANSPORT

Vladimír Lupták¹, Veronika Gáborová², Zdenka Záhumenská³

Anotace: Periodická linková doprava predstavuje integrovaný taktový cestovný poriadok, kde je okrem pravidelne sa opakujúcej líniovej formy sledovaná aj sieťová previazanosť. Dôležitým faktorom je minimalizácia prestupných časov vo vybraných miestach - dopravných uzloch. Cieľom je minimalizácia celkového prepravného času cestujúceho z miesta A do miesta B.

Základným stavebným kameňom dopravných služieb je poskytovať cestovné príležitosti vytvorením väzieb a spojení. Často sa po zavedení nového cestovného poriadku, v rámci diskusie, hodnotí kvalita cestovného poriadku subjektívnym spôsobom. Autori riešia niektoré najproblematickejšie prvky na zlepšenie kvality železničnej osobnej dopravy. V súčasnej dobe neexistuje žiadna metodika pre posudzovanie cestovných poriadkov z dopravného hľadiska ako celku. Hodnotia sa konkrétne vlaky a spojenia iba v staniaciach, nie však kvalita spojenia z bodu A do bodu B.

Cieľom tohto článku je predstaviť novú metodiku pre posudzovanie cestovného poriadku, pokiaľ ide o osobnú dopravu a týkajúce sa prestupy a prepojenia. Z pohľadu cestujúceho je nutné posúdiť dostupnosť cestovných príležitostí medzi vybranými bodmi na železničnej sieti. Ponuka cestovných spojení z A do B je v zásade ovplyvnená časom jazdy, počtom prestupov (zmena dopravného prostriedku) a počtom cestovných možností. Na možnosti prestupov a prepojenia má vplyv niekoľko faktorov. To je výsledok nastavenia návrhu kritérií pre vyhodnotenie spojení.

Predstretá štúdia je navrhnutá v gescii zostavenia nástrojov na objektívne hodnotenie kvality spojenia verejnej osobnej dopravy. Konkrétne sa jedná o aspekty dostupnosti a času dopravných služieb vo vybraných zemepisných oblastiach v reciprocite s normou EN 13816.

Kľúčová slova: dopravný prúd, kvalita spojenia, Lillov model

¹ Ing. Vladimír Lupták, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3434, Fax: +421 41 513 3434, E-mail: vladimir.luptak@fpedas.uniza.sk

² Ing. Veronika Gáborová, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3434, Fax: +421 41 513 3434, E-mail: veronika.gaborova@fpedas.uniza.sk

³ Ing. Zdenka Záhumenská, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3434, Fax: +421 41 513 3434, E-mail: zdenka.zahumenska@fpedas.uniza.sk

Summary: The periodic line transport is an integrated tact timetable, which is also a periodical liner form of surveillance and network interconnection. An important factor is to minimize the interchange times in selected areas - transport hubs. The aim is to minimize the total transit time of a passenger from point A to point B.

The cornerstone of transport services is to provide travel opportunities by creating of the links and connections. Often, after the introduction of the new timetable under discussion whether it is better or worse, each approach is evaluated in a subjective manner. The authors solved some partially problematic of rail passenger quality services. At present, there is no methodology for train timetables assessing from the transportation point of view as a whole. We evaluate only specific trains and connections in the stations, but not the quality of the connection from point A to point B.

The aim of this paper is to introduce a new methodology for the assessment of timetables in terms of passenger traffic focused on connectivity and linking. From the passenger's point of view, it is necessary to assess the availability of travelling opportunities between selected points on the rail network. The travel offered from A to B is in principle affected by travel time, number of transfers (changing of the transport means, and number of travel opportunities. Several factors also affect the connectivity and linking. This is an outcome for setting of draft criteria for connection evaluation.

Introduced study is designed in purview of the set up a tool for an objective evaluation of the quality of public transport service, specifically, the aspects of availability and time services in selected geographical areas in reciprocity to the Standard EN 13816.

Key words: traffic flow, quality link, Lills model

1. ZÁVISLOSŤ INTEGROVANEJ DOPRAVNEJ SIETE

Dopravnú sieť je definovaná určitou množinou dopravných uzlov a jej spájajúcich dopravných úsekov. Po dopravnej sieti sa pohybujú, do nej vstupujú a neskôr z nej vystupujú hmotné objekty (napr. cestujúci, vlaky, vozňové zásielky a pod.). Ako matematický model siete môže slúžiť konečný graf s konečným počtom vrcholov a zmiešaný s orientovanými i neorientovanými hranami, graf $G = (V, H, c, d)$, kde V je množina vrcholov (napr. železničné stanice, zastávky, tarifné body a pod.), H je množina hrán (napr. medzistaničné úseky), $c(h)$ je priepustná kapacita hrany alebo úseku hrany h a $d(h)$ je jej dĺžka.

Pri dopravných sieťach, podobne ako u iných systémoch, je dôležitá rozlišovacia úroveň. Pre potreby cestovných poriadkov osobnej železničnej dopravy stačí, keď jedna stanica je v grafe reprezentovaná jedným vrcholom, zo sieťového ponímania uzlom., ale pre potreby riadenia osobnej železničnej dopravy je každá stanica určená pre nástup a výstup cestujúcich (zmena prúdu po hrane) chápaná ako zvláštny vrchol. (6)

Nadstavbou bežnej linkovej periodickej dopravy je integrovaný taktový cestovný poriadok (ITCP), kde je okrem pravidelne sa opakujúcej líniovej formy sledovaná sieťová previazanosť a minimalizácia prestupných časov vo vybraných miestach (dopravných uzloch) stretávania jednotlivých liniek, prevádzkovanými na danej perióde. Cieľom tohto sieťového efektu je minimalizácia celkového času prepravy cestujúceho z miesta A do miesta B. Táto

forma dopravnej obsluhy je najnáročnejšia na precíznosť plánovania a na požiadavky z hľadiska okrajových podmienok. Zásadné požiadavky sú kladené na veľkosť hranového času medzi dvoma periodickými uzlami, kde je predpoklad obojstrannej prestupnej väzby. Dosadením tohto hranového času možno realizovať kombináciu opatrení týkajúcich sa infraštruktúry, zostavením zodpovedajúcich vozidiel a v neposlednej rade realizáciu ponuky spojov (cestovný poriadok).

Základnú osnovu ITCP tvorí periodický cestovný poriadok nadradenej železničnej siete. Optimálne prestupné možnosti sú dané, keď sa všetky vlaky schádzajú v rovnakom časovom období do prestupného uzla (väčšinou je to prestupná železničná stanica). V tomto časovom období je potrebné obsluhovať tento prestupný bod ďalšími doplnkovými dopravnými prostriedkami. Tak je možné s minimálnymi nákladmi z celej plochy atrakčného obvodu prepravovať cestujúcich do prestupných uzlov či medziľahých staníc. Za stanovený relatívne krátky čas sa aplikuje analogickým spôsobom i preprava cestujúcich v opačnom smere.

Týmto spôsobom sa vytvorí pre prestupný uzol v rámci atrakčného obvodu schéma jazd spojov, ktoré sú označované ako tzv. prestupný pavúk. Každý takýto prestupný pavúk má svoju časovú os, ktorá reprezentuje časový úsek pre uskutočnenie prestupov v danom prestupnom uzle. Časová os určuje hranový čas. Situácia znázornená prestupnými pavúkmi sa pravidelne opakuje vždy po uplynutí jednej periódy.

Spoje opačných smerov na danej linke sa stretávajú (u vlakov križujú) vďaka symetrii cestovného poriadku v časových odstupoch rovných polovici periódy. Ak teda leží prestupný uzol v časovom odstupe celočíselného násobku polovice periódy, uskutočňuje sa stretávanie spojov (u vlakov križovanie) opačného smeru práve v týchto prestupných uzloch.

Časový odstup medzi osami symetrie prestupných pavúkov dvoch susedných prestupných uzlov sa nazýva hranový čas. Pre jednohodinovú periódu vychádzajú hranové časy 30, 60, 90, ... minút. V danej systematizovanej dopravnej sieti vyššie uvedeným spôsobom je možné dospieť z každého bodu do každého ľubovoľného bodu bez väčších časových strát vznikajúceho z titulu čakania na prípoje. Táto možnosť musí byť daná i pre okružné jazdy späť k východnému bodu tak, aby končila v osi symetrie prestupného pavúka. Z toho vyplýva, že čas potrebný pre okružnú jazdu sa rovná celočíselnému násobku periódy.

Z uvedených zákonitostí vyplýva, že podmienky cestovného poriadku tohto druhu vyžadujú úplne podmienené cestovné časy medzi uzlami, nie je preto potreba vychádzať zo snahy o maximálne hodnoty traťových rýchlostí, pretože potrebné cestovné a s nimi súvisiace traťové rýchlosti sú dané na systéme závislých cestovných časov. (7)

Pomocou tohto spôsobu systematizovaného cestovného poriadku sa železničná doprava stáva integrujúcim jadrom celého integrovaného systematického cestovného poriadku, a aplikáciou vyššie uvedených skutočností sa zvyšuje kvalita spojenia na dopravnej sieti a to nielen na úrovni železničnej dopravy, ale aj na úrovni integrovaných dopravných systémov. (7)

2. KONTINUITA DOPRAVNÉHO PRÚDU MEDZI VRCHOLMI NA DOPRAVNEJ SIETI

Pri kontinuite dopravného prúdu je potrebné si zvoliť na trase dopravného prúdu dve miesta o súradniciach x_1 a x_2 . Veľkosť prúdiacej masy (napr. počet vlakov), nachádzajúca sa v čase t resp. $t + \Delta t$ medzi týmito miestami je

$$\int_{x_1}^{x_2} h(x, t) dx, \text{ resp. } \int_{x_1}^{x_2} h(x, t + \Delta t) dx \quad (1)$$

a teda ich rozdiel, vyjadrujúcu zmenu tejto veľkosti je

$$D = \int_{x_1}^{x_2} (h(x, t + \Delta t) - h(x, t)) dx \quad (2)$$

Túto diferenciu D môžeme vyjadriť aj iným spôsobom, a to ako rozdiel medzi tým, čo v intervale $(t, t + \Delta t)$ priteklo cez bod x_1 a odtieklo cez bod x_2 :

$$D = \int_t^{t+\Delta t} q(x_1, \tau) d\tau - \int_t^{t+\Delta t} q(x_2, \tau) d\tau = \int_t^{t+\Delta t} [q(x_1, \tau) - q(x_2, \tau)] d\tau \quad (3)$$

Z definície určitého integrálu vyplýva, že pri každom pevnom τ , resp. x platí $q(x_1, \tau) - q(x_2, \tau) = - \int_{x_1}^{x_2} \left[\frac{\partial q(x_1, \tau)}{\partial x} \right] dx$, $h(x, t + \Delta t) - h(x, t) = \int_t^{t+\Delta t} \left(\frac{\partial h(x, \tau)}{\partial \tau} \right) d\tau$ (4)

a vtedy rozdiel D môžeme vyjadriť pomocou dvojnásobného integrálu a v ňom zmeniť poradie integrácie:

$$D = \int_{x_1}^{x_2} \left[\int_t^{t+\Delta t} \left(\frac{\partial h(x, \tau)}{\partial \tau} \right) d\tau \right] dx = \int_t^{t+\Delta t} \left[- \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial q(x, \tau)}{\partial x} \right) dx \right] d\tau = \int_{x_1}^{x_2} \left[\int_t^{t+\Delta t} \left(- \frac{\partial q(x, \tau)}{\partial x} \right) d\tau \right] dx \quad (5)$$

Pretože prvý a tretí integrál majú rovnaké hranice a tieto hranice boli volené ľubovoľne, z rovností integrálov musí plynúť i rovnosť integrovaných funkcií, a preto v ľubovoľnom bode x a ľubovoľnom čase τ musí platiť:

$$\frac{\partial h(x, \tau)}{\partial \tau} = - \frac{\partial q(x, \tau)}{\partial x} \Leftrightarrow \frac{\partial h(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{\partial q(x, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Toto je jeden z najdôležitejších vzťahov teórie dopravného prúdu. Nazývame ju rovnica kontinuity dopravného prúdu. V súlade s fyzikálnou analógiou a dopravným prúdom sú v podmienkach železničnej dopravy charakterizované tieto základné stavové veličiny: (6)

- rýchlosť,
- intenzita = množstvo jednotiek prúdu, prechádzajúce daným miestom za časovú jednotku,
- hustota = množstvo jednotiek prúdu na jednotku vzdialenosti trasy v danom mieste a danom čase,
- vlnová rýchlosť = rýchlosť pohybu miesta s danou hustotou.

3. DEFINOVANIE KVALITATÍVNYCH UKAZOVATEĽOV PRI HODNOTENÍ SPOJENIA NA DOPRAVNEJ SIETI

Metodika je založená na hodnotení definovaných kritérií spojení medzi vybranými tarifnými bodmi na sieti. Základ metodiky je hodnotenie konkrétneho spojenia. Potrebne je stanoviť, či sa hodnotia spojenia v pracovný deň alebo víkendový deň, prípadne spracovať hodnotenie osobitne pre vybraný pracovný deň, sobotu alebo nedeľu. Následne budú vyhodnotené sumarizačné ukazovatele pre spojenia v rámci relácie a v rámci celej skúmanej siete. (1)

Pri hodnotení prípojovosti a kvality spojenia na danej relácii boli identifikované tieto faktory:

- počet spojení N_s počas hodnoteného dňa, a to priamych ale i s prestupmi,
- priemerný čas čakania cestujúceho W_i . Ide o čas, ktorý musí cestujúci čakať na dané spojenie v mieste odchodu, prípadne mieste nástupu. Definovaný je ako polovica času medzi odchodom dvoch po sebe idúcich spojení,
- vzdialenosť trasy spojenia L_i . Ide o vzdialenosť, ktorú prejdú dopravné prostriedky vytvárajúce dané spojenie. Toto kritérium je dôležité pre výpočet rýchlosti premiestnenia a rýchlosti dosiahnutia,
- druh vlakov a počet vlakov tvoriacich spojenie. Tento faktor vyjadruje kvalitu prepravných služieb spojenia,
- čas prepravy T_p - je čas od okamihu odchodu cestujúceho z prvej nástupnej železničnej stanice na trase a okamihom výstupu v cieľovej železničnej stanici
- počet prestupov N_p je absolútny počet zmeny dopravného prostriedku počas dosiahnutia cieľovej stanice,
- čas prestupov T_w je súhrnný čas, ktorý cestujúci strávi čakaním na prípoje v prestupných staniach pri využití konkrétneho spojenia,
- čas dosiahnutia T_D je čas od okamihu dostavenia sa cestujúceho na železničnú stanicu, v ktorej svoju cestu začína a končí okamihom príchodu vlaku do cieľovej železničnej stanice. Vypočíta sa ako súčet priemerného času čakania a času prepravy,
- rýchlosť premiestnenia V_P je daná ako podiel precestovanej vzdialenosti a času premiestnenia,
- rýchlosť dosiahnutia V_D je daná ako podiel dĺžky trasy spojenia a času dosiahnutia. (3)

Rýchlosť premiestnenia a rýchlosť dosiahnutia predstavujú dôležité hodnotiace kritérium kvality konkrétneho spojenia na hodnotenej relácii. Sú to výhodné ukazovatele pre porovnávanie spojení verejnej dopravy s individuálnou automobilovou dopravou. (2)

Po spracovaní **hodnotenia spojení** v rámci jednej relácie je potrebné zhodnotiť dané relácie medzi tarifnými bodmi na sieti. Pre každú reláciu sa vypočítajú priemerné hodnoty kritérií pre všetky spojenia: počet prestupov, čas prestupov, rýchlosť premiestnenia a rýchlosť dosiahnutia. (4)

Tab.1 Ukážka hodnotenia spojenia na relácii X – Y (pracovný deň)

Poradové číslo spojenia	Stanica X odchod [hh:min]	Stanica Y príchod [hh:min]	Priemerný čas čakania W_i [h]	Vzdialenosť L_i [km]	Kategórie vlakov (druhy)	Čas prepravy T_p [h]	Počet prestupov N_p	Prestupný čas spolu T_w [min]	Čas dosiahnutia T_d [h]	Rýchlosť premiestnenia V_p [km.h ⁻¹]	Rýchlosť dosiahnutia V_D [km.h ⁻¹]
1	6:53	9:36	6,25	158	R,	2,72	0	0,00	8,97	58,16	17,62
2	8:03	12:20	0,58	192	R,Os,Os	4,28	2	0,28	4,87	44,82	39,45
3	10:53	13:44	1,42	158	R	2,85	0	0,00	4,27	55,44	37,03
n	18:53	21:35	1,42	158	R	2,70	0	0,00	4,12	58,52	38,38
Priemerné hodnoty na spojenie:							0,88	0,22	4,96	53,04	38,49

Zdroj: Autori

4. POTREBNÝ POČET SPOJENÍ NA SIETI S VYUŽITÍM LILLOVHO MODELU

V dopravnom plánovaní je možné sa stretnúť so situáciami, keď je treba kvalifikovaným odhadom určiť veľkosť prepravných prúdov medzi dvoma bodmi za určité zvolené časové obdobie (intenzita, hustota), a to za situácie, keď nie je možné uskutočniť priamy prieskum prepravného dopytu. Rovnako je potrebné v niektorých prípadoch určiť vplyv jednotlivých opatrení daného dopravného odboru na veľkosti jeho prepravného podielu. Týka sa to predovšetkým počtu zmien prepravného, počtu spojov alebo prepravnej vzdialenosti. (7)

Z týchto dôvodov sa používajú empirické modely pre určovanie charakteristík prúdu cestujúcich (Lillov model), čo úzko súvisí s počtom ponúkaných spojení na sieti.

5. LILLOV MODEL

Lillov model slúži pre približné určenie počtu jász medzi dvoma sídelnými jednotkami, ich vzdialenosť sa zvyčajne uvažuje medzi centrami. Lillov model má nasledujúci tvar (7):

$$j_{1,2} = \frac{A_1 \cdot A_2}{d^n} \cdot K \quad (7)$$

kde:

- $j_{1,2}$ počet jász medzi dvoma mestami za stanovené časové obdobie,
- $A_{1,2}$ počet obyvateľov (v tisícoch) konkrétnych miest,
- d vzdialenosť miest,
- K koeficient (jeho veľkosť závisí na charaktere a väzbe miest 1 a 2),

N veličina blížiac sa k hodnote 2.

5.1 Výpočet optimálneho počtu spojení na vybranej relácii

V praxi však použitie Lillovho modelu nie je spravidla jednoduché a nemožno ho aplikovať na úplne všetky relácie. Vyplýva to aj zo zložitého určenia koeficientu K, ktorý zväčša nadobúda hodnotu približne 150, no v prípade dvoch miest s vysokým počtom obyvateľov a krátkou vzdialenosťou medzi nimi sa tento koeficient môže výrazne znížiť. (5)

Pre aplikáciu modelu je potrebné vybrať vhodné súmestie, ktoré podrobíme prípadovej štúdii s použitím gravitačného (Lillovho) modelu. Vhodné mestá pre použitie sa javia Leopoldov a Trnava. (1)

$$j_{1,2} = \frac{A_1 \cdot A_2}{d^n} \cdot K = \frac{4,143 \cdot 64,439}{17^2} \cdot 150 = 138,5 \text{ spojení/24 hod(8)}$$

Vypočítané hodnoty reprezentujú optimálny počet všetkých spiatočných spojení verejnej osobnej dopravy na relácii Leopoldov – Trnava.

ZÁVER

Metodika komplexne pokrýva možnosti dosiahnutia ktorejkoľvek dvojice tarifných bodov na vybranej sieti železníc. Metodika neponúka len zhodnotenie prípojovosti v rámci vybranej relácie, ale aj objektívne posúdenie dostupnosti spojení medzi dvomi vybranými tarifnými bodmi na základe kvalitatívnych ukazovateľov, ako sú priemerný počet prestupov, priemerný čas čakania, priemerná rýchlosť premiestnenia a priemerná rýchlosť dosiahnutia. Hodnotí vybranými ukazovateľmi kvalitu poskytovaných cestovných príležitostí vlakmi osobnej dopravy na tomto území.

Uvedená metodika syntetizuje poznatky z teórie osobnej dopravy a umožňuje zhodnotiť prípojovosť a kvalitu GVD na celej železničnej sieti alebo len na vybranej železničnej sieti.

Ďalším cieľom článku je načrtnúť metodiku pre stanovenie potrebného počtu dopravných spojení medzi sídelnými jednotkami v osobnej preprave. Z pohľadu cestujúceho je potrebné hodnotiť dostupnosť príležitostí cestovania medzi vybranými miestami na dopravnej sieti. Ponuku prepravy z miesta A do miesta B v zásade ovplyvňuje čas prepravy, počet prestupov a počet cestovných príležitostí. Na prípoje a na spojenie má teda vplyv viacero faktorov, čo je východiskom pre aplikovanie empirických modelov v dopravnom plánovaní.

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA 1/0095/16 "Hodnotenie kvality spojenia na dopravnej sieti ako nástroj na zvýšenie konkurencieschopnosti systému verejnej osobnej dopravy" na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

POUŽITÁ LITERATÚRA

(1) Lupták V., Gáborová V., Zitrický V. 2015. The application of empirical models in transport planning in the Slovak Republic, In: Zeleznicna doprava a logistika. ISSN 1336-

7943, p. 10-13. Online on: https://fpedas.utc.sk/zdal/images/zdal/archiv/zdal_2015_02.pdf (in Slovak)

- (2) Zitrický V., Gašparík J., Pečený L. 2015. The methodology of rating quality standards in the regional passenger transport. In: *Transport Problems = Problemy Transportu : international scientific journal*. Vol. 10, sp. Edition, (2015), p. 59-72.
- (3) Poliak, M., Križanová, A., Semanová, Š., Gajanová, L. 2014. The influence of contract form choice of the transport services ensuring on performance contracting entity requirement. In: *Transport Problems = Problemy Transportu : international scientific journal*. - ISSN 1896-0596. - Vol. 9, iss. 4 (2014) s. 153-161.
- (4) Stopka, O., Šimková, I., Konečný, V.: The quality of service in the public transport and shipping industry. 2015. In: *Nase More, Dubrovnik: University of Dubrovnik*, vol. 62, Special Issue, s. 126-130. ISSN 0469-6255
- (5) Gašparík, J.; Široký, J.; Pečený, L.; Halás, M. 2014. Methodology for assesing the quality of rail connections on the network. In: *Communications: scientific letters of the University of Žilina*. Vol. 16, no. 2 (2014), p. 25-30. ISSN 1335-4205
- (6) Černá A., Černý J. 2014, *Manažerské rozhodování o dopravních systémech*, Univerzita Pardubice 2014, 230 s, ISBN 978-80-7395-849-7
- (7) Drdla, P.: *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu*, Univerzita Pardubice 2014, vyd. 1., 2014, 412 s., ISBN 978-80-7395-787-2