

# Hodnocení zpoždění a přípojových vazeb cestujícími v železniční dopravě

Martin Jacura, David Pöschl, Lukáš Týfa

České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů

e-mail: tyfa@fd.cvut.cz

## Abstrakt

The paper submitted analyzes a final evaluation of an inquiry among passengers, which aimed at defining a subjective rate of delay acceptance by passengers and unbinding of public transport system's connections in cases of delays. The article follows up with the paper presented at the last year's conference: internet inquiry form has been supported by a personal inquiry among passengers.

## 1. Souvislosti a význam předmětu zkoumání

Výraznou zvláštností veřejné hromadné dopravy (VHD) je zajištění přestupních vazeb mezi jejími jednotlivými linkami (stejných nebo odlišných druhů dopravy nebo dopravců). Problematika provázanosti linek VHD je ve fázi přípravy jízdních řádů v ČR již dostatečně zvládnuta. Zásady operativního řešení návazností na zpožděné spoje při provozních mimořádnostech však jednoznačné nejsou.

Pro každý předpokládaný přestup může při zpoždění spoje nastat jedna z následujících situací: Buď bude striktně dodržován jízdní řád návazných spojů (zpoždění se nebude přenášet na další spoje s pozitivním dopadem jak pro cestující v návazných spojích, tak pro dopravce), což se však projeví ujetím přípoje, a tedy delším čekáním přestupujících cestujících, nebo bude dodržena stanovená čekací doba návazných spojů, což povede ke vzniku zpoždění v návazných spojích s možností lavinovitého šíření po síti VHD, ale cestující budou považovat systém VHD (resp. IDS) za spolehlivý – budou předpokládat, že se ve většině případů dostanou do svého cíle jen s nepatrným zpožděním.

Obě výše popsané možnosti mají své výhody i nevýhody a vždy je určitá skupina cestujících poškozena. Univerzální rozhodnutí o správnosti té které varianty (ať při sestavě jízdních řádů nebo operativním řízení provozu) neexistuje – záleží na konkrétních případech. Bohužel ze strany objednatelů VHD (Ministerstvo dopravy, kraje), resp. organizátorů IDS, je stále více plošně požadováno nečekání na zpožděné přípoje. V důsledku snahy o zvýšení atraktivity VHD, a tedy mimo jiné o minimalizaci celkové cestovní doby v prostředcích VHD, se objednatelé VHD snaží o zkrácení doby potřebné na přestup mezi linkami VHD. Když však nastane zpoždění, tak to automaticky vede ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku negativních důsledků této situace. Proto se autoři snaží vyvinout metodiku pro optimální řešení provozních mimořádností při přestupech mezi prostředky VHD, zejména mezi vlaky.

## 2. Objektivní újma cestujících při zpoždění spoje

V příspěvcích na toto téma v loňském a předloňském ročníku konference byla dostatečně popsána teoretická východiska problému minimalizace negativních účinků na cestující při zpoždění návazných spojů, jejich matematická formulace a nástin řešení; proto následuje jen stručný nástin této problematiky.

Při každé přestupní vazbě, jejíž zachování je ohroženo zpožděním spoje, od něhož je přestup naplánován, se střetávají zájmy dvou skupin cestujících: Na jedné straně budou výrazně poškozeni cestující vyčkávající v přestupním bodě v dopravním prostředku na opožděný spoj a nastupující v nácestných zastávkách do zpožděného spoje. Na druhé straně je způsobena újma cestujícím, kteří přijíždějí do přestupní stanice v opožděném spoji a ztráta přípoje pro ně znamená další (většinou výrazný – dle intervalu a počtu dalších přestupů) nárůst zpoždění v cílové zastávce.

Pro porovnání obou naznačených krajních případů navrhli autoři veličinu, která v podstatě představuje souhrnný ztrátový čas cestujících z jedné nebo z druhé skupiny. Spočte se tedy pro obě skupiny cestujících jako součin doby jejich čekání a součtu součinů počtu osob, cestujících stejnou celkovou cestovní dobu a koeficientu citlivosti cestujícího na zpoždění. Koeficient citlivosti na zpoždění  $c$  byl do výrazu zařazen proto, že se autoři domnívají, že subjektivní negativní vnímání zpoždění cestujícím závisí především na jeho celkové cestovní době. Při praktickém použití popsaného matematického aparátu se dá předpokládat, že bude při vzniku mimořádnosti personálem dopravce možné odhadnout dobu čekání, počty cestujících i jejich trasu cesty (tedy rovněž cestovní dobu), ovšem koeficient  $c$  musí být známý již před vznikem takovéto situace. Byla vytvořena hypotéza, že tolerance cestujícího na délku zpoždění  $C$  roste s dobou přepravy podle tzv. logistické funkce (S-křivka). Koeficient  $c$  pak je určen vztahem (1).

$$c = 1 - C = 1 - \frac{q}{1 + b_0 \cdot b_1^{t_{\text{celk}}}} \quad (1)$$

- kde:  $C$  – míra tolerance zpoždění cestujícím [-]:  $0 < C < 1$   
 $c$  – koeficient citlivosti cestujícího na zpoždění [-]:  $0 < c < 1$   
 $q$  – horní asymptota logistické funkce [-]:  $q = 1$   
 $b_0$  – parametr logistické funkce [-]:  $b_0 > 1$   
 $b_1$  – parametr logistické funkce [-]:  $0 < b_1 < 1$   
 $t_{\text{celk}}$  – celková cestovní doba cestujícího [min]

Určení obou neznámých parametrů logistické funkce  $b_0$  a  $b_1$  je možné pouze na základě regresní analýzy výsledků průzkumu mezi cestujícími, a proto autoři v rámci řešení projektu výzkumu a vývoje MD vytvořili anketu pro cestující vlakem v ČR (i na Slovensku), s jejímiž hlavními výsledky budou čtenáři dále seznámeni.

### 3. Anketa pro cestující a její vyhodnocování

Anketa pro cestující probíhala jednak přes formulář na internetové stránce řešeného projektu (<http://stanice.fd.cvut.cz>), který byl dostupný od 2. 7. 2008 do 11. 1. 2009, a jednak ústním dotazováním v železničních stanicích a zastávkách v Praze a okolí v červnu a červenci 2009. Osobní dotazování cestujících je sice proti internetové anketě pro zpracovatele průzkumu náročnější a pomalejší, ale je zase možné dovysvětlit cestujícím položené otázky a vybírat si tázané osoby podle cílových skupin socio-demografické a předpokládané doby cesty tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného zastoupení ve výběrovém souboru.

#### 3.1 Obsah dotazníku

Z důvodů různé formy získávání dat se dotazník pro ústní a elektronický průzkum mírně liší. V první části ankety jsou od respondenta získávány údaje o jedné jím vybrané trase, kterou vlakem absolvuje. Získaná data z této části dotazníku jsou většinou použita jako vysvětlující proměnné pro regresní a korelační analýzu. Je zjišťována trasa vybrané cesty, její cestovní doba (korigovaná následně podle

jízdního řádu), účel a četnost. Otázka pátá zjišťuje počet přestupů, které musí cestující na zvolené trase za běžného provozu uskutečnit.

Šestá otázka, začínající druhou část dotazníku, se ptá respondenta na potřebnou velikost zkrácení času přepravy na jeho cestě, aby byl ochoten pravidelně kvůli tomu jednou navíc přestupovat. Sedmá otázka sonduje mezní četnosti různě dlouhých zpoždění na dané trase, které ještě cestujícího neodradí od další jízdy. Otázka osmá obdobně hledá nejvyšší tolerované zpoždění příjezdu do cílové stanice z důvodu ujetí přípojného vlaku. Dotaz devátý se podobně snaží vysledovat míru akceptace zpoždění v případě, že cestující sedí ve vlaku, který čeká na zpožděný přípoj. Poslední, třetí část ankety se soustředí na osobní údaje o respondentovi (rok narození a pohlaví), pokud je chce uvést.

### 3.2 Princip vyhodnocování odpovědí

K převodu odpovědí respondentů na otázky č. 7–9 na veličinu odpovídající míře tolerance zpoždění  $C_i$  slouží vztah (2). Ve jmenovateli tohoto výrazu je uveden součet nejvyšších hodnot zpoždění z nabídnutých možností odpovědí, které by teoreticky nastaly při každé cestě, jejíž četnost respondent zadal. V čitateli je spočten celkový součet mezního akceptovatelného zpoždění od respondenta za časovou jednotku. Celý výraz (2) tedy vyjadřuje podíl celkového zpoždění snesitelného pro dotazovaného na nejvyšším zpoždění nabízeném v odpovědi na danou otázku za časovou jednotku. Do výpočtu jsou záměrně vneseny malé přírážky  $\varepsilon$  a  $2 \cdot \varepsilon$ , které zajistí při jakékoli kombinaci četností  $n_{i,j}$  požadovaný interval veličiny  $C_i$  od nuly do jedné (vyjma těchto hodnot) a nedělení nulou, aniž by výrazně zkreslily výsledek.

Pokud v některých odpovědích nastane taková situace, že součet četností výskytu jednotlivých nabídnutých zpoždění překročí cestujícím předtím zadaný počet jeho cest, provede se korekce četností vztahem (3). Pro každého cestujícího je hodnota  $C_i$  spočtena zvlášť z odpovědí na otázky č. 7, 8 a 9.

$$C_i = \frac{\varepsilon + \sum_{j=1}^k z t_j \cdot n_{i,j}}{2 \cdot \varepsilon + N_i \cdot \max_{j=1}^k (z t_j)} \quad (2) \qquad n_{i,j} = \frac{n'_{i,j}}{\sum_{j=1}^k n'_{i,j}} \cdot N_i \quad (3)$$

- kde:  $C_i$  – míra tolerance zpoždění  $i$ -tým cestujícím [-]:  $0 < C_i < 1$   
 $\varepsilon$  – záměrně vložená chyba (vysvětlení viz výše) [min]:  $\varepsilon = 10^{-7}$  min  
 $z t_j$  –  $j$ -tá doba zpoždění ve skupině  $k$  možností odpovědí [min]  
 $N_i$  – kolikrát  $i$ -tý cestující absolvuje danou cestu za zvolenou čas. jednotku [-]  
 $n'_{i,j}$  – max. akceptovatelná četnost  $j$ -té doby zpoždění  $i$ -tým cestujícím [-]  
 $n_{i,j}$  – upravená max. akcept. četnost  $j$ -té doby zpoždění  $i$ -tým cestujícím [-]  
 $k$  – počet nabízených možností délky zpoždění v každé odpovědi [-]:  $k = 5$

I když není obecně možné pro určení parametrů logistické funkce regresní analýzou použít jednoznačnou metodu nejmenších čtverců, pro nadefinovanou hodnotu čitatele  $q = 1$  je možné nejprve provést linearizující substituci logaritmizací logistické funkce a tuto metodu lze už poté aplikovat. Kvalita zjištěné regresní logistické funkce byla hodnocena především indexem determinace  $R^2$ , jehož zvyšující se hodnota ukazuje na více výstižnou regresní funkci, a střední čtvercovou chybou odhadu ( $MSE$ ), která signalizuje tím lepší regresní funkci, čím více klesá k nule. Také byl pro každou regresi proveden tzv. celkový F-test analýzy rozptylu o vhodnosti vytvořeného modelu. Nulová hypotéza testu tvrdí, že vypočtená regresní funkce nemá žádnou vypovídací schopnost.

### 3.3 Výsledky průzkumu

Ankety se zúčastnilo celkem 404 cestujících, z nichž 78 % vyplnilo internetovou verzi dotazníku. Pohlaví je známo u 98 % respondentů, z nichž je 64 % mužů. U 95 % odpovědí je jasný věk dotazovaných, jehož 20% useknutý průměr činí 29 let a nejčastější skupinou (57 %) byli cestující ve věku 21–30 let. V 51 % odpovědí byla účelem jízdy vlakem cesta do práce nebo do školy. 20% useknutý průměr relevantní cestovní doby dosáhl 115 min, ale při 37 % cest se pohybuje doba cesty v rozmezí 20–79 min. Respondenti uskutečnili zvolenou cestu nejvýše 20x za rok ve 33 % případů a podle 24 % odpovědí cestují takto 81–100krát ročně. Cestující jsou v 58 % případů ochotni na své cestě přestoupit navíc při zkrácení své cesty nejméně o 11–30 % (smysluplných odpovědí na tuto otázku však bylo jen 74 %).

Výsledky regresní analýzy, vč. charakteristiky její kvality, lze nalézt v tab. 1. Kvantil F-rozdělení s 1 a 404-1-1=402 stupni volnosti  $F_{0,95}[1; 402] = 3,865$ , a tak je možné na hladině významnosti 5 % ve všech případech zamítnout nulovou hypotézu o nevhodném modelu regrese. Jako nejlépe vysvětlená se jeví citlivost při čekání na přípojný vlak, i když její index determinace přesahuje mez 50 % jen mírně. Závislosti ve zbývajících dvou případech nebyly regresí vysvětleny tak kvalitně, i přesto dávají v těchto případech alespoň hrubou představu o trendu závislosti.

tab. 1 – charakteristiky regresní logistické funkce míry tolerance zpoždění na celk. cest. době

ot. č.	charakteristika zpoždění	$b_0$	$b_1$	$R^2$ [%]	MSE	statistika $F$	zamítnutí $H_0$
7	zpoždění v cíli cesty	11,530	0,993	39,68	0,032	204,587	ano
8	ujetí přípojného vlaku	236,592	0,987	35,03	0,060	121,640	ano
9	čekání na přípojný vlak	31,912	0,989	54,99	0,030	365,680	ano

### 4. Závěr

Řešení přípojových vazeb ve VHD při zpožděních jednotlivých spojů nabývá v ČR v souvislosti s rozvojem IDS a taktové dálkové železniční dopravy čím dál více na významu. Při rozhodování o tom, zda při zpoždění přípoje na něj čekat či nikoli může pomoci v příspěvku naznačená metodika, která bude kompletně představena (včetně návrhu praktického použití a podrobnějších výsledků ankety mezi cestujícími) v závěrečné zprávě řešení projektu vědy a výzkumu MD č. 1F82A-029-190.

I když vypovídací schopnost vytvořených regresních funkcí ani vzorek respondentů není ideální, neboť se index determinace neblíží 100 % (ostatní ukazatele kvality regrese jsou však pozitivní), je možné podle autorů výsledky průzkumu využít a případně v budoucnu při jiných příležitostech upřesňovat.

#### Literatura

- [1] Týfa, L. et al. Roční zpráva projektu VaV MD č. 1F82A-029-190 za rok 2008.
- [2] Jacura, M., Týfa, L. Akceptace zpoždění a rozvázání přípojových vazeb cestujícími v žel. dopravě. In *Verejná osobná doprava 2008*, s. 143-148. ISBN 978-80-89275-12-0.
- [3] Jacura, M., Týfa, L. Problematika čekacích dob a zastavování ve veřejné hromadné dopravě. In *Verejná osobná doprava 2007*, s. 125-130. ISBN 978-80-89275-09-0.

#### Poděkování

- Příspěvek byl zpracován za podpory projektu VaV MD č. 1F82A-029-190.
- Autoři děkují za spolupráci *Mgr. Olze Nešporové* z Výzkumného ústavu práce a sociálních věcí v Praze a *doc. Ing. Ivanu Nagy, CSc.*, z ČVUT v Praze Fakulty dopravní.