

# Akceptace zpoždění a rozvázání přípojových vazeb cestujícími v železniční dopravě

Martin Jacura, Lukáš Týfa

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

e-mail: jacura@fd.cvut.cz, tyfa@fd.cvut.cz

## Abstrakt

This paper ties together with last year's article which is generalized by results of opinion poll. The purport aims for verification of theoretical presumptions in relation between the frequency and length of the train delay and retain of train connections.

## 1. Důležitost popisované oblasti

Specifickou a zároveň velmi závažnou problematikou veřejné hromadné dopravy (VHD) je zajištění přestupních vazeb mezi jejími jednotlivými linkami (stejných nebo odlišných druhů dopravy) a jejich řešení při vzniku nepravidelností. V současnosti je v ČR vytváření návazností v přestupních uzlech doménou železniční dopravy a objevuje se v rámci integrovaných dopravních systémů (IDS). Tato skutečnost je cestujícími kladně hodnocena a mnohdy u nich rozhoduje o volbě druhu dopravy. Při provozních mimořádnostech jsou přestupní vazby obvykle po stanovenou dobu zachovávány, ale ze strany koordinátorů IDS, resp. objednatelů VHD (Ministerstvo dopravy, kraje), jsou však stále častěji zapracovávány do jízdních řádů požadavky na nečekání na zpožděné přípoje.

S rozvojem IDS a integrálního taktového grafikonu tak nabývá na významu otázka, kdy je výhodné přípoje zachovat. Zatím se při tvorbě jízdních řádů VHD nastavuje maximální doba čekání na přípoj mezi jednotlivými linkami, resp. spoji, VHD podle zkušeností tvůrců jízdních řádů a podle požadavků objednavatelů závazků veřejné služby. To při mimořádnostech v provozu a při vzniku zpoždění jednak svazuje ruce provozním dispečerům v individuálním přístupu při řešení každého konkrétního případu, a jednak mnohdy rozděluje cestující na dvě nesmiřitelné skupiny, z nichž jedna (ale často obě) se cítí výrazně poškozena dopravcem.

## 2. Teoretická východiska

V příspěvku z loňského ročníku této konference nazvaném „Problematika čekacích dob a zastavování ve veřejné hromadné dopravě“ se autoři pokusili nastínit teoretický základ řešení problematiky přestupních vazeb formálním stanovením mezní (optimální) čekací doby mezi přípoji při zpoždění spoje, na něž navazují další.

Při určení čekací doby je zapotřebí hledat nejvyšší míru užitku, resp. nejmenší újmu, pro cestujícího. 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 zpoždění v cílové zastávce v řádu minut až hodin (podle intervalu a

počtu dalších přestupů). Pro porovnání obou naznačených krajních případů navrhli autoři funkci  $F$ , která získala matematickou podobu (1).

$$F = O \cdot t_{cek} \cdot c \quad (1)$$

- kde:  $F$  – újma vzniklá cestujícím zpožděním [os·min]  
 $O$  – počet osob ve spoji, cestujících stejnou celk. cestovní dobu [os]  
 $t_{cek}$  – doba čekání (podrobněji viz [1]) [min]  
 $c$  – koeficient citlivosti cestujícího na zpoždění [-]:  $0 < c < 1$

Pro praktické využití vztahu [1] se jeví jako největší problém určení velikosti koeficientu  $c$ , jehož hodnota závisí na subjektivním pocitu každého cestujícího. Autoři v předchozím příspěvku vytvořili hypotézu, že tolerance cestujícího na délku zpoždění roste s dobou přepravy (čím kratší je celková cestovní doba, tím kratší zpoždění považují cestující za přijatelné) a že závislost mezi těmito veličinami se nejvíce podobá logistické funkci (tzv. S-křivka)<sup>1</sup>. Potom určení velikosti koeficientu  $c$  odpovídá vztahům (2) a (3).

$$C = \frac{q}{1 + b_0 \cdot b_1^{t_{celk}}} \quad (2)$$

$$c = 1 - C \quad (3)$$

- 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 [-]:  $0 < b_1 < 1$   
 $t_{celk}$  – 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 internetovou anketu pro cestující vlakem v ČR (i na Slovensku), s jejímiž některými prozatímními výsledky budou čtenáři seznámeni v následující části článku.

### 3. Dotazník pro cestující

Anketa byla spuštěna na internetové stránce řešeného projektu výzkumu a vývoje <http://stanice.fd.cvut.cz> dne 2. 7. 2008 a následující výstupy z dotazníku jsou zpracovány podle odpovědí vyplněných ke dni 15. 8. 2008. Anketa bude probíhat až do konce roku 2008, a tak prosíme čtenáře a ostatní širokou cestující veřejnost o zodpovězení otázek, aby bylo k dispozici co největší spektrum názorů, a získaný výběrový soubor tak byl co nejvíce reprezentativní.

#### 3.1 Anketní otázky

Dotazník pro cestující je složen ze tří částí a obsahuje celkem jedenáct většinou otevřených otázek.

V první části ankety jsou od respondenta zjišťovány údaje o jedné jím vybrané trase, kterou absolvuje (s různou pravidelností) vlakem. Získaná data z této části dotazníku jsou většinou použita jako vysvětlující proměnné pro regresní a korelační

<sup>1</sup> Logistická funkce má mimo jiné tu výhodnou vlastnost, že jejím definičním oborem jsou všechna reálná čísla (i když pro naše potřeby bude čas přepravy pouze kladný, resp. nezáporný), zatímco oborem funkčních hodnot je otevřený interval  $(0; q)$ , kde  $q$  je horní asymptota funkce (v našem případě bude  $q$  rovno 1).

analýzu. V odpovědi na první otázku by měl cestující popsat trasu své nejčastější cesty vlakem a v druhé odpovědi pak napsat její cestovní dobu včetně přestupů podle jízdního řádu. Záznamy s nevyplněnou cestovní dobou jsou následně doplněny podle platného knižního jízdního řádu a obdobně jsou namátkově kontrolovány i hodnoty vyplněné. Pokud je na některé trase dosažitelná značně rozdílná cestovní doba (např. v důsledku použití různých kategorií vlaků nebo počtu přestupů), byla jako relevantní pro další úsudky stanovena hodnota nejběžnější nebo pro cestujícího nejvýhodnější. Uzavřená třetí otázka s možnostmi odpovědí uvedených v tab. 1 zjišťuje účel cesty dotazovaného a obdobně otázka čtvrtá zkoumá četnost této cesty (možné odpovědi viz tab. 2). Podle výběru slovně popsané možnosti četnosti cesty v otázce č. 4 pak respondent svoji odpověď upřesní číselným údajem o tom, kolikrát jede danou trasu za stanovenou jednotku času (týden, měsíc, rok). Takto druhotně vybraná jednotka času se pak zobrazuje v druhé části dotazníku. Otázka pátá zjišťuje počet přestupů, které musí cestující na zvolené trase za běžného provozu uskutečnit.

a) zaměstnání, škola	a) každý pracovní den (např. do zaměstnání)
b) služební cesta, pracovní schůzka, úřad, lékař	b) téměř každý týden (např. na chalupu)
c) nákupy, volnočasové aktivity	c) často, ale nepravidelně (např. na směny)
d) ostatní	d) málo (např. na pracovní schůzky)
	e) výjimečně, zřídka (např. na dovolenou)

tab. 1 – možné odpovědi na účel cesty

tab. 2 – možné odpovědi na četnost cesty

Druhá část dotazníku povětšinou zkoumá názor, resp. předpokládané chování, cestujícího na jím popsané cestě z první části dotazníku při provozních mimořádnostech. Šestá otázka se ptá respondenta na potřebnou velikost zkrácení času přepravy na jeho cestě, aby byl ochoten pravidelně kvůli tomu jednou navíc přestupovat. Sedmá otázka sonduje četnosti pěti různě dlouhých zpoždění na dané trase, které jsou ještě pro cestujícího akceptovatelné, aby ho neodradily od další jízdy na této relaci. Otázka osmá obdobně hledá nejvyšší tolerované zpoždění příjezdu do cílové stanice nebo zastávky z důvodu ujetí přípojného vlaku. Dotaz devátý se obdobně snaží vysledovat míru akceptace zpoždění v případě, že cestující sedí ve vlaku, který čeká na zpožděný přípoj. Odpovědi na otázky č. 7 až 9 jsou postaveny tak, že je pevně vymezeno pět časových údajů o délce zpoždění a dotazovaný má vyplnit max. počet výskytu stanovené délky zpoždění za danou časovou jednotku, vycházející z odpovědi na otázku č. 4.

Poslední, třetí část ankety se soustředí pouze na dva osobní údaje o respondentovi (rok narození a pohlaví), pokud je chce v rámci odpovídání uvést. Pokud má dotazovaný zájem se dozvědět výsledky celé ankety, může dále zadat adresu elektronické pošty, na níž mu autoři po uzavření a vyhodnocení ankety zašlou odkaz na výslednou zprávu. Tento kontaktní e-mail se ukládá do samostatné databáze a není provázán s žádnou z předchozích odpovědí, čímž je zajištěna anonymita respondentů.

### 3.2 Základní přehled o respondentech

V termínu od 2. 7. 2008 do 15. 8. 2008 odpovědělo na internetových stránkách projektu na anketní otázky 264 cestujících, z nichž 99 % uvedlo svoje pohlaví a z nich bylo 67 % mužů. Pro větší vypovídací hodnotu ankety by tedy bylo potřeba více cestujících ženského pohlaví. Věk na sebe prozradilo 93 % respondentů, z nichž bylo 69 % ve věku 21 až 30 let (nejčastější hodnota byla 24 let) – rozdělení četností věku dotazovaných uvádí tab. 3. Aritmetický průměr věku dosáhl velikosti 28 let, 20%

useknutý průměr<sup>2</sup> 26 let a medián 25 let. S 95% spolehlivostí lze usuzovat na to, že interval aritmetického průměru základního souboru bez znalosti jeho rozptylu (dále již jen jako „interval odhadu průměru“) dosáhne 27–29 let. Vyrovnané spektrum respondentů podle věku by zajistilo více odpovědí od cestujících ve věku nad 30 let.

věk respondentů	relativní četnost	relevant. cest. doba [min]	relativní četnost
00 – 05	0,0 %	000 – 020	4,9 %
06 – 10	0,0 %	021 – 040	11,4 %
11 – 15	0,0 %	041 – 060	15,9 %
16 – 20	10,2 %	061 – 080	15,9 %
21 – 25	45,9 %	081 – 100	6,8 %
26 – 30	22,8 %	101 – 120	4,9 %
31 – 35	6,5 %	121 – 140	4,9 %
36 – 40	5,3 %	141 – 160	4,9 %
41 – 45	3,7 %	161 – 180	10,6 %
46 – 50	0,4 %	181 – 200	5,3 %
51 – 55	0,8 %	201 – 220	1,9 %
56 – 60	1,2 %	221 – 240	4,5 %
61 – 65	2,8 %	241 – 260	2,7 %
66 a více	0,4 %	261 a více	5,3 %

tab. 3 – četnost věku respondentů

tab. 4 – četnost relevantní cestovní doby jedné cesty

Nejčastější relevantní cestovní doba jedné cesty vybrané dotazovanými se pohybuje v rozmezí 21–80 min (32 % cest), modusem je pak hodnota 80 min – detailnější rozdělení četností je možné nalézt v tab. 4. Aritmetický průměr cestovní doby dosáhl velikosti 114 min, 20% useknutý průměr 106 min a medián 86 min. Interval odhadu průměru se pohybuje v rozmezí 105–123 min. Rovněž pro cestovní dobu platí, že hodnoty nejsou rovnoměrné (variační koeficient vychází 68 %), a bylo by proto žádoucí získat více údajů o cestách trvajících zejména 80–160 min.

počet přestupů	relativní četnost	účel cesty (dle tab. 1)	relativní četnost
0	61,4 %	a)	58,0 %
1	30,3 %	b)	4,2 %
2	6,1 %	c)	21,6 %
3 a více	2,3 %	d)	16,3 %

tab. 5 – četnost počtu přestupů

tab. 6 – četnost jednotlivých účelů cesty

Četnost zadané cesty byla na základě odpovědi na otázku č. 4 přepočítána na počet uskutečněných cest za rok. Pokud dotazovaný zapsal počet cest za měsíc, pro přepočet na rok se použil násobek 11 (předpokládá se jeden měsíc v roce bez cest v této relaci), a vyplněný počet cest za týden se ze stejného důvodu pro získání údaje za rok vynásobil 45. Tato veličina obsahuje data nejvíce nesourodá (dosahuje však také nejvyššího variačního rozpětí) – nejčastěji respondenti cestují danou relací méně než 60krát za rok (49 % případů), výrazná je také roční četnost 80–100 jízd (30 %) a nad 440 cest za rok (13 % záznamů – cesty téměř každý pracovní den tam i zpět). Aritmetický průměr četnosti cestování dosáhl velikosti 114 cest/rok, 20% useknutý průměr 86 a medián 90 cest. Interval odhadu průměru se pohybuje

<sup>2</sup> Protože aritmetický průměr není rezistentní vůči extrémním hodnotám v souboru, je možné kromě kupř. mediánu použít k hledání typické hodnoty  $\alpha\%$  useknutý průměr, který se spočte jako prostý aritmetický průměr z nového souboru dat, který z původního vznikne vyloučením  $\alpha/2\%$  nejnižších a  $\alpha/2\%$  nejvyšších hodnot.

v rozmezí 96–131. Z hlediska této proměnné schází ve výběrovém souboru nejvíce pravidelní cestující s menší roční četností cest (každý týden a měsíc tam i zpět).

Stručnou analýzu jednotlivých proměnných vzešlých z ankety je možné doplnit rozbořením počtu přestupů na zadaných vlakových relacích, jejichž relativní četnosti jsou zobrazeny v tab. 5, a účelem cest, jejichž podíly jsou uvedeny v tab. 6.

### 3.3 Teoretické předpoklady pro analýzu závislostí tolerance zpoždění

Jak je uvedeno v závěru kap. 2, hlavním cílem ankety mezi cestujícími je určení konstant logistické funkce (2), která by měla určovat míru tolerance zpoždění cestujícími. Protože logistická funkce není lineární v parametrech, není možné při obecném určování všech tří jejích konstant  $q$ ,  $b_0$  a  $b_1$  regresní analýzou použít jednoznačnou metodu nejmenších čtverců. Jelikož však v našem konkrétním případě máme předem nadefinovanou hodnotu  $q = 1$  (viz kap. 2), vytvořili autoři substituci (4), kterou se logistická funkce transformuje na lineární funkci  $C' = B_0 + B_1 \cdot t_{\text{celk.}}$ . Standardně se tedy nejprve metodou nejmenších čtverců určí hodnoty parametrů  $B_0$  a  $B_1$  a zpětnou substitucí se zjistí hodnoty konstant  $b_0$  a  $b_1$ .

$$C' = \log\left(\frac{1}{C} - 1\right); B_0 = \log b_0; B_1 = \log b_1 \quad (4)$$

Kvalita zjištěné regresní logistické funkce byla hodnocena jednak indexem determinace  $I^2$ , který může nabývat hodnot  $<0; 1>$ , resp.  $<0; 100>$  %, a jeho zvyšující se hodnota ukazuje na silnější závislost vysvětlované proměnné na vysvětlující (udává podíl rozptylu závislé proměnné, který byl regresí vysvětlen), a jednak střední čtvercovou chybou odhadu (MSE), která dokládá tím lepší regresní funkci, čím více klesá k nule. Dále byl pro každou regresi proveden tzv. celkový F-test analýzy rozptylu o vhodnosti vytvořeného modelu (kvalitativní test vyrovnání bodů regresní křivkou). Nulová hypotéza testu tvrdí, že vypočtená regresní funkce nemá žádnou vypovídací schopnost. Všechny F-testy byly provedeny na hladině významnosti 5 %.

Aby bylo možné převést odpovědi respondentů na otázky č. 7–9 na veličinu odpovídající míře tolerance zpoždění  $C$ , která musí mimo jiné splnit požadavek na svůj rozsah v intervalu  $(0; 1)$ , navrhli autoři vztah (5). Jedná se v podstatě o podíl váženého aritmetického průměru předem pevně stanovených pěti hodnot zpoždění  $z t_j$ , v němž jsou vahou respondentem zadané nejvýše tolerované počty výskytu daného zpoždění za vybranou jednotku času  $n$ , ku nejvyšší hodnotě zpoždění nabídnuté v dané otázce (60 min pro otázku č. 7 a 9 a 90 min pro otázku č. 8). Do výpočtu váženého průměru jsou záměrně vneseny malé přírážky  $\varepsilon$ , které zajistí při jakékoli kombinaci četností  $n$  požadovaný výsledný interval veličiny  $C$  (bez krajních hodnot 0 a 1) a nedělení nulou, aniž by výrazně zkreslily výsledek. Pro každého cestujícího je hodnota  $C$  spočtena zvlášť třikrát, tedy samostatně z odpovědí na otázky č. 7, 8 a 9.

$$C_i = \frac{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k z t_j}{\max_{j=1}^k (z t_j)} = \frac{\varepsilon + \sum_{j=1}^k z t_j \cdot n_{i,j}}{\varepsilon + \sum_{j=1}^k n_{i,j}} : \max_{j=1}^k (z t_j) \quad (5)$$

- 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]  
 $n_{i,j}$  – max. akceptovaná četnost  $j$ -té doby zpoždění  $i$ -tým cestujícím [-]  
 $k$  – počet nabízených možností délky zpoždění v každé odpovědi [-]:  $k = 5$



### 3.4 Výsledky regrese tolerance zpoždění na cestovní době

Na základě poznatků uvedených v předchozím textu byla provedena regresní analýza logistické závislosti míry tolerance zpoždění cestujícím na celkové cestovní době na jím vybrané trase. Výsledky regresní analýzy, včetně charakteristiky její kvality, jsou uvedeny v tab. 7.

ot. č.	charakteristika zpoždění	$b_0$	$b_1$	$I^2$	MSE	hodnota statistiky $F$	zamítnutí $H_0$
7	zpoždění v cíli cesty	7,382	0,996	28,43 %	0,970	56,97	ano
8	ujetí přípojného vlaku	7,013	0,997	54,60 %	0,836	91,87	ano
9	čekání na přípojný vlak	6,326	0,998	91,24 %	0,622	124,46	ano

tab. 7 – charakteristiky regresní logistické funkce míry tolerance zpoždění na celk. cest. době

Otázka č. 7 o toleranci zpoždění cestujícím v cíli jeho cesty sice souvisí s řešenou problematikou, ale není přímou součástí teorie o minimalizaci časové újmy cestujících při zpoždění provázaných spojů. Její závislost určená logistickou křivkou není příliš kvalitní. Regresní křivka sestavená z odpovědí na otázku č. 9 je více vypovídající než regrese vycházející z otázky č. 8 (větší index determinace i testová statistika  $F$ ). Kvantil  $F$ -rozdělení s 1 a 264-1-1=262 stupni volnosti  $F_{0,95}[1; 262] = 3,877$ , a tak je možné na hladině významnosti 5 % ve všech případech zamítnout nulovou hypotézu o nevhodném modelu regrese. Byla zkoušena i lineární regrese mezi sledovanými veličinami, ale ta měla minimální vypovídací hodnotu.

## 4. Závěr

Řešení přípojových vazeb ve VHD při zpožděních jednotlivých spojů nabývá v současnosti v ČR čím dál více na aktuálnosti, a to v souvislosti s rozvojem IDS a taktové dálkové železniční dopravy, kdy se časy na přestup minimalizují a jednotlivé linky VHD jsou mezi sebou úzce provázány. Při rozhodování o tom, zda při zpožděném přípoji na něj čekat či nikoli může pomoci v příspěvku naznačená metodika, kterou hodlají autoři dále rozvíjet, zpřesňovat a upravit pro praktické použití. Mělo by jít totiž především o minimalizaci časové újmy všech cestujících, kterých se to v každém konkrétním případě dotýká.

K určení velikosti konstant v teoretickém vztahu bylo zapotřebí vytvořit anketu pro cestující veřejnost a z jejích výsledků se pokusit regresní analýzou tyto údaje určit. Prozatím není ještě vzorek respondentů příliš reprezentativní, a tak autoři doufají, že po uzavření ankety na konci roku 2008 budou výsledky věrohodnější i díky odpovědím čtenářů tohoto příspěvku a že s jejich výsledky budou moci odbornou veřejnost opět seznámit.

## Literatura

- [1] 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 výzkumu a vývoje MD č. 1F82A-029-190 „Návrh standardů uspořádání železničních stanic, zastávek a přestupních terminálů na tratích mimo evropský železniční systém“.
- Autoři děkují za spolupráci při tvorbě dotazníku *Mgr. Olze Nešporové* z Výzkumného ústavu práce a sociálních věcí v Praze a při jeho zpracování *doc. Ing. Ivanu Nagy, CSc.*, z ČVUT v Praze Fakulty dopravní.