

Josef Bulíček¹

Vybrané aspekty simulace v přestupních uzlech veřejné hromadné osobní dopravy

Klíčová slova: *model, přestupní doba, přestupní uzel, simulace, veřejná hromadná osobní doprava*

Úvod

Charakteristickým rysem veřejné hromadné osobní dopravy se stala snaha o zkracování cestovních dob. Význam této snahy je neoddiskutovatelný, neboť se jedná zejména o konkurenci s individuální automobilovou dopravou (IAD), ale i o kvalitu veřejné hromadné dopravy jako takové.

Jedním z účinných nástrojů, jak je možné cestovní doby zkrátit, je i zkrácení dob přestupních.

Zkracování přestupních dob má ale dvě protichůdné stránky. Kladnou stránkou je přirozeně žádoucí uvedené zkrácení celkových cestovních dob (zrychlení dopravy). Zápornou stránkou je pak otázka provozní spolehlivosti v případě odchylek od plánovaného provozu (zpoždění). Objevují se ale i další okolnosti, které při přestupu mohou vzniknout a které vyžadují delší pobyt v přestupním uzlu. Jedná se např. o hledání cesty – odjezdového stanoviště nebo nástupiště, nákup jízdenek pro další část cesty, přepravu objemných zavazadel, kočárků, jízdních kol nebo osob s omezenou schopností pohybu a orientace.

Cílem tohoto článku je prezentovat posouzení (nástroj), který má přispět, resp. vytvářet předpoklady, k nalezení souladu mezi pozitivním příspěvkem zkracování přestupních dob na jedné straně a provozní spolehlivostí na straně druhé.

V příspěvku jsou uvažovány vlaky několika kategorií a směrů, stejně jako autobusové spoje veřejné linkové dopravy (VLD) a městské hromadné dopravy (MHD). Pokud nebude uvedeno jinak, pro všechny vlaky a autobusové spoje současně bude v dalším textu uvažováno společné označení „spoje“.

1. Otázka dispečerského řízení

Opatřením, které přichází v dané oblasti do úvahy zřejmě jako první, je dispečerské řízení, ať už probíhá na úrovni komplexního řízení celého systému nebo jen lokálně

¹ Ing. Josef Bulíček, Ph.D., nar. 1981, absolvent Univerzity Pardubice, Pardubice. Odborný asistent na Katedře technologie a řízení dopravy Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice. Zaměření na teorii, řízení a modelování dopravy. E-mail: josef.bulicek@upce.cz. Tel.: 466 036 202.

v daném uzlu (např. činností výpravčích v železničních stanicích, popř. jejich rozhodnutími v návaznosti na pokyny dispečerů). Toto řízení má v dané situaci naprosto klíčový význam a přínos, neboť umožňuje velkou měrou kompenzovat, popř. dokonce i eliminovat negativní efekty vzniklé provozními nepravidelnostmi.

Operativní dispečerský zásah je ale nutné chápat především jako pojistku a garanci, zvyšující spolehlivost přestupů. S tím jistě souvisí i „důvěra“ přestupujících cestujících v daný dopravní systém.

Na druhou stranu ale takový zásah sice přestupní vazbu případně zajistí, ovšem může zároveň narušit jízdu vlastního (čekajícího) spoje. Takto vzniklé zpoždění tedy postihuje i nepřestupující cestující (využívající pouze tento spoj nebo přestupující z dalších nezpožděných spojů). Dotčeny mohou být i další záležitosti jako přestupní vazby na další přípoje v jiných uzlech, oběhy náležitostí, přenos zpoždění na další vlaky (především na jednokolejných železničních tratích apod.), což je nutné chápat negativně.

Dispečerské řízení je tedy pro přestupy sice neoddiskutovatelným přínosem, ale zase není vhodné nastavit jízdní řád tak, aby potřeba těchto zásahů vznikala příliš často právě s ohledem na nepřestupující cestující a další záležitosti.

Z uvedeného vyplývá, že i přes možnost garantovat přestupní vazby to nic nemění na potřebě správně nastavit přestupní doby už v rovině taktického řízení – zpravidla v období 1 roku (platnost většiny jízdních řádů). Musí tím být vytvořen kvalitní předpoklad pro bezproblémové zvládnání provozních situací a touto snahou je motivováno i posouzení prezentované v tomto článku, které ji má podpořit.

Dále je třeba uvážit, že řada přestupních vazeb ve skutečnosti prakticky není dispečersky řízena, resp. zavedené dispečerské (operativní) řízení se dodržování návazností přímo v potřebném detailu nevěnuje (není to ani jeho úkolem).

Tato situace nastává v autobusové i železniční dopravě (např. návaznost vlaků na autobusové spoje v neobsazených zastávkách), kdy navíc zajištění přestupní vazby může mít negativní vliv i na provoz na trati.

Přirozeně tyto dva předchozí odstavce není možno uvažovat globálně, existují systémy s velmi pokročilým stupněm dispečerského řízení i ve vzájemné interakci více druhů dopravy. Objevují se navíc i úspěšné aplikace informačních systémů v této oblasti. Ovšem v jiných případech je tato činnost stále ponechána na provozním personálu přímo obsluhujícím dané spoje, který ale občas nemá v této věci potřebné informace, nástroje nebo možnosti (např. chybí vzájemná „viditelnost“ na oba spoje – prostorově, ale i časově; nutnost spolehnout se na informace od cestujících; nutnost telefonátů apod.). V tomto případě je vhodné nastavení přestupních dob o to důležitější a nutnou podmínkou správné funkce dopravního systému jako celku. Prezentované posouzení je ale vhodné pro obě situace, neboť je určeno pro taktickou úroveň plánování činnosti dopravních systémů.

2. Otázka délky intervalů nebo taktů

Dalším podstatným efektem je interval nebo takt mezi následujícími spoji. Zejména u linek s delšími takty (1, 2 hodiny) se případné zdržení způsobené ztrátou přípoje zcela jistě dotkne plánovaných aktivit cestujícího, neboť časovou rezervu v takové výši zřejmě není možné předpokládat. Výjimkou jsou možná jen určité pro cestujícího zásadní aktivity, jako např. cesta k odletu na letiště, důležitý pohovor k přijetí do zaměstnání apod. (ale i tam je to při rozmezí 60 – 120 min otázkou).

Snaha o minimalizaci cestovních dob tak v případě ztráty přípoje může skončit velmi negativním dojmem, zejména pokud by cestující zmeškal nějakou důležitou aktivitu nebo se dokonce ocital v dané situaci opakovaně. V některých případech pak už jen riziko vzniku takové situace může cestujícího od využití veřejné hromadné osobní dopravy naprosto odradit.

Důležité je vzít v úvahu i každodenní cesty do zaměstnání. U často opakovaných cest lze přirozeně očekávat nižší míru tolerance k tvorbě nadměrných časových rezerv (např. 60 – 120 min). Pro ilustraci, už jen případná provozní nespolehlivost přestupu ve výši 10 % v tomto případě znamená jeden pozdní příchod za dva pracovní týdny, což je v případě způsobení komplikací v pracovním procesu, popř. problematické náhrady zameškané pracovní doby, pro zaměstnance zřejmě citelné a může jej vést k „preventivní“ volbě jiného způsobu dopravy (IAD) i přestože po 9 z 10 dnů bylo spojení zabezpečeno kvalitně a díky krátké přestupní době i relativně rychle.

Přirozeně není možné stanovovat interval nebo takt podle přestupních vazeb, ale podle intenzity přepravních proudů cestujících na dané lince, vč. přihlédnutí k ekonomickým a provozním možnostem zajištění jejího provozu. Proto je opět nutné zaměřit pozornost na otázku vhodného nastavení přestupních dob a interval (takt) považovat v tomto úhlu pohledu za neměnný.

3. Simulace a její souvislost s problematikou

Simulace je modelovací výzkumná technika, která je např. v železniční dopravě využívána relativně často. Jejím smyslem bývá právě zjištění hodnot provozních (spolehlivostních) charakteristik, typicky stability jízdního řádu. [1]

Simulační model popisuje chování (reakci) systému na dané vstupy. Z tohoto důvodu byla simulace shledána jako vhodný nástroj i pro vyhodnocení spolehlivosti přestupních vazeb.

Některé softwarové nástroje umožňují modelovat i přestupní uzly, zejména z hlediska čekání přípojů, přenosu zpoždění na jiné vlaky i tratě apod. To je důkazem, že je toto problematika aktuální a živá.

Představované řešení bylo vytvořeno zcela samostatně v prostředí tabulkového procesoru Microsoft Excel. V návrhu je sledována především dopravně-technologická rovina. Není tím ale vyloučeno, že řešení je možné po

vložení příslušných algoritmů realizovat i v nějakém jiném softwarovém prostředí, resp. modelu, specializovaném na železniční simulaci, modelování přepravních a dopravních proudů, popř. na další druhy dopravních modelů. Zřejmě by bylo dosaženo i synergické možnosti využití případně již vložených dat a především provázanosti s dalšími funkcemi těchto nástrojů nebo modelů, bez nutnosti tato data znovu zadávat nebo importovat. Podmínkou přirozeně je, aby tento software (model) přidání (naprogramování) a realizaci těchto výpočtů umožnil.

Na druhou stranu je ale patrné, že posouzení je možné plně a zcela vyhovujícím způsobem realizovat v tabulkovém procesoru, bez nutnosti mít jiné modely a jejich výstupy k dispozici.

Uvedené řešení, na rozdíl od některých již existujících přístupů, abstrahuje od roviny síťových vazeb a vlastně i detailní technologie jednotlivých dopravních módů. Přirozeně je tato rovina na úrovni vstupů respektována (popř. je uvažováno s jejich přejímáním), ale jádro posouzení se zaměřuje na dění v přestupních uzlech v detailu.

Jako objekt zájmu byla vybrána právě návaznost autobusových spojů k vlakům (a naopak) a to z několika hlavních důvodů:

- autobusové spoje mají často menší míru dispečerské koordinace ve smyslu dodržování přípojů,
- principy dispečerského řízení železniční a autobusové dopravy jsou často navzájem různé, probíhá-li toto odděleně,
- železniční i autobusová doprava musejí respektovat svá síťová specifika (železniční např. návaznosti v uzlech integrovaného taktového jízdního řádu, popř. vzpomínaná nemožnost dlouhého pobytu z přepravních důvodů v zastávkách na širé trati; městská hromadná doprava – např. periodický charakter linek MHD s převažujícím významem pro plošnou obsluhu města),
- často nutnost překonávat vzdálenosti mezi vzájemně vzdálenými stanovišti nebo nástupišti,
- různá míra nároků na služby v uzlu (nákup jízdenek, dobíjení elektronických peněženek, potvrzování průkazek apod.),
- a další.

Podstatou posouzení tedy je simulace potřebného počtu provozních dnů přestupního uzlu a vyhodnocení vznikajících přestupních vazeb vzhledem k předpokladům časových nároků na tyto doby. Posouzení může být učiněno jako komplexní, kdy v rámci jednotlivých simulačních scénářů mohou být posouzeny různé situace (např. pracovní den/víkend/prázdninový provoz), popř. je-li to účelné, posouzení může být redukováno např. na posouzení období přepravních špiček pracovních dnů. Jednotlivé posouzené provozní dny pak představují simulační experimenty – replikace.

4. Princip posouzení

Jak již bylo uvedeno, nároků, podmínek, potřeb a omezení se vztahem k přestupním uzlům existuje celá řada. Všechny jsou do jisté míry relevantní. Dosažení některých vylučuje dosažení jiných nebo kvalitu jejich dosažení podstatně limituje.

Vyjádřeno řečí systémové analýzy, cíle systému nejsou vzájemně v souladu. Z toho vyplývá, že nějakého optimálního stavu, splňujícího všechny nároky a kritéria, vlastně ani nemůže být dosaženo. Musí být tedy hledáno vhodné řešení kompromisní.

V jedné extrémní variantě může existovat z hlediska přestupů naprosto spolehlivý systém, který ale bude zatížen (velmi) dlouhými přestupními dobami a s tím spojenými časovými ztrátami. Druhou extrémní variantu bude představovat systém s minimálními časovými ztrátami, ale s poměrně velkou nestabilitou co se týká dodržování přestupních vazeb a tím i s popsány významnými závadami v oblasti tzv. T-spolehlivosti (spolehlivost systému ve smyslu včasného dosažení místa určení).

Racionální řešení musí být nalezeno mezi těmito 2 extrémními situacemi. Nebude možné zachovat přípoje za všech okolností, ale ani minimalizovat veškeré myslitelné přestupní doby.

Z toho důvodu nelze ani hledat nějaká „globální“ kritéria, ale je vhodné vyhodnocovat každý pár vlaku a autobusového spoje (přestup) vlastně samostatně a identifikovat tak konkrétní problémy, neboť i relevance problému nespolehlivosti může být u každé přestupní vazby různá. Například zajištění přestupních vazeb na vlaky od školních autobusových spojů, které slouží především k dopravě žáků z okolí přímo k jejich základním školám ve městě, může působit kontraproduktivně. Stěžejní je zajistit obsluhu škol ve stanovených časových oknech, ale na druhou stranu i zde může existovat přestupní vazba, jejíž spolehlivost může být po takovéto identifikaci případného problému zvýšena, pokud to nenaruší uvedenou obsluhu škol.

Posouzení, resp. jednoduchý simulační model, je zpracován na rovině jednotlivých spojů, mimo to je ale navrženo i sdružené vyhodnocení vzhledem k jednotlivým linkám a dopravním směrům (skupinám „zastupitelných“ linek vedených z větší části po stejné trase).

4.1 Systémová rovnováha aneb minimalizace součtu cestovních dob

Kritérium systémové rovnováhy není obsaženo přímo v navrhovaném posouzení (modelu), ale je vhodné jej zmínit, jako základní přístup k vytvoření vstupního plánu (jízdního řádu), se kterým bude nadále pracováno již v navrhovaném postupu. Je tím ilustrováno vymezení situace, ve které lze navrhovaný postup posuzování (model) použít.

Uvedené snahy o zkracování přestupních dob jsou důsledkem aplikace v dopravní technologii a modelování známého kritéria minimalizace součtu cestovních dob všech cestujících v systému [1], přičemž přestupní doby jsou přirozeně jejich součástí. V některých materiálech se uvádí minimalizace průměrné cestovní doby, což je matematicky ekvivalentní. Díky tomu, že kritérium je uvažováno jako celek nebo průměr, logickým důsledkem je snaha o minimalizaci přestupních (popř. i jízdních) dob zejména na relacích s nejsilnějšími intenzitami přepravních proudů.

Toto kritérium, byť je do určité míry problematické, je vhodné dodržet na úrovni celkového návrhu systému. Nicméně přijaté řešení je vhodné na mikroskopické úrovni dále upravit v zájmu zvýšení spolehlivosti provozu. Je sice pravdou, že případným prodloužením přestupních dob bude zhoršena hodnota uvedeného kritéria (minima součtu cestovních časů), což lze hodnotit negativně, ale je zde očekávána částečná kompenzace díky zvýšení spolehlivosti, jejíž aspekty již byly popsány.

Z uvedeného vyplývá, že od navrženého řešení nejsou očekávány výrazné změny řešení oproti koncepční úrovni, ale spíše jakési doladění. Toto posouzení (model) je ovšem přirozeně použitelné rovněž i v případě, že bude k vytvoření celkové koncepce využít jiný přístup, než systémová rovnováha.

4.2 Matice přestupních dob

Prvním krokem (výstupem) je vytvoření základní matice modelu – matice **přestupních dob** mezi všemi vlaky a autobusovými spoji navzájem. Tato matice udává celkovou představu o všech přestupních vazbách v uzlu a je možné jí použít k určení těch přestupních vazeb, kde je přestupní doba nevyhovující (příliš dlouhá nebo krátká – nespolehlivá apod.).

Pravdou je, že řada (dokonce většina) přestupních dob je vypočtena nadbytečně. Jedná se jednak o vazby mezi spoji v různých částech dne, kdy je velká pravděpodobnost, že cestující odjede dřívějším přípojným spojem, ale např. i o přestupy mezi spoji téže linky. Na úrovni vyhodnocení je toto pak omezeno. Mít informaci o vazbách mezi úplně všemi spoji je vhodné např. tehdy, když některé spoje nepokrývají celou trasu linky a v některých případech je potřebné na „další spoj“ cestujícími z končícího spoje vyčkat (může nastat např. v situaci, kdy jsou nuceni tento dřívější spoj použít např. díky přestupním vazbám v jiných uzlech). Uvedený rozsah řešení všech přestupních vazeb ale není na závadu, neboť je na současné výpočetní technice zvládnutelný, kdy není problém s dostatkem výpočetní kapacity PC.

4.3 Spolehlivostní charakteristiky

Simulační posouzení je deskriptivní, nikoli optimalizační, tudíž není možné od něj očekávat optimální hodnoty přestupních dob nebo optimální časové polohy jednotlivých příjezdů a odjezdů. Uvedené musí být vždy nalezeno až na základě vyhodnocení několika simulačních experimentů (replikací) často rozdělených do několika simulačních scénářů (zjednodušeně řečeno posuzovaných variant provozní situace), např. pro pracovní den/prázdniny/víkend, jak již bylo zmíněno.

Simulace umožní poznat vzájemné závislosti jednotlivých faktorů, které pak mohou přispět k racionálnější organizaci celého systému a to je právě cílem modelu.

Jako spolehlivostní charakteristika jsou používány **skutečné přestupní doby** – které lze získat změnou plánovaných příjezdů za „skutečné“, tj. vygenerované podle daného náhodného rozdělení pravděpodobnosti.

Často je nejprve simulován provoz tak, jak je v JŘ nebo jeho návrhu předpokládán, na základě výsledků jsou poté navrženy změny tohoto JŘ a jejich pozitivní (ale případně i negativní) vliv znovu ověřen simulací v modelu. Tento princip je vhodné dodržet i v tomto případě a tímto způsobem prognózovat provozní charakteristiky upraveného provozu.

4.4 Limity přestupních dob

Předpokladem modelu je, že přestupní doby posuzuje z hlediska jejich ne/vhodnosti. Proto je potřeba najít pro tato vyhodnocení určité limity, které vycházejí z vlastního stanovení přestupních dob. To je obecně komplexní problematikou. Požadavky na přestupní doby ztěžuje to, že různí cestující jsou v odlišných situacích a tím mají i jiné nároky.

Prvním hlediskem pro stanovení těchto nároků je míra znalosti místní situace u cestujícího, což částečně kopíruje dělení cestujících na pravidelné a nepravidelné. Přirozeně, toto spojení není zcela korektní. Také někteří cestující, kteří využívají přestup jen občas, mohou mít o situaci v místě dobré povědomí. Na globální úrovni a pro toto posouzení (v pohledu celkových přepravních proudů) je ale zřejmě možné tuto aproximaci přijmout s tím, že s rostoucí mírou pravidelnosti cest tato informovanost pravděpodobně roste díky zkušenostem. Takoví cestující nejen, že přesně vědí, kam se mají po vystoupení vydat, ale jsou např. i schopni částečně identifikovat spoj už podle samotného vozidla, což opět výrazně napomáhá při orientaci a zkracuje čas potřebný na přestup oproti situaci, kdy je třeba informace teprve zjišťovat.

U cestujících, kteří jsou v místě např. poprvé, může být problém nejen s případným zablouděním, hledáním odjezdového stanoviště, ale někdy také i s otázkou nedostatku informací o dalším průběhu cesty vůbec. V tomto případě je často nutné identifikovat možnosti až na místě, zpravidla delším pohledem na informační systémy (nevědí nebo si nejsou jisti, který spoj nebo linku mají na tabuli vlastně vyhledávat). Může se objevit i potřeba informací od personálu ve stanici (dotazu). To vše zvyšuje riziko, že přestupní doba bude nedostatečná a přestup nebude stihnout.

Druhým hlediskem může být i počet zavazadel. Je opět časový rozdíl při přestupu jen s lehkým příručním zavazadlem (např. při cestě ze zaměstnání) nebo s několika objemnými, popř. těžkými, zavazadly. Důležitou skupinou cestujících jsou i cestující s kočárky, zejm. pokud tento cestující doprovází další samostatně jdoucí dítě.

Třetím hlediskem jsou pak osoby s omezenou schopností pohybu a orientace – osoby na invalidním vozíku, osoby pokročilého věku, těhotné ženy, osoby doprovázející dítě v kočárku nebo do tří let a osoby pohybově, zrakově, sluchově nebo mentálně postižené [2]. Všechny tyto osoby mohou mít problém přípoj stihnout, bude-li přestupní doba příliš krátká.

Všeobecně uvažovaná rychlost chůze je 4 km/h, což znamená 67 m/min. Podle publikace [2] rychlost přesunu při chůzi o holích klesá na 45 m/min, u doprovodu dětského kočárku na 60 m/min, při využití mechanického vozíku na 50 m/min a pouze při využití elektrického vozíku je rychlost přesunu vyšší – 83 m/min, ale dlužno doplnit, že kromě obyčejné chůze je tento přesun zatížen dalšími časy

(např. časem na přivolání výtahu, nástup do něj a jízdu apod.). Rychlost 83 m/min může být zřejmě dosažena i spěchajícími chodci (rychlá chůze, popř. běh), což ale už není vhodné uvažovat jako standardní složku přesunu.

Vzhledem k výše uvedenému se postup opírá o následující limity přestupních dob:

Limit pro **mezní přestupní dobu** vyjadřuje takovou přestupní dobu, která poskytuje částečnou rezervu na kompenzaci zpoždění a v případě, že ke zpoždění přijíždějícího spoje nedojde i čas na zajištění některých doplňkových služeb (např. dobítí elektronické peněženky) nebo poskytuje určitý časový prostor např. k získání informací o navazujícím spoji apod. Limit je ale důležitý z hlediska racionalizace časových ztrát. Jedná se vlastně o „horní“ ohraničení přestupní doby. V modelu stanoveno jako dvojnásobek základní přestupní doby. V praxi může být přihlédnuto i k dalším provozním potřebám a limit stanoven v jiné výši.

Limit pro **základní přestupní dobu** je taková doba, která je dostačující pro všechny sledované možnosti přesunu – chůze, chůze o holích, doprovod kočárku, přesun za použití mechanického nebo elektrického vozíku. Limit vede na minimalizaci celkových přestupních dob. To znamená, že rezervy se vyskytují jen u některých druhů přesunu s menšími časovými nároky.

Limit pro **minimální přestupní dobu** umožňuje zejména přestup chůzí bez omezení bez rezerv, ale nikoli přestup ve všech sledovaných případech.

Nedostatečná přestupní doba neumožňuje pohodlné stihnutí daného spoje a není vhodné návaznost takových spojů prezentovat jako přípoj.

Z toho vyplývají čtyři rozmezí pro hodnocení přestupních dob, které jsou uvedeny v tabulce 1. Současně jsou uvedeny i konkrétní hodnoty rozmezí využitě v případové studii v následujících kapitolách.

Tabulka 1 - Rozmezí přestupních dob

Rozmezí	Interval vymezený limity	Případová studie [min]
N	(mezní; $+\infty$)	(14; $+\infty$)
A	(základní; mezní>	(7; 14>
B	(nedostatečná; základní>	(5; 7>
C	<0; nedostatečná>	<0; 5>

Přestupní doby s plánovanou vyšší dobou pro přestup (rozmezí N) jsou simulací sledovány, ale nejsou vyhodnocovány. Přestože i zde přirozeně hrozí určité riziko nedodržení, je zde větší předpoklad stabilního provozu. Vyhodnocení simulace se soustředí na „rizikové“ doby krátké (rozmezí A, B, C). Nepřípoje (odjezdy např. minutu před příjezdem) nejsou zahrnuty, neboť se fyzicky neuvídí, pokud oba spoje pojedou včas. Z podstaty věci ani cestující s takovým přestupem (nepřípojem) nemohou počítat při plánování svých cest. Vznik takové situace je v rovině tvorby JŘ, nikoli jeho spolehlivosti. Navíc při praktickém plánování jízdnic řádů obecně zde snaha toto sledovat přirozeně je. V případě potřeby je možné takové nepřípoje vyhledat a označit i ve vstupních maticích představovaného posouzení (postačí

změna podmínek pro sestavu matice přestupních dob a rozšířené vyhodnocení matice).

5. Model

Základem uvedeného malého simulačního modelu (posouzení) je informace o všech příjezdech a odjezdech všech spojů do/z přestupního uzlu s identifikací omezení jízdy na dny v týdnu.

5.1 Základní matice

Následně jsou vytvořeny matice přestupních dob pro jednotlivé dny. Díky tomu, že model pracuje na úrovni jednotlivých spojů a nikoli intervalu (taktu), je možné jeho využití i při neperiodickém provozu, resp. jízdním řádu.

Přestupní doby jsou stanoveny pro všechny uspořádané dvojice odjíždějících a přijíždějících spojů, jako rozdíl mezi časy odjezdu a příjezdu. V případě, že nelze přestup v daném dni stihnout, použije se vysoká konstantní hodnota, např. 9 999 jakožto identifikace nemožnosti přestupu. Pokud se jedná o návaznost vytvořenou pokračováním jízdy stejného spoje, použije se hodnota 8 888, aby přirozeně zajištěné návaznosti nebyly nadále posuzovány jako přestupy. V případě spojů jedoucích krátce po půlnoci před případným nočním přerušením nebo omezením provozu osobní dopravy, se doporučuje tyto spoje přiřadit k předcházejícímu provoznímu dni, ke kterému logicky patří. Nicméně je možné ponechat tyto spoje zároveň i jako „první“ a posoudit i jejich návaznosti na první ranní spoje.

Tato matice vytvoří základ, ke kterému jsou vztahována posouzení výsledků simulovaného provozu. Zároveň toto je ale prvním a důležitým výstupem posouzení, neboť tato matice umožňuje identifikaci případných nedostatků JŘ v oblasti přestupních dob.

K matici je vhodné doplnit další výstupní sestavy (filtry dat), které umožní pohled na určité jevy vznikající v dopravním provozu. Je tak možné např. sledovat možnosti přestupu z daného přijíždějícího spoje na všechny ostatní linky. Zajímavou alternativou je v tomto případě i posouzení přes tzv. dopravní směry, kdy jeden směr odpovídá množině společně vyhodnocovaných linek vedených paralelně stejným směrem. Přirozeně, toto posouzení může mít své nedokonalosti v tom smyslu, kdy např. společná konečná stanice nemusí být zárukou toho, že všechny linky dané množiny jsou atraktivní (využitelné) pro všechny cestující. Na druhou stranu ale i např. spoje téže linky někdy nemusí být rovnocennou alternativou (pokud je uplatňováno např. variantní vedení trasy). Vždy je toto nutné vnímat jako záměrné zjednodušení skutečnosti, které se blíží skutečnosti, ale ne vždy ji zcela vystihne. Na druhou stranu i toto je jeden z bodů modelu, u kterého je zamýšleno další zkoumání a zpřesňování v budoucnu.

5.2 Průběh simulace

Vlastní simulační posouzení se opírá o datovou strukturu matic popsaných v kapitole 5.1. Opět budou hledány tentokrát „skutečné“ nebo „splněné“ přestupní doby, které

jsou k dispozici na přestup mezi jednotlivými spoji. Příjezdy a odjezdy spojů jsou nahrazeny příjezdy a odjezdy náhodnými, jejichž výše se u příjezdů řídí zadaným rozdělením pravděpodobnosti zpoždění a u odjezdů pravidly, jak bude např. ten který odjezd ovlivněn vzniklou provozní situací (na které spoje čekat, jak dlouho apod.).

Uvedené je řešeno na přepravní bázi, tj. zejména na bázi skutečného příjezdu a odjezdu (vyčkávání). V rámci záměrného zjednodušení skutečnosti jsou zanedbány otázky např. provozních intervalů, konfliktů na staničních zhlavích v případě železniční dopravy, v autobusové dopravě pak umístění konkrétních stanovišť apod. Nicméně některé stěžejní záležitosti zanedbány nejsou – např. obrátové časy vlaků, aspekty vyčkávání na protijedoucí vlak v případě jednokolejné trati (zatím bez možnosti řešení otázky přeložení křižování do jiné stanice), minimální pobyt vlaků, minimální přestupní doby v rámci železniční stanice.

Toto je oblast, kterou lze dále rozvíjet – např. o možnost přenosu zpoždění odjíždějícího spoje na další spoj příjíždějící (obratový) apod. Tyto záležitosti jsou zamýšleny do případných dalších etap řešení.

Následně je proveden zadaný počet replikací (simulačních experimentů). V otázce počtu replikací se nabízí jedno doporučení, provést jich tolik, kolikrát se daná situace v období platnosti jízdního řádu vyskytuje [1]. Je tak získán daný počet – železniční terminologií vyjádřeno – splněných jízdních řádů, kterou mohou sloužit jako podklad k vyhodnocení.

5.3 Průběh vyhodnocení a kritéria

Jak již bylo uvedeno, výsledkem simulace má být posouzení spolehlivosti provozu. V zásadě existují dvě skupiny kritérií – globální a lokální. Příkladem globálního kritéria je např. celkový počet nezajištěných (nestihnutých) přestupních vazeb. Lokálními kritérii se rozumí vyhodnocení jednotlivých přestupních vazeb, v jakém posuzovaném rozmezí se objevily v jednotlivých replikacích vůči zařazení vyplývajícímu z jízdního řádu.

5.4 Vstupní zpoždění

V případové studii jsou jako náhodné pojaty příjezdy a odjezdy všech vlakových spojů. Příjezdy se řídí zadaným rozdělením pravděpodobnosti přímo, skutečná poloha odjezdů vychází z provozní situace, podmíněné uvedenými příjezdy (např. přenos vstupního zpoždění na výstupní, čekání na zpožděné vlaky apod.). Za tímto účelem bylo pro každý odjíždějící vlak vytvořeno pravidlo, podle kterého se skutečný odjezd řídí (např. na které vlaky čekat a případně jak dlouho). Provoz veřejné linkové dopravy a MHD je pojat deterministicky. Odpovídá to navíc i situaci, kdy většina autobusových spojů je výchozích a tudíž je i míra jejich zpoždění minimální. K jejich vyčkávání na zpožděné přípoje dochází minimálně (s výjimkou případů výslovně uvedených v jízdním řádu). V případě potřeby je možné model doplnit o stochastické pojetí autobusového provozu, včetně pravidel vzájemných návazností.

6. Případová studie

Pro praktickou ilustraci použití modelu (simulačního posouzení) byl vybrán jeden skutečný přestupní uzel tak, aby byly patrné praktické aspekty využití metody. Jelikož se jedná o představení metody a nikoli přímo o cílené řešení návaznosti v daném konkrétním uzlu, jeho název není podstatný. Důvodem je i to, že použité vstupy o zpoždění vlaků jakožto o náhodné veličině nejsou pro daný uzel kalibrovány a validovány. Výsledky sice plně postačují pro ilustraci modelu (posouzení) a ukázkou jeho logiky na teoretické úrovni, ale nemusejí odpovídat provozu natolik, jak by bylo pro finální technologické řešení třeba. Autor článku by nerad tímto způsobil chybu, kdyby s těmito předpoklady dosažené závěry byly dále citovány nebo používány přímo jako konkrétní provozní charakteristiky uzlu.

Přestupní uzel je tvořen železniční stanicí na dvoukolejně trati významné pro regionální i dálkovou osobní dopravu, ze které zde odbočuje jedna jednokolejná trať s relativně významnou dopravou regionální. Zastavující vlaky dálkové dopravy, stejně tak jako vlaky dopravy regionální na obou tratích, jsou provozovány téměř striktně v taktu. Výhod organizace dopravy v rámci taktového (periodického) JŘ se zde využívá téměř plně.

V sousedství železniční stanice se nachází autobusové nádraží, které je výchozím bodem řady linek obsluhujících zdejší region. Ovšem na rozdíl od dopravy železniční, v jízdním řádu autobusových linek se prvky periodického jízdního řádu (např. odjezdy ve stejnou minutu) objevují relativně zřídka.

Výhodou představovaného posouzení (modelu) je, že pracuje na úrovni jednotlivých spojů a z toho důvodu byl vybrán právě tento přestupní uzel, aby i tyto možnosti mohly být demonstrovány.

Vzdálenost obou nádraží není velká (cca 200 m), proto je zde možnost vytvoření vhodného přestupního uzlu. Problém ale je, že autobusové nádraží není pro neznalého cestujícího přijíždějícího vlakem na první pohled patrné, což může způsobovat zdržení, která jsou nežádoucí z hlediska minimalizovaných přestupních dob. Přímá (nejkratší) cesta navíc vede mimo výpravní budovu. Případný průchod cestujícího výpravní budovou železniční stanice (což je pro mnohé cestující neznalé situaci logický krok) navíc způsobí prodloužení cesty (cca 75 m) a zdržení (vstup do odbavovací haly a její průchod). Při přestupu z autobusu na vlak, je navíc cesta přes výpravní budovu „povinná“ za účelem odbavení, není-li cestující již držitelem předem zakoupené jízdenky, popř. jízdenky traťové, síťové atd.

Nevýhodou je, že i řidiči autobusů na autobusovém nádraží nemají možnost přímého pohledu na dění v kolejišti železniční stanice.

6.1 Rozsah posouzení

Návaznosti mezi jednotlivými vlaky nebo autobusovými spoji navzájem nejsou vyhodnocovány, ale jsou pro takové vyhodnocení vytvořeny všechny předpoklady – i pro ně jsou stanovovány přestupní doby (podle JŘ, i v simulaci).

V případové studii je řešen jeden simulační scénář – pro den s maximálním rozsahem provozu, pro pátek a z toho vyplývá 50 replikací (simulačních pokusů), odpovídajících přibližně počtu pátků v rámci platnosti jízdního řádu, které jsou pracovním dnem.

K řešení ostatních dnů (po – čt, so – ne) je možné doplnit příslušný počet replikací s JŘ pro tyto dny. Vzhledem k tomu, že prázdninový jízdní řád se v tomto případě týká relativně omezeného počtu spojů, období prázdnin a školního roku není rozlišováno. Zahrnovány jsou všechny spoje provozované v období školní výuky. [3]

Jedná se celkem o 226 příjezdů a 226 odjezdů (pozn. rovnost je náhodná, ne všechny spoje jsou vedeny v párech). Využívané matice přestupních dob mají 51 076 prvků. Při 50 replikacích je pro páteční provoz stanoveno celkem 2 604 876 přestupních dob (1x dle JŘ + 50 replikací).

6.2 Rozdělení pravděpodobnosti zpoždění vlaků

Předložený výpočet je proveden na ilustrační úrovni a tomu odpovídá i rozsah použitých vstupních dat.

Rozdělení pravděpodobnosti zpoždění příjíždějících vlaků bylo stanoveno odděleně pro osobní regionální vlaky a pro ostatní vlakové kategorie. Bylo tak učiněno na základě vlastní osobní statistiky cest vykonaných autorem článku. Tato statistika byla prováděna na území celé ČR v letech 2009 – 2014. Protože se však nejedná pouze o sledovanou stanici, je nutné počítat s jistou nereprezentativností těchto dat a jako taková nejsou v příspěvku uváděna. V případě potřeby reálného nasazení této metodiky (na tomto nebo i jiném uzlu) je možné toto snadno nahradit interními daty odpovědných subjektů v potřebném rozsahu a kvalitě. Nejedná se jen o místo zjišťování dat, ale i za jaké situace (v návaznosti na to, pro jakou situaci) jsou tato data zjišťována (např. pro období s rozsáhlou výlukovou činností nebo naopak provozu bez omezení). Informace k práci se statistickými daty je možné najít např. v [4].

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o představení metodiky, nikoli o konkrétní řešení situace v daném uzlu, je toto zjednodušení považováno za možné. Budiž toto vysvětlením, proč není vhodné následně prezentovat výsledky s konkrétním přestupním uzlem jako validované.

Rozdělení pravděpodobnosti zpoždění vlaků kategorie Os bylo stanoveno na základě 500 příjezdů z uvedené osobní statistiky, pro ostatní kategorie je uvažováno cca 2020 příjezdů.

6.3 Stanovení limitů pro přestupní doby

Cesta je uvažována z ostrovních nástupišť železniční stanice s využitím podchodu (k dispozici jsou schodiště a výtahy) bezbariérový výstup z podchodu je realizován pomocí šikmé rampy. Výpočet byl proveden podle [2].

Tabulka 2 - Rámcový výpočet přestupních dob

Složka	Vzdálenost [m]	Chůze [min]	Chůze o holích [min]	Doprovod kočárku [min]	Využití mech. vozíku [min]	Využití el. vozíku [min]
Výstup		-	-	-	0,75	0,75
Chůze po nástupišti žst.	75	1,12	1,67	1,25	1,50	0,90
Výtah	1x	-	0,50	0,50	0,50	0,50
Chůze žst. – AN	200	3,00	4,44	3,33	4,00	2,41
Celkem	275	4,12	6,61	5,08	6,75	4,56

Výpočet uvedený v tabulce 2 je pouze rámcový, výsledný čas ve skutečnosti závisí na mnoha dalších okolnostech – např. na poloze nástupiště nebo stanoviště, poloze vozu ve vlaku, poloze výtahu (nutnost vyčkání na jeho příjezd), množství přítomných cestujících. Čas pro výstup z vlaku je uvažován pouze u osob na vozíku, neboť je často vázán na využití plošiny, což v ostatních případech nenastává. U chůze není uvažován čas na překonání schodiště (namísto výtahu), neboť se předpokládá možnost kompenzace této časové ztráty možností zrychlit chůzi v těch úsecích, kde to prostor a počet přítomných chodců umožní (zejm. při cestě mezi nádražími).

Základní přestupní doba byla v daném případě nastavena na 7 min, čímž vznikne rezerva pouhých 2,88 min a to pouze při chůzi bez omezení. Je však nutno si uvědomit, že tato přestupní doba, aby vyhovovala, předpokládá provoz bez zpoždění. Výsledné hranice jsou: mezní doba 14 min; základní 7 min; minimální 5 min a nedostatečná <5 min. Přestupní doby jsou uvažovány stejně v obou směrech. V případě přestupu z autobusu na vlak může být další složkou odbavení v osobní pokladně, které zde pro zjednodušení není zahrnuto.

Přestupní doby nad 14 min podle JŘ nejsou uvažovány. Cílem modelu je identifikovat možné problémy ve stabilitě krátkých přestupních dob, nikoli minimalizovat počet dlouhých přestupních dob. Přirozeně ale i k tomuto účelu lze matice sekundárně využívat.

6.4 Vyhodnocení modelu

Na základě matice přestupních dob vytvořené podle JŘ pro přestupní vazby z vlaku na autobus, resp. obráceně bylo zjištěno, jaký díl přestupních vazeb v rozsahu <0; 14> min se nachází v rozmezích A, B, C (tabulka 3).

Tabulka 3 - Rozdělení přestupních dob do rozmezí

Přestup z	Přestup na	Rozmezí A (7; 14> min		Rozmezí B (5; 7> min		Rozmezí C <0; 5> min	
		počet	%	Počet	%	počet	%
Vlak	MHD	12	40,00 %	5	16,67 %	13	43,33 %
Vlak	VLD	101	62,35 %	22	13,58 %	39	24,07 %
MHD+VLD	Vlak	74	45,96 %	30	18,63 %	57	35,40 %

V rámci 50 replikací byly sledovány změny zařazení jednotlivých přestupních dob.

Tabulka 4 - Průměrné změny počtů přestupních dob v rozmezích při replikacích

Přestup z	Přestup na	Z rozmezí A			Z rozmezí B			Z rozmezí C		
		do B	do C	do N	do A	do C	do N	do A	do B	do N
Vlak	MHD	2,1	2,1	1,5	0,5	1,4	0,9	0,0	0,4	3,2
Vlak	VLD	11,9	14,5	9,9	3,3	6,7	2,7	0,38	0,9	13,9
MHD+VLD	Vlak	0,2	0,5	23,8	13,4	0,1	4,6	11,7	8,1	4,4

Tabulka 4 ukazuje, průměrně kolik dvojic spojů ze sledovaného intervalu <0; 14> min změni svou přestupní dobu a k jaké to povede změně zařazení do dílčího rozmezí. Např. každý průměrný pátek lze očekávat, že při přestupech z vlaku na veřejnou linkovou dopravu se 14,5 spoje přesune z „pohodlného“ rozmezí A do rozmezí C, kdy lze přestup stihnout pouze při natěně zvýšeném úsilí či spíše nestihnout a téměř jistě jej nelze stihnout při chůzi o holích, doprovodu kočárku či při využití vozíků. To představuje 14,4 % všech přestupů z vlaku na VLD původně v rozmezí A. V rozmezí B se do „nedostatečného“ rozmezí C přesune 30 % přestupů z vlaku na VLD. Relativně velký počet přesunů přestupů mezi autobusy a vlaky do relativně „pohodlnějších“ rozmezí je způsoben tím, že u vlaků je uvažováno se zpožděním odjezdů, což u autobusů nikoli. Navíc díky tranzitnímu vedení vlakových linek a vzájemnému čekání vlaků na sebe, je zpožděno více odjíždějících vlakových spojů (což se u výchozích autobusových spojů v praxi vyskytuje minimálně).

Simulační model dále ukázal, že v jednom provozním dni není stihnuto průměrně 50,7 přestupních vazeb (nejen mezi vlaky a autobusy, ale i mezi vlaky navzájem oproti plánu v jízdním řádu). Tato hodnota není ani ošetřena žádnou „minimální přestupní dobou“ – zahrnuje tedy i ty přestupy, které není možné garantovat (např. z vlaku na autobus za 1 min). Nicméně vzhledem k tomu, že existuje možná určitá skupina cestujících, kteří se snaží i takové přestupy stihnout (např. přeběhnutím), je vhodné se i tímto zabývat. Vzhledem k tomu, že „relevantních přestupních vazeb“ – z každého z 226 příjíždějících spojů na nejbližší spoje ostatních 36 linek je 8 136 (ale ne u každého spoje je možný přestup na všechny odjíždějící linky), toto číslo ještě není velké.

Problém ale je, že se z relativně „pohodlných“ rozmezí A a B každý pátek dostává 25,3 (10,4 %) přestupů do nedostatečného rozmezí C, resp. 68,7 (28,1 %) přestupů do rozmezí C a N, kdy N znamená nestihnutí přípoje nebo nárůst přestupní doby nad 14 min (vliv zpoždění odjezdu), což je obojí nežádoucí.

Přirozeně je možné sledovat přestupní doby i mezi jednotlivými dvojicemi spojů. Byl vybrán jeden příklad za všechny: přijíždějící vlak dálkové dopravy a poslední večerní spoj vybrané autobusové linky s přestupní dobou 8 min (pohodlné rozmezí A). Na základě 50 simulačních experimentů (replikací) bylo zjištěno, že tento spoj je při daném rozdělení pravděpodobnosti zpoždění vlaku pohodlně dosažitelný (8 – 14 min) v 64 % případů tak, jak je předpokládáno, doporučeně (6 – 7 min) pak v 16 % případů, nedostatečně (0 – 5 min) ve 14 % případů a dokonce autobusový spoj ujel v 6 % případů. Vzhledem k tomu, že se jedná o poslední večerní autobusový spoj dané linky, na který nenavazují další přípoje na jeho trase, přirozeným záměrem by mělo zřejmě být ponechání odjezdu na současné hodnotě a zavedení důsledné dispečerské garance daného přípoje. Jinak hrozí ztráta atraktivity – otázka reálného ohrožení stihnutí je ve 20 % případů (rozmezí C + N), v dalších 16 % není zaručena pohodlná přestupní doba pro všechny kategorie cestujících. Jinými slovy, v cca 1/3 případů lze očekávat provozní problémy při přestupu, kdy je otázkou, zdali je přestupní doba na základní úrovni s minutovou rezervou (8 min) pro cestující dostatečně spolehlivá. V případě ztráty tohoto přípoje jsou možnosti další cesty vzhledem k večerní době velmi omezené. Takto je možné analyzovat kteroukoli dvojici vlaku a autobusového spoje.

Závěr

Omezený rozsah článku bohužel nedovolil prezentovat celou škálu výstupů a možností, které uvedené simulační posouzení (model) poskytuje, v plné šíři. Nicméně je možno konstatovat a snad je i patrné, že cíl článku je naplněn a uvedený model je možné pro posuzování spolehlivosti přestupních dob využít. Model byl úspěšně testován na poměrně podrobné případové studii, založené na reálných základech, byť s omezeným rozsahem vstupních dat. Záměrem autora článku je, pokud to okolnosti umožní, posouzení (model) dále rozvíjet a doplňovat do něj další funkce a možnosti tak, aby oblast přestupních vazeb mohla být detailně zkoumána.

Použité informační zdroje

- [1] BULÍČEK, J. – BREJCHA, R. – HRUBAN, I. et al.: *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011, vyd. 1, 223 s. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [2] MATUŠKA, J.: *Bezbariérová doprava*. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2009, vyd. 1, 200 s. ISBN 978-8086530-62-8.
- [3] *Celostátní informační systém o jízdních řádech IDOS*. Dostupný z: www.jizdnirady.idnes.cz
- [4] KUBANOVÁ, J.: *Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi*. Bratislava: STATIS, 2008, vyd. 3 – doplněné, 247 s. ISBN 978-80-85659-47-4.



Praha, srpen 2015

Lektorovali: Ing. Mgr. Radim Brejcha, Ph.D.
SŽDC, s. o.

Ing. Marcela Benediktová, Ph.D.
POVED, s. r. o.