

# PŘÍSPĚVEK K PROPUSTNOSTI ŽELEZNIČNÍCH TRATÍ

## PAPER TO QUESTIONS OF CAPACITY OF RAILWAY LINES

Josef Bulíček<sup>1</sup>, Vlastislav Mojžíš<sup>2</sup>

---

*Anotace: Článek se zabývá problematikou propustnosti železničních tratí. Analýza dosud používaných metodik vede k závěru, že pro zjišťování propustnosti v současných podmínkách organizace vlakové dopravy tyto metodiky už nevyhovují. Řešení spočívá ve využití simulačních modelů, které poskytují řadu možností. Aplikace současných metodik, jejich srovnání a nevýhody jsou ilustrovány na případových studiích dvou tratí.*

*Klíčová slova: Propustnost, analýza, simulační model, případová studie, vysokorychlostní vlaky.*

*Summary: The paper deals with questions of capacity of railway lines. The analysis of utilized methodologies leads to conclusion, that these methodologies are not suitable for capacity estimation in the frame of nowadays conditions. The resolution is based in utilizing of simulation models equipped by a lot of possibilities for solution. The application of the state-of-art methodologies and comparison of these methodologies are illustrated on the case studies of two railway lines. The disadvantages of these methodologies are mentioned there as well.*

*Key words: capacity, analysis, simulation model, case study, high-speed trains.*

### 1. ÚVOD

Propustnost tratí a její stanovování patří k nosným problémům dopravní vědy. Proto je potřebné použít takové metody a postupy, které poskytnou adekvátní výstupy.

Pohledy na propustnost železničních tratí - v zahraniční označovanou jako kapacita - jsou rozdílné a převažuje názor, že neexistuje pouze jedna „kapacita“, což připouští i UIC. Důvodem těchto úvah jsou mnohdy velmi různé výsledky výpočtů propustnosti a je prokázáno, že výsledná hodnota propustnosti nezávisí už jen – zjednodušeně řečeno – na době obsazení prvku a na délce a volbě výpočetního období.

V současnosti se v podmínkách ČR uplatňují dva pohledy na výpočet propustnosti – metodika ČD D24 [1], která představuje hlavní přístup a dále Kodex UIC 406 o kapacitě [2]. Oba tyto postupy mají své jisté nedokonalosti a jsou zde patrné domácí i zahraniční snahy o přiblížení výpočetních algoritmů novým skutečnostem a nové situaci. Podstata těchto metodik je podrobněji rozvedena v literatuře [14].

Porovnání výsledků propustnosti podle obou metodik je ilustrováno na případových studiích dvou tratí.

---

<sup>1</sup> Ing. Josef Bulíček, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 202, e-mail: [josef.bulicek@upce.cz](mailto:josef.bulicek@upce.cz)

<sup>2</sup> prof. Ing. Vlastislav Mojžíš, CSc., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 518, e-mail: [vlastislav.mojzis@upce.cz](mailto:vlastislav.mojzis@upce.cz)

## 2. ANALÝZA PROBLÉMŮ S URČOVÁNÍM HODNOT PROPUSTNOSTI

Příčina uvedených problémů není v zastaralosti těchto metodik nebo postupů, ale ve změnách, které v železniční dopravě nastávají. Dosud užívané postupy metodik totiž předpokládají, že v zásobníku vstupních požadavků do systému hromadné obsluhy (jak může být traťový úsek také popsán), je vždy nějaký požadavek (vlak) k dispozici. Tento předpoklad už však v současných podmínkách neplatí. A to je v současnosti nereálné. Znamenalo by to, že by jinak projíždějící vlaky byly ve stanicích zastaveny a do traťového úseku vypravovány náhodně v té chvíli, kdy se úsek uvolní. Nyní totiž převažuje osobní doprava s vysokými nároky na úroveň kvality, je snaha v co největším rozsahu aplikovat periodický jízdní řád, neustále narůstá variační rozpětí mezi rychlostmi jednotlivých druhů vlaků aj. To vše má za následek, že vznikají další, těžko kvantifikovatelné nepřímé doby obsazení, které propustnost/kapacitu tratí snižují. Podrobněji je analýza problémů s určováním hodnot propustnosti rozvedena v literatuře [14].

Řešení spočívá ve využití simulačních modelů.

## 3. MOŽNOSTI VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH MODELŮ

Řešení otázek kapacity železniční infrastruktury jednoznačně směřuje k analýze již navržených (existujících) jízdních řádů podle konkrétní provozní situace a současně podle podmínek, ve kterých má být řešení nalezeno. Proto je třeba se intenzivně zabývat řešením aspektů této problematiky, zejména v kontextu možnosti využití počítačové simulace [6], protože jediné počítačové modely umožňují komplexní a relativně rychlé prověření zadané situace.

Předpokladem simulace je, kromě vytvoření vlastního modelu posuzovaného traťového úseku (zadání parametrů infrastruktury, vozidel, vlaků apod.), i vytvoření provozních scénářů podle předpokládaného rozsahu provozu v budoucnosti. Scénáře lze řešit variantně podle možného vývoje do budoucna a upravovat je podle aktuálního stavu situace. Např. rakouské ÖBB zpracovávají plány (scénáře) na 6 let dopředu s každoroční aktualizací [7].

Jako výstup modelu ovšem nelze tak očekávat konkrétní hodnoty kapacity, ale komplexní posouzení celkové provozní situace, vč. např. stability navrženého jízdního řádu.

Stabilitou jízdního řádu se rozumí jeho schopnost dodržovat stanovené časové polohy vlaků v reálných provozních podmínkách, tzn., aby jízdní řád měl jistou míru odolnosti proti zpoždění. Většinu důvodů vzniku prvotního zpoždění nelze po technologické stránce železničního provozu ovlivnit a předvídat (např. porucha hnacího vozidla nebo trakčního vedení, nehoda aj.). Důležité je minimalizovat přenášení prvotního zpoždění na ostatní vlaky. To lze zhodnotit při znalosti průměrného záložního času  $z$ . Ukazatel  $z$  umožňuje také posoudit, jak je vykonstruovaný jízdní řád schopen realizace. Při nízkých hodnotách  $z$  i při malých potížích při jízdě vlaků (technického či organizačního řádu, vyvolávajících zpoždění) se může narušit celková koncepce uspořádání tras vlaků. Tyto potíže (zpoždění) se přenesou na další vlaky. Při vyšší hodnotě  $z$  porucha může být snadněji kompenzována,

tzn. že vliv na jízdu dalších vlaků bude menší nebo i žádný. Příliš vysoká hodnota z však vyvolá nízké využití mezistaničního úseku.

Je tedy třeba při využití simulace hledat postupy a závislosti mezi jednotlivými faktory ovlivňujícími výsledné řešení tak, aby mohl být stanoven jistý nový postup komplexního hodnocení kapacity železničních tratí v podmínkách současného provozu a požadavků na něj. Navíc existuje možnost výhodného propojení simulace dokonce s finančním vyjádřením, kterou zmiňuje např. Wiegand, W. v článku [8] v časopise Eisenbahningenieur.

Pokud je k simulaci přikročeno, je nutné dbát o to, aby data vstupující do modelu byla kvalitní a co nejprecizněji zjištěna, jak dokládají poznatky týmu ze Žilinské univerzity [9], který se dlouhodobě věnuje simulaci technologických procesů železničních stanic. Nepřesná vstupní data mohou samozřejmě způsobit i nepřesnosti ve výsledku.

Využití počítačové simulace železniční dopravy však není omezeno pouze na otázky propustnosti železničních tratí, ba naopak tato cesta vede ke komplexnímu řešení téměř ve všech směrech provozování dráhy a drážní dopravy. Lze takto sledovat vývoj různých faktorů od vlivu drobných výkyvů ve velikosti přepravních proudů cestujících po vliv opatření v infrastrukturní oblasti.

## **4. ILUSTRAČNÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE**

### **4.1. Traťový úsek Brno – Kuřim**

Ilustrační posouzení propustnosti v jízdním řádu 2007/08 bylo provedeno na traťovém úseku Brno-Maloměřice – Kuřim. Tento úsek bude také prověřen v dalším řešení institucionálního záměru simulačním modelem (SW Opentrack).

Jmenovaná trať je dvoukolejná, elektrifikovaná (25 kV, 50 Hz), vybavená trojznakým automatickým blokem. Nacházejí se zde zastávky a stanice: Brno-Maloměřice (jen nákladní doprava), Brno-Lesná, Brno-Královo Pole, Brno-Řečkovice, Česká a Kuřim. Délka úseku je 18,5 km.

Z přepravního hlediska se jedná o celostátní trať mezinárodního významu (TEN-T) s velmi rozvinutou příměstskou dopravou (linky S1, S3 a R3 IDS JMK). U dálkové dopravy je zaveden takt 120 min, u regionální dopravy pak převažuje interval 20 – 30 min. Traťovým úsekem je v sudém směru (Brno – Kuřim) vedeno 44 pravidelných vlaků nákladní dopravy, které doplňuje 14 vlaků podle potřeby. V lichém směru to pak je 45 + 17 vlaků nákladní dopravy.

Celkově je v daném traťovém úseku provozováno 102 pravidelných vlaků v sudém směru (+ dalších 16 podle potřeby), v lichém směru pak 109 pravidelných (+ 19 p.p.) vlaků.

Podle výpočtů provedených na Dopravní fakultě Jana Pernera (DFJP) lze propustnou výkonnost tohoto traťového úseku vyjádřit následující tabulkou 1.

Tab. 1 - Propustná výkonnost traťového úseku Brno – Kuřim (JŘ 2007/08), výpočet DFJP.

Traťový úsek	Ukazatel	Brno – Kuřim (sudý směr)	Kuřim – Brno (lichý směr)
Brno-Maloměřice – Brno-Kr. Pole	$\sum t_{obs}$ [min]	541,5	471
	$t_{obs}$ [min]	4,88	4,44
	$S_o$ [-]	<b>0,399</b>	<b>0,353</b>
Brno-Kr. Pole – Kuřim	$\sum t_{obs}$ [min]	525,5	528,5
	$t_{obs}$ [min]	4,73	5,03
	$S_o$ [-]	<b>0,396</b>	<b>0,407</b>

Zdroj: [11].

Podle dat dostupných u manažera infrastruktury (SŽDC, s.o.) lze daný úsek pro kontrolu charakterizovat hodnotami uvedenými v tabulce 2. V dostupných materiálech jsou údaje uvedeny pouze pro mezistaniční úsek Brno-Královo Pole – Kuřim. Na druhou stranu je zde oficiálně proveden i výpočet dle Kodexu UIC 406 o kapacitě.

Totožnou podstatu výpočtů podle metodik ČD D24 a UIC 406 dokládá tabulka 2, neboť výsledné hodnoty se dají s jistou mírou abstrakce považovat za totožné.

Tab. 2 - Propustná výkonnost traťového úseku Brno- Kr. Pole – Kuřim (JŘ 2007/08), výpočet SŽDC, s. o.

Traťový úsek	Metodika	Ukazatel	Brno – Kuřim (sudý směr)	Kuřim – Brno (lichý směr)
Brno-Kr. Pole – Kuřim	ČD D24	$n$ [trasy vlaků]	170	170
		volné trasy	74	73
		$t_{obs}$ [min]	5,06	5,08
		$S_o$ [-]	<b>0,35</b>	<b>0,36</b>
		$K_{vp}$ [%]	<b>56</b>	<b>57</b>
	UIC 406	$n$ [trasy vlaků]	162	162
		$K$ [%]	<b>59</b>	<b>60</b>

Zdroj: SŽDC, s.o.

Výsledky dle metodiky UIC 406 je však nutné ještě porovnat s doporučeními standardů, uvedenými např. v literatuře [2] a také v [14]. Zde je orientační hodnota využití kapacity pro trať se smíšeným provozem stanovena na 60 %. V tom případě lze tento traťový úsek prohlásit za plně využitý.

Tato skutečnost je plně v souladu s poznatky pracovníků odpovědných za plánování rozsahu dopravy na této trati, neboť podle jejich slov je další rozšiřování rozsahu dopravy na této trati značně problematické.

Je tím rovněž prokázáno negativní působení vznikající v oblasti požadavků na organizaci dopravy, resp. na periodický jízdní řád, který je zde zaveden u většiny regionálních i dálkových spojů osobní dopravy.

Otázkou ovšem zůstává exaktní matematické vyjádření tohoto faktu, neboť i podle vyhlášky UIC 406 o kapacitě je stanovení hodnot využití kapacity pouze orientační.

Vypočtené hodnoty v tabulkách 1 a 2 předpokládají jisté kapacitní rezervy, nicméně jsou zkresleny hned dvěma okolnostmi. Výpočetní období je stanoveno na 1440 min, tedy včetně noci, kdy se volná kapacita trati může stát nevyužitelnou z hlediska nedostatečné poptávky po osobní přepravě v nočních hodinách z důvodu neskladovatelnosti dopravní služby. Toto lze řešit zkrácením výpočetního období, nicméně to nepostihne možné jízdy nákladních vlaků, které lze naopak s výhodou realizovat právě v nočních hodinách (systém nočního skoku). Navíc nejsou stanoveny přesné podmínky pro případné zkrácení výpočetního období. Druhou otázkou, která by měla být v tomto směru řešena, je vliv periodicity jízdních řádů. Díky pevně daným odjezdům vznikají určité nepřímé doby obsazení, kdy je prostorový oddíl sice volný, avšak následující vlak musí vyčkávat na čas uvedený v jízdním řádu, přičemž velikost této doby již nepostačuje na využití trati jiným vlakem (např. nákladním). Tyto dva fakty potvrzují důvody nedokonalosti současných výpočetních metod.

Případová studie provedená na DFJP za účelem posouzení vlivu potenciálního zaústění alternativního řešení vysokorychlostní trati ze směru Praha a Pardubice do tohoto traťového úseku (v prostoru České) se zabývala třemi výhledovými scénáři. Tyto scénáře zohledňovaly různou možnou míru nárůstu rozsahu dopravy, stejně tak jako možných infrastrukturních změn (např. od zachování stávajícího stavu s minimálními úpravami až po vybudování tzv. severojižního kolejového diametru). Zjednodušeně řešeno, scénář 1 je v obou těchto kriteriích nejkonzervativnější a naopak scénář 3 neoptimističtější. Zajímavé pak je porovnání jednotlivých výsledků v rámci těchto scénářů, které jsou zachyceny v tabulce 3.

Tab. 3 - Výhledové scénáře pro traťový úsek Brno – Kuřim.

Scénář		Brno – Kuřim (sudý směr)	Kuřim – Brno (lichý směr)
1 – konzervativní	$K_{vp}$ [%]	111,72	106,37
2 – střední	$K_{vp}$ [%]	91,03	86,16
3 – optimistický	$K_{vp}$ [%]	69,20	69,31

Zdroj: [11]

V této tabulce je vidět, jaký vliv může mít forma organizace dopravy a různého rozsahu infrastrukturních změn. Markantní je to zejména mezi scénáři 1 a 2, kde jsou jen dílčí rozdíly v infrastruktuře a změn koeficientu využití praktické propustnosti je dosaženo především změnami v oblasti dopravně-organizační. Vliv razantního infrastrukturního opatření (převedení části spojů na novou trať) je dokumentován na scénáři 3, kde je i změna koeficientu využití propustnosti markantní.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že všechny tyto varianty a možnosti mají být při stanovování kapacity pečlivě uváženy, neboť stanovení relevantní a vypovídající hodnoty kapacity železniční trati se stává složitým multikriteriálním úkolem. Navíc v popsaném příkladě nebyly uváženy veškeré faktory, jako např. vliv zvětšujícího se variačního rozpětí mezi rychlostmi jednotlivých vlaků, možnost dálkového (dispečerského) řízení tratí atd.

#### 4.2. Trať Tišnov – Nedvědice – Žďár nad Sázavou

Další příklad se týká tzv. staré tišnovské trati. Zde jsou řešeny dva úseky Tišnov – Nedvědice a Bystřice nad Pernštejnem – Nové Město na Moravě. Údaje o propustnosti pro tuto trať jsou podle obou metodik uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 - Propustná výkonnost traťových úseků Tišnov – Nedvědice a Bystřice nad Pernštejnem – Nové Město na Moravě (JŘ 2007/08), výpočet SŽDC.

Traťový úsek	Metodika	Ukazatel	T = 1440 min	T = sníž. <sup>3</sup>
Tišnov – Nedvědice	ČD D24	$n$ [trasy vlaků]	34	27
		volné trasy	3	-4
		$t_{obs}$ [min]	27,29	
		$S_o$ [-]	<b>0,60</b>	<b>0,75</b>
		$K_{vp}$ [%]	<b>91</b>	<b>115</b>
	UIC 406	$n$ [trasy vlaků]	30	24
		$K$ [%]	<b>103</b>	<b>129</b>
Bystřice nad Pernštejnem – Nové Město na Moravě	ČD D24	$n$ [trasy vlaků]	34	25
		volné trasy	6	-3
		$t_{obs}$ [min]	27,61	
		$S_o$ [-]	<b>0,54</b>	<b>0,73</b>
		$K_{vp}$ [%]	<b>82</b>	<b>112</b>
	UIC 406	$n$ [trasy vlaků]	<b>31</b>	<b>22</b>
		$K$ [%]	<b>90</b>	<b>127</b>

Zdroj: SŽDC, s.o.

Zde dokonce koeficient využití propustnosti překračuje 100 %. Podle teoretických předpokladů by taková trať měla vykazovat značné provozní problémy. Opak je však pravdou a provoz lze prohlásit za celkem spolehlivý. Důkazem toho může být i existence zkráceného období provozu (resp. výpočtu charakteristik propustnosti pro toto období), kdy hodnota těchto koeficientů stoupá téměř k 130 %. Hodnota koeficientů pro základní období 1440 min by naopak vůbec neměla umožnit vznik výluk dopravní služby, především v nočních hodinách.

Dochází tak k evidentní nesrovnalosti vypočtených předpokladů a reality provozu. I toto ukazuje na nesoulady ve výpočetní metodice ČD D24, ale stejně tak i podobně založené UIC 406.

Naopak nastává zde prostor pro simulaci, která může metodou opakování náhodných pokusů dobře prověřit a odhalit i místní specifika, díky nimž se teoretické předpoklady vzniklé danými výpočetními postupy nenaplnují.

<sup>3</sup> Propustnost je vypočítávána i pro zkrácené výpočetní období (pouze období provozu osobní dopravy). V úseku Tišnov – Nedvědice je uvažována délka výpočetního období 1155 min a v úseku Bystřice n. P. – Nové Město n. M. 1055 min.

## 5. ZÁVĚR

Toto vše vede na variantní řešení problému propustnosti a právě počítačová simulace s možností využití společné datové základny a relativně rychlé tvorby variantních návrhů, při respektování celé škály vstupních podmínek představuje efektivní a relativně rychlý nástroj pro toto řešení. Navíc čím více variant je možno zhodnotit, tím je vyšší pravděpodobnost, že bude nalezeno lépe vypovídající řešení.

*Príspevek vznikl za podpory Institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.*

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Předpisy pro zjišťování propustnosti železničních tratí ČD D24, účinnost od 1. 10. 1965.
- [2] UIC Kodex 406 – Kapacita. UIC International Union of Railways, Paris, 1. vyd., 2004.
- [3] ČERNÁ, A., ČERNÝ, J.: Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech. Institut Jana Pernera, Pardubice, 2004, 150 s. ISBN: 80-86530-15-9.
- [4] VONKA, J., MOLKOVÁ, T., ŠIROKÝ, J.: Technologie a řízení dopravy II. – GVD. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2000, 112 s. ISBN: 80-7194-286-3.
- [5] OPAVA, J., MOJŽÍŠ, V. Alternativní řešení vysokorychlostního železničního spojení Praha – Brno. Nová železniční technika, 2007, č. 5, s. 15 – 20, ISSN 1210-3942.
- [6] HÜRLIMANN, D. Opendracks – Betriebssystemsimulation von Eisenbahnnetzen Version 1.3, ETH Zürich.
- [7] HUBER, M. Assessing infrastructure development. EUROPEAN RAILWAY REVIEW, 2005, č. 2, str. 17 – 21, ISSN 1351-1599.
- [8] WIEGAND, W. Dimensionierung der Eisenbahninfrastruktur. EISENBAHNINGENIEUR, 2005, č. 1, str. 8 – 12, ISSN 0013-2810.
- [9] CENEK, P., MÁRTON, P. Racionalizácia rozsahu infraštruktúry železničných staníc. *ŽelAktuel*, Pardubice, 2007, ISBN 978-80-7194-993-0.
- [10] Jízdní řád 2007/2008 [CD-ROM]. Praha: ČD, a. s., 2007. Sbíрка služebních pomůcek.
- [11] BLAŽEK, J., MOJŽÍŠ, V.: Prověření propustnosti železniční č. 250 s ohledem na možnost vložení tras vlaků vysokorychlostní dopravy v úseku Česká – Brno. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2008, 63 s., diplomová práce.
- [12] Výpočty propustnosti SŽDC, s.o.
- [13] Osobní konzultace s pracovníky KORDIS JMK.

Recenzent: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.  
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy