

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

MODELOVÉ ŘEŠENÍ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY
V ZÁVISLOSTI NA ROZSAHU DOPRAVNÍHO PROVOZU

DISERTAČNÍ PRÁCE

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ DOPRAVY

**MODELOVÉ ŘEŠENÍ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY
V ZÁVISLOSTI NA ROZSAHU DOPRAVNÍHO PROVOZU**

DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: ING. RADIM BREJCHA
ŠKOLITEL: PROF. ING. VLASTISLAV MOJŽÍŠ, CSc.

2011

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použitých informačních zdrojů.

Byl jsem seznámen s tím, že se na mojí práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Plzni dne 16.6. 2011

Ing. Radim Brejcha

Anotace

Tato disertační práce zkoumá interakci mezi kapacitou dopravní infrastruktury a rozsahem dopravního provozu v železniční dopravě pomocí simulačních modelů. Řešenými problémy jsou kapacita dopravní infrastruktury a rozsah dopravního provozu s důrazem na kvalitu a stabilitu dopravního systému. Aplikační část je zaměřena na ověření navrhovaných algoritmů na trati Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín.

Klíčová slova

Simulační model, železniční doprava, kapacita dopravní infrastruktury, rozsah dopravního provozu, stabilita.

Title

Numerical analysis of transport infrastructure depending on the extent of traffic.

Annotation

The interaction between capacity of transport infrastructure and extent of transport operation on railway in the way of simulation methods is examined in this dissertation work. Railway infrastructure capacity and extent of transport operation are solved problems with an emphasis on quality level and stability of transport system. Application part is oriented on verifying of proposed algorithms on the railway line Klatovy – Železná Ruda Alžbětín.

Key words

Simulation model, railway transportation, infrastructure capacity, scope of traffic, stability

V úvodu disertační práce bych rád vyslovil poděkování mému školiteli prof. Ing. Vlastislavu Mojžíšovi, CSc. a Ing. Edvardu Březinovi, CSc. za cenné připomínky a rady, kterých se mi v průběhu celého doktorského studia dostávalo. Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Krýžemu, Ph.D. ze SŽDC, s. o., za poskytnutí simulačního nástroje SimuT.

V neposlední řadě velké díky patří mojí manželce, která mě podporovala ve studiu všemi možnými prostředky a bez níž bych si nedovedl představit výchovu našich dvou dcer, které jsem místy odložil, abych se věnoval studiu a výzkumu.

Autor

Obsah

	strana
Seznam zkratk	4
Úvod	5
1 Analýza stavu poznání interakce dopravní infrastruktury a rozsahu dopravního provozu	6
1.1 Použité termíny a terminologie	6
1.2 Analýza předpisů, směrnic a norem v ČR a UIC	8
1.2.1 SŽDC (ČD) D24	8
1.2.2 UIC 405 a UIC 406	9
1.2.3 Vkládání dodatkových vlaků do sestaveného jízdního řádu	12
1.3 Zkoumaná témata v zahraničí	14
1.3.1 Metoda prof. E. V. Archangelského.....	14
1.3.2 Metoda prof. Sotnikova	14
1.3.3 Metoda uzavřených exponenciálních sítí.....	14
1.3.4 Metoda prof. Grandsalkeho	14
1.3.5 Simulace pomocí Petriho sítí.....	15
1.3.6 Slovensko.....	17
1.3.7 Metodika výpočtu maďarských železnic MÁV.....	19
1.3.8 Metoda používaná u DB AG.....	20
1.4 Současné problémy s určováním propustné výkonnosti.....	20
1.5 Publikace Dopravní provoz železnic	22
2 Hypotéza a cíl disertační práce	24
2.1 Vyslovení počáteční hypotézy	24
2.2 Cíle a přínosy disertační práce	25
3 Návrh řešení vztahu mezi dopravní infrastrukturou a rozsahem dopravního provozu	26
3.1 Návrh obecného postupu zkoumání vztahu DI a DP.....	26
3.2 Obecný vztah dopravní infrastruktury a rozsahu dopravního provozu.....	28
3.3 Provozní hledisko.....	30
3.4 Ekonomické hledisko	31
3.5 Kvalitativní hledisko	32

3.6	Kvantitativní hledisko	34
3.7	Dílčí závěr teoretické části návrhu	34
3.8	Přepravní proudy	34
3.9	Priorita vlaků	35
3.9.1	<i>Předpisově-konstrukční priorita</i>	35
3.9.2	<i>Provozní priorita</i>	36
3.9.3	<i>Simulační priorita</i>	37
4	Zvolené řešení a metody zkoumání	40
4.1	Definice simulace a modelování	40
4.1.1	<i>Definování simulace</i>	40
4.1.2	<i>Definování modelování</i>	41
4.2	Modelování a simulace	42
4.2.1	<i>Simulace</i>	42
4.2.2	<i>Počítačová simulace</i>	43
4.2.3	<i>Zkoumání systémů hromadné obsluhy s podporou simulace</i>	43
4.2.4	<i>Typy simulátorů z pohledu rozlišovacích úrovní</i>	43
4.3	Vícekritériální rozhodování	45
4.3.1	<i>Specifika vícekritériálního rozhodování</i>	46
4.3.2	<i>Metody stanovení vah kritérií</i>	48
4.4	Přehled simulátorů pro železniční provoz	51
4.4.1	<i>Villon</i>	51
4.4.2	<i>RASIM</i>	52
4.4.3	<i>Railsys</i>	52
4.4.4	<i>OpenTrack</i>	52
4.4.5	<i>Viriato</i>	53
4.4.6	<i>SimuT</i>	55
4.5	Postupy a užitá metodika	57
4.5.1	<i>Navrhovaný algoritmus řešení simulace vztahu dopravního provozu a dopravní infrastruktury</i>	58
4.5.2	<i>Proces nasycení a redukce dopravního provozu na dopravní infrastrukturu</i>	61
4.5.3	<i>Určení kroku k simulaci S</i>	62
4.5.4	<i>Úprava dopravní infrastruktury</i>	64
5	Výsledky navrženého řešení	67
5.1	Vstupní analýza vybraného traťového úseku	67

5.2	Aplikace řešení na konkrétním a uceleném traťovém úseku.....	68
5.2.1	<i>Vstupní simulace</i>	68
5.2.2	<i>Redukce rozsahu dopravního provozu</i>	69
5.2.3	<i>Sycení rozsahu dopravního provozu</i>	74
5.3	Shrnutí výsledků navrženého řešení na vybraném traťovém úseku	79
6	Závěr	82
	Seznam tabulek.....	83
	Seznam obrázků	83
	Seznam použitých informačních zdrojů	85
	Publikační a vědecko-výzkumná činnost doktoranda.....	87
	Ostatní činnost doktoranda	88

Seznam zkratk

ČD – České dráhy, akciová společnost

ČSD – Československé státní dráhy (dnes již neexistující společnost)

DI – Dopravní infrastruktura

DOZ – Dálkově ovládané zabezpečovací zařízení

DP – Dopravní provoz

DS – Dopravní systém

ESA – Elektronické stavědlo AŽD

EU – Evropská unie

IDS – Integrovaný dopravní systém

JD – Jízdní doba

JŘ – Jízdní řád

MD ČR – Ministerstvo dopravy České republiky

SM – Simulační model

SZZ - Staniční zabezpečovací zařízení

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

TZZ – Traťové zabezpečovací zařízení

UIC – Mezinárodní železniční unie

ŽST – Železniční stanice

Úvod

Posuzování rozsahu dopravní infrastruktury (dále jen DI) patří ke stěžejním úkolům kladeným na manažera DI. Na dopravu jsou kladeny zvyšující se nároky, a to jak z hlediska přepravního a dopravního výkonu, tak i z bezpečnostního hlediska. Hledání závislosti/tí mezi kapacitou DI a rozsahem dopravního provozu (dále jen DP) není jen záležitostí akademické půdy, ale je žádoucí pomocí těchto závislostí analyzovat stávající DI a její DP a získané poznatky implementovat do praxe. Jde o hledání určité rovnováhy mezi rozsahem DP a kapacitou DI.

Vztahy mezi DI a DP, které mohou nastat:

- Kapacita DI je rovna rozsahu DP. Tzn., že DI není přetěžována nadměrnou dopravou, ale zároveň je plně DI využívána.
- Kapacita DI je menší než rozsah DP. Tzn., že DI je přetěžována a dochází v provozu ke kongescím, které mohou působit krátkodobě nebo i dlouhodobě. Je zapotřebí DI přehodnotit, zefektivnit a zkvalitnit DI.
- Kapacita DI je větší než rozsah DP. Tzn., že DI je naddimenzovaná a její používání je finančně nevýhodné. Žádá se zracionalizovat rozsah DI snížením kapacity DI tak, aby se dosáhlo bodu rovnováhy.

V neposlední řadě stojí i ekonomická otázka tj. kolik stojí provoz dané DI a kolik bude výnos z DP na dané DI. Modelováním DP na konkrétně a pevně zadané DI bude možné stanovit, za jakých podmínek je DI kapacitně naddimenzovaná, v jakých rozmezích je ekonomicky, technologicky a bezpečně provozovatelná či jaký rozsah DI je již poddimenzovaný.

V disertační práci doktorand uplatňuje poznatky získané v doktorském studiu a aplikuje své praktické zkušenosti ze železniční dopravy. Přestože se disertační práce se opírá o fakta a podklady ze železničního provozu, lze obecnější závěry, po určitých úpravách, aplikovat na další dopravní obory. Pro ověření svých vlastních pozorování a úvah doktorand využije simulační modely programu Excel.

1 Analýza stavu poznání interakce dopravní infrastruktury a rozsahu dopravního provozu

1.1 Použité termíny a terminologie

Obecně používané termíny:

Bod na dopravní síti – uzel, anebo vnitřní bod úseku.

Doprava – cílevědomý proces změny místa.

Dopravce – vykonavatel dopravy.

Dopravní uzel – místo, kde se mohou komplety tvořit, shromažďovat, rušit nebo elementy vstupovat do nebo vystupovat z dopravní sítě.

Element – objekt (zásilka nebo cestující), který se během dopravy nedělí.

Jízdní řád – soubor spojů vztahujících se k danému uzlu.

Proud – bodový dopravní proces, určený posloupností časových údajů o průjezdu kompletů daným dopravním bodem.

Přeprava (přemístění) – změna místa lidí, věcí a informací na objednávku zákazníka.

Přepravce – zákazník objednávající přepravu.

Spoj – jízdním řádem (dále jen JŘ) časově a pravidelně se opakující doprava kompletu po dané trase.

Trasa – posloupnost $U_0, u_1, U_1, u_2, U_2, \dots, u_n, U_n$, kde pro všechny indexy i platí, že u_i je úsek sítě s koncovými uzly U_{n-1}, U_n (ve smyslu teorie grafů je to obvykle sled).

Trat' – trasa se všemi uzly různými (v teorii grafů obvykle cesta).

Definování dopravní infrastruktury

Dopravní síť je možno definovat jako konečnou množinu dopravních uzlů a úseků, které tyto uzly spojují. Ty pak tvoří pevnou, nepřemístitelnou část dopravní soustavy, označovanou pojmem *dopravní infrastruktura* [4]. Je nutno poznamenat, že do DI se podle mezinárodních dohod nezařazují zařízení, sloužící komerčním účelům jednoho dopravce nebo operátora, byť měla charakter nemovitosti (např. rampy, budovy sloužící k odbavování zásilek a osob, depa, opravy mobilních prostředků atd.).

Po formální stránce lze dopravní síť zobrazit jako rovinný síťový graf, definovaný množinou vrcholů (V), množinou hran (H), které jsou ohodnoceny směrovou orientací, délkou hrany (d) a propustností buď sítě jako celku, jednotlivých cest v síti nebo prvků sítě (p): $S=(V,H,d,p)$.

Prvky dopravní infrastruktury a jejich propustnost

Byla-li uvedena definice dopravní sítě jako množina vrcholů a hran, je nasnadě, že prvky dopravní sítě jsou *dopravní uzly* (dále jen uzly) a dopravní cesty, které uzly spojují, se označí pojmem *hrany*. Každému prvku dopravní sítě se přiřadí jedna nebo více hodnot, které je charakterizují. Jde zejména o:

- propustnost prvku dopravní sítě, vyjádřenou obvykle počtem dopravních jednotek nebo kompletů za jednotku času,
- časovou průchodnost prvkem dopravní sítě obvykle vyjadřovanou v minutách,
- náklady na průchodnost prvkem dopravní sítě dopravní jednotkou nebo dopravním kompletem obvykle vyjadřovanou v monetárních jednotkách na jednici výkonu, v tomto případě na přepočtenou dopravní jednotku, nebo komplet.

Pro možnosti optimalizace dopravní obsluhy DS je téměř vždy nutné kalkulovat s jeho kapacitou. Propustnost obecně lze definovat jako počet dopravních elementů (dopravních jednotek, dopravních kompletů, v reálném systému počet dopravních prostředků), které dopravní síť, prvek dopravní sítě propustí za jednotku času. Rozlišení propustnosti sítě a propustnosti prvků je nutné, neboť propustnost sítě není rovna součtu propustností jejích prvků a závisí do značné míry na způsobu (technologii) průchodu dopravních jednotek, v místě vzniku a zániku dopravního proudu (dopravní proud lze definovat jako počet dopravních elementů, resp. dopravních jednotek, resp. dopravních kompletů, které mají definováno místo vzniku a zániku na síti a časový interval, ve kterém po síti projedou. Dopravní proud může vznikat náhodně, cílevědomě nebo organizovaně).

V teorii dopravních systémů se rozlišuje [4]:

technická propustnost, která se definuje jako propustnost dopravní sítě (prvku dopravní sítě) za předpokladu, že všechny dopravní jednotky (dopravní komplety) dodržují stanovenou rychlost, na kterou je dopravní cesta konstruována, dodržují mezi sebou stanovenou bezpečnou vzdálenost a využívají všechny k tomu stanovené cesty (v silniční dopravě např. pruhy na pozemní komunikaci; obvykle se udává v počtu dopravních jednotek za hodinu);

technologická kapacita, kterou lze definovat jako propustnost za předpokladu, že dopravní proud je heterogenní, tj. že dopravní jednotky (komplety) nemají stejnou délku a ani hmotnost (tedy ani čas průjezdu prvky sítě), že nemají stejnou rychlost a že vstupují - nikoli v determinovaných intervalech rovných bezpečné vzdálenosti, ale stochasticky podle potřeb dopravní klientely; obvykle se uvádí v počtu dopravních jednotek za 24 hodin;

použitelná kapacita, která je dána možností využití definované dopravní sítě pro obsluhu systému a je dána technologickou kapacitou po odečtení především dopravních výkonů ve veřejném zájmu a ostatních obvyklých výkonů dalších dopravců nebo v dalších objednaných komoditách.

Další použité pojmy a termíny jsou definovány v příslušných kapitolách.

1.2 Analýza předpisů, směrnic a norem v ČR a UIC

1.2.1 SŽDC (ČD) D24

Tato metodika [1] vstoupila ve své základní verzi v platnost dne 1. října 1965 u tehdejších ČSD, nicméně jejich současní nástupci v České republice tyto předpisy používají dodnes (samozřejmě ve znění pozdějších změn).

Propustná výkonnost (propustnost) železničního traťového úseku je zde definována jako takový rozsah vlakové dopravy, který za daného stavu a technického vybavení provozních zařízení tratí a při zachování řádu, platného pro jejich využívání, může být na zjišťované trati v určitém časovém období trvale a pravidelně zvládnutelný.

Teoretická propustnost se vyjadřuje počtem vlaků každého směru, který může být na dané trati trvale a plynule provážen zpravidla za 24 hodin.

$$n_{\max} = \frac{T}{t_{\text{obs}}} \text{ [vlaků/výpočetní období]}, \quad (1)$$

kde: n_{\max} teoretická (maximální) propustnost [počet vlaků/výpočetní období],

T je výpočetní období [min],

t_{obs} je časová norma (technologický čas) obsazení daného provozního zařízení jedním vlakem [min/vlak].

Dále je zde definována i **praktická propustnost**, stanovená se zřetelem k časům potřebným na provedení předepsaných prohlídek, údržby, plánovaných rekonstrukcí a generálních oprav provozních zařízení a jejich prvků, které nedovolují jejich plné využívání, ale také se zřetelem na vyrovnávání zpoždění (zajištění kvality). Tato propustnost může být plně využita pravidelnou dopravou. Pokud je odstranit plánovaný rozsah pravidelné dopravy větší, zařízení je třeba považovat za přetížené.

$$n = \frac{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})}{t_{obs} + t_{dod} + t_{ruš}} \text{ [vlaků/výpočetní období]}, \quad (2)$$

- kde: n je praktická propustnost [počet vlaků/výpočetní období],
 $\sum t_{výl}$ celkový čas, po který je dané provozní zařízení nebo prvek vyloučen z provozu pro: předepsané prohlídky, opravy a údržbu [min],
 $\sum t_{stál}$ celkový čas, po který jsou daná provozní zařízení nebo prvky obsazeny jinými úkony stálých manipulací [min],
 t_{dod} čas na vyrovnávání nepravidelností dopravy [min/vlak],
 $t_{ruš}$ průměrný čas z celkového času pravděpodobného vzájemného rušení jízd, v místech možného ohrožení z důvodů nemožnosti současných jízd na daném zařízení nebo prvku, připadající na jeden vlak [min/vlak].

Koeficient využití praktické propustnosti je definován jako poměr rozsahu pravidelné dopravy k praktické propustnosti dané trati nebo provozního zařízení. Udává se i v procentech (jako stý násobek součinitele využití).

$$K_{VP} = \frac{N}{n} * 100 \text{ [%]}, \quad (3)$$

- kde: N je počet vlaků (skutečný nebo navrhovaný) [počet vlaků/ výpočetní období].

Stupeň obsazení provozního zařízení (prvku) je poměr celkového času obsazení tohoto provozního zařízení (prvku) pravidelnou vlakovou dopravou k výpočetnímu období, sníženému o celkové časy výluk a stálých manipulací.

$$S_o = \frac{\sum t_{obs}}{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})} = \frac{N \cdot t_{obs}}{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})} \text{ [-]}, \quad (4)$$

- kde: S_o je stupeň obsazení [-],
 T je výpočetní období [min],
 t_{obs} je čas obsazení jedním vlakem [min/vlak],
 $t_{výl}$ je čas plánovaných výluk [min],
 $t_{stál}$ je čas stálých manipulací [min].

1.2.2 UIC 405 a UIC 406

Vyhláška UIC 405, která se zabývá kapacitou železniční infrastruktury, vychází a koresponduje se směrnici [1]. Pravdou je, že tehdejší ČSD byly co se týká odborné stránky

v Evropě uznávanou železniční správou. Jak je patrné, tento předpis (dnes směrnice) byl skutečně na svou dobu progresivní a velmi pokrokový. Poprvé zde byla kvantifikována závislost mezi t_{obs} a t_{mez} . Zřejmě i proto byly některé dílčí pasáže převzaty do vyhlášky UIC 405. Tato vyhláška má pouze nezávaznou formu doporučení, nicméně železniční správy se těmito ustanoveními ve svých vnitřních předpisech řídí.

Novější pohled na problematiku je v Kodexu UIC 406 o kapacitě [2], platném od 1. června 2004 pro všechny členy UIC. Zde se připouští, že kapacita jako taková vlastně neexistuje, neboť závisí na tom, jak je daná DI využívána. Jako základní parametry, na kterých kapacita závisí, jsou zde uvedeny počty vlaků, průměrná rychlost, stabilita a heterogenita JŘ. Jejich vzájemný vztah je vyjádřen kapacitní bilancí (viz obrázek 1). Pro každý parametr ze společného bodu vychází jedna osa. Křivka, která představuje kapacitu, pak spojuje vždy konkrétní hodnoty jednotlivých parametrů. Vlastní hodnota kapacity odpovídá délce této křivky.

Jak z výše popsaného vyplývá, stanovení kapacity je i zde založeno na vyhodnocení existujícího JŘ. V případě posuzování navrhovaných tratí do budoucna závisí na vyhodnocení případové studie (výhledový JŘ).

Vlastní stanovení kapacity zde probíhá podobnými postupy, jaké zná i popsaná směrnice [1], a to grafickou a výpočetní metodou. Grafická metoda spočívá ve zhuštění (kompresi) navržených vlakových tras na časový odstup podle provozních intervalů. Výpočetní metoda je v případě Kodexu [2] založena na vztazích (5) a (6):

$$k = A + B + C + D \quad [\text{min}], \quad (5)$$

kde: k je využitý čas celkem [min],

A je obsazení infrastruktury [min],

B je čas mezery [min],

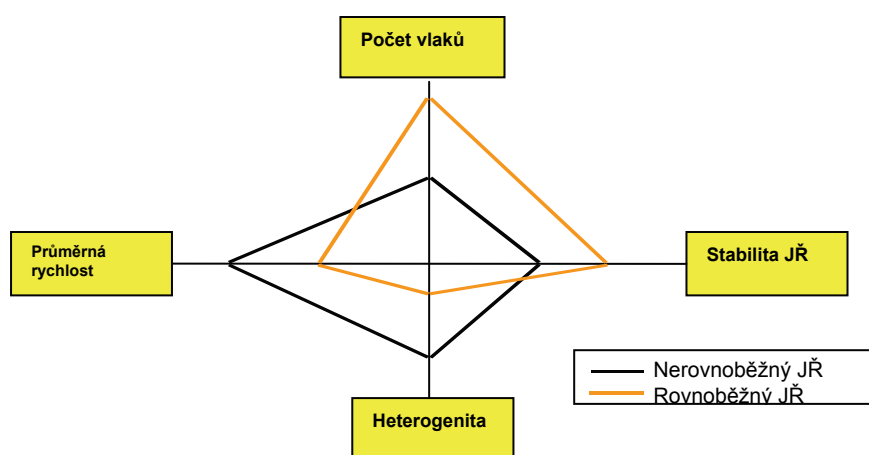
C je mezera pro jednokolejné tratě [min],

D je rezerva času pro údržbu [min].

$$K = \frac{k \cdot 100}{U} \quad [\%], \quad (6)$$

kde: K je využití kapacity [%],

U je výpočetní období [min].



Obrázek 1 - Kapacitní bilance

Zdroj: [2]

Rozdíl mezi směrnicí [1] a Kodexem [2] je takový, že výsledky předchozích výpočtů je třeba porovnat s určitou standardní hodnotou, která je závislá na typu zkoumané tratě. Ovšem ani tyto hodnoty nelze určit jednoznačně. Je zde příliš mnoho dalších parametrů, které mohou tuto hodnotu ovlivnit, např. spolehlivost DI a vozidel, vzájemné závislosti mezi zkoumaným traťovým úsekem a úseky na tento úsek navazujícími, úroveň kvality vyžadovaná dopravci (např. sjednání možnosti vynechání spoje při zpoždění). Rozpětí jízdních dob, počet vlaků za hodinu, konkrétní délka traťového úseku a konkrétní možnosti křižování a předjíždění na tomto traťovém úseku, ty jsou zvláště důležité pro dodržování tzv. osy symetrie periodického JŘ. Proto jsou v tabulce 1 uvedeny hodnoty orientační.

Tabulka 1 - Orientační hodnoty využití kapacity pro určité typy tratí

Typ tratě	Přepavní špička	Celý den	Poznámka
Speciální příměstská doprava	85 %	70 %	Možnost vypustit některé služby umožňuje stupeň využití s vysokou kapacitou.
Speciální vysokorychlostní trať	75 %	60 %	
Trať se smíšeným provozem	75 %	60 %	Může být vyšší, pokud je počet vlaků malý (méně než 5 za hodinu) s vysokou heterogenitou.

Zdroj: [2]

Pokud z předchozích výpočtů se dosáhne hodnota nižší než jsou tyto hodnoty, je možné předpokládat, že daná trať má ještě využitelnou kapacitní rezervu, ovšem to musí být nutně prokázáno ještě dalšími kroky analýzy DI. Tento postup spočívá v pokusu vložit požadované trasy s jejich typickými vlastnostmi do zkoumaného JŘ. Pokud se to podaří, je

třeba postup opakovat, a to až do té doby, než bude překročena (dosažena) orientační standardní hodnota využití kapacity, anebo pokud již nebude možné další trasu vložit.

1.2.3 Vkládání dodatkových vlaků do sestaveného jízdního řádu

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2.1, v současné době je největším problémem při stanovování propustnosti počet dodatkových vlaků. Informační systém KANGO na tvorbu JŘ, byl v poslední době modifikován o další výpočetní algoritmus [5], jehož hlavním cílem je postupné vkládání dalších vlaků do hotového a připraveného nákrešného JŘ. Trasa těchto nových vlaků se vloží tak, aby nedošlo ke konfliktům s naplánovanou dopravou a současně nedošlo k nadměrnému nárůstu jízdní doby vložených vlaků. Prvním krokem je výběr vzorových vlaků, jejichž kopie se mají vkládat jako dodatkové vlaky. Předpokládá se využití existujících vlaků, z nichž si může uživatel vybírat. Trasa každého vlaku je nejdříve vložena do nákrešného JŘ tak, jak je připravena ve vzorovém vlaku. Takto samozřejmě dojde ke vzniku více konfliktních situací. Tyto konflikty jsou postupně odstraňovány pomocí přizpůsobené a upravené varianty simulačního algoritmu IS KANGO - GVD. Jeho hlavním principem je cyklické vyhledávání konfliktů vlaků, určení prioritního konfliktu a jeho vyřešení změnou trasování příslušného vlaku. Algoritmus je tak do určité míry heuristický a jeho výkonnost a výsledky do značné míry souvisí s „doladěním“ prioritních funkcí pro určení řešeného konfliktu a měněného vlaku. Simulace do značné míry odpovídá procesu řízení dopravy na základě průběžné analýzy výhledové (konfliktní) dopravní situace respektive dopravního plánu. Z povahy IS KANGO, ale i z pravidel organizace železniční dopravy vyplývá, že tato činnost je do značné míry podobná procesu postupné tvorby klasického JŘ.

Pro potřeby vložení dodatkových vlaků má simulační algoritmus některé specifické vlastnosti, které ho zjednodušují a urychlují:

1. Vyhledávají a řeší se pouze konflikty vloženého dodatkového vlaku. Může se jednat buď o konflikt vlaku s DI (vhodná kolej, elektrifikace, výluky a pod.) nebo konflikty dodatkového vlaku s vlakem původního JŘ (intervaly, následné mezidobí, současné obsazení koleje). Původní JŘ se považuje za bezkonfliktní (a uživatel si ho může jako takový připravit), konflikty jeho vlaků se ignorují, tzn. nedochází k jejich vyhledávání a řešení.
2. Všechny konflikty se řeší změnou trasy dodatkového vlaku. V souladu s přijatou metodikou je potlačena funkce určující vlak s menší prioritou (který

je při řešení konfliktu změněný), a bez ohledu na druh vlaku a další parametry je upravovaný pouze dodatkový vlak. Při řešení konfliktů tak nedochází k narušení původního JŘ.

3. Řeší se vždy časově první z nalezených konfliktů. V návaznosti na předchozí bod je rovněž možno potlačit prioritní funkci, určující který z nalezených konfliktů bude řešený. Při všeobecné simulaci jsou prioritní typy konfliktů, a až následně jejich čas. I při tomto postupu způsob řešení některých konfliktů vyžaduje návrat simulace zpět v čase.
4. Hledání některých konfliktů a jejich řešení není třeba dokončit. Při běžném vyhledávání jednotlivých konfliktů je ke každému z nich současně nalezen a zapsán do dat způsob jeho řešení. To umožňuje uživateli i jeho manuální řešení a má význam pro standardní simulaci, i když je předem těžké určit, který konflikt bude jako prioritní nakonec řešený. Při určování priority konfliktů podle časového kritéria je ale možný efektivnější postup. Algoritmus si pamatuje čas prvního z doposud nalezených konfliktů. Pokud je při dalším hledání konfliktů možno předem stanovit (potenciální) dobu jeho vzniku, ta je větší než dosavadní minimální čas, pak další identifikaci konfliktu a případné hledání jeho řešení lze přerušit a ukončit.
5. Omezení času simulace procentem prodloužení doby jízdy. Pro každý vkládaný dodatkový vlak je známá doba jízdy jeho vzoru a akceptované procento jeho překročení. Pokud po dobu řešení konfliktů jeho jízdní doby se prodlouží nad tuto hranici, lze simulaci přerušit.

Tento algoritmus již začíná, i když omezeně, používat simulační techniky k simulování reálného železničního provozu. Jeho závěry jsou možné k využití pro zjišťování propustné výkonnosti DI s ohledem na požadavky trhu. Tento algoritmus nenahrazuje svými funkcemi rozhodování o reálném DP. Ty stále zůstávají na obsluze PC, na tom jaké má znalosti o daném provozu a jakým způsobem přistupuje k modelování reálného či budoucího JŘ.

1.3 Zkoumaná témata v zahraničí

1.3.1 Metoda prof. E. V. Archangelského

Jeden z prvních přístupů na vědecké bázi k výpočtu propustnosti železničních zařízení zavedl v polovině 20. století sovětský vědec E. V. Archangelskij. Jedná se o stochastický přístup, který se používá až do současnosti, a to při výpočtu propustnosti staničních zhlaví. Tato metoda je využita ve směrnici [1]. Jde o přímou aplikaci metody prof. Archangelského, kde propustná výkonnost staničního zhlaví se rovná propustné výkonnosti omezujícího prvku staničního zhlaví. Zde je nutno upozornit, že výkonnost staničního zhlaví je vyjádřena v úkonech za výpočetní období.

1.3.2 Metoda prof. Sotnikova

Tato metoda patří k prvním metodám využívajících teorii hromadné obsluhy v podmínkách seřadovacích stanic. Prof. I. B. Sotnikov vycházel při sestavení matematického modelu z rovnic A. J. Chinčinina a M. G. Kendalla a výsledkem jeho práce jsou vzorce (zčásti empirické) platné nejen pro elementární výstupní toky a exponenciální dobu obsluhy, ale také pro Erlangovy vstupní toky druhého řádu. Metoda prof. Sotnikova sice nepočítá propustnou výkonnost seřadovacích stanic přímo, ale obsahuje výpočty související se stanovením požadovaného počtu kolejí ve vjezdové, odjezdové a směrové skupině seřadovací stanice [8].

1.3.3 Metoda uzavřených exponenciálních sítí

Metoda vypracovaná autory R. Cruonem a A. Kaufmannem nabízí analytické řešení pro soustavu dvou sériově řazených systémů hromadné obsluhy, z nichž první je n linkový systém s omezenou délkou fronty a druhý systém je jednolinkový. V železniční dopravě nachází uplatnění v oblasti analýzy provozu seřadovacích stanic a to při modelování vzájemné vazby vjezdová skupina – svázný pahrbek. Metoda byla experimentálně použita na tehdejších ČSD, k širšímu uplatnění však nedošlo [8].

1.3.4 Metoda prof. Grandsalkeho

Tato metoda je založená na analogii znalosti DP a fyzikálních dějů. Prof. Grandsalke pro stanovení propustné výkonnosti stanic využívá netradičně proudu vlaků popř. vozů s proudem kapaliny nebo plynu. V matematickém modelu není seřadovací stanice

reprezentována vícefázovým obslužným systémem, kde jednotlivé dílčí podsystémy mohou mít různé počty linek, nýbrž v souladu s výše uvedenou analogií jako potrubí s různě velkými průřezy v jednotlivých částech, závisujícími na počtu obslužných linek. Uvedené složité potrubí je potom transformováno na „výpočetní potrubí“ s konstantním průřezem, odpovídající průměrnému počtu obslužných linek v celé délce stanice [8].

Zhodnocení výpočetních metod

Na základě výše popsaných poznatků je zřejmé, že převážná část autorů, zejména v zahraničí, se snaží výpočet propustné výkonnosti stanic založit na teorii hromadné obsluhy. I v podmínkách ČSD byly v minulosti provedeny experimentální pokusy o výpočet propustné výkonnosti stanic pomocí těchto metod.

Tento posun ve výpočtu propustné výkonnosti je možno datovat počátkem 60. let 20. století, kdy pod vlivem odborných prací německého vědce G. Potthoffa začaly být v dopravě uplatňovány kvalitativně odlišné přístupy, založené právě na teorii hromadné obsluhy a operačním výzkumu. V bývalém Československu na Vysoké škole dopravní v Žilině na Fakultě prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov vznikla skupina pedagogů vedená Ing. Františkem Brandalíkem, CSc., která se začala specializovat na rozvoj a prosazování výše uvedených metod v podmínkách ČSD. Publikační činnost této skupiny zahrnuje několik desítek článků a příspěvků v odborné literatuře. Dostatečný přehled těchto prací dává publikace [13].

1.3.5 Simulace pomocí Petriho sítí

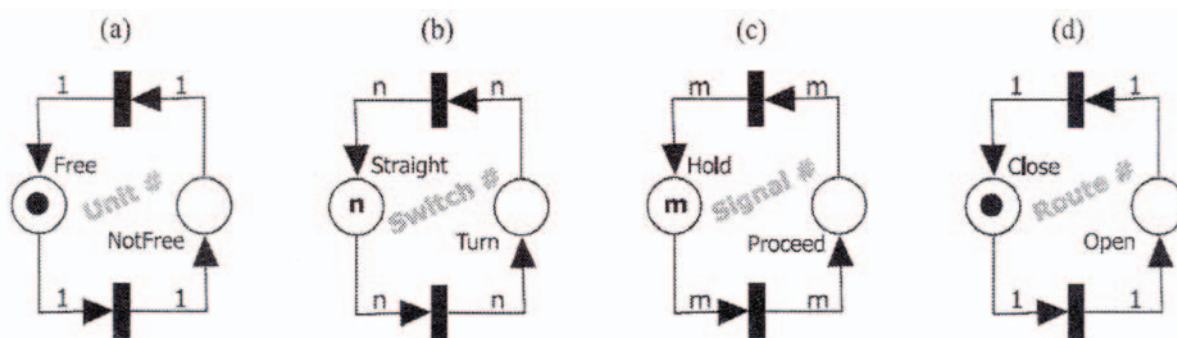
Petriho síť poprvé představil německý matematik a počítačový vědec Carl Adam Petri (*1926 v Lepzig) v roce 1962 ve své disertační práci [6]. V sedmdesátých letech se rychle ukázalo, že se jedná o jeden z nejlepších a nejvhodnějších jazyků pro popis, modelování a následnou analýzu dopravních systémů. Významná výhoda tohoto modelujícího nástroje je možnost grafického vyjádření a možnost simulovat graficky dynamické chování modelů. Počáteční nevýhody, kterými byl neúměrně veliký model struktury sítě u rozsáhlejších systémů byly odstraněny pomocí barvení Petriho sítí.

Jak bylo naznačeno v kapitolách 1.3.1 až 1.3.4, teorie hromadné obsluhy se hojně využívá k modelování dopravních dynamických systémů. Pro simulaci systémů hromadné obsluhy je výhodné používat aparát Petriho sítí. Jde o klasický příklad paralelních procesů, kde vždy současně probíhá stochastický proces příchodu zákazníků a obsluhy. Simulace systémů pomocí Petriho sítí patří mezi simulace s pevným časovým krokem, tak jako většina

současně používaných simulačních technik. Žetony buď představují jednotlivé zákazníky, nebo identifikují, že je splněna jistá logická podmínka pro uskutečnění přechodu. V závislosti na volbě daného typu Petriho sítě se získá více či méně přehledná grafická prezentace systému.

Model zabezpečovacího zařízení ŽST se zabývá stavěním jízdních cest ve stanici, a to jak vlakových, tak posunových. Otevření vlakové cesty předchází několik podmínek, týkajících se volnosti jednotlivých pojížděných úseků, stavu návěstidel a hlavně poloze jednotlivých výhybek. Podmínky pro všechny vlakové cesty v konkrétní stanici zachycuje tzv. závěrová tabulka. Z ní se vychází při stavbě modelu zabezpečovacího zařízení stanice pomocí Petriho sítí. Petriho síť se konstruuje ze čtyř komponentů, malých Petriho sítí pro úsek, výhybku, návěstidlo a vlakovou cestu. Obrázek 2 ukazuje tyto komponenty. Každý má dva přechody a dvě místa, prezentující aktuální stav prvku. Tyto stavy mohou být:

- pro úsek: volný nebo obsazený,
- pro výhybku: přímým směrem nebo do odbočky,
- pro návěstidlo: umožňující jízdu nebo zakazující jízdu a
- pro vlakovou cestu: otevřená nebo uzavřená.



Obrázek 2 - Komponenty: úsek, výhybka, návěstidlo a vlaková cesta

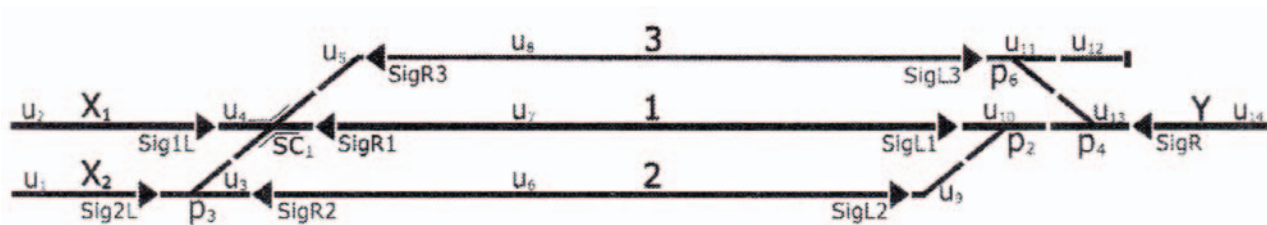
Zdroj: [6]

Výsledná Petriho síť se pak bude skládat ze všech komponentů pro všechny prvky v ŽST. Pro znázorněnou stanici (viz. obrázek 3) se skládá z těchto komponentů Petriho sítě: 16 komponentů pro cesty, 14 komponentů pro pojížděné úseky, 5 komponentů pro výhybky a 9 komponentů pro návěstidla. Mezi tyto komponenty se začne postupně přidávat dvojice hran podle podmínek v závěrové tabulce.

Tyto hrany budou přidávány mezi dvojici:

- vlaková cesta - výhybka, a to podle rozlišení, zda je v závěrové tabulce pro danou vlakovou cestu vyžadováno postavení výhybky do přímého směru nebo do odbočky,

- vlaková cesta - pojížděný úsek, a to podle toho, je-li v závěrové tabulce vlaku požadováno, aby pojížděný úsek byl před otevřením volný,
- vlaková cesta – návěstidlo, a to podle toho, jaký stav návěstidla je pro danou vlakovou cestu požadován v závěrové tabulce.



Obrázek 3 - Příklad železniční stanice

Zdroj: [6]

Na obrázku 3 je příklad ŽST. V této stanici je 16 hlavních vlakových cest. Pro takto pojaté řešení bude ve výsledku mít Petriho síť 88 míst a 88 přechodů. Závěrová tabulka pro tuto stanici vyžaduje přes 200 dalších hran. Detailní popis tohoto modelu lze nalézt v disertační práci [12].

1.3.6 Slovensko

Do rozdělení společného státu, ke kterému došlo 1.1.1993, se praktická propustnost stanovovala jednotně podle předpisu ČSD D24. Po rozdělení republiky se na Slovensku ještě používá původní předpis ČSD D24 spolu s Kodexem [2]; jedná se tedy o podobný přístup jako v ČR.

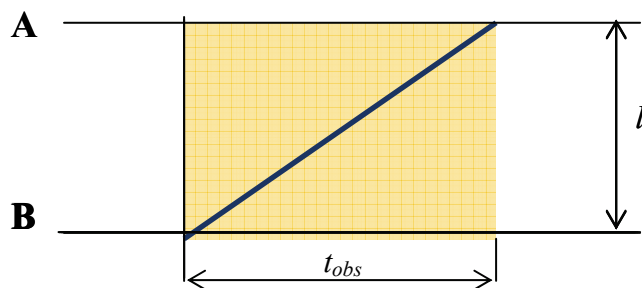
Nový způsob v určování času obsazení a stanovení využití železniční infrastruktury se objevil na Fakultě prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinské univerzity. V rámci řešení úlohy VEGA na zdejší univerzitě Jozef Gašparík a Vladislav Zitrický přišli s určitou obměnou grafické metody [7]. Tato metoda vyjadřuje kapacitu DI jako stupeň využití kapacity S_V , který dle autorů odpovídá spotřebě kapacity k podle vztahu (7) metodiky UIC. Navrhovaný ukazatel stupně využití DI je definovaný jako podíl součtu čtverců obsazení jednotlivých prostorových oddílů tratě a plochy tzv. čtverců provozních intervalů k hodnotě plochy zkoumaného časového rámce v JŘ.

Navrhnutý vztah stupně využití propustnosti má tvar:

$$S_V = \frac{\sum_{i=1}^n S_{obsi} + \sum_{j=1}^m S_{PVj}}{S_T} * 100 \quad [\%] \quad (7)$$

kde: $\sum S_{obsi}$	součet ploch čtverců obsazení prostorových oddílů tratě [-] ¹
$\sum S_{PIj}$	součet ploch čtverců traťových a staničních provozních intervalů [-]
S_T	plocha čtverce časového rámce [-]
i	1...n, kde n je počet čtverců obsazení prostorových oddílů,
j	1...m, kde je počet čtverců provozních intervalů

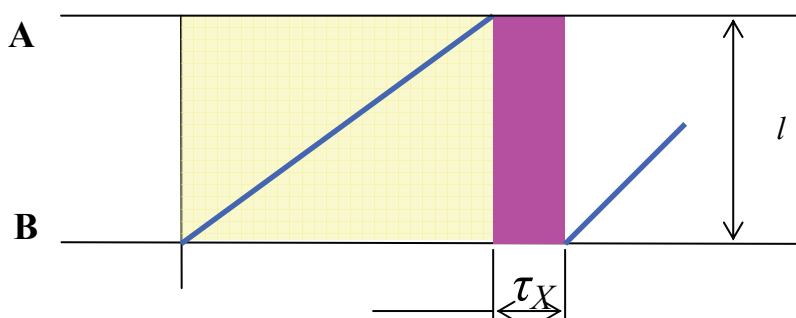
Hodnota stupně využití DI je bezrozměrné číslo, které je převedené na procentuální vyjádření. Poskytuje tak vypovídací hodnotu o celkovém obsazení DI. Čtverec obsazení prostorového oddílu je definovaný součinem času obsazení prostorového oddílu t_{obs} (min) a jeho délky l (km) (viz obrázek 4). Takto definovaný čtverec obsazení se stanovuje pro každý prostorový oddíl.



Obrázek 4 - Čtverec obsazení prostorového oddílu

Zdroj: [7]

Podobně se stanoví čtverec obsazení provozními intervaly, zde záleží na použitých provozních intervalech (viz obrázek 5).

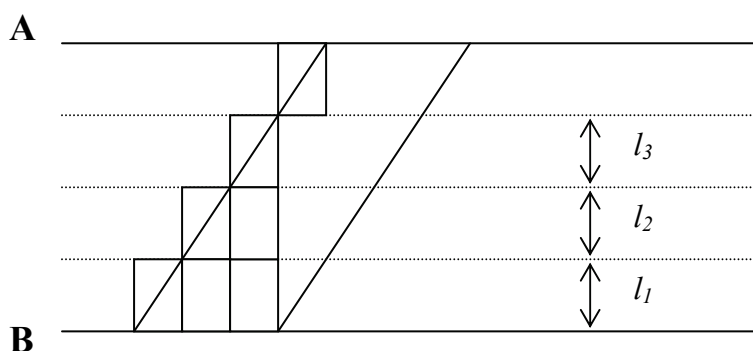


Obrázek 5 - Čtverec obsazení provozním intervalem následné jízdy

Zdroj: [7]

Pro úplné objasnění stanovení čtverce obsazení provozními intervaly je patrné použití této metody na trati vybavené tříznakým automatickým blokem (viz obrázek 6). Zde je znázorněn sled stejně rychlých vlaků, který se zabezpečuje na tři volné prostorové oddíly.

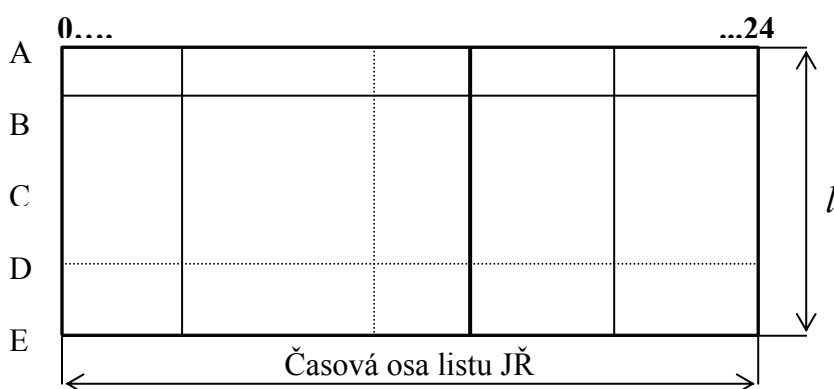
¹ Důkaz o bezrozměrnosti je proveden v literatuře [7]



Obrázek 6 - Čtverec obsazení prostorového oddílu na tříznakovém autobloku

Zdroj: [7]

V poslední fázi je třeba určit čtverec časového rámce, který se určí jako součin délky časové osy v listu JŘ a délky tratě v příslušném listu JŘ (viz obrázek 7).



Obrázek 7 - Čtverec časového rámce

Zdroj: [7]

Pro stanovení kapacity jednokolejné trati se vychází ze vztahu (7). Čas obsazení prostorového oddílu je tvořený jízdou vlaku v prostorovém oddíle, který obsahuje časové přírážky na rozjezd a zastavení vlaku. Kapacita dvojkolejné trati se počítá pro každou traťovou kolej zvlášť. Závěrem lze konstatovat, že tato nově navržená metodika, která je založená na grafickém zjišťování ploch čtverců obsazení, nestanovuje kapacitu DI, stanoví v procentuálním vyjádření využití DI, které lze v určitém časovém rámci realizovat.

1.3.7 Metodika výpočtu maďarských železnic MÁV

Na maďarských železnicích se při stanovení propustné výkonnosti vychází z tradičního stochastického pojetí modelování provozu. Stanice jsou považovány za soustavy sério-paralelně řazených obslužných linek, přičemž tok vlaků přijíždějící do stanice je modelován elementárním vstupním tokem [8].

1.3.8 Metoda používaná u DB AG

Na německých drahách DB AG se úspěšně používá již delší dobu metodika pomocí simulačního modelu [9]. Do modelu se zapracovává předpokládaná struktura vlaků včetně jízdních dob a stanovení časových poloh, dále omezující podmínky (zejména provozní intervaly a následná mezidobí, popř. omezení vyplývající z DI).

Následně se provádí určitý počet simulačních běhů, přičemž každý běh si lze představit jako realizaci sestaveného JŘ v provozu. Jednotlivé vlaky jsou přitom „zatíženy“ náhodným zpožděním (s tím, že je použito např. exponenciální rozdělení pravděpodobnosti, které odpovídá realitě v tom, že zpoždění s menší hodnotou se vyskytují častěji nežli zpoždění větší). Během procesu simulace se řeší konflikty vzniklé v důsledku zpoždění (tj. např. nedodržený provozní interval), čímž dochází k následným (sekundárním) zpožděním u dalších vlaků, ale současně dochází i k postupné eliminaci zpoždění tím, že jsou přiměřeně kráceny jízdní doby a pobyty zpožděných vlaků. Po provedení simulace se pro každý simulační běh vypočte poměr součtu zpoždění všech vlaků na výstupu ze sledovaného úseku a součtu zpoždění na jeho vstupu. Průměr těchto hodnot za všechny provedené simulační běhy je kritériem rozhodujícím o tom, zda DI odpovídá předpokládanému rozsahu DP. DI se pokládá za nedostačující, pokud koeficient stability K_s je větší než 1, pak DI není schopna vyrovnávat zpoždění ze vstupu a zpoždění na výstupu je větší než na vstupu. Potom DI lze prohlásit za nedostatečnou pro stabilitu JŘ.

$$K_s = \frac{Z_p \text{ výstupní}}{Z_p \text{ vstupní}} \quad [-], \quad (8)$$

kde: $Z_p \text{ výstupní}$ zpoždění na výstupu [min]

$Z_p \text{ vstupní}$ zpoždění na vstupu [min]

1.4 Současné problémy s určováním propustné výkonnosti

V celém poválečném období až do počátku 90. let minulého století byl na dopravní síti vždy kladen důraz na kvantitativní parametry při výrazném opomíjení požadavků na kvalitu provozu. V první polovině devadesátých let byla nosným programem ČD redukce rozsahu DI jako bezprostřední reakce na dramatický pokles výkonů v tomto období, kdy kvalita DP – stále ještě v prostředí státní železnice – nehrála ještě tak důležitou roli. Orientace na kvalitu DP je zejména na železniční síti nástupnických států bývalého Československa svým způsobem nová.

Problematika propustnosti tratí se dostává ve všech evropských zemích během posledních cca 15 let znovu do popředí zájmu [9]. Souvisí to se změnami, jimiž celé odvětví železniční dopravy v tomto období procházelo a stále prochází. Nově vznikající a právně vymezené subjekty na železničním trhu – manažer DI a provozovatel dráhy na jedné straně, železniční podniky v roli dopravců na straně druhé – vyvolávají potřebu nových pohledů na kapacitu DI při zohlednění kvality a ekonomiky provozu. Dobrým trendem poslední doby se navíc stala aplikace periodického JŘ, který cestujícím přináší celou řadu nesporných výhod (odjezdy vždy ve stejnou minutu počínaje a řešením přestupů v uzlech integrovaného periodického JŘ konče). Stále častěji se také objevují požadavky na pevné časové polohy tras nákladních vlaků tzv. „termín Cargo“ apod. Ovšem takový způsob provozování drážní dopravy přináší i snižování kapacity.

S postupným otevíráním trhu pro nové dopravce je kladen v celé EU stále větší důraz na garantovanou kvalitu vlastního železničního provozu obvykle vyjádřenou pomocí stability sestaveného JŘ [10]. Stablním JŘ se rozumí takový JŘ, u něhož je garantována dostatečná schopnost absorbovat a vyrovnávat zpoždění vznikající jako důsledek provozních nepravidelností. Stabilitu JŘ lze dosáhnout zapracováním dostatečně velkých časových mezer mezi trasami vlaků a dostatečně velkých časových přírážek zahrnutých do jízdních dob vlaků. Na druhou stranu je pochopitelným zájmem manažera DI při plnění jeho role provozovatele dráhy dosahovat co největšího využití kapacity jím provozované DI, protože zdrojem jeho výnosů jsou zejména inkasované poplatky za přístup na infrastrukturu, tedy za kapacitu DI přidělenou dopravcům. Z výše uvedeného je zřejmé, že snaha o co nejvyšší využití kapacity provozované DI je v protikladu k úsilí o dosažení co možná nejvyšší kvality provozu. Jedním z nejdůležitějších a nejsložitějších úkolů, které nyní stojí před všemi provozovateli dráhy, je nalezení uspokojivého vztahu mezi stupněm využívání kapacity DI a úrovní kvality provozu požadovanou jejich zákazníky, tedy dopravci.

Navíc na společných úsecích některých linek se dají předpokládat kolize více tras jednoho či více dopravců. Při kolizích tras vlaků stejného dopravce se problém vyřeší v rámci jednoho dopravce. Ovšem skutečný problém nastává tam, kde dojde ke kolizím tras více dopravců. Zde bude rozhodovat více kritérií. V teorii dopravy se tento problém řeší tzv. „Žilinskou kružnicí“ [4]. Ta ovšem bere všechny trasy jako rovnocenné. Dalším problémem je převyšující počet tras vlaků v místech omezené kapacity dráhy. Zde zatím není soulad názorů mezi pracovníky oddělení marketingu a přidělování tras a pracovníky Odboru JŘ, kteří přidělují trasy dopravcům i pro trasy vlaků, které prochází místy, kde dochází k citelnému poklesu propustnosti tratě (např. výlukovou činností). Dochází k přidělu počtu

tras vlaků převyšující kapacitu tratě. Potom je na konstruktérech JŘ, kteří musí rozhodnout. Jsou zde v podstatě možné dvě cesty:

- jednání o technologii a počtech vlaků,
- možnost trasování vlaků na „sebe“ a zavádění rušících vlaků.

První možnost spočívá v tom, že se vyvolají jednání se všemi dopravci o počtech vlaků a jejich trasách. Případně se zde navrhnou různá technická a technologická řešení přicházející v úvahu. Jde zejména o svazkování vlaků, přesuny křižování do uzlů, kde nedochází ke kolizním situacím, apod. Většinou se stává, že dopravci v osobní dopravě, kteří poskytují službu ve veřejném zájmu, zneužívají svého postavení. Nechtějí se přizpůsobit, vzdát se svých zažitých tras vůči celkovému prospěchu všech zúčastněných. Mnohdy danou situaci lze vyřešit využitím technologicky lepšího organizování dopravy a návrhu tras vlaků. Opatření, která téměř nic nestojí, jako jsou jízda ve svazcích při vyloučené jedné traťové koleji na dvou a více kolejných tratích, přemístěné křižování do uzlů místo křižování na trati.

Druhou možností je, že konstruktéři JŘ využijí možnosti vkládání tras vlaků tzv. „na sebe“. Jde o to, že vlak pravidelně jedoucí ve dnech pondělí, středa a pátek – je vhodně doplněn o trasu jiného vlaku jedoucího v úterý, čtvrtek a neděli. Toto řešení je velmi efektivní vzhledem ke kapacitě DI, ovšem omezuje dopravce. Trasu vlaku mohou používat pouze v jim přidělených dnech. Popřípadě konstruktéři využijí trasování vlaků rušících. Tato opatření ne vždy vyřeší celý problém.

Ve výsledku lze říci, že dosud jediný objektivně graficky nebo analyticky prokazatelný postup byl stanoven (pro železniční síť v ČR) již v [1] a metodika UIC [2] je pak jakousi nadstavbou. Příčina uvedených problémů není v zastaralosti těchto předpisů nebo postupů, ale ve změně přístupu k organizaci drážní dopravy a změně celkového pohledu na kapacitu DI.

1.5 Publikace Dopravní provoz železnic

Zatím nejucelenější pohled na problematiku závislosti DI a DP v ČR, přinesla kniha *Dopravní provoz železnic* autorů Daněk – Vonka, z roku 1988 [15]. Autoři v této knize shrnuli dosavadní znalosti z problematiky zjišťování propustné výkonnosti tratí pomocí metody koeficientu vylučování resp. upraveného koeficientu vylučování. V dalších kapitolách rozvedli účinky jednotlivých racionalizačních opatření na zvýšení propustné výkonnosti jednokolejné trati. Tyto výsledky jsou shrnuty v tabulce 2. Hodnoty mají pouze orientační charakter procentuálního zvýšení propustnosti jednokolejné trati. Vždy záleží na

daných reálných podmínkách v provozu, na skladbě JŘ, na druhu použití technických řešení, atd. Publikace je do jisté míry poplatná době jejího vzniku, kdy se více budovalo a méně přemýšlelo nad užitečností jednotlivých přínosů. V 80-tých letech minulého století se dopravní inženýři setkávali spíše s problémy jako byla chybějící kapacita nebo nízká propustnost DI, než její převis, jako tomu je dnes na některých tratích. Chybí zde např. návod na provedení opatření při zjištění přebytečné propustné výkonnosti tratě tak, aby vedly k vytvoření rovnováhy mezi DI a DP.

Tabulka 2 - Orientační hodnoty propustnosti jednokolejné trati po aplikaci opatření

Druh opatření	Zvýšení propustnosti [%]	Průměrné zvýšení propustnosti [%]
ESA	4 - 8	6
Automatické hradlo	6 - 15	10
Autoblok	15 - 25	20
Výhybna s autoblokem	50 - 70	60
Dvojkolejná vložka	60 - 80	70
Zdvojkolejnění	80 - 110	100

Zdroj: [15]

Na podzim roku 2010 se objevila publikace *Kapacita železničních tratí* od kolektivu autorů pod vedením doc. Molkové [27]. Kniha volně navazuje na již zmiňovanou publikaci [15]. Téma zjišťování kapacity železničních tratí rozšiřuje o poznatky z výzkumu prováděném na Dopravní fakultě Jana Pernera v posledních letech. Nosným tématem knihy je simulace DP včetně zjišťování kapacity DI.

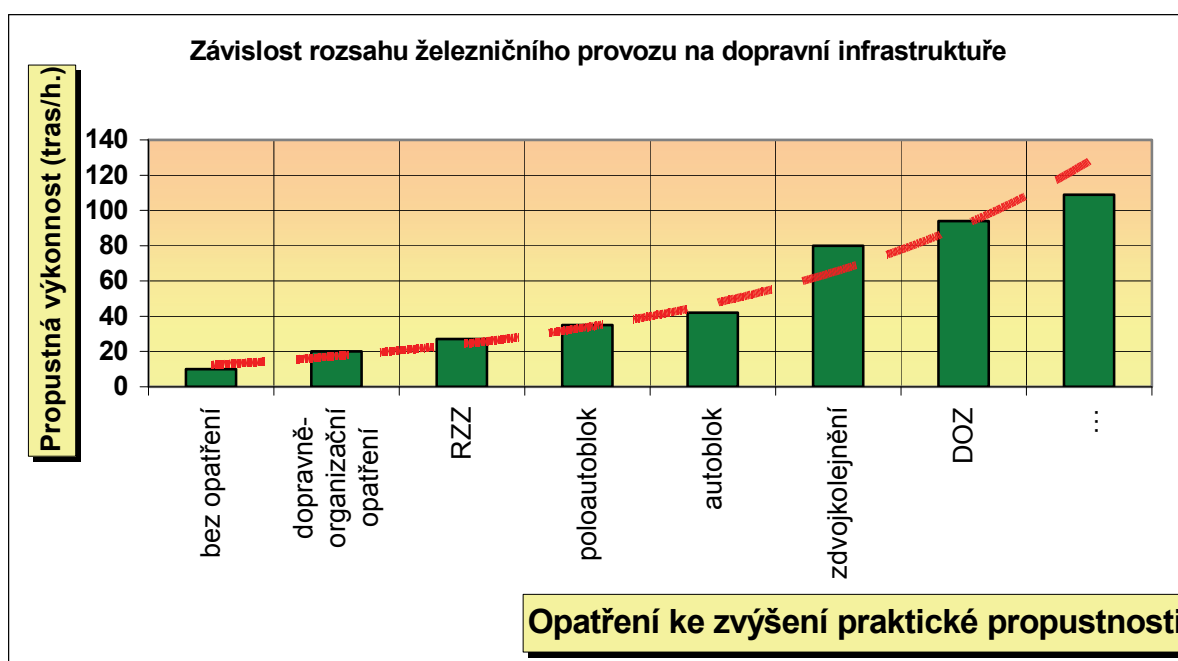
2 Hypotéza a cíl disertační práce

2.1 Vyslovení počáteční hypotézy

„Pro každou úroveň rozsahu DP lze nalézt odpovídající rozsah DI, tak aby splňoval podmínky rovnováhy při stanovené kvalitě DP.“

Nalezením této rovnováhy by se splnily zároveň ekonomické, ale i stavebně-technologické podmínky kladené správcem DI na provoz po dopravních sítích. Ověření platnosti nebo vyvrácení hypotézy bude provedeno v disertační práci na vybraném traťovém úseku tak, že se bude při simulaci měnit DI v závislosti na zadaném rozsahu DP.

Propustnost se zavedením stavebně-technických opatření zvyšuje skokově, ale příslušný rozsah dopravy se zvyšuje pozvolněji (viz obrázek 8). Tento axiom platí obecně pro všechny druhy dopravy. Např. počet jízdních pruhů na pozemní komunikaci se výstavbou zvýší o další jízdní pruh v daném směru. Toto opatření má za důsledek okamžité zvýšení kapacity na dvojnásobek, ale počet vozidel na tomto úseku nevzroste dvojnásobně ihned, ale až po určitém čase. Zkoumání časového průběhu této závislosti není součástí disertační práce.



Obrázek 8 - Závislost rozsahu železničního provozu na dopravní infrastrukturu

Zdroj: [Autor]

2.2 Cíle a přínosy disertační práce

Doktorand si jako cíle této disertační práce stanovil:

- ověření hypotézy,
- navržení a praktické ověření algoritmu pro zkoumání interakce mezi DI a DP,
- částečné porovnání simulačních a analytických metod.

Možné přínosy disertační práce jsou:

- uplatnění ukazatelů, kvantifikující vztahy mezi DI a DP,
- zvýšení míry kvality DP pomocí nových ukazatelů K_s a ΔZ_p ,
- využití simulačních metod v součinnosti s metodami analytickými,
- využití kapacity DI v závislosti na koeficientu stability K_s .

3 Návrh řešení vztahu mezi dopravní infrastrukturou a rozsahem dopravního provozu

Návrh řešení vztahu mezi DI a rozsahem DP je určen vlastním působením (interakcí) obou zkoumaných složek, tj. kapacitou příslušného traťového úseku. V disertační práci se v návrhu řešení klade důraz na koeficient stability K_s . Pokud není v kapitole výslovně uvedeno jinak, jde o autorovo vlastní návrh řešení.

DS je stabilní [4], nemá-li tendenci zvětšovat jednorázovou odchylku od žádoucího průběhu. Pro účely této práce lze považovat za odchylku zpoždění vlaků. Asymptoticky stabilní DS lze nazvat tehdy, když má tendenci každou jednorázovou odchylku (zpoždění) časem snižovat k nule. Železniční dopravu lze považovat za stabilní systém, když po nepředvídaném zpoždění některého vlaku a jeho následném uvedení do provozu se neprojevuje tendence ke zvyšování zpoždění. Toho však lze docílit pouze při rovnovážném stavu mezi DI a DP. Dále je nutné mít K_s limitně blížíci se maximální hodnotě 1. Z matematického hlediska je možné zkoumat dvě hodnoty:

- stabilitu DS - zda nastává či nikoliv,
- čas - za který se DS ustálí na běžný stav.

Disertační práce se zabývá pouze stabilitou DS, nikoliv časem, za který se systém ustálí.

3.1 Návrh obecného postupu zkoumání vztahu DI a DP

V této podkapitole je popsán návrh řešení zkoumání vztahu DI a DP v obecné rovině.

Fixní v rámci jednoho běhu zkoumání je:

- a) DI,
- b) DP.

Z pohledu rozsahu DP:

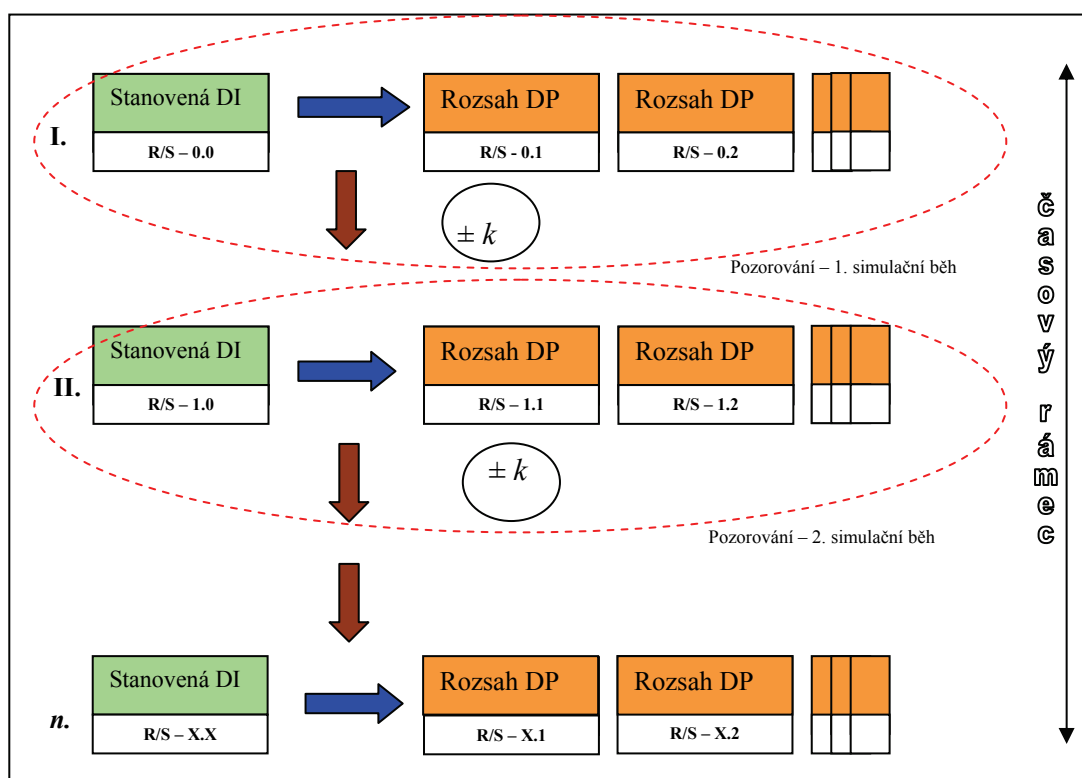
- a) redukce DP,
- b) sycení DP,
- c) kombinace redukce a sycení DP.

Z pohledu DI:

- a) zvyšování kapacity DI,
- b) snižování kapacity DI,
- c) kombinace zvyšování a snižování kapacity DI.

Pro zkoumání vztahu mezi DI a rozsahem DP se vychází z toho, že vždy jedna ze složek je fixní (pevná) a druhá se mění v závislosti na zadaných parametrech zkoumaných ukazatelů. To platí vždy v rámci jednoho pozorování (simulačního běhu). V rámci celé simulace je možnost měnit DI a DP mezi sebou tak, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku. Není však možné v rámci jednoho simulačního běhu měnit obě dvě složky současně. Tento stav nevede k žádnému výsledku, v simulačním běhu by mohl vzniknout stálý cyklus, který by nebyl nikdy úspěšně dokončen. Při fixní DI je stanoven mezi jednotlivými pozorováními simulační krok (viz obrázek 9). Při fixním rozsahu DP je mezi jednotlivými pozorováními provedena úprava DI (tj. snížení/zvýšení kapacity DI - viz obrázek 10).

V disertační práci jsou uvedeny výsledky autorem navrženého řešení redukce a sycení DI rozsahem DP v kapitolách 5.2.2 a 5.2.3. Tzn., že jde o jev, kdy DI je fixní v rámci jednoho simulačního běhu a rozsah DP je přizpůsobován stanoveným simulačním krokem k .

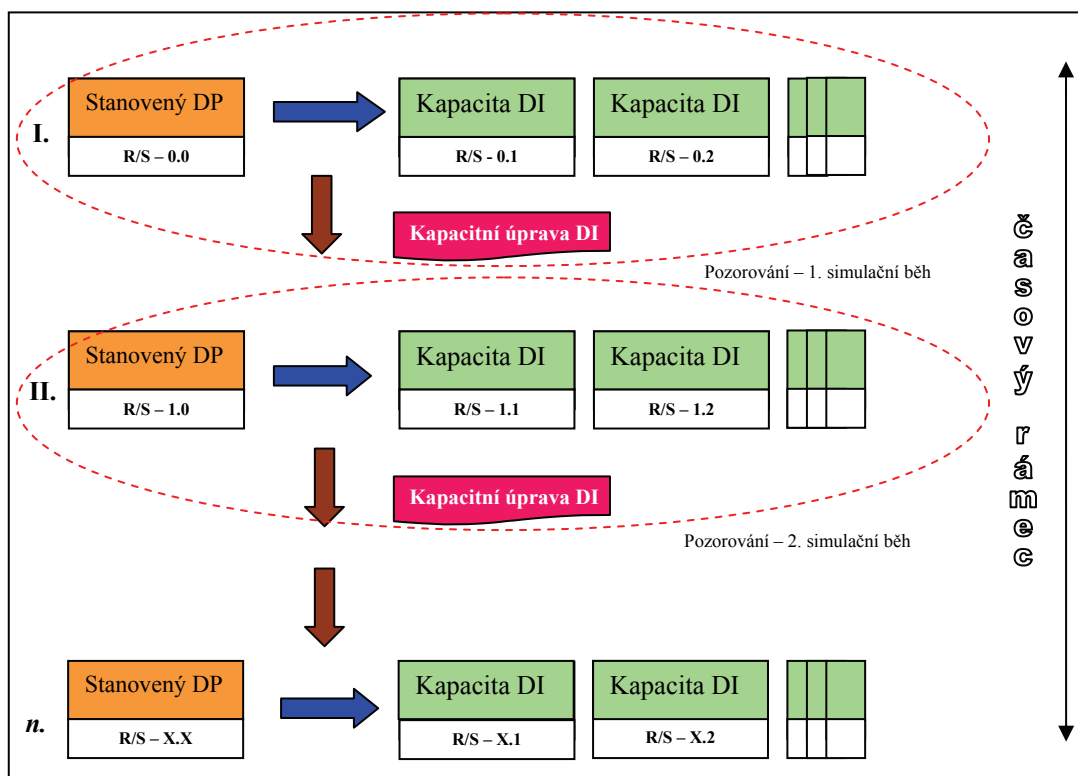


Obrázek 9 – Blokové schéma zkoumání vztahu mezi DI a DP při fixní DI

Zdroj: [Autor]

Poznámka: Není stejná kapacita dopravní cesty při redukci rozsahu DP a fixní DI, jako redukce DI a fixní rozsah DP. Tento rozdíl je způsoben pohledem na stejnou věc dvěma rozdílnými přístupy. První přístup redukce rozsahu DP, kde se DI tvaruje na výsledný stav. Naproti tomu při redukci DI je zadaný výsledný stav DI a k němu se hledá odpovídající

rozsah DP. Kvantitativně vyjádřeno např. 108 (požadovaný rozsah tras) \neq 99 (určený počet tras).



Obrázek 10 – Blokové schéma zkoumání vztahu mezi DI a DP při fixním rozsahu DP Zdroj: [Autor]

3.2 Obecný vztah dopravní infrastruktury a rozsahu dopravního provozu

Doktorand vychází z německého modelu koeficientu stability K_s , který dále rozpracovává.

$$K_s = \frac{Z_p \text{ výstupní}}{Z_p \text{ vstupní}} \quad [-] \quad (8)$$

Pokud je k dispozici větší množství dat, např. ze simulací nebo z pozorování při delším časovém sběru dat, je možné výraz (8) z kapitoly 1.3.8 rozšířit na výraz (9):

$$K_s = \frac{\sum_{S=1}^n Z_p \text{ výstup}}{\sum_{S=1}^n Z_p \text{ vstup}} \quad [-], \quad (9)$$

kde: S počet běhů simulací, $S = 1, 2, 3, \dots, n$

$\sum_{S=1}^n Z_p \text{ výstup}$ suma zpoždění na výstupu [min]

$\sum_{S=1}^n Z_p \text{ vstup}$ suma zpoždění na vstupu [min]

Pro rychlejší orientaci je možné z uvedených dat získat podobný ukazatel, a tj. *přírůstek zpoždění* ΔZ_p , přičemž je požadováno, aby hodnota přírůstku zpoždění byla záporná (eventuálně nulová), což znamená, že vstupující zpoždění je daná DI schopna snižovat, popř. ho alespoň nezvětšovat:

$$\Delta Z_p = Z_p \text{ výstupní} - Z_p \text{ vstupní} \quad [\text{min}] \quad (10)$$

Obdobně jako výraz (9) lze přírůstek zpoždění rozšířit při větším množství dat na výraz (11):

$$\Delta Z_p = \sum_{S=1}^n Z_p \text{ výstupní} - \sum_{S=1}^n Z_p \text{ vstupní} \quad [\text{min}] \quad (11)$$

Je-li znám přírůstek zpoždění ΔZ_p , je možno vypočítat i koeficient stability K_s podle výrazu (12):

$$K_s = \frac{\Delta Z_p}{\sum_{S=1}^n Z_p \text{ vstupní}} + 1 \quad [-] \quad (12)$$

Z důvodu větší přehlednosti a pro zvýšení vypovídací hodnoty je vhodné pracovat s přírůstkem zpoždění $\overline{\Delta Z_p}$, připadajícím v průměru na jeden vlak na zkoumaném traťovém úseku:

$$\overline{\Delta Z_p} = \frac{\sum_{S=1}^n Z_p \text{ výstupní} - \sum_{S=1}^n Z_p \text{ vstupní}}{N} = \frac{\Delta Z_p}{N} \quad [\text{min/vlak}], \quad (13)$$

kde: N je počet vlaků

Při zkoumání vlivu heterogenity JŘ a jeho stability je výhodnější sledovat koeficient stability K_s^a a přírůstek zpoždění ΔZ_p^a zvlášť pro dálkovou osobní, regionální osobní a nákladní dopravu:

$$K_s^a = \frac{\sum_{S=1}^n Z_p^a \text{ výstupní}}{\sum_{S=1}^n Z_p^a \text{ vstupní}} \quad [-], \quad (14)$$

$$\Delta Z_p^a = \sum_{S=1}^n Z_p^a \text{ výstupní} - \sum_{S=1}^n Z_p^a \text{ vstupní} \quad [\text{min}], \quad (15)$$

kde: a – index dopravy $a = (\text{dálková, regionální a nákladní doprava})$

přičemž pro vzorce (14) a (15) musí platit (16) a (17):

$$\sum_{S=1}^n K_S = \sum_{S=1}^n K_S^{\text{dálková}} + \sum_{S=1}^n K_S^{\text{regionální}} + \dots + \sum_{S=1}^n K_S^{\text{nákladní}} \quad (16)$$

$$\sum_{S=1}^n Z_p = \sum_{S=1}^n Z_p^{\text{dálková}} + \sum_{S=1}^n Z_p^{\text{regionální}} + \dots + \sum_{S=1}^n Z_p^{\text{nákladní}} \quad (17)$$

Manažer DI a naproti tomu dopravce mají na kapacitu odlišné pohledy. V zájmu dopravce je vysoká kapacita DI, tak aby i v obdobích se špičkovým rozsahem DP mohly jeho požadavky na trasy vlaků být maximálně uspokojeny. V zájmu manažera DI je co nejmenší rozsah DI z důvodu údržby a zajištění provozuschopnosti.

Zkoumání vzájemné iterace DI a DP je navrženo z několika hledisek:

- provozní hledisko,
- ekonomické hledisko,
- kvalitativní hledisko,
- kvantitativní hledisko.

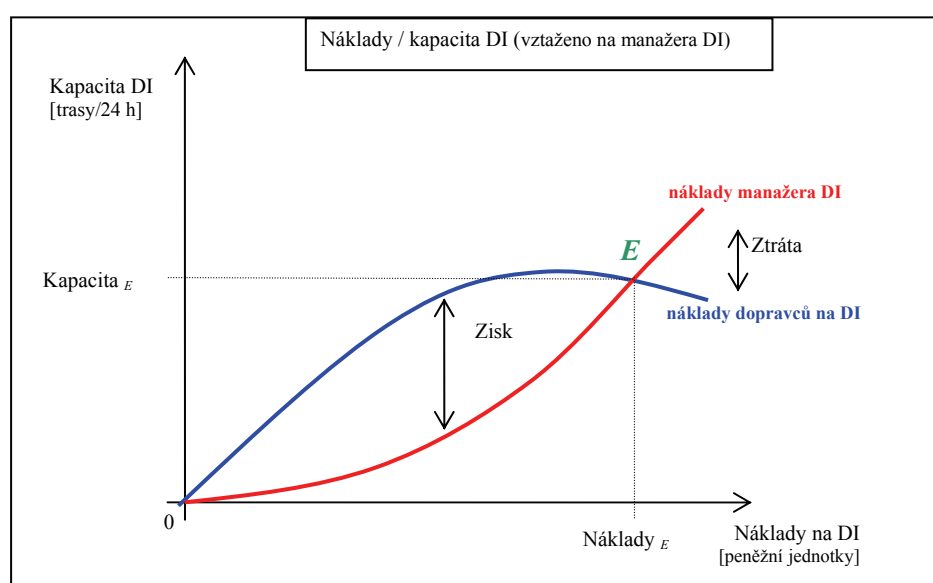
3.3 Provozní hledisko

Pro vlastní železniční provoz je důležité, aby DI dobře vyrovnávala vstupní zpoždění, tak, aby se nepřenášelo na další vlaky. V disertační práci je navržen koeficient K_S popř. ΔZ_p . Pokud je kapacita DI větší než rozsah DP, jde o nevyužitou kapacitu DI, ale na vlastní provoz to vliv nemá. Čas čekání na obsluhu se blíží 0 a systém vykazuje vysokou míru stability.

Pokud je kapacita DI menší než rozsah DP, jde o závažnou situaci, kdy kapacita DI zaostává za rozsahem DP. Vlaky jsou provázeny nekvalitně, stabilita K_S je nízká (slabá), nejsou dodržovány časy mezer [1] a v krajních případech dochází ke kongescím. DS není schopen eliminovat ani drobná zpoždění či narušení plnění JŘ, dochází k řetězení zpoždění na další vlaky, které doposud jsou vedeny včas. Čas čekání na obsluhu v DS je vysoký a stabilita systému je velmi nízká. Z dopravních předpisů vyplývá povinnost pro všechny dopravní zaměstnance snižovat zpoždění vlaků a zabránit, aby se nepřenášelo na další vlaky. Pokud by byl $K_S \gg 1,00$ (popř. $\Delta Z_p \gg 0,00$), není reálná možnost při zachování požadované kvality vlakových tras naplnění předpisových ustanovení. Dopravní zaměstnanci by tak neměli žádný efektivní nástroj, jak snižovat zpoždění vlaků.

3.4 Ekonomické hledisko

Dalším navrhovaným hlediskem zkoumání je ekonomické hledisko. Manažer DI musí dbát, aby rozsah jím provozované DI v průměru vykazoval ziskové využívání. Při nízkém využívání zařízení jsou malé tržby a naopak vysoké náklady připadající na jednotku výkonu. Naopak při vysokém využívání DI jsou vyšší tržby a náklady připadající na jednotku výkonu nižší. Při nadměrném využívání DI se prodlužuje čas přepravy a snižuje přesnost jízdy vlaků, což se odráží ve vyšších nákladech a v méně atraktivní nabídce vlakových tras. Proto je třeba usilovat o rozsah využívání, který je mezi oběma extrémy. Vztah mezi DI a rozsahem DP z ekonomického hlediska je znázorněn na obr. 11.

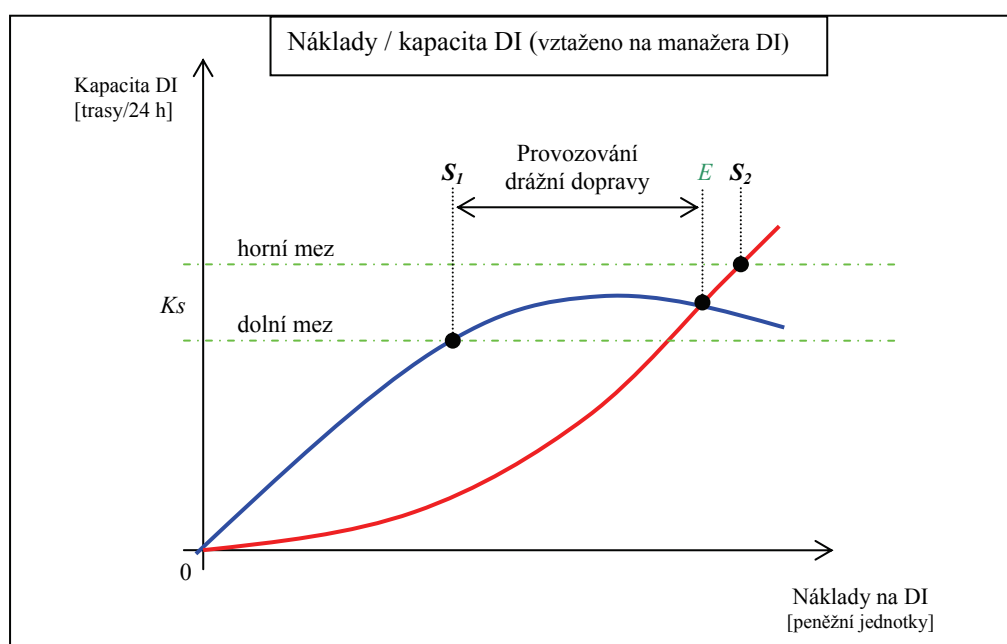


Obrázek 11 - Náklady na kapacitu DI vztaheno na manažera DI

Zdroj: [Autor]

Na vodorovné ose x jsou zobrazeny náklady na DI. Červeně jsou zde vyznačeny celkové náklady manažera DI na opravy, prohlídky, údržbu a personál železniční dopravní cesty v závislosti na kapacitě DI. Modře jsou zde vyznačeny celkové náklady dopravců za použití dopravní cesty, poplatků za přidělení kapacity dopravní cesty v závislosti na počtu vlakových tras. Počet vlakových tras lze zobecnit na potřebnou kapacitu DI, stejně tak jako náklady dopravců, kde je zastoupen i stát v podobě objednavatele vlakových tras (přeprava vojsk, živelné katastrofy, udržitelná mobilita, apod.). Po této abstrakci lze říci, že z ekonomického hlediska agregované celkové náklady dopravců na DI jsou rovny celkovým příjmům manažera DI. Bod E , kde se obě křivky protínají, lze označit za bod zvrátu. Zde se zisk manažera DI mění na ztrátu. Tato ztráta je způsobena již menším zájmem o vlakové trasy a zároveň vyššími náklady na dodatečné zvýšení kapacity DI.

Do obrázku 11 lze implikovat interval koeficientu K_s , vztažený na určitý počet vlakových tras (kapacitu DI), pak lze na obrázku 12 nalézt body S_1 a S_2 . Dolní mez intervalu K_s určují dopravci resp. dopravní trh a ten se snaží, aby byl co nejnižší. Horní mez intervalu K_s určuje manažer DI financemi na DI. Ekonomické využívání je mezi body S_1 a E . Až do bodu E přináší manažerovi DI zisk. Využití za bodem E až do bodu S_2 sice přináší nastavenou stabilitu JŘ, ale manažerovi DI přináší ztrátu. Dopravci nemají zájem o investování do nákupu další vlakových tras, přesto manažer DI je nucen zachovat stanovenou stabilitu danou K_s dodatečnými náklady na DI.



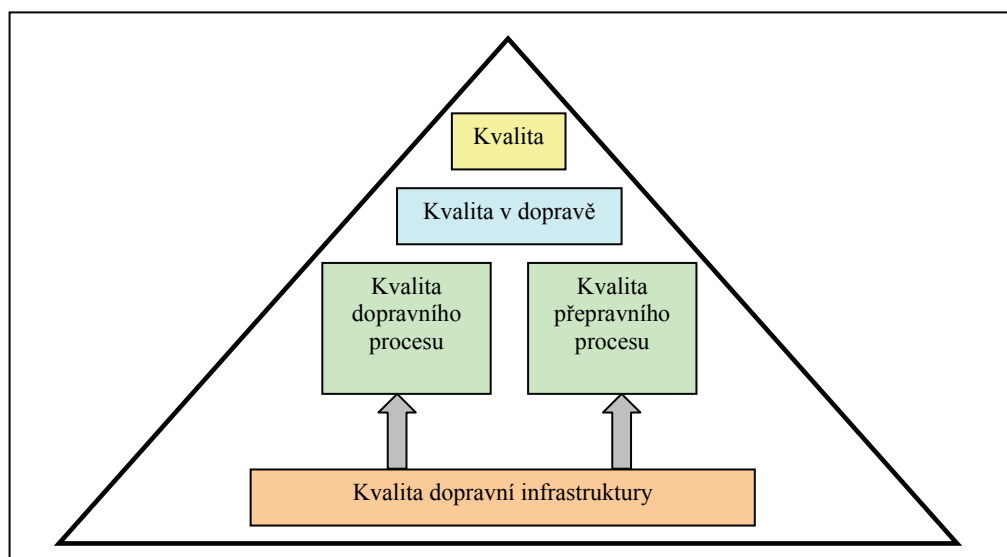
Obrázek 12 - Náklady na kapacitu DI s koeficientem stability K_s

Zdroj: [Autor]

3.5 Kvalitativní hledisko

Třetím navrhovaným hlediskem zkoumání vztahu DI a DP je kvalita dopravy. Ta nestojí sama o sobě, ale je součástí celkového pohledu a přístupu společnosti ke kvalitě. Vnímání kvality je silně ovlivňováno subjektivní volbou a liší se pohled dopravce, provozovatele drážní dopravy a manažera DI. Kvalitu dopravy tvoří dva celky, kterými jsou kvalita dopravních a přepravních procesů. Vazby v rámci kvality jsou znázorněny na obrázku 13. DI pak působí na obě složky kvality. Pohled na kvalitu dopravy se vyvíjel v čase stejně jako pohled na kvalitu obecně. Ale k největšímu rozvoji hodnocení kvality v dopravě dochází v poslední době vznikem konkurence mezi jednotlivými dopravci. Od této chvíle se každý dopravce snaží zabezpečit co možná nejvyšší úroveň přepravních služeb. Kvalita dopravních služeb v České republice se řídí normami ČSN EN 13816:2006, ISO 9001:2009 v oblasti

železniční dopravy - Nařízení EP a Rady (ES) č. 1371/2007 a Charta cestujícího. Další informace lze najít v [26].



Obrázek 13 - Vztah DI a kvality

Zdroj: [26]

Kvalitativní hledisko úzce souvisí s *kvantitou*. Pokud je požadována vysoká kvalita DI, je zároveň kladen vyšší důraz i na celkovou vybavenost DI. V případě, že by předchozí domněnka neplatila, pak hrozí, že vysokou kvalitou vlakových tras se výrazně sníží kapacita DI.

Dalším navrhovaným a zkoumaným kvalitativním ukazatelem je *spolehlivost*. Na rozdíl od stability je dána pravděpodobnostním rozdělením a týká se pouze náhodných systémů. DS lze považovat za náhodný systém. Zatím co stabilita se týká jedné, obvykle větší odchylky od žádoucího průběhu, která když skončí její příčina, systém už funguje normálně, tak u spolehlivosti může jít i o řadu drobných poruch, vychylujících systém ze žádoucího průběhu. Spolehlivost jde ruku v ruce se stabilitou, čím menší je K_s , tím větší je stabilita i spolehlivost DS.

K těžko vyčíslitelným hlediskům patří *bezpečnost* dopravy. Na kapacitně vyvážené DI se nevytváří „úzká hrdla“, která jsou potenciálním bezpečnostním rizikem vzniku nehod. DS se tak nepřetěžuje nad únosnou míru, nedochází k větším odchylkám v dopravě. Pokud se již tak stane, je DS se za určitou dobu sám schopen stabilizovat.

Obdobný problém s určením velikosti (kvantity) je *plynulost* dopravy, kde v kapacitně vyvážené DI se čekání na obsluhu limitně blíží nule a provoz není ničím narušován. Naproti tomu u kapacitně nevyváženého systému ($K_s \gg 1,00$) dochází k častým narušením dopravy, ale sám systém není schopen se za určitý čas stabilizovat nebo čas stabilizace je neúměrně dlouhý.

3.6 Kvantitativní hledisko

Čtvrtým navrhovaným hlediskem zkoumání vztahu DI a rozsahu DP je hledisko kvantitativní. V JŘ lze požadavky na kvantitu abstrahovat na vlakové trasy za určité časové období. Za současné situace na dopravním trhu v železniční dopravě se nelze spokojit s počtem provážených vlaků resp. vlakových tras za časovou jednotku, ale je třeba brát na zřetel kvalitu nabízené trasy. V minulosti byly výsledky koeficientu využití praktické propustnosti (3) na některých úsecích i více než 100 %, což je zcela nepřipustné v době zpoplatnění za použití dopravní cesty. Dopravci vyvíjí tlak na manažera DI, aby jeho nabízená kapacita převyšovala poptávku po kapacitě. Jinými slovy, aby K_s byl do hodnoty 1,00 (popř. ΔZ_p do hodnoty 0). Dopravci by si nenechali dlouhodobě přidělovat trasy, které by byly nestabilní a nespolehlivé. Dopravci se snaží o dodržování včasnosti a spolehlivosti svých spojů a to samé očekávají od vlakových tras zakoupených od manažera DI. Při dlouhodobějším zanedbání kapacitní rezerv by dopravci hledali objízdné trasy u jiných správců DI, což přináší ztrátu příjmů manažerovi DI.

3.7 Dílčí závěr teoretické části návrhu

Jak vyplývá z předchozích podkapitol, vztah mezi DI a rozsahem DP je multioborovou záležitostí. Jde o vzájemné prolínání mnoha vědních oborů od ryze dopravních přes ekonomické až po obory exaktní, jakými je např. matematika a fyzika.

Obecně lze shrnout závěry předchozích kapitol na tvrzení, že snaha o co největší využití kapacity DI je v protikladu s dosažením požadované stability a kvality dopravy. Stabilní JŘ je takový, u něhož je garantována dostatečná schopnost odstraňovat (eliminovat) vstupní zpoždění, vznikající jako důsledek provozních nepravidelností. Stabilitu JŘ bez nutnosti zásahu do vybavenosti DI lze dosáhnout buď dostatečně velkými časovými mezerami mezi trasami vlaků nebo většími přírážkami k JD. Jak časové mezery mezi trasami vlaků, tak ani přírážky k JD nejsou v zájmu dopravců, proto je nutné hledat optimální bod využívání DI - pro dopravce i manažera DI.

3.8 Přepravní proudy

V disertační práci se píše o dvou složkách. Obě jsou nedílnou součástí DS. DI je přesně definovaná svým technickým a technologickým vybavením pro určitý simulační běh. Druhá složka je rozsah DP, který je v každém simulačním kroku stanovený, buď jednoznačně – počtem vlaků nebo intervalovým rozpětím počtu vlaků. Rozsah DP je odvozen od součtu

přepravených proudů (osobních a nákladních) mezi dvěma zkoumanými koncovými body na zkoumané DS. Pro účely disertační práce lze přepravní proudy transformovat na počet vlakových tras na zkoumaném traťovém úseku. Vznik, velikost a vývoj přepravních proudů není předmětem této práce, doktorand ovšem považoval za nutné uvést tyto okolnosti, pro které se uchýlil k metodě scénářů při zkoumání rozsahu DP a v dalším zkoumání rozsahu DP proto navrhuje použít metodu scénářů.

V současné době není nikdo schopen relevantně odhadnout vývoj přepravních proudů. Důvodů, proč se tak děje, je více. Může za tím být nedostatek finančních prostředků na realizaci dopravní politiky ČR, nejednotnost podpory veřejné dopravy před dopravou individuální, časté personální změny na MD ČR, špatná dotační politika některých krajů, atd. Proto se doktorandovi jevila jako vhodná metoda scénářů. Metodický postup pro určování rozsahu DP byl přizpůsoben metodě scénářů. Scénářem se pro účely této práce se rozumí výsledný JŘ nebo studie JŘ, které dokážou zachytit stav recese, stagnace nebo růstu přepravních proudů.

Vývoj rozsahu DP je velmi důležitý pro středně a dlouhodobé rozhodování manažera DI o budoucí potřebě DI. Bylo by velkou chybou, kdyby se při dlouhodobé prognóze poklesu rozsahu DP tomu přizpůsobila DI (nastane rovnovážný stav). Za dva roky může narůst rozsah DP o desítky procent, na který by již redukovaná DI nebyla schopná reflektovat. Opačný problém, kdy je nadbytek kapacity DI oproti rozsahu DP, je méně závažný, nikoliv však uspokojivý pro manažera DI. Rozsah DP daleko pružněji reaguje na změny než je tomu u DI.

3.9 Priorita vlaků

K dalšímu zkoumání vztahu DI a DP je potřebné také zohlednit resp. navrhnout prioritu vlaků. Pojem priorita je podvědomě chápán jako pořadí, důležitost nebo upřednostňování. Priorita vlaků resp. pořadí důležitosti vlaků je velmi důležité pro samotné pozorování, zkoumání a následnou simulaci železničního provozu.

Prioritu vlaků lze členit na:

- předpisově-konstrukční prioritu,
- provozní prioritu,
- simulační prioritu.

3.9.1 Předpisově-konstrukční priorita

Priorita vlaků je určena ustanoveními předpisu SŽDC (ČD) D2. Každému vlaku na železniční síti je přiřazeno číslo a druh vlaku (druhovú zkratka vlaku). Vlak s přepravou

cestujících je zpravidla nadřazen nákladnímu vlaku. S prioritou vlaků počítá i základní plánování dopravy, což je sestava JŘ. Tak jak je stanoveno v předpisu SŽDC (ČD) D2 je přístupováno i pořadí důležitosti konstrukce od mezinárodních expresních vlaků až po vlečkové nákladní vlaky (viz tabulka 3). Jsou zde ovšem odlišnosti. Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, v platném znění, dává vlaku osobní dopravy v závazku veřejné služby vyšší prioritu než vlaku jedoucího na obchodní riziko dopravce, tzn. bez státní dotace. Dalším problémem se může jevit kategorie vlaku označovaná jako SC (SuperCity), kterou lze vnímat jako nadřazenou kategoriím EC, IC, ale dopravními předpisy je řazena na úroveň expresního vlaku, a co více, dopravce jí vede na vlastní obchodní riziko, vlak není v závazku veřejné služby. Obecně platí při konstrukci JŘ, že pravidelné vlaky jsou upřednostňovány před vlaky podle potřeby, i přes jejich vyšší druh vlaku. U rušících vlaků má být ctěna zásada, že vlak rušící je vyšší kategorie než vlak rušený, ale ne vždy je tato podmínka splněna. Zejména u nákladních vlaků se tyto principy porušují tzv. vlaky na čas (termín Cargo, atd.), které jsou upřednostňovány před vlaky důležitějšími, podle druhové zkratky vlaku.

Tabulka 3 - Obecně závazná priorita vlaků, jejich zkratky a základní rychlosti

Označení vlaku	Zkratka	Základní rychlost
EuroCity	EC	160 km. h ⁻¹
InterCity	IC	160 km. h ⁻¹
EuroNight	EN	160 km. h ⁻¹
Expres	Ex	160 km. h ⁻¹
Rychlík	R	160 km. h ⁻¹
Spěšný vlak	Sp	160 km. h ⁻¹
Osobní vlak	Os	160 km. h ⁻¹
Soupravový vlak	Sv	160 km. h ⁻¹
Nákladní expres	Nex	120 km. h ⁻¹
Rychlý nákladní	Rn	120 km. h ⁻¹
Vyrovňávkový nákladní	Vn	100 km. h ⁻¹
Průběžný nákladní	Pn	100 km. h ⁻¹
Manipulační nákladní	Mn	100 km. h ⁻¹
Vlečkový vlak	Vleč	100 km. h ⁻¹
Služební vlak	Služ	100 km. h ⁻¹
Lokomotivní vlak	Lv	80 km. h ⁻¹

Zdroj: [Autor]

3.9.2 Provozní priorita

Dopravní zaměstnanci operátora dráhy vycházejí při základním plánování ze sestaveného JŘ, kterým jsou priority vlaků stanoveny na základě dopravních předpisů

a požadavků dopravců. Při sestavě JŘ je rozhodující pořadí druhů vlaků podle důležitosti stanovené dopravním řádem drah. V případě mimořádností v drážní dopravě (zpoždění vlaků, výluky kolejí, odklony vlaků pro nesjízdnost traťových úseků, odstranění následků mimořádných událostí apod.) zajišťuje řízení drážní dopravy operativně dispečerský aparát operátora dráhy. Postupuje se od nutných pomocných vlaků, přes vlaky v obecném zájmu, vlaky mezistátní kategorie IC, dále vnitrostátní rychlíky až po vlaky vnitrostátní nákladní expresní vlaky a manipulační vlaky.

Ve vzájemném vztahu je nutno pokládat za důležitější ten vlak, který má vyšší stanovenou rychlost, při stejné kategorii a rychlosti ten, který má větší zpoždění.

V osobní dopravě musí operátor dráhy dodržovat určené pořadí. Existují určité odchylky, kde v „Rozkazu o zavedení GVD“ lze vymezit určité traťové úseky (celé tratě), kde jsou při mimořádnostech v dopravě preferovány vlaky osobní dopravy v jiném pořadí. Zejména jde o příměstské osobní vlaky zahrnuté v IDS (Praha, Brno), jež mají přednost i před kategorií rychlík R, Ex, atd. Zaváděná opatření jsou vynucena, za prvé včasností integrované dopravy, která je nutná zejména při taktovém intervalu 15 minut, kde každé zpoždění 5 minut degraduje celý systém IDS. A za druhé přepravou vyšších přepravních proudů v příměstské dopravě než v dopravě dálkové, kde poměr obsazenosti POs/R je více než dvojnásobný (Os 790 cestujících / R 350 cestujících).

V nákladní dopravě u manipulačních a vlečkových vlaků, kde obsluhující četou jsou prováděny stanovené obsluhy příslušných atrakčních obvodů, je možné upřednostnit tyto vlaky nad vlaky vyšších kategorií z důvodů předem plánovaných časových obsluh. Obdobné je to při křižování vlaků ložených a vyrovnávkových (s prázdnými vozy), pokud to je možné a energeticky a časově výhodnější projet s vlakem loženým (Pn T 2600 tun oproti vlaku Vn U 450 tun) se upřednostní vlak kategorie Pn. Také dispečerský aparát upřednostňuje vlaky s končící lokomotivní četou, tak aby projely do svých domovských dep nebo vhodnějších míst na střídání lokomotivní čety.

3.9.3 Simulační priorita

Protože se v dalším návrhu řešení vztahu DI a DP využije simulační model, je potřebné vzít na zřetel resp. navrhnout simulační prioritu vlaků. Simulace železničního provozu musí co nejvíce odpovídat jeho realitě. Tzn., že simulační program musí umět vyhodnotit, jaké bude pořadí vlaků jako při běžném železničním provozu.

Rozdělení železničních simulátorů z pohledu používání priority vlaků je následující:

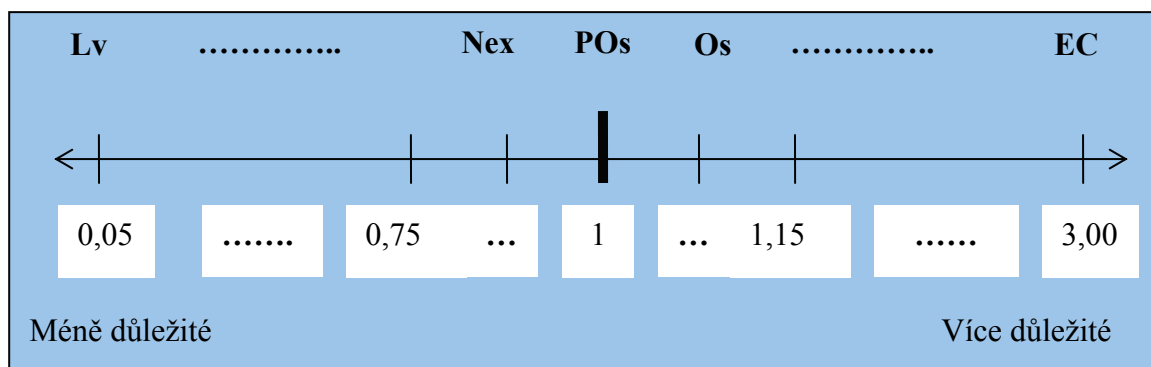
- simulátory neakceptující priority vlaků,
- simulátory používající metodu výběru variant,
- simulátory pracující s prioritou vlaků.

Pokud je doktorandovi známo, většina železničních simulátorů standardně neřeší priority vlaků. Obecně tedy platí, že záleží pouze na obsluze simulátoru jak bude s prioritou vlaků pracovat. Pro některé případy je možné priority vlaků v simulaci úplně vypustit.

Další řada železničních simulátorů (OpenTrack, Viriato) používá princip „výběr variant“. Existuje tedy základní varianta a pokud nejsou splněny podmínky pro základní variantu, systém se větví na další varianty na základě zadaných omezujících podmínek. Jde např. o řešení kolizí nebo sporů při křížování a předjíždění vlaků apod.

Poslední řada uváděných železničních simulátorů (SimuT) pracuje s prioritou vlaků na bázi přiřazení určitých vah nebo hodnocení jako je např. Saatyho bodová stupnice. Ohodnocení je společné pro každou vyskytující se variantu druhu vlaků. Tímto způsobem je zajištěna obecná priority vlaků. Rozsah intervalu vah je možný v intervalu $(0; \infty)$. Jako základ obvykle slouží regionální doprava popř. příměstská doprava, která stupnici pomyslně dělí na priority důležitější a priority méně důležité vlaky. Od pomyslné „1“, což je kategorie POs – příměstský osobní vlak, jsou nalevo kategorie vlaků s menší priority jako Nex, Rn, ..., Lv. Napravo jsou kategorie vlaků s vyšší priority jako Os, Sp, R, ..., EC (viz obrázek 14). SM nemůže postihnout vše, proto se obvykle dopravní technologové musí spokojit se SM respektující obecně platnou priority vlaků a případné odchylky odladit „ručním“ způsobem.

Železniční simulátory na vyšší úrovni jsou schopny rozhodovat o priority vlaků na základě přidělených vah a poměru vstupního a výstupního zpoždění, který se pro tento účel snaží minimalizovat. Nutnou základní podmínkou pro takovou minimalizaci výstupního zpoždění je rovnovážný stav mezi kapacitou DI a rozsahem DP.



Obrázek 14 – Systém nastavení vah

Zdroj: [Autor]

Doktorand pro testování zadávané priority vlaků používá Spearmanův koeficient pořadové korelace [28]. Koeficient umožňuje zhodnotit stupeň souladu pořadí (priorit) podle určité vlastnosti s pořadím (prioritou), které bylo přiřazeno na základě pozorování. Více o prioritách vlaků lze nalézt v publikační a vědecko-výzkumné činnosti doktoranda [7], kde je pojednáno i o testování navrhovaných priorit vlaků v SM.

4 Zvolené řešení a metody zkoumání

K řešení daného problému, tj. vztahu mezi kapacitou DI a rozsahem DP je potřebné zvolit odpovídající účinný a efektivní prostředek, metodiku a metodu. Takovým prostředkem je SM a modelování. SM se používají všude tam, kde se požaduje vysoká přesnost při modelování skutečného provozu. Tyto modely jsou založeny na principu metod experimentální statistiky, které lze souhrnně označit jako metody „Monte Carlo“. SM jsou založeny na mnohonásobném opakování pokusu, v němž jev nastává. Spočívají na co nejpřesnější imitaci provozu pomocí PC. Použití SM pro DS je ideální z důvodu aspektujícího faktoru času pro dynamické modely.

4.1 Definice simulace a modelování

K definici modelování a simulace je potřebné vysvětlit jejich smysl, podstatu a metodiku a definovat význam některých výchozích termínů jako systém, model a další. Uvedené definice a pojmy vychází z publikace [16] a disertační práce [17].

4.1.1 Definování simulace

V simulaci a modelování se studuje nějaký objekt, resp. možné varianty nějakého objektu (obvykle) hmotného světa, a to buď objektu, který existuje, nebo který by existovat mohl. Vzhledem k nemožnosti zvládnout zkoumaný objekt v celé jeho komplexnosti se zavádějí abstrakce, které zanedbávají některé jeho aspekty. Zanedbané aspekty jsou vybrány tak, že aspekty, které zbývají, jsou daným vědeckým, technickým či společenským oborem zvládnutelné. Takovou abstrakci, vymezenou na objektu zkoumání, v modelování a simulaci lze nazvat „systém“. Alternativně lze tedy říci, že na objektu zkoumání je vymezen systém.

Abstrakce může nebo nemusí zanedbat význam času. Systém, v němž se od významu času abstrahuje, se nazývá statickým systémem. Pokud se od významu času neabstrahuje, pak je v oblasti modelování a simulace nazýván dynamickým systémem. Simulace se jinými než dynamickými systémy nezabývá.

Množina okamžiků, v nichž dynamický systém existuje, se nazývá (časovou) existencí tohoto systému. Dynamický systém je v každém okamžiku své existence v jistém stavu.

V modelování a simulaci je systém sestavený z prvků. V dynamickém systému se může počet jeho prvků během jeho existence měnit, v technických a ekonomických

aplikacích jde nejčastěji o to, že prvky mohou do systému vstupovat a systém opouštět. Takové prvky se označují jako prvky temporární.

Prvky, které jsou v dynamickém systému během celé jeho existence, se nazývají permanentními prvky. Prvky systému mají své vlastnosti, které se nazývají atributy. Stav dynamického systému v čase t je dán prvky, které jsou v čase t v tomto systému přítomny, hodnotami jejich atributu v tomto čase a relacemi mezi těmito jeho prvky.

4.1.2 Definování modelování

V modelování a simulaci je termín model použit pro analogii mezi dvěma systémy. Vztah obou systémů – modelovaného a modelujícího je dán tím, že každému prvku P modelovaného systému je přiřazen prvek Q modelujícího systému, každému atributu g prvku P je přiřazen atribut h prvku Q a pro hodnoty atributu g a h je dána nějaká relace. Její charakter není nějak obecně omezen, ale v případě, že g i h jsou aritmetické atributy, bývá taková relace např. úměrnost.

Je-li modelovaný i modelující systém statický, daný model se označuje jako statický model. V simulaci se však uplatní jen tzv. SM, totiž modely, které splňují následující požadavky:

1. Jejich modelující i modelované systémy jsou dynamické systémy.
2. Existuje zobrazení τ existence modelovaného systému do existence modelujícího systému; je-li tedy t_1 okamžik, v němž existuje modelovaný systém M_1 , je mu přiřazen okamžik $\tau(t_1) = t_2$, v němž existuje modelující systém M_2 , a tak je zobrazením τ přiřazen i stavu $S_1(t_1) = \tau_1$ systému M_1 stav $S_2(t_2) = \tau_2$ systému M_2 .
3. Mezi stavy τ_1 a τ_2 jsou splněny požadavky na vztahy mezi příslušnými prvky a jejich atributy, jak je uvedeno výše pro modely obecně.
4. Zobrazení τ je neklesající. Pokud nastane stav s modelovaného systému před stavem s^* téhož systému, pak stav \hat{s} (který v modelujícím systému odráží stav s) nastane před stavem \hat{s}^* (který odráží stav s^*), nebo mohou oba stavy nastat v modelujícím systému současně (totiž v případě, že modelující systém není na takové úrovni rozlišení, aby dokázal zobrazit všechny detaily v modelovaném systému). Nikdy však nemůže být časové pořadí stavu v modelovaném systému a jim odpovídajících stavu v modelujícím systému přehozeno (zásady kauzality).

Model je tedy složitá struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a jejich atributy, a v případě simulačních modelů i existence obou systémů. V případě, že jde o SM, jedná se o

system simulovaný a simulující. Alternativně k termínu simulující systém se v praxi často používá termín SM nebo také simulátor.

4.2 Modelování a simulace

Podstatou modelování ve smyslu výzkumné techniky je náhrada zkoumaného systému jeho modelem, přesněji systémem, který jej modeluje. Cílem modelování je získat pomocí pokusů s modelem informaci o původním zkoumaném systému (vymezeném na objektu zkoumání). Platí tedy, že je vytvořen model, v němž modelovaným systémem je zkoumaný systém, ale experimentováno bude s modelujícím systémem, přičemž cílem je získat informace o modelovaném systému.

4.2.1 Simulace

Simulace je chápána jako modelování ve smyslu výzkumné techniky, přičemž použitý model je simulační. Simulace je výzkumná technika, jejíž podstatou je náhrada zkoumaného dynamického systému jeho simulátorem s tím, že se simulátorem se experimentuje s cílem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému.

Simulace tedy představuje experimentální metodu podporující analýzu, návrh a optimalizaci reálných systémů v následujících čtyřech krocích:

1. Vymezení systému na objektu zkoumání.
2. Nahrazení zkoumaného systému jeho simulačním modelem.
3. Experimentování se SM za účelem zjištění jeho vlastností, chování a reakcí na zvolené podmínky.
4. Aplikace získaných výsledků na objektu zkoumání.

Aby bylo možné SM považovat za adekvátní obraz skutečnosti, musí mít tento model určitou míru přesnosti. Pouze za splnění tohoto požadavku (tj. po úspěšném provedení tzv. validace simulačního modelu) lze vytvořený model považovat za hodnověrný (kredibilní) a dostatečně kvalitní. S přihlédnutím ke zkoumané problematice a očekávaným výsledkům simulace je rovněž velmi důležitým prvkem výběr vhodného simulačního nástroje. Synchronní model je ten, při kterém se čas v určitém měřítku zpomaluje anebo zrychluje (tzv. časová lupa). Asynchronní model je ten, při kterém se zachovává pořadí významných událostí, kdežto čas, se zobrazí pomocí další proměnné.

4.2.2 Počítačová simulace

V minulosti byly simulátory realizovány na speciálních zařízeních a podle nich dostávala příslušná simulace přívlastek: elektrotechnická, hydrodynamická apod. Dnes vytlačila všechny tyto druhy simulace číslicová, při níž je simulátor realizován na číslicovém počítači. Přesnější vyjádření charakteru simulace podle výše zmíněných pravidel pro její přívlastek se dnes nepoužívá. Když je však zřejmé, že jde o simulaci číslicovou, spojuje se možnost vyjádřit přívlastkem charakter simulovaného systému. Pokud je systém spojitý (hodnoty jeho atributu se mění v čase jen spojitě), mluví se o spojitě simulaci. Jestliže je simulovaný systém diskrétní (nastávají v něm izolovaně změny v čase), mluví se o diskrétní simulaci. Je-li simulovaný systém kombinovaný (má-li jak vlastnosti typické pro spojitě systémy, tak vlastnosti typické pro diskrétní systémy), mluví se o kombinované diskrétně-spojitě simulaci nebo častěji prostě o kombinované simulaci.

4.2.3 Zkoumání systémů hromadné obsluhy s podporou simulace

Jak již bylo uvedeno, je použití exaktních matematických metod u komplexních systémů hromadné obsluhy značně omezené. I v případě pracného vytvoření matematického modelu systému hromadné obsluhy (s využitím aparátu teorie hromadné obsluhy) přetrvává problém s modifikací parametrů takto vytvořeného matematického modelu. Změna parametru si totiž vynucuje kompletní přepracování vytvořeného matematického modelu. Experimentování s matematickým modelem tedy není vůbec snadnou záležitostí.

V současné době se tedy k účelu zkoumání a optimalizace komplexních systémů hromadné obsluhy používá téměř vždy metoda simulace. Výhodou tohoto přístupu je jednak možnost postihnout komplexnost dynamických systémů a dále také poměrně snadná modifikace parametrů zkoumaných systémů. Tyto výhody činí z metody simulace velmi užitečný nástroj.

4.2.4 Typy simulátorů z pohledu rozlišovacích úrovní

V souvislosti s typem plánování a následného prověření zkoumaných plánů je potřebné určit rozlišovací úroveň simulačního modelu (tj. uplatněnou míru abstrakce). Na jednotlivé typy plánování jsou kladeny různé požadavky v závislosti na charakteru simulačního projektu a očekávaných výsledcích. Určení správné rozlišovací úrovně není vždy jednoduchou záležitostí a rozhodnutí je přijímáno vždy individuálně, podle typu řešeného problému.

Podle rozlišovací úrovně lze železniční simulátory členit do tří kategorií:

- makroskopický simulátor,
- mikroskopický simulátor,
- mezoskopický simulátor.

V tabulce 4 je uvedena uplatněná rozlišovací úroveň na jednotlivé podsystémy při vytváření simulačních modelů rozdílných charakterů. Míra rozlišení je klasifikována stupnicí od jednoho „+“ (nejnižší rozlišení) až po tři „+ + +“ (vysoké rozlišení).

Tabulka 4 – Míra rozlišení uplatňovaná v různých typech železničních simulátorů

	Makroskopický model	Mikroskopický model	Mezoskopický model
Pevný podsystém	+	+++	+
Pohyblivý podsystém	+	+++	+++
Řídicí podsystém	+	+++	++

Zdroj: [16]

Navzdory tomu, že je problematika přepravních procesů důležitá, nebude se disertační práce těmito procesy (pohyb cestujících v prostorách ŽST, proudy cestujících přestupujících mezi vlaky, nákup cestovních dokladů apod.) primárně zabývat. Důvodem je zaměření práce na DP (plánování a organizace železniční dopravy), což jsou do jisté míry činnosti nezávislé na přepravních procesech. V některých případech je ale nutné přepravní procesy do SM zahrnout a v takových případech bude na tuto skutečnost poukázáno.

(1) Zkoumání na makroskopické úrovni

Při zkoumání DS na makroskopické úrovni tvůrce modelu zahrne do simulátoru údaje o jednotlivých podsystémech DS jen rámcově. Pokud lze některé z těchto údajů považovat za nepodstatné vzhledem k posláním simulačního modelu, je možné tyto i vynechat.

Na této rozlišovací úrovni je možné se zabývat zejména plánováním celkové kapacity ŽST, části sítě DS (kapacita je ve většině případů projektována na delší časové období) nebo pro ověření plánovaného JŘ v rámci dopravní sítě. Z tohoto důvodu nejsou obvykle v makromodelu obsaženy detailní údaje o pevném podsystému (kolejiště a dalších prvků DI), pohyblivém podsystému ani řídicím podsystému. Pevný podsystém může být reprezentován jistými makroprvky. Pro všechny makroprvky a jejich podsystémy jsou uchovávány údaje o jejich stavu (např. počtu vlaků, vybavení DI apod.) v každém kroku simulace.

Data potřebná pro tento typ modelu jsou poměrně snadno získatelná, což je velkou výhodou. Pomocí makroskopických modelů je možné zkoumat rozsáhlé dopravní sítě, ale za cenu málo detailního sledování jednotlivých podsystémů.

(2) Zkoumání na mikroskopické úrovni

Při zkoumání DS na mikroskopické úrovni SM detailně popisuje dané podsystémy tak, aby model podrobně odrážel objekt zkoumání.

Mikroskopické modely jsou charakteristické sledováním jednotlivých dopravních elementů a interakcí mezi těmito elementy (dopravní elementy představují např. objekty přemístění). S velkou úspěšností [16] se mikroskopické modely používají pro zkoumání ŽST, jednotlivých traťových úseků, seřadovacích stanic apod..

U většiny řešených úloh na této úrovni rozlišení je tedy nutné zahrnout do SM podrobné informace o konfiguraci DI, vozidel, technologických procesů i obslužných zdrojů, řídicích a rozhodovacích strategií.

(3) Zkoumání na mezoskopické úrovni

Tento přístup je založen na kombinaci přístupu z obou výše zmíněných typů simulátoru. Tvůrce modelu je tedy postaven před otázku vyhodnocení a výběru toho, co je pro vytvoření modelu ještě důležité a co již nikoliv.

Mezoskopické modely vyplňují mezeru mezi přístupem globálního makromodelu a sledováním individuálních interakcí dopravních elementů v rámci podrobného mikromodelu.

Mezoskopické modely obvykle popisují elementy značně podrobně, ale chování a interakce těchto entit již nejsou sledovány. Tento typ modelu je vhodný pro prognózu, která vyžaduje zahrnutí detailu o pohyblivém podsystému a není nutné sledovat interakci mezi pohyblivým podsystémem a pevným podsystémem nebo mezi jednotlivými entitami pohyblivého podsystému. Výhodou tohoto typu modelu je rychlejší výstavba simulátoru oproti mikromodelům.

4.3 Vícekriteriální rozhodování

Předpokladem pro použití modelu je využití vícekriteriálního rozhodování. Vícekriteriální rozhodování (Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA, Multi Criteria Decision Making – MCDM nebo také Decision Support System – DSS) je disciplína, která se zabývá podporou rozhodování, přičemž za rozhodnutí lze považovat vybrání jedné varianty z množiny v dané situaci potenciálně realizovatelných variant. V této podkapitole jsou uvedeny základní informace, týkající se vícekriteriálního rozhodování, přičemž základními publikacemi z této oblasti jsou [17], [18] a [19].

V zásadě existují dva způsoby rozhodování. Jedním z nich je používání tradiční deduktivní logiky, která vychází z předpokladů a postupně z nich tvoří závěr. Tento postup je přímočarý a na základě jeho využití lze obdržet několik oddělených závěrů, přičemž je dalším úkolem tyto závěry spojit do jediného výsledku. Pro takový postup je nutná zkušenost a představivost, což jsou poměrně značné nároky na osobu odpovědnou za rozhodování.

Druhým přístupem je rozvržení uvažovaných faktorů do hierarchické nebo síťové struktury, která bere do úvahy vzájemné souvislosti. Potenciální výsledky jsou v těchto strukturách propojeny a potom se úsudky a logika použijí k odhadu relativních vlivů, z nichž je odvozen definitivní výsledek.

V souvislosti s rozhodováním v různých oblastech lidské činnosti existuje často požadavek, aby rozhodnutí vedlo k volbě (v jistém smyslu) optimální. Nejobtížnějším krokem rozhodovacího procesu je právě ta jeho část, kdy je nutné objasnit, co lze v dané situaci považovat za optimální. Otázka, co je v dané situaci optimální úzce souvisí s otázkou, podle jakých kritérií je nutné posuzovat důsledky plynoucí z přijatelného rozhodnutí. Vícekriteriálnost totiž představuje podstatný rys rozhodování. Podaří-li se seznam relevantních kritérií sestavit, ať už s využitím znalostí expertů či na základě individuálních znalostí, není problém ještě vyřešen.

Jedno z nejdůležitějších hledisek při klasifikaci rozhodovacích procesů představuje informace o stavech a důsledcích variant vzhledem k jednotlivým kritériím. Tato informace může být:

- úplná (deterministická) vzhledem k jednoznačnosti stavu a hodnot kritérií jednotlivých variant – v tomto případě se jedná o rozhodování za jistoty,
- neúplná (náhodná) – jedná se o rozhodování za nejistoty.

4.3.1 Specifika vícekriteriálního rozhodování

Vícekriteriální rozhodování je svou povahou specifické, a to zejména v těchto aspektech:

- Multikriteriální charakter rozhodovacích problémů. Platí, že čím je počet kritérií a variant vyšší, tím je toto hodnocení obtížnější. Pro porovnání jsou zde uvedeny základní vlastnosti monokriteriálních a vícekriteriálních rozhodovacích problémů:
 - Jednokriteriální (monokriteriální) charakter rozhodovacích problémů je v praxi spíše výjimkou. V případě jednoho kritéria kvantitativního charakteru stačí varianty

uspořádat podle hodnot kritéria a varianta s nejvyšší (nejnižší) hodnotou se stává variantou optimální.

– Vícekriteriální (multikriteriální) charakter rozhodovacích problémů je podstatně častější a tyto problémy jsou charakteristické nutností posouzení a hodnocení varianty jejich řešení z více hledisek.

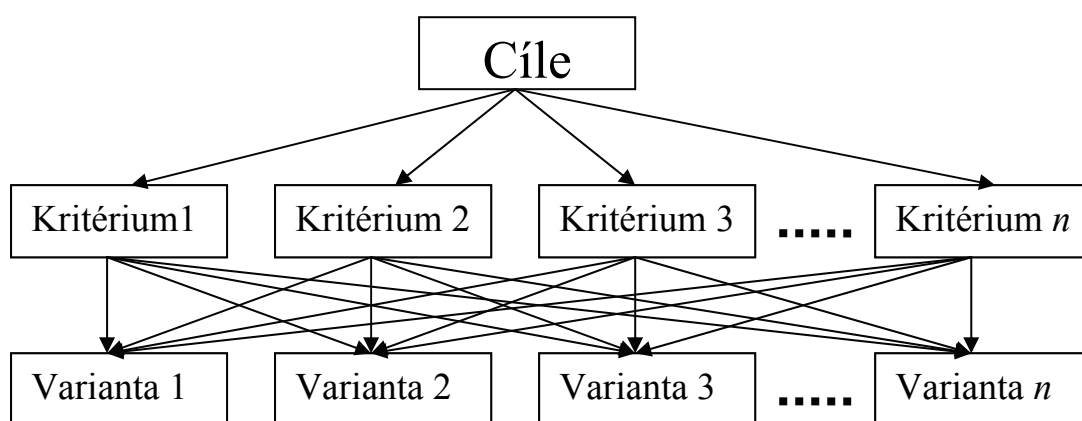
- Neaditivnost kritérií. Obtížnost úloh vícekriteriálního hodnocení nespočívá pouze v počtu kritérií, ale také ve způsobu, jakým jsou kritéria v závislosti na své povaze vyjádřena. Kritéria vyjádřená v různých jednotkách nejsou aditivní. Ani kritéria vyjádřená ve stejných měrných jednotkách nemusí být aditivní.

- Smíšený soubor kritérií. Poměrně častou záležitostí je výskyt kritérií kvantitativní povahy (jsou vyjádřena číselně) a zároveň kritérií kvalitativní povahy (důsledky variant vzhledem k těmto kritériím nelze kvantifikovat, ale lze je vyjádřit pouze slovním popisem). Konečným výsledkem celého postupu hodnocení variant může být:

1. Stanovení takové varianty řešení rozhodovacího problému, která nejlépe splňuje cíle řešení tohoto problému, tzn. celkově nejvýhodnější (optimální) varianty.

2. Určení tzv. preferenčního uspořádání variant, tj. jejich seřazení podle celkové výhodnosti, přičemž realizováno může být i několik variant z prvních míst tohoto uspořádání.

Při hodnocení variant z hlediska splnění hlavního a dílčích cílů se vychází ze stanovených kritérií hodnocení – celá struktura je na obrázku 15. Zvolená varianta má být nejlepší z hlediska celého souboru kritérií, proto je nezbytné stanovit dopady jednotlivých variant z hlediska všech kritérií.



Obrázek 15 - Struktura vícekriteriálního hodnocení

Zdroj:[20]

4.3.2 Metody stanovení vah kritérií

V praxi se zřídka vyskytují situace, kdy v souboru hodnocených variant existuje jen jedna varianta, která je nejlepší z hlediska všech kritérií. Zpravidla jsou některé varianty lepší z určitých hledisek a naopak podle jiných kritérií jsou horší než jiné. Tento fakt vyplývá z povahy některých kritérií, kdy je jejich protisměrné působení logické (jedná se o konfliktní kritéria).

Většina metod vícekritériálního hodnocení variant vyžaduje nejprve stanovit váhy jednotlivých kritérií hodnocení. Váhy kritérií (někdy se používá název koeficienty významnosti) jsou číselně vyjádřeným odrazem jejich významnosti, resp. důležitosti sledovaných cílů, které jsou transformovány právě do jednotlivých kritérií. Čím je kritérium významnější, resp. čím je za významnější považováno subjektem odpovědným za rozhodování, tím je jeho váha vyšší. A naopak, méně významným kritériím je přisouzena nižší váha. Pro dosažení srovnatelnosti vah souboru kritérií, které mohou být stanoveny různými metodami, se tyto váhy zpravidla normují tak, aby jejich součet byl roven jedné.

Do této skupiny patří metody s označením „bodová stupnice“ a „porovnání kritérií pomocí jejich preferenčního pořadí“. Tyto metody se vyznačují tím, že dochází ke stanovení vah jednotlivých kritérií (na základě jejich důležitosti) přímo.

(1) Bodová stupnice

Postup stanovení vah kritérií touto metodou spočívá v přiřazení určitého počtu bodů ze zvolené stupnice každému kritériu, a to v souladu s tím, jak subjekt odpovědný za hodnocení hodnotí význam každého kritéria.

Volba bodové stupnice závisí na diferenci významnosti jednotlivých kritérií a je vhodné se zamyslet ještě před jejím stanovením nad vztahem nejméně a nejvíce významného kritéria, neboť ta budou určovat její rozpětí. Příkladem stupnice s nižší rozlišovací schopností může být pětibodová stupnice (1, 2, 3, 4, 5), s vyšší rozlišovací schopností devítibodová stupnice (1, 2, . . . , 9). Čím považuje posuzovatel kritérium za významnější, tím větší počet bodů mu přiřadí. Po přiřazení bodů jednotlivým kritériím je na závěr provedeno normování, jehož výsledkem jsou váhy kritérií.

Na podobném principu jako bodová stupnice je založena metoda alokace 100 bodů. Základem této metody je ta skutečnost, že rozhodující subjekt má k dispozici 100 bodů a jeho úkolem je tyto body rozdělit mezi jednotlivá kritéria v souladu s jejich významností. Váha kritéria je pak určena počtem přidělených bodů, přičemž hodnotitel musí v průběhu hodnocení dbát na to, aby přesně vyčerpal 100 bodů, které má k dispozici. Vzhledem k této

skutečnosti lze tuto metodu pokládat za obtížnější než je klasická bodová stupnice, a to zejména při větším počtu kritérií.

(2) Porovnání významu kritérií pomocí jejich preferenčního pořadí

Stanovení vah metodou preferenčního pořadí lze rozdělit do následujících tří kroků:

1. stanovení preferenčního uspořádání, tj. pořadí významnosti kritérií,
2. určení vah kritérií porovnáním významu kritérií s kritériem nejméně významným (posledním v preferenčním pořadí),
3. normování vah.

Pořadí významnosti kritérií lze stanovit dvěma způsoby: přímým, nebo etapovým uspořádáním. Při přímém uspořádání určuje rozhodovací subjekt přímo pořadí významnosti kritérií od nejvýznamnějšího až k nejméně významnému kritériu.

I když je přímé uspořádání principiálně velmi jednoduché, je jeho využití v případě rozsáhlejšího souboru kritérií pro rozhodovací subjekt značně náročné. Při stanovení pořadí kritérií je totiž nutné současně posuzovat význam všech kritérií z daného souboru.

Tuto náročnost stanovení preferenčního pořadí rozsáhlých souboru kritérií značně snižuje etapové uspořádání. V tomto případě se pořadí kritérií stanovuje v několika etapách, a to v závislosti na počtu kritérií. V každé etapě se určuje nejvýznamnější a nejméně významné kritérium. Tato kritéria se před další etapou ze souboru kritérií vypustí a postup se opakuje s redukovaným počtem kritérií.

Ve fázi určení vah kritérií se postupuje tak, že se nejméně významnému kritériu přiřadí váha 1 a rozhodovací subjekt určí, kolikrát je předposlední kritérium preferenčního pořadí významnější než toto poslední kritérium. Dále se stejný postup opakuje se třetím kritériem od konce a až v posledním kroku dojde k určení kolikrát je první kritérium významnější než kritérium poslední (z hlediska důležitosti). Výsledkem tohoto postupu jsou nenormované váhy - koeficienty důležitosti. Posledním krokem je tedy normování, které zabezpečí hodnoty vah v intervalu $\langle 0,1 \rangle$.

(3) Metody stanovení vah kritérií založené na párovém srovnání

Pro metody stanovení vah kritérií založené na párovém srovnávání je charakteristické zjišťování preferenčních vztahů dvojic kritérií. Do této skupiny metod patří:

- A. metoda párového srovnávání (Fullerova metoda),
- B. Saatyho metoda.

A. Metoda párového srovnání (Fullerova metoda)

V základní verzi Fullerovy metody [20] se pro každé kritérium zjišťuje počet jeho párových preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. Rozhodovací subjekt u každé dvojice kritérií určuje, zda preferuje kritérium uvedené v řádku před kritériem uvedeným ve sloupci. Jestliže ano, příslušné kritérium zakroužkuje, případně označí jiným způsobem. Přípustné je také zakroužkování obou kritérií v případě jejich rovnosti. V takovém případě je daným kritériím započteno do počtu preferencí 0,5 bodu. Po vytvoření schématu jednotlivých dvojic kritérií vzniká trojúhelník, který se někdy uvádí pod názvem *Fullerův trojúhelník*.

Pro každé kritérium i dále stačí vyhodnotit počet jeho preferencí f_i , který je roven součtu jeho označení v trojúhelníku. Na základě počtu preferencí jednotlivých kritérií se jejich normované váhy určí podle vztahu (18), kde w_i je normovaná váha i -tého kritéria, f_i je počet preferencí i -tého kritéria a n je počet kritérií:

$$w_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (18)$$

Počet uskutečněných srovnání je dán výrazem (19):

$$\sum_{i=1}^n f_i = \frac{n \cdot (n-1)}{2} \quad (19)$$

Postup výpočtu vah kritérií dokumentuje následující příklad, kde uvažujeme čtyři kritéria K_1, \dots, K_4 :

$$\begin{array}{ccc}
 \textcircled{K_1} & K_1 & \textcircled{K_1} \\
 K_2 & \textcircled{K_3} & K_4 \\
 \hline
 & \textcircled{K_2} & \textcircled{K_2} \\
 & K_3 & K_4 \\
 \hline
 & & K_3 \\
 & & \textcircled{K_4}
 \end{array} \quad (20)$$

Pro uvedený příklad ze vzorce (20) vychází tyto hodnoty preferencí: $f_1 = 2, f_2 = 2, f_3 = 1, f_4 = 1, \sum_{i=1}^4 f_i = 6$. Po dosazení do vzorce (18) lze získat tyto hodnoty vah kritérií: $w_1 = 0,33; w_2 = 0,33; w_3 = 0,16; w_4 = 0,16$.

Určitou nevýhodou stanovení vah kritérií základní verzí metody párového srovnání podle vztahu (18) je případ výskytu nulového počtu preferencí určitého kritéria. V tomto případě bude nulová i jeho váha a to i v případě, kdy se nejedná o bezvýznamné kritérium (pokud by bylo bezvýznamné, nemuselo by se v seznamu kritérií vyskytovat). Z tohoto důvodu se uplatňuje pro stanovení vah kritérií jiný vztah, který spočívá ve zvýšení počtu

preferencí u každého kritéria o jednu. Tím tedy dochází k modifikaci uvedeného vztahu (18) na vztah (21), kde n vyjadřuje počet kritérií:

$$w_i = \frac{f_i + 1}{n + \sum_{i=1}^n f_i} \quad (21)$$

4.4 Přehled simulátorů pro železniční provoz

Pro oblast simulace železničního provozu existuje řada simulačních nástrojů. Jednotlivé softwarové produkty jsou svým charakterem a účelem použití odlišné. Cílem této podkapitoly není uvést úplný přehled dostupných simulačních nástrojů, ale poukázat na nejpoužívanější softwarové produkty a možnosti jejich použití při plánování DP a DI.

4.4.1 Villon

Villon [22] je univerzální nástroj pro detailní simulaci technologických procesů v dopravních a logistických uzlech. Umožňuje vytvořit model existujícího nebo navrhovaného systému seřaďovacích stanic, osobních železničních stanic, podnikových vleček, kontejnerových terminálů apod. Nástroj také umožňuje návrh, ověření a případnou optimalizaci technologických procesů. V průběhu simulace nástroj poskytuje animaci pohybu dopravních prostředků.

Villon sám však neposkytuje automaticky optimální řešení komplexních problémů. Představuje experimentální prostředí, ve kterém je možné zkoumat důsledky realizace různých variant konfigurace DI, technologických procesů, řídicího podsystému modelovaného uzlu apod. Villon poskytuje uživateli sadu nástrojů na statistické vyhodnocení dat uložených v protokolu, nabízí možnost tvorby grafických plánů činnosti zdrojů, obsazenosti DI apod.

Práci s nástrojem Villon je možné rozdělit na tyto základní etapy:

- Sběr, zpracování a analýza dat o železniční stanici.
- Výstavba modelu infrastruktury.
- Výstavba dynamického modelu provozu, který odráží provozní charakteristiky daného typu uzlu.
- Provádění experimentu se simulačním modelem, kdy lze měnit jednotlivá vstupní data (charakterizující infrastrukturu, různé varianty grafikonu vlakové dopravy, intenzity vstupních proudů do modelu, technologické procesy, řídicí strategie apod.).
- Analýza výsledků experimentů, které SM produkuje.

4.4.2 RASIM

RASIM [23] je nástroj pro analýzu a plánování provozních scénářů a infrastruktury, zejména pro obvody, kde dochází k posunu a třídění vlaků nákladní dopravy. Prověření různých alternativ provozu se týká zejména dostupnosti a počtu zdrojů obsluhy, tedy posunovacích lokomotiv, zaměstnanců a infrastruktury. Simulační systém RASIM umožňuje vizualizaci, analýzu a optimalizaci provozu v rámci obvodu, kde dochází k posunu. Výstupem může být analýza a animace provozu, využití kolejí, informace o provozu, případně i provozní náklady. Při porovnání s Villonem se jedná o produkt, který nenabízí možnost vytvoření tak detailní simulační studie, infrastruktura není v měřítku apod.

4.4.3 Railsys

Railsys [24] je nástroj pro analýzu, plánování a optimalizaci dopravních procesů a zařízení zkoumané dopravní sítě. Dopravní procesy jsou v průběhu výpočtu zobrazovány na monitoru počítače a v rámci tohoto nástroje je možné zkoumání jak celého systému, tak i lokálních procesů. Railsys umožňuje účinné využití díky této posloupnosti kroků:

- zpracování provozních dat,
- zpracování plánu,
- zobrazení okamžitých a konečných výsledku.

Railsys je nástroj pro iterativní plánovací proces, přičemž umožňuje zobrazení provozních dat, okamžitých a konečných výsledků, ověření pravděpodobných scénářů a na základě dosažených výsledků aktualizaci (úpravu) specifikací nebo provozních dat. Railsys je vhodný zejména pro konstrukci, modelování a ověřování jízdních řádů, výpočet jízdních dob, plánování kapacity, plánování infrastruktury a určení strategie v případě zpoždění a jiných odchylek v provozu.

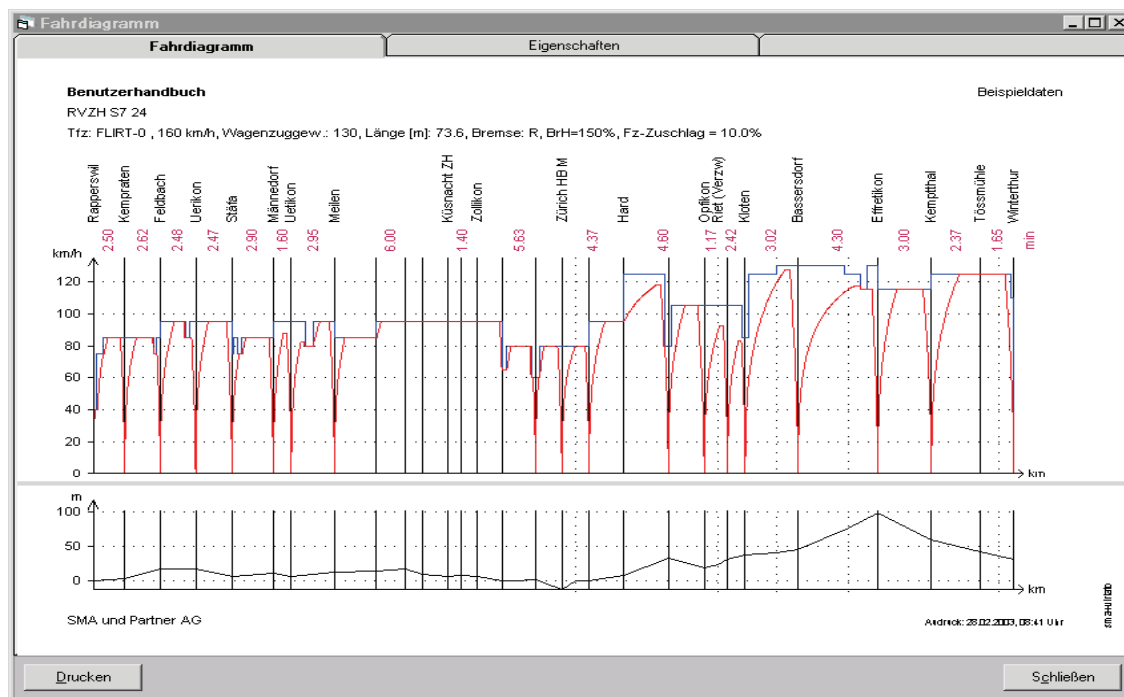
4.4.4 OpenTrack

OpenTrack [25] je simulačním nástrojem, který je využíván pro:

- určování kapacity železniční infrastruktury (železničních tratí i železničních stanic),
- testování navrhovaných JŘ,
- ověření nasazení různých typů zabezpečovacího zařízení,
- výpočet energetické náročnosti jízdy vlaku.

Tento simulační nástroj, z hlediska samotné jeho koncepce, neumožňuje vytvoření tak detailního simulačního modelu osobní železniční stanice jako simulační nástroj Villon.

Naopak je velmi vhodným simulačním nástrojem pro ověřování interakce DI a DP na zkoumané části dopravní sítě.



Obrázek 16 - Výstupní charakteristiky jízdy vlaku v OpenTracku

Zdroj:[25]

4.4.5 Viriato

Softwarový produkt Viriato je švýcarského původu, ačkoli část programu byla vyvinuta v Portugalsku – odtud pochází i samotný název Viriato.

Viriato je simulační softwarový nástroj sloužící pro plánování provozních stavů a technologických situací na železniční síti (regionální doprava, dálková doprava, nákladní doprava) zejména pak pro síťovou technologii. Zároveň slouží k optimalizaci DP na stávající nebo plánované DI.

Simulační program Viriato je předurčen pro tvorbu zejména systematických jízdních řádů (taktových, intervalových). Jejich nesporná výhoda z hlediska technologického a přepravního je zde navíc umocněna zjednodušením při tvorbě simulačního modelu. Při řešení provozně-technologických situací na síti je možné se zabývat pouze jednou (špičkovou) periodou. Při definici stavu v této periodě jsou jednoduchým zkopírováním definovány vztahy v periodách ostatních (polohy vlaků, provozní intervaly, JD, pobyty atd.). První definovaná perioda je brána jako perioda tzv. „mateřská“. V případě potřeby je samozřejmě umožněno provádět editaci každého jednotlivého vlaku zvlášť, nezávisle na ostatních periodách a vkládat vlaky i mimo periodu. Analogicky toto platí i pro nákladní dopravu.

Vstupy:

Prvním předpokladem pro vytvoření nového modelu v programu Viriato je definice DI (železniční sítě) – dopravní a jiná dopravně významná místa (stanice, odbočky, výhybny, zastávky apod.) a širá trať. DI je nadefinována kilometrickými polohami jednotlivých prvků, jejich typem (staniční kolej, traťová kolej, výhybka, návěstidlo, nástupiště, tunel apod.) a jejich vlastnostmi (délka, sklon, poloměr oblouku, rychlost poježdění v obou směrech atd.).

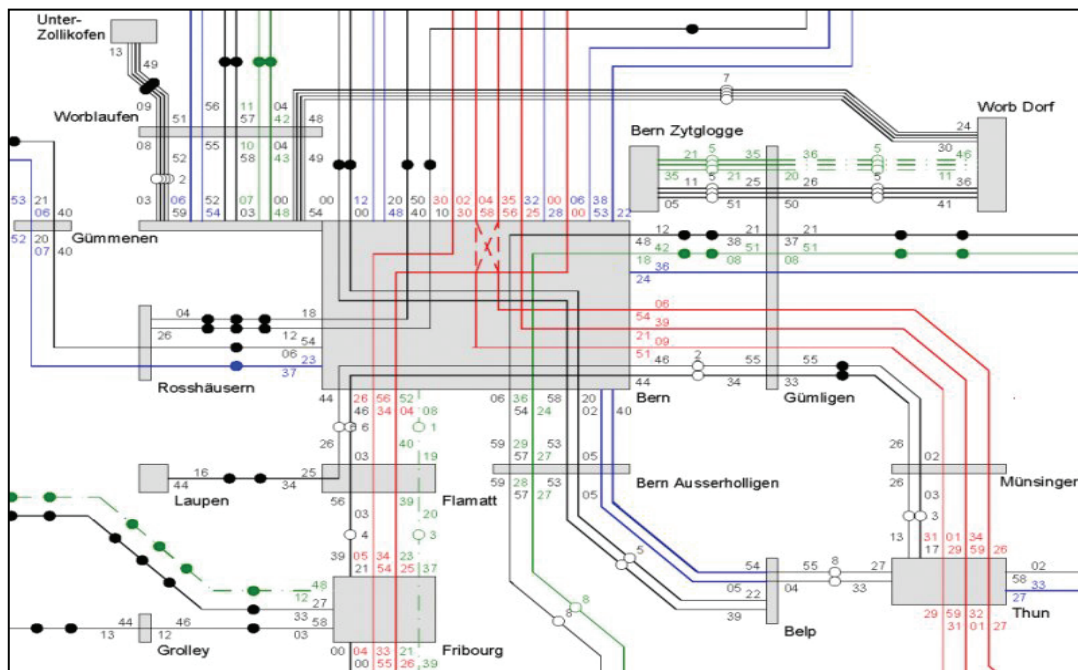
Druhým vstupním požadavkem je definice vozidel, z nich vytvořených vlaků, tras a jízdního řádu. Vlaky jsou definovány s následujícími parametry:

- Druh vlaku,
- číslo vlaku,
- číslo linky,
- perioda JŘ,
- četnost výskytu stejného typu vlaku za 24 hodin,
- provozní dny,
- jízdní trasa (posloupnost dopravně významných míst),
- JD – předem definované nebo vypočtené simulací,
- doby pobytu,
- čas odjezdu prvního vlaku z výchozí stanice.

Výstupy:

Výstupy ze simulace jsou následující:

- Nákrešný JŘ,
- síťový graf nebo JŘ,
- mapa sítě s popisem linek,
- uživatelem definované JŘ (tabelární, knižní, staniční apod.),
- grafické charakteristiky vlaků (graf závislosti rychlosti na vzdálenosti nebo čase),
- grafické charakteristiky infrastruktury (obsazení kolejí apod.).



Obrázek 17 - Příklad síťového jízdního řádu vytvořeného ve Viriatu

Zdroj: [21]

4.4.6 SimuT

Vývojem simulačního modelu SimuT v programu Excel se zabývá na SŽDC, Odbor řízení a provozu. Jmenovitě se jedná o kolektiv autorů okolo Ing. Pavla Krýžeho, Ph. D. a Ing. Reného Amchy, kteří mi tento simulační program pro studijní účely poskytli, za což jim velmi děkuji. Název programu SimuT je zkratkou pro **Simulování Trať**. Primárně je tento program určen pro ověřování nových provozních konceptů (výhledových JŘ) v závislosti na DI. Počítačová simulace SimuT je výhodná pro své široké uplatnění a použití prakticky na všech PC. Simulační program je tvořen na excelovském základu za použití programovacího jazyka Visual Basic. Vstupní data pro simulační program SimuT jsou:

1. vytvoření vlastní DI,
2. zadání zkoumaného rozsahu DP,
3. simulace variantních řešení definovaného provozu.

Ad 1 - Vytvoření vlastní DI:

Zadávání DI je velmi jednoduché. Zadávání dopravních bodů se provede v kartě „body“ pomocí zkratk dopravních bodů, které si definuje sám uživatel. Ten potom vystačí s použitím nákrešného JŘ. Počty dopravních kolejí, délky mezistaničních úseků, polohy nástupišť, zadávání dvou a více kolejných úseků,....se vyplňují v kartách „STK“ (staniční dopravní koleje), „DU“ (dopravní úseky) a „TK“ (traťové koleje). Důležitou kapitolou při

zadání DI jsou provozní intervaly (PIK, PIVO, PIOV,...) v dopravních bodech. Jde o vyplnění karty „doby“ provozními intervaly, tak jako v technologických přehledech a staničních řádech stanic.

Ad 2 - Zadání zkoumaného DP:

Vstupní data o rozsahu DP jsou čerpána z nákresného JŘ příslušné tratě či tratí. Údaje o vlacích a trasách vlaků je možné zadat ručně nebo pomocí výměnných souborů KANGO - GVD. U ručního zadávání se opět vystačí s nákresným JŘ. U rozsáhlejších souborů je možné tuto činnost zautomatizovat pomocí výměnných souborů IS. Výhodou simulačního programu SimuT je, že nevyžaduje žádný vozidlový ani lokomotivní park a nepoužívá žádnou trakční charakteristiku, což program uživatelsky usnadňuje. Dynamičnost programu je zajištěna pomocí převzatých JD z programu Dynamika 3.0, který používá např. modul KANGO nebo i OpenTrack. Zde je garance 4% provozní zálohy JD. Uživatel si může nastavit libovolné krácení JD v rozmezích od 1% do 4%. Slabinou se tedy může zdát obtížnější zjišťování JD při různých variantách rozsahu DP u nových vozidel, které nelze simulačním programem zjistit.

Ad 3 - Simulace variantních řešení definovaného provozu:

Po zadání všech vstupních údajů je možno přikročit k simulaci zkoumaného DP. Simulační nástroje, které uživateli program nabízí jsou:

- vypnutí/zapnutí generování náhodných vstupních zpoždění,
- volba počtu simulací,
- možnost volby výpočetní doby (implicitně 1440 min),
- možnost grafického zobrazení (staniční koleje, časové kóty, zpoždění),
- vypnutí/zapnutí řešení konfliktů staničních kolejí,
- možnost volby výhledu simulace v min,
- možnost volby redukce počtu řešených větví,
- vypnutí/zapnutí povolení jízdy nákladních vlaků s náskokem.

Program SimuT obsahuje i kartu „druhy“, kde je možnost volit dynamické chování jednotlivých druhů vlaků. Implicitně se vychází z hodnot používaných u železniční správy DB. Karta „oběhy“ umožňuje uživateli uspořádat do logických celků oběhové záležitosti (lokomotivní, vozové a personální). SM na kartě „obsazení“ skrývá i analytické řešení

propustnosti mezistaničních úseků, dle směrnice [1]. Je možné tedy posuzovat závěry simulační a analytické zároveň. Výstupem simulačního programu je K_S a ΔZ_p , tak jak je popsán v kapitole 3.1. Dalším produktem je na základě zjištěných JD a předpokládaného rozsahu DP sestavení listu nákrešného JŘ.

Za zmínku stojí, že žádný z výše uvedených programů neumí stanovovat provozní intervaly a následná mezidobí. Proto při zadávání dat DI do programu je nutné vložit provozní intervaly ručně. Tato zadávaná data patří do jedné společné skupiny dat spolu s daty o DI.

4.5 Postupy a užitá metodika

Hlavní metodou, kterou disertační práce používá je modelování a simulace. Pro účely zkoumání vzájemných závislostí mezi DI a rozsahem DP se používá zjednodušené simulace pomocí Excelu, viz. podkapitola 4.4.6.

Na základě sestavených JŘ s určitým rozsahem DP a stanovenou DI je možno přistoupit k ověření funkčnosti modelu (jeho kalibrace). Po provedení simulace reálného (současného) DP je třeba přistoupit k analýze a syntéze správnosti chování simulačního modelu případně k jeho opravě a poté znovu provést simulaci příslušného simulačního běhu programu. Tyto činnosti je možné ukončit až v okamžiku schválení (validace) modelu, tzn., že model vykazuje správnou funkci.

Po schválení vhodnosti modelového řešení jsou do modelu vkládány resp. odebírány postupně další počty tras vlaků tak, jak to odpovídá reálnému DP. Model respektuje obecné zákonitosti a místní specifika jednotlivých traťových úseků pomocí simulačního kroku k . Další prvek, který je analyzován, je DI, a to na základě výstupu simulace, která sleduje obecně známé ukazatele propustnosti [1], tak i ukazatele K_S a ΔZ_p (9) až (17). Tyto ukazatele jsou trvale udržovány ve vymezených intervalech. Jakmile jejich hodnota přesáhne stanovenou mez, je na základě vícekritériálního rozhodování rozhodnuto, jak se upraví rozsah DP v simulačním modelu.

Po znovu zadané a upravené DI podle kapacitního zvýšení/snížení opět následuje další simulační proces. Celý tento proces je opakován tak dlouho, až je možné dosažených výsledků vhodně aproximovat regresní analýzou. Doktorandovi je známo, že není v silách jednotlivce dosáhnout plně spojitě regresní funkce ve všech možných variantách, ale pouze částečně spojitě regresní funkce. Možnosti větvení sledovaných proměnných DI a DP jsou téměř bezmezná.

Výsledky modelování jsou přehledně seřazeny do výsledné tabulky jak podle intenzit DP, tak podle stupně kapacity DI. V neposlední řadě jsou analyzovány vztahy mezi DI a DP pomocí ukazatelů K_s a ΔZ_p . Tento materiál by pak mohl sloužit k dalšímu zpracování manažerovi DI, který jako jediný může v této věci učinit příslušná rozhodnutí.

4.5.1 Navrhovaný algoritmus řešení simulace vztahu dopravního provozu a dopravní infrastruktury

Obecně: (viz obrázek 18)

1. Vložení všech dat o DI a DP z JŘ do simulačního programu.
2. Stanovení mezí intervalu K_s nebo ΔZ_p .
3. Provedení vstupní simulace, jejímž výsledkem je K_s . Na základě výsledku K_s a analytických metod určování propustnosti se zjistí na omezujícím úseku při současné DI, zda je či není DI s DP v rovnováze.
4. Pokud v kroku 3 nastal rozpor mezi DI a DP, provede se buď dosycení DP nebo redukce DP, tak aby se dosáhlo stanoveného rovnovážného stavu (viz. kapitola 4.5.2). Potom lze tento stav prohlásit za ROVNOVÁŽNÝ.
5. Zde se simulace dělí na redukci DP a sycení DP.
6. Volba kroku. Krok značí počet přidávaných resp. redukovaných tras (viz. kapitola 4.5.3).
7. Přidá se resp. redukuje se rozsah DP o simulační krok k .
8. Určí se počet tras, se kterými model počítá.
9. V dalším bodě se provede simulace, jejímž výstupem je ukazatel K_s .
10. Na základě zadaných mezí pro interval K_s :
 - a) K_s je ve stanovených mezích - pokračuje se bodem 11.
 - b) K_s je nad horní stanovenou mezí - pokračuje se bodem 13
 - c) K_s je pod spodní stanovenou mezí - pokračuje se bodem 18.
11. Provede se evidence počtu tras a úprava DI (redukce/opatření na zvýšení propustnosti - viz kapitola 4.5.4).
12. V tomto kroku je třeba rozhodnout, zda soubor dosažených výsledků je dostatečně statisticky velký či nikoliv:
 - a) Ano - je konec simulace.

b) Ne – pokračuje se bodem 7.

13. Překročil-li ukazatel K_s stanovenou mez, je nutné provést evidenci počtu průchodů hranou n .

14. Dále je nutné přistoupit k redukci počtu tras o $k/(n+1)$.

15. Rozhodne se, je-li možnost snížit počet tras o $k/(n+1)$ tak, aby to odpovídalo reálnému provozu:

a) Ano – pokračuje se bodem 8.

b) Ne – pokračuje se bodem 16.

16. Je potřebné provést evidenci počtu průchodů hranou b .

17. V tomto kroku je třeba zvýšit redukci počtu tras o $k*(b+1)$. Pokračuje se bodem 8.

18. Je-li K_s pod stanovenou mezí, je nutné provést evidenci počtu průchodů hranou m .

19. Zde je nutné přistoupit k sycení počtu tras o $k/(m+1)$.

20. Rozhodne se, je-li možné zvýšit počet tras o $k/(m+1)$ tak, aby to odpovídalo reálnému provozu:

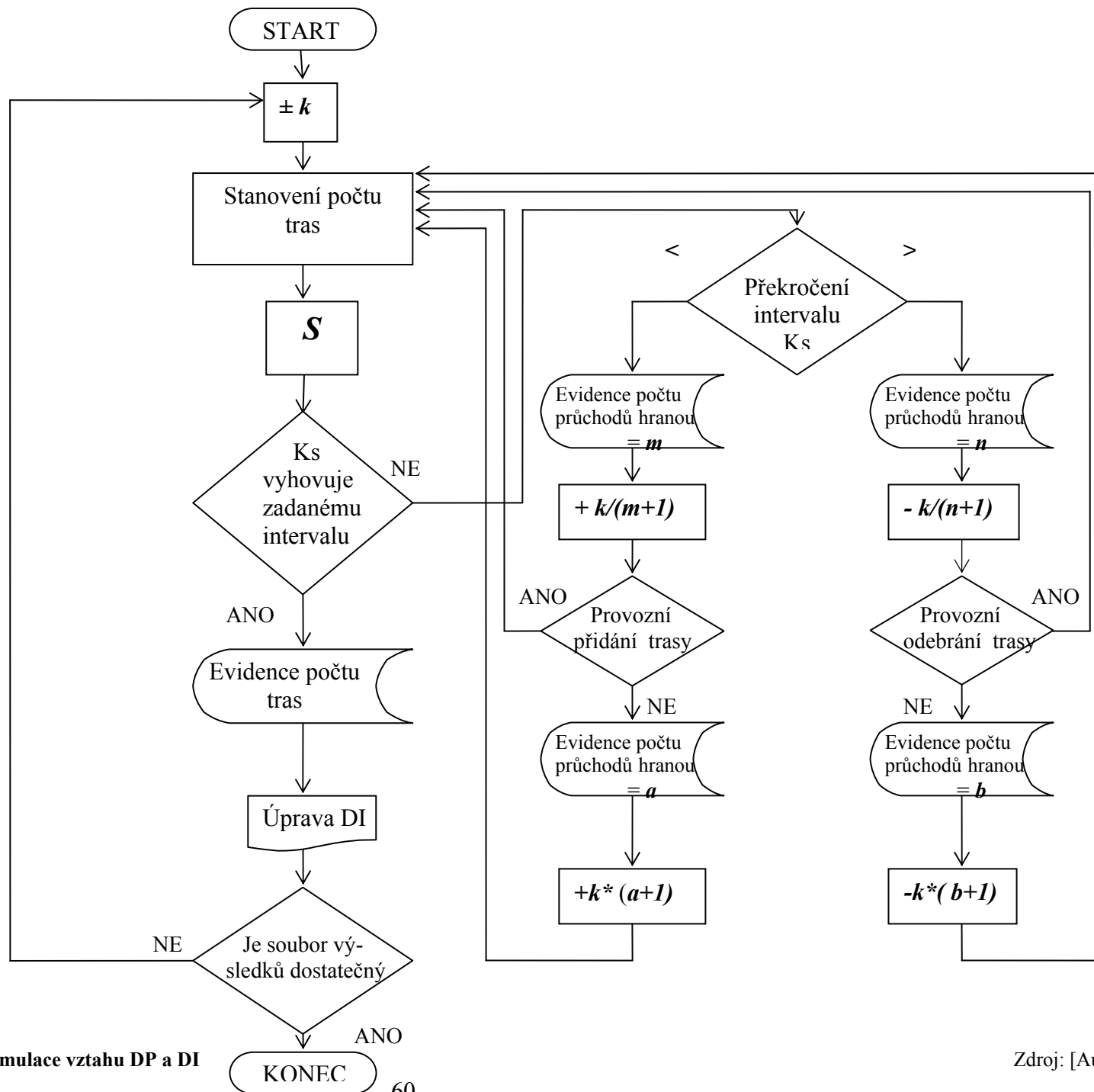
a) Ano - pokračuje se bodem 8.

b) Ne - pokračuje se bodem 21.

21. Je potřebné provést evidenci počtu průchodů hranou a .

22. V tomto kroku je třeba zvýšit sycení počtu tras o $k*(a+1)$. Pokračuje se bodem 8.

- Vstupní podmínky simulace:
- 1.) Nasycená DI/ Redukovaná DI
 - 2.) Stanovený simulační krok k
 - 3.) Stanovení mezí K_S popř. ΔZ_p



Obrázek 18 - Vývojový diagram řešení simulace vztahu DP a DI

Zdroj: [Autor]

Při simulaci, kdy již nelze provozně redukovat DI a $K_s (\Delta Z_p)$ stále vykazuje vysoké hodnoty resp. je nad stanoveným intervalem, je možné $K_s (\Delta Z_p)$ snížit ubráním přírážek k JD. (implicitně nastaveny 3 % k JD). Tím se zvýší i celková stabilita JŘ, včetně K_s nebo ΔZ_p .

4.5.2 Proces nasycení a redukce dopravního provozu na dopravní infrastrukturu

Jde o určení bodu rovnováhy mezi DI a DP. Současný stav DP resp. počet vlaků (tras) v sestaveném JŘ nemusí, a zpravidla ani neodpovídá, skutečně možnému počtu vlakových tras, které je možno na současné DI kvalitně provážet. Tzn., že se musí přistoupit k procesu nasycení DP na DI. Existuje i stav opačný, kdy je DI přetížená velkým rozsahem DP a pak je nutno zredukovat počet vlakových tras. Proces nasycení DP na DI je takový stav na DI, kdy už přidáním jedné další trasy se $K_s (\Delta Z_p)$ dostane mimo stanovenou mez (zadaný interval). Proces redukce DP na DI je takový stav na DI, kdy se musí přistoupit k redukcí počtu tras, tak aby $K_s (\Delta Z_p)$ byl ve stanovených mezích (intervalu). Zda se přistoupí k procesu nasycení nebo zredukování se zjistí pomocí analytických metod známých ze směrnice [1], konkrétně podle ukazatele S_o v omezujícím úseku. Mezní hodnota doporučená podle Kodexu [2] (viz kapitola 1.2.2) je do 0,6. Vše nad tuto stanovenou mez je hodnoceno jako přetížená DI. V simulačním programu SimuT jsou analytické metody již součástí modelu. Do zkoumaného modelu se vloží všechny trasy ze zkoumaného JŘ a v omezujícím úseku se zjistí stupeň obsazení S_o .

Pokud je:

- $S_o < 0,6$ provede se proces dosycení DP,
- $S_o > 0,6$ provede se proces redukce DP.

Proces dosycení DI:

Výchozí stav DP (zadaný rozsah dle JŘ) se zvyšuje o krok k tak dlouho, až přidáním dalšího kroku (počtu tras) se $K_s (\Delta Z_p)$ dostane přes stanovenou mez (interval). Potom se zvyšují o kroky $k/2, k/3, k/4, \dots$, tak dlouho, až přidáním jedné jediné trasy by $K_s (\Delta Z_p)$ překročil přes stanovenou mez (interval). Tento počet tras (DP) je možné označit za přiměřený počet tras vzhledem k vybavenosti DI, jde tedy o rovnovážný stav.

Proces redukce DI:

Výchozí stav počtu DP se redukuje o krok k tak dlouho, až odebráním dalšího kroku (počtu tras) se hodnota $K_s (\Delta Z_p)$ dostane pod stanovenou mez (interval). Potom se redukuje o kroky $k/2, k/3, k/4, \dots$, tak dlouho až odebráním jedné jediné trasy by se $K_s (\Delta Z_p)$ dostal pod

stanovenou mez (interval). Tento počet tras (DP) je možné označit za přiměřený počet tras vzhledem k vybavenosti DI, jde tedy o rovnovážný stav.

4.5.3 Určení kroku k simulace S

Určení simulačního kroku je doporučení, jak přistupovat k volbě budoucího rozsahu DP v nejistotě. Pokud má dopravní technolog k dispozici přesné zadání výhledového JŘ, je určení simulačního kroku zbytečné. Ovšem dnes nikdo není schopný odhadnout výhled dopravy v budoucnu a k tomu je právě určen krok k . Více v kapitole 4.5.1 „Metodický postup řešení simulace vztahu DP a DI“, jehož součástí je i určení simulačního kroku k .

Obecně lze poznamenat, že volba simulačního kroku k je závislá na již sestaveném JŘ, který respektuje dopravní proudy a strukturu daného traťového úseku. Volba velikosti kroku závisí také na tom, s jak velkými celky technolog pracuje, jak podrobné výsledky potřebuje mít k dispozici. Po praktických zkušenostech se doporučuje volba simulačního kroku v rozmezí od 5 % DP až do 20 % DP, vztaženo k současnému rozsahu DP.

Simulační krok musí zohledňovat:

- počet vlaků sudého / lichého směru,
- počet vlaků loženého / prázdného směru,
- poměr osobní / nákladní dopravy,
- druhovou skladbu vlaků (EC, IC, R,, Mn),
- trasování vlaků, které jedou pouze v určité části tratě,
- další specifika daného traťového úseku.

Celkově lze říci, že simulační krok je jakýsi malý model nebo vzorek celkového dopravního rozsahu na zkoumaném traťovém úseku. Jeho volba může příznivě či negativně ovlivnit výsledky zkoumání. Pokud je celý simulační proces dobře nastaven, lze říci že, i nevhodně zvolený krok podá určitý obraz celkového chování zkoumaného DS.

Příklady:

1. Na zkoumané trati je tento rozsah dopravy: 3/3 Ex, 10/10 R, 40/40 Os v celém úseku, 12/13 Os jedoucí pouze A – C, 8/8 Nex, 10/10 Vn, 19/19 Pn, 7/6 Mn. Určete vhodný simulační krok okolo 5 % rozsahu DP.

Řešení:

Celkem je na vybraném traťovém úseku 198 vlaků. Musí se dle zadání stanovit krok na 5% DP, což odpovídá měřítku 1:20. $198 \text{ vlaků} / 20 \text{ vlaky (5\% DP)} = 9,9 \text{ vlaků} \approx 10 \text{ vlaků}$.

Krok bude činit okolo 10 vlaků. Za další je důležité zohlednit druhovou a směrovou skladbu vlaků.

$$6 \text{ Ex}/20 = 0,3 \approx 0 \text{ Ex (0S a 0L)}$$

$$20 \text{ R}/20 = 1 \text{ R (1S a 1L) Doplní se na párově symetrický počet} \approx 2\text{R.}$$

$$80 \text{ Os}/20 = 4 \text{ Os (2S a 2L) jedoucí v celém úseku.}$$

$$25 \text{ Os}/20 = 1,25 \text{ Os} \approx 1 \text{ Os (0S a 1L) jedoucí v úseku A – C.}$$

$$16 \text{ Nex}/20 = 0,8 \approx 0 \text{ Nex (0S a 0L)}$$

$$20 \text{ Vn}/20 = 1 \text{ Vn (1S a 1L) Doplní se na párově symetrický počet} \approx 2\text{Vn.}$$

$$38 \text{ Pn}/20 = 1,9 \approx 2 \text{ Pn (1S a 1L)}$$

$$13 \text{ Mn}/20 = 0,65 \approx 1 \text{ Mn (1S a 0L)}$$

Výsledný simulační krok 5% DP je: 0/0 Ex, 1/1 R, 2/2 Os v celém úseku, 0/1 Os jedoucí z A do C, 0/0 Nex, 1/1 Vn, 1/1 Pn a 1/0 Mn, celkem 12 tras.

2. Na zkoumané trati je tento rozsah dopravy: 3/3 Ex, 10/10 R, 40/40 Os v celém úseku, 12/13 Os jedoucí pouze A – C, 8/8 Nex, 10/10 Vn, 19/19 Pn, 7/6 Mn. Určete vhodný simulační krok okolo 20 % rozsahu DP.

Řešení:

Celkem je na vybraném traťovém úseku 198 vlaků. Má se dle zadání stanovit krok na 20% DP, což odpovídá měřítku 1:5. $198 \text{ vlaků} / 5 \text{ vlaky (20\% DP)} = 39,6 \text{ vlaků} \approx 40 \text{ vlaků}$. Krok bude činit okolo 40 vlaků. Za další je důležité zohlednit druhovou a směrovou skladbu vlaků.

$$6 \text{ Ex}/5 = 1,2 \approx 1 \text{ Ex. Zde je na zvážení buď párově volit 1/1Ex nebo žádný tzn. 0/0 Ex.}$$

$$20 \text{ R}/5 = 4 \text{ R (2S a 2L)}$$

$$80 \text{ Os}/5 = 16 \text{ Os (8S a 8L) jedoucí v celém úseku.}$$

$$25 \text{ Os}/5 = 5 \text{ Os (2S a 3L) jedoucí v úseku A – C.}$$

$$16 \text{ Nex}/5 = 3,2 \approx 4 \text{ Nex (2S a 2L)}$$

$$20 \text{ Vn}/5 = 4 \text{ Vn (2S a 2L)}$$

$$38 \text{ Pn}/5 = 7,6 \approx 8 \text{ Pn (4S a 4L)}$$

$$13 \text{ Mn}/5 = 2,6 \approx 3 \text{ Mn (2S a 1L)}$$

Výsledný simulační krok 20% DP je: 0/0 Ex, 2/2 R, 8/8 Os v celém úseku, 2/3 Os jedoucí z A do C, 2/2 Nex, 2/2 Vn, 2/2 Pn a 2/1 Mn, celkem 44 tras.

4.5.4 Úprava dopravní infrastruktury

Jedná se o fázi, ve které se řešitel rozhoduje, jak se bude postupovat při úpravě DI. Jde o soubor doporučených opatření pro vícekritériální rozhodování, kterými lze dosáhnout snížení resp. zvýšení kapacity DI. Doktorand primárně neřeší organizaci dopravy. Vychází z předpokladu, že osobní doprava je vedena v periodických polohách a u nákladní dopravy se minimalizuje čas přepravy.

V tabulkách jsou seřazena jen některá možná opatření tak, aby odpovídala stavebně-logické posloupnosti úkonů na DI. Dále uspořádání ctí právní a předpisový rámec pro DI. Nelze tedy aplikovat např. bod 8 bez předchozí aplikace bodu 2 apod. Nejsou zde všechna možná opatření na DI pro jejich velmi velké množství variant. Aplikování příslušných opatření je možné buď v omezujícím mezistaničním úseku (včetně obou krajních dopraven) nebo na celém zkoumaném traťovém úseku. Pro vyhledání omezujícího mezistaničního úseku se využijí analytické metody zjišťování propustnosti [1]. Na zjištěném omezujícím mezistaničním úseku se sleduje S_o (Kodex [2] je do 0,6; Směrnice[1] do $0,66^2$). Při snižování kapacity DI se aplikuje opatření tam, kde je S_o nejnižší. Naopak při zvyšování kapacity DI se aplikuje opatření tam, kde je S_o nejvyšší.

Úprava DI podle finanční náročnosti se dělí na:

- zvyšování kapacity DI,
- snižování kapacity DI.

Zvyšování kapacity DI:

1. Organizační opatření (1 → 2 výpravčí, automatizovaná volnost koleje/konce vlaků,...)
2. Převod organizování drážní dopravy podle předpisu SŽDC (ČD) D3 → D2.
3. Zvýšení kategorie SZZ.
4. Zvýšení kategorie TZZ (telefonický způsob → automatické hradlo, automatické hradlo → autoblok, autoblok → proměnný autoblok (balízy, ETB apod.).
5. Budování úsekového řízení až po DOZ.
6. Zvyšování počtu staničních kolejí.
7. Zvyšování počtu traťových kolejí.
8. Zvyšování počtu dopraven vhodných ke křižování, předjíždění a čekání vlaků.

² Autor disertační práce se přiklání k hodnotě dané vyhláškou UIC 406 [2], tzn., S_o do 0,6.

Tabulka 5 – Opatření na DI pro zvýšení kapacity DI

Pořadí	Popis opatření na DI	Kapacitní zvýšení [%]	Váha kritéria wi [-]
1.	Organizační opatření	do 4	2
2.	Převod organizování podle předpisu SŽDC (ČD) D3 na D2	do 8	3
3.	Zvýšení kategorie SZZ	do 10	3,5
4.	Zvýšení kategorie TZZ	do 20	7,5
5.	Úsekové řízení až po DOZ	do 25	9
6.	Zvyšování počtu staničních kolejí	do 40	14
7.	Zvyšování počtu traťových kolejí	do 70	25
8.	Zvyšování počtu dopraven	do 100	36
		xxx	Σ 100

Zdroj: [Autor]

Snižování kapacity DI:

1. Organizační opatření (2 výpravčí → 1 výpravčí, snižování počtu obsluhujících zaměstnanců pro zajištění chodu železničního provozu.)
2. Snižování počtu traťových kolejí.
3. Snižování počtu staničních kolejí.
4. Snižování kategorie TZZ.
5. Snižování kategorie SZZ.
6. Snižování počtu dopraven.
7. Převod organizování drážní dopravy podle předpisu SŽDC (ČD) D2 → D3, včetně aplikace samovratných přestavníků).
8. Provoz podle SŽDC (ČD) D3 bez dirigování.
9. Zastavení provozu.

Uvedené hodnoty kapacitního zvýšení, resp. snížení jsou orientační, vždy záleží na aktuální situaci příslušného traťového úseku. Některé body je možné i vynechat zejména v případech, kdy jsou již realizovány nebo v případech, kdy jejich realizace by znamenala krok zpět.

Váhy kritérií jsou stanoveny metodou párového srovnávání (Fullerovou metodou) [20] a jsou vztaženy na aplikaci konkrétního kapacitního opatření. Při aplikaci konkrétního opatření na DI dochází ke změně kapacity maximálně do úrovně stanovené meze. Při aplikování více opatření najednou dochází k synergickému efektu, který zrychlí resp.

zpomalí jednotlivé účinky příslušných opatření. Účinky jednotlivých opatření však nelze sčítat.

Tabulka 6 – Opatření na DI na snížení kapacity DI

Pořadí	Popis opatření na DI	Kapacitní snížení [%]	Váha kritéria wi [-]
1.	Organizační opatření	do 4	1,5
2.	Snížení počtu traťových kolejí	do 70	27,5
3.	Snížení počtu staničních kolejí	do 40	15,5
4.	Snížení kategorie TZZ	do 20	7,5
5.	Snížení kategorie SZZ	do 10	4
6.	Snížení počtu dopraven	do 100	38
7.	Převod organizování podle předpisu SŽDC (ČD) D2 na D3	do 10	4
8.	Organizování podle předpisu SŽDC (ČD) D3 „bez dirigování“	do 5	2
		xxx	Σ 100

Zdroj: [Autor]

5 Výsledky navrženého řešení

5.1 Vstupní analýza vybraného traťového úseku

Doktorand pro ověření správnosti navrhovaných postupů a metod vybral trať *Klatovy - Železná Ruda-Alžbětín*. Jde o trať jemu dobře známou a v neposlední řadě má k dispozici i veškerá data o DI a rozsahu DP.

Jedná se o část tratě označované v knižním JŘ číslem 183 Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín s celkovou délkou 49 km. Trať je jednokolejná, neelektrifikována s regionální a dálkovou dopravou, včetně dopravy nákladní. Organizování drážní dopravy je částečně podle předpisu SŽDC (ČD) D2 a částečně D3. Na zkoumaném úseku leží 6 dopraven. ŽST Janovice nad Úhlavou je zároveň odbočnou stanicí pro trať označovanou knižním JŘ číslem 185 Horažďovice předměstí – Domažlice. Jde o stanici po provozní stránce smíšenou se třemi dopravními kolejemi, SZZ je elektromechanické obsluhované jedním výpravčím a dvěma signalisty. Mezi ŽST Klatovy a ŽST Janovice nad Úhlavou je automatické hradlo bez oddílových návěstidel. Další stanicí je ŽST Nýrsko, po provozní stránce stanicí smíšenou. SZZ je I. kategorie bez odjezdových návěstidel, čtyři dopravní koleje a personálně obsluhované jedním výpravčím a jedním výhybkářem. TZZ mezi Janovicemi nad Úhlavou a Nýrskem telefonický způsob dorozumívání. Další dopravnou je ŽST Hamry-Hojsova Stráž. Po provozní stránce jde o stanici smíšenou a přilehlou stanicí k úseku provozovaného podle předpisu SŽDC (ČD) D3. V současné době se ve stanici neprovádí žádné ložné operace. SZZ je ústřední stavědlo se skupinovými návěstidly, třemi dopravními kolejemi a personálně jedním výpravčím a jedním výhybkářem. Mezi ŽST Hamry-Hojsova Stráž a Nýrsko se nachází hláska Zelená Lhota (dříve ŽST) s jedním strážníkem oddílu – hláskařem. Další dopravnou na zkoumaném úseku je Špičák. Po provozní stránce jde o osobní stanici s velkým regionálním významem a přepravním potenciálem (výstupní místo do lyžařských center Šumavy). SZZ je v dopravně I. kategorie a sice samovratné přestavníky, dvě dopravní koleje, personální obsazení žádné. Telefonický způsob dorozumívání popř. pomocí TRS je na celém úseku Hamry-Hojsova Stráž – Železná Ruda-Alžbětín. Další dopravnou na trati ve směru ke státním hranicím je Železná Ruda-město. Je ve funkci zastávky a dopravy D3 zároveň. Po provozní stránce je stanicí čistě osobní s velkým přepravním potenciálem mířícím do rekreačních míst Šumavy. Jde o dopravnou s jednou dopravní kolejí, personální obsazení žádné, SZZ žádné. Jako poslední dopravnou na zkoumaném úseku tratě je Železná Ruda-Alžbětín/Bayerisch Eisenstein. Po provozní stránce jde o stanici smíšenou se sídlem

dirigujícího dispečera D3 a zároveň je stanicí přechodovou na železniční síť DB AG. SZZ ESA 11 je zde instalována pro 3 dopravní koleje s personálním obsazením jedním výpravčím a jedním dozorcem výměn. Stanice je infrastrukturně napojena na železniční síť DB AG a státní hranice prochází středem stanice.

5.2 Aplikace řešení na konkrétním a uceleném traťovém úseku

5.2.1 Vstupní simulace

Doktorand dokumentuje chování zkoumaného traťového úseku při fixní DI a variabilním (přizpůsobeném) rozsahu DP. Podle metodiky navržené v kapitole 4.5 – „Postupy a užitá metodika“ je potřebné nejprve provést vstupní simulaci pro zadaný současný stav rozsahu DP versus DI. Do SM SimuT jsou zadány všechny vlakové trasy a příslušné technické vybavení DI. Zcela konkrétně jsou na zkoumaném traťovém úseku Klatovy – Železná Ruda do SM zadána data JŘ 2009/10, tedy celkem 69 tras/24 h.

Počet simulačních běhů (iterací) je určen doktorandem pro všechny simulace disertační práce na hodnotu 365, což odpovídá reálnému počtu dní v kalendářním roce. Hodnota 365 běhů (dní) vychází z předpokladu, že JŘ se mění minimálně jednou ročně. V dalším kroku je potřebné stanovit interval koeficientu K_s nebo případně ΔZ_p . Interval K_s byl stanoven v rozmezí intervalu $\langle 0,9;1 \rangle$ a průměrný přírůstek zpoždění ΔZ_p byl stanoven v rozmezí intervalu $\langle -0,2;0 \rangle$. V další fázi je potřebné stanovit velikost kroku k simulace S podle kapitoly 4.5.3. Velikost kroku je stanovena na 10 % rozsahu DP. Nastavení SM pro účely disertační práce je v příloze 1. Jako další krok je spuštění běhu simulace.

Výsledek vstupní simulace je:

$$\overline{K_s} = 0,97$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,13$$

Tabulka 7 – Ukazatele propustnosti vstupní simulace R - 0.0

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
úsek	kolej	N	T_{obs}	t_{obs}	S_o	
						T=1440
Klatovy	Janovice n. Ú.	1	55	527,5	9,6	0,37
Janovice n. Ú.	Nýrsko	1	36	361,0	10,0	0,25
Nýrsko	Hamry-H. Stráž	1	29	730,3	25,2	0,51
Hamry-H. Stráž	Špičák	1	29	372,5	12,8	0,26
Špičák	Železná Ruda m.	1	41	253,0	6,2	0,18
Železná Ruda m.	Železná Ruda-A.	1	41	317,5	7,7	0,22

Zdroj: [Autor]

Závěr ze vstupní simulace je ten, že není potřebné rozsah DP redukovat ani dosycovat. Na základě provedené vstupní simulace je možné závislost DI a rozsahu DP na sledovaném traťovém úseku prohlásit za ROVNOVÁŽNÝ STAV. V následujícím textu bude používáno zkratk pro označování běhů simulací a simulačních protokolů následujícím způsobem:

$X - Y . Z$

X – nabývá písmen: R – redukce DP nebo S - sycení DP

Y – číselné označení pořadí snižování/zvyšování kapacity DI

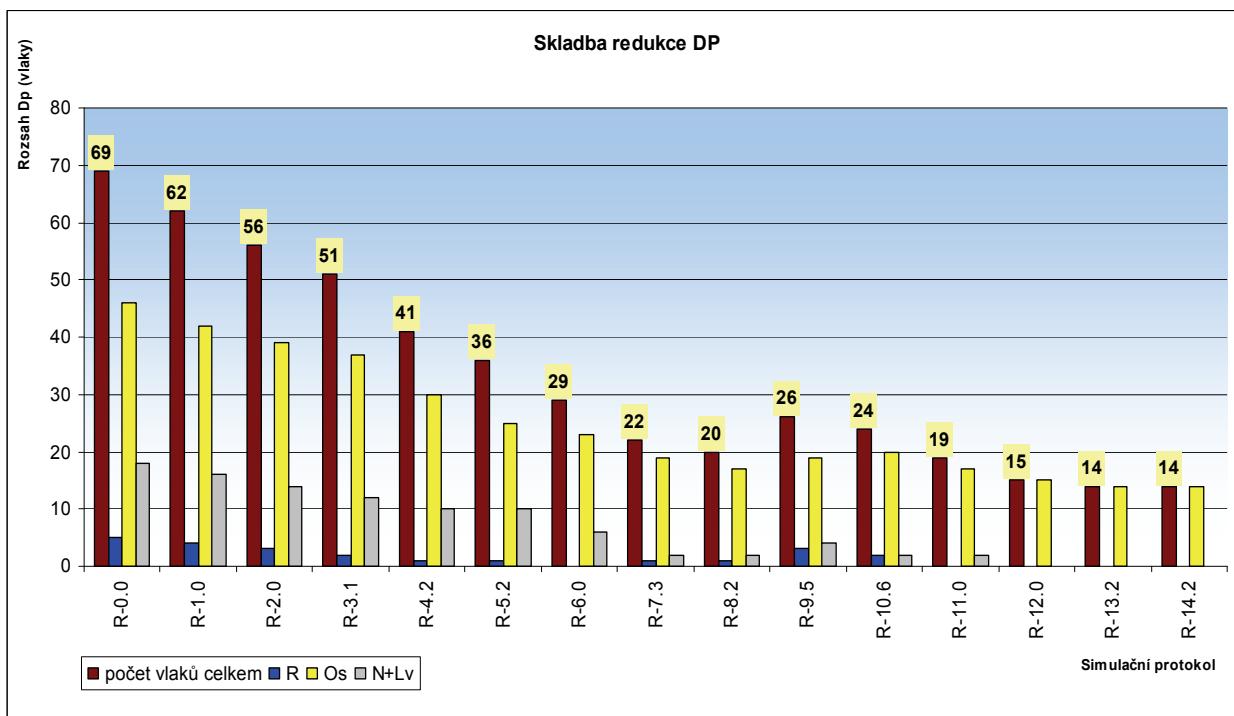
Z – číselné označení verze v rámci předchozího pořadí redukce/sycení DP

Např. R – 6.2 (jde o redukci DP, v pořadí 6 snížení kapacity DI a 2 redukci rozsahu DP).

5.2.2 Redukce rozsahu dopravního provozu

Tato podkapitola se zabývá souhrnnými výsledky zkoumání redukce rozsahu DP na traťovém úseku Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín a její interakcí s DI. V rámci jednoho simulačního běhu se jedná vždy o fixní DI a redukovaný rozsah DP. Rozsah DP se snižuje pomocí simulačního kroku k . Mezi jednotlivými simulačními běhy se pro účely pozorování snižuje kapacita DI podle navrhovaných postupů v kapitole 4.5.4. Každá simulace má 365 iterací, což odpovídá počtu dnů v roce. V příloze 2 lze nalézt podrobný popis redukce rozsahu DP a snižování kapacity DI. Doktorand také přikládá k disertační práci CD s podrobnými výpisy simulačních protokolů.

Souhrnně lze redukci rozsahu DP a jeho skladbu ilustrovat na obrázku 19. Zde je přehledně uspořádána heterogenita (skladba) vlaků. Rozdělení na dálkovou (R), regionální (Os) a nákladní dopravu (N+Lv) je shodné s výstupy simulací. Na obrázku 19 jsou zobrazeny pouze simulační běhy, které vyhověly zadaným omezujícím podmínkám. V tabulce 8 je zachyceno snižování kapacity DI dle jednotlivých simulačních protokolů na zkoumaném úseku.



Obrázek 19 – Skladba redukovaného rozsahu DP

Zdroj: [Autor]

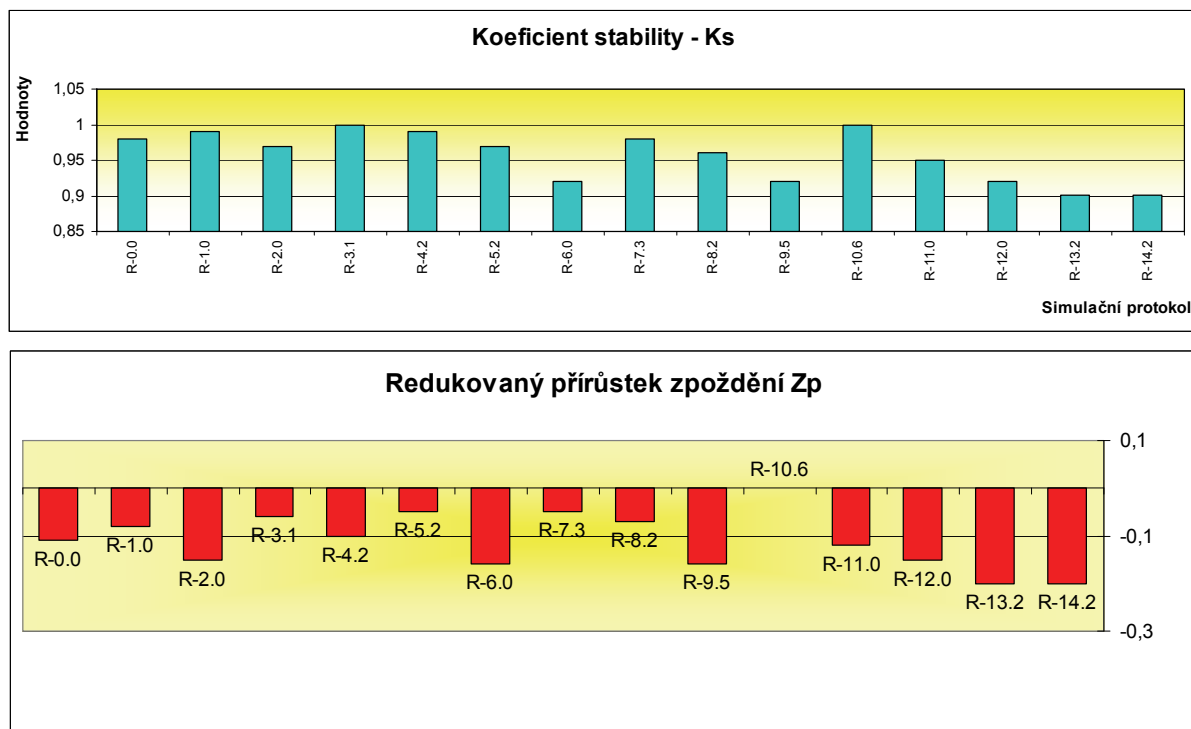
Tabulka 8 – Realizovaná opatření na snížení kapacity DI

Simulační protokol	Opatření na DI
R - 0.0	Zrušena dopravná D3 – Železná Ruda-město
R - 1.0	Zrušena jedna staniční kolej v ŽST Nýrsko
R - 2.0	Změna SZZ a organizace práce v ŽST Janovice nad Úhlavou
R - 3.1	Zrušena jedna staniční kolej v ŽST Hamry-Hojsova Stráž
R - 4.2	Zrušena jedna staniční kolej v ŽST Nýrsko
R - 5.2	Změna zabezpečení výhybek v dopravně Špičák
R - 6.0	Dopravná Špičák slouží jen k řízení sledu vlaků – nelze křížovat
R - 7.3	Zrušena jedna staniční kolej v ŽST Janovice nad Úhlavou
R - 8.2	Převedení ŽST Janovice nad Úhlavou na Odbočku na širé trati
R - 9.5	Převedení ŽST Nýrsko na hlásku Nýrsko
R - 10.6	Celá trať je řízena podle předpisu SŽDC (ČD) D3
R - 11.0	Zrušena dopravná Zelená Lhota
R - 12.0	Převedena dopravná Špičák na zastávku
R - 13.2	Celá trať již není dirigovaná dirigujícím dispečerem
R - 14.2	KONEC SIMULACE

Zdroj: [Autor]

Při redukci rozsahu DP byly sledovány ukazatele K_s , ΔZ_p a S_o . Pro zajištění určitého stupně kvality DS byly stanoveny hodnoty pro ukazatele $K_s = \langle 0,9;1 \rangle$ a $\Delta Z_p = \langle -0,2;0 \rangle$. Ukazatel S_o byl sledován ve vztahu k úpravě DI. Pro redukci DP a posléze i snižování kapacity DI lze říci, že **stanovená hypotéza byla potvrzena**. To znamená, že vždy pro určitý

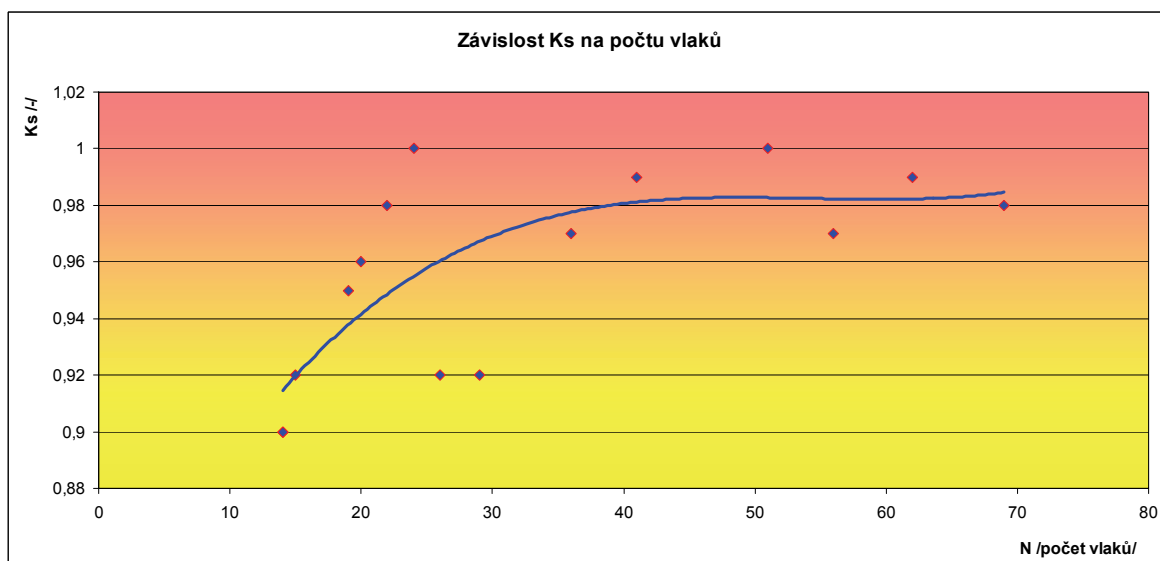
rozsah DI byl nalezen příslušný rozsah DP tak, že kvalitativní ukazatele nepřesáhly stanovené intervaly (viz obrázek 20).



Obrázek 20 – Souhrnné ukazatele K_s a ΔZ_p pro redukční větvev

Zdroj: [Autor]

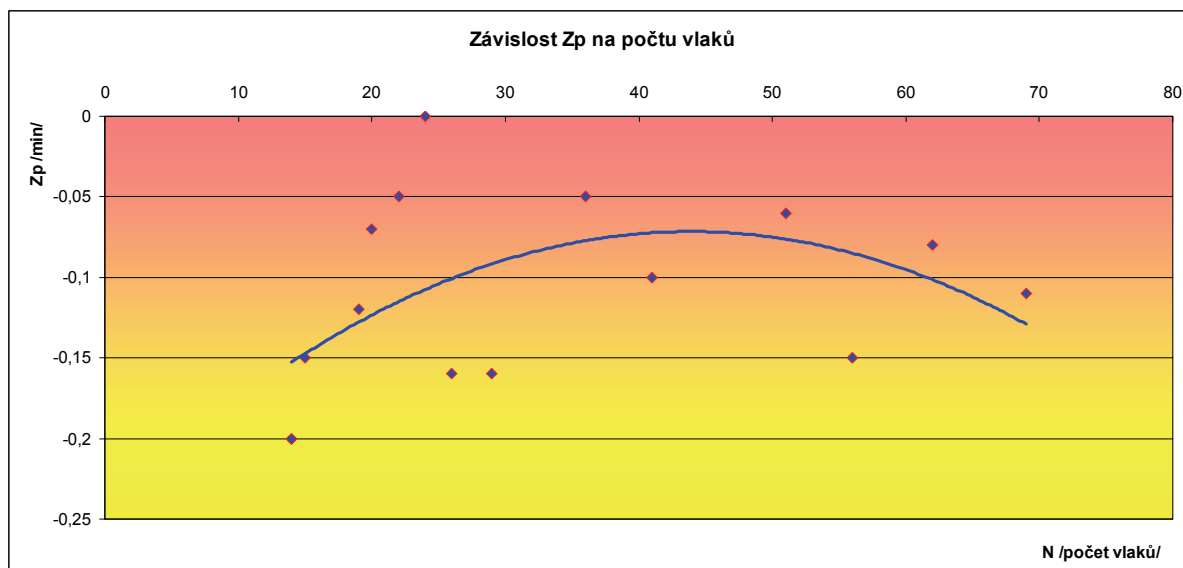
Na obrázku 21 je zobrazen pomocí interpolace teoretický průběh koeficientu K_s na sledovaném úseku v závislosti na počtu vlaků. Je patrné, že menší počet vlaků vykazuje menší hodnoty K_s , potom průběh regresní funkce závislosti K_s na počtu vlaků roste až na úroveň hodnoty cca 45 vlaků, kde se ustaluje okolo hodnoty 0,98. Takový průběh funkce odpovídá předpokladu: méně vlaků – stabilnější DI, více vlaků s větší heterogenitou – stabilita DI klesá.



Obrázek 21 – Teoretický průběh koeficientu stability K_s v závislosti na počtu vlaků

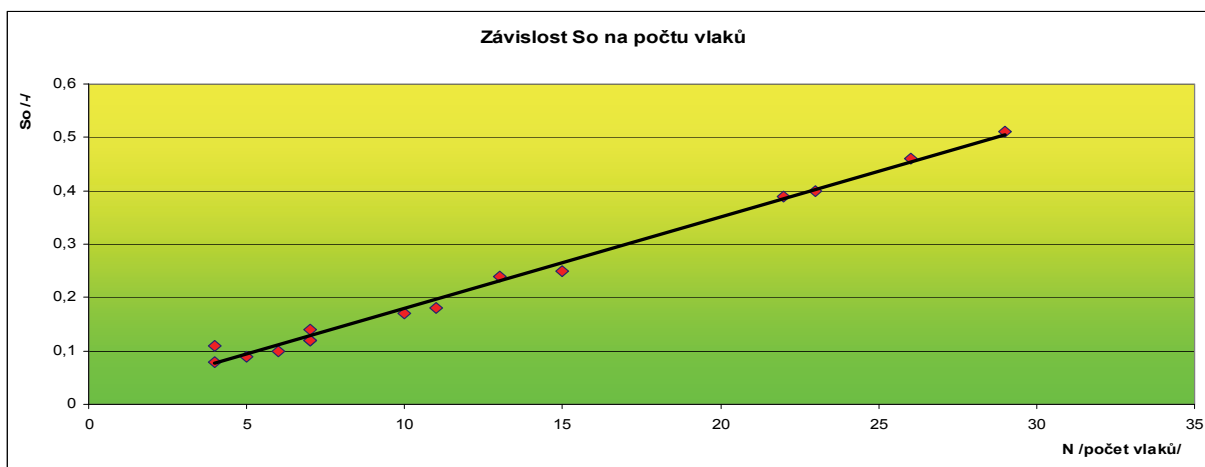
Zdroj: [Autor]

Na obrázku 22 je zobrazen pomocí interpolace průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků. Konkávní průběh teoretické funkce závislosti koeficientu ΔZ_p na počtu vlaků dosahuje svého maxima (inflexní bod) okolo 45 vlaků, jde tedy o velmi podobný jev jako u koeficientu K_s na obrázku 21.



Obrázek 22 – Teoretický průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků Zdroj: [Autor]

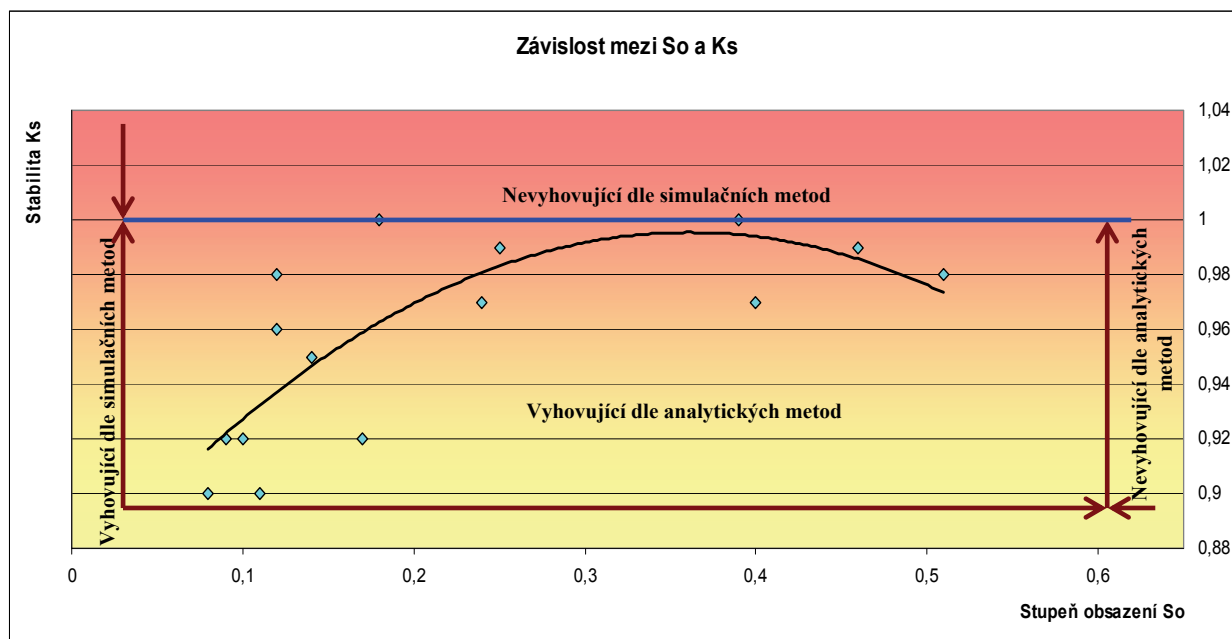
Na obrázku 23 je znázorněn ukazatel S_o v závislosti na počtu vlaků. Ukazatel S_o je stanoven analytickými metodami [1]. Z obrázku 23 je patrné, že jde o přímou lineární závislost s kladnou směrnici. Lze říci, že S_o je přímo úměrný počtu vlaků. Lze provést extrapolaci funkce S_o do bodu, kde ΔZ_p dosahuje svého maxima (cca 45 vlaků). Pak výsledný S_o odpovídá hodnotě okolo 0,75, což je nepřijatelná hodnota z hlediska metodiky [1].



Obrázek 23 – Závislost stupně obsazení S_o na počtu vlaků Zdroj: [Autor]

Na obrázku 24 doktorand porovnal analytické a simulační metody. Z porovnání hodnot ukazatelů S_o a K_s jednotlivých simulačních běhů je zřejmá jistá korelace. Varianty, které z hlediska analytických metod a simulačních metod byly nevyhovující zde nejsou

zahrnutý. Na vodorovné ose x jsou vyneseny hodnoty S_o , svislá osa reprezentuje analytické hodnoty podle [1]. Mezní hodnotou pro S_o je hodnota 0,63. Do této hodnoty je kapacita DI vyhovující. Na svislé ose y jsou vyneseny hodnoty ukazatele K_s , zde se za mezní hodnotu považuje hodnota 1,00. Obrázek je v souladu také z hlediska jednotek, obě složky jsou bezrozměrné.



Obrázek 24 – Porovnání simulačních a analytických metod

Zdroj: [Autor]

Všechny teoretické hodnoty regresních funkcí ukazatelů K_s , ΔZ_p a S_o byly stanoveny metodou nejmenších čtverců [18] a analytickým nástrojem „Řešitel“, který je součástí programu Excel. Testem dobré shody [18] doktorand ověřil, že kritické hodnoty všech tří regresních funkcí jsou menší než kritická hodnota ($\chi^2_{0,95;13} = 22,3621$). Nelze zamítnout na 5% hladině významnosti nulovou hypotézu H_0 a zjištěné teoretické hodnoty regresních funkcí nelze považovat za statisticky významně odlišné, než jsou naměřené hodnoty doktorandem. Parametry teoretické funkce závislosti K_s na S_o (22) na zkoumaném traťovém úseku jsou:

$$K_{s-i} = -1,0004S_{o-i}^2 + 0,7232S_{o-i} + 0,8647 \quad [-] \quad (22)$$

kde: K_{s-i} je koeficient stability i -tého simulačního běhu [-]

S_{o-i} je stupeň obsazení i -tého simulačního běhu [-]

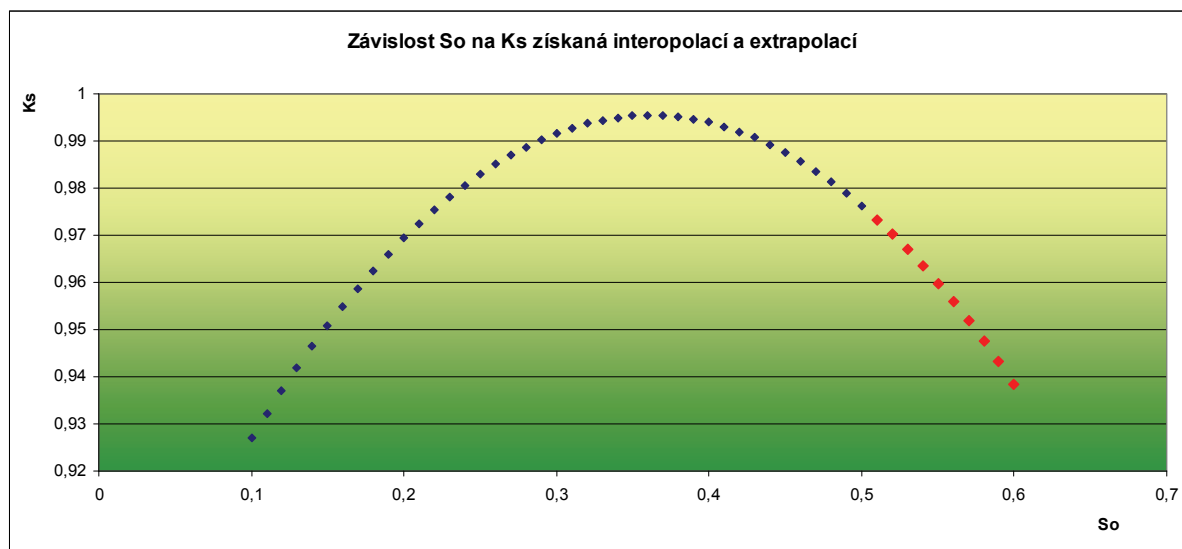
Doktorand pro ověření platnosti závěrů pro teoretický průběh funkce K_s v závislosti na S_o použil koeficient korelace R . Koeficient (index) korelace lze použít k měření těsnosti závislosti pro libovolnou regresní funkce, jejíž parametry byly odhadnuty metodou nejmenších čtverců. Koeficient korelace nabývá hodnot v intervalu $\langle -1;1 \rangle$.

Závislost:

- 1 - všechny hodnoty leží na přímce s kladnou směrnici, čímž jde o přímou závislost.
- 1 - všechny hodnoty leží na přímce se zápornou směrnici, čímž jde o nepřímou závislost.
- 0 - regrese nevysvětluje žádnou závislost.

Koeficient korelace $R = 0,7641$, tedy vykazuje téměř přímou závislost mezi K_s a S_o .

Na obrázku 25 je znázorněn pravděpodobnostní teoretický průběh funkční závislosti K_s na S_o stanovený extrapolací.



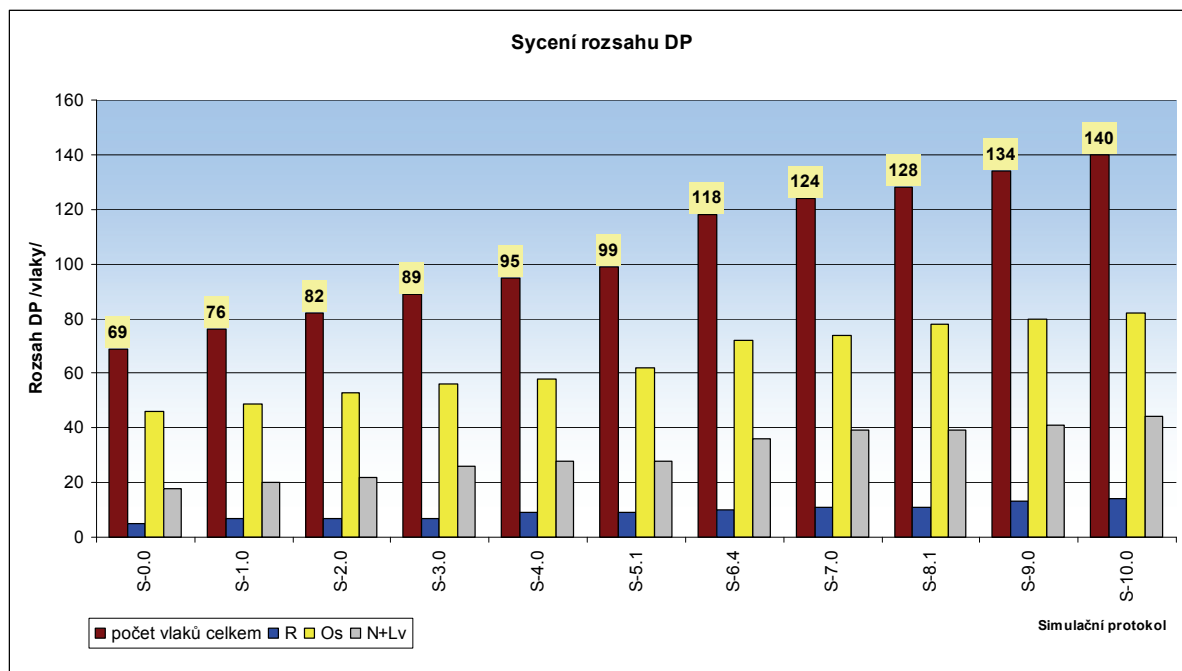
Obrázek 25 – Extrapolace funkční závislosti K_s na S_o

Zdroj: [Autor]

5.2.3 Sycení rozsahu dopravního provozu

Podkapitola se zabývá výsledky zkoumání sycení rozsahu DP a jeho vlivu na DI na traťovém úseku Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín. V rámci jednoho simulačního běhu se jedná vždy o fixní DI a sycení DP. Rozsah DP se zvyšuje pomocí simulačního kroku k . Mezi jednotlivými simulačními běhy se pro účely pozorování zvyšuje kapacita DI podle navrhovaných postupů v kapitole 4.5.4. Každá simulace má 365 iterací, což odpovídá počtu dnů v roce. V příloze 3 lze nalézt souhrnný popis sycení rozsahu DP a zvyšování kapacity DI. Disertační práce také obsahuje CD s výslednými simulačními protokoly. Souhrnně lze sycení rozsahu DP a jeho skladbu ilustrovat na obrázku 26. Doktorand si jako cílový rozsah pro názornou ilustraci DP zvolil 100% nárůst dopravy na zkoumaném traťovém úseku oproti současnému stavu. Doktorand si je vědom, že cílový stav rozsahu DP mohl zvolit větší, nicméně pro účely ověření doktorandem navržené metodiky v kapitole 4.5 je tento rozsah DP postačující. Na obrázku 26 je skladba vlaků rozdělena na dálkovou (R), regionální (Os) a

nákladní dopravu (N+Lv). Tyto omezující podmínky byly stanoveny stejně pro redukci i sycení DP, a to $K_s = \langle 0,9;1 \rangle$ a $\Delta Z_p = \langle -0,2;0 \rangle$.



Obrázek 26 – Skladba sycení rozsahu DP

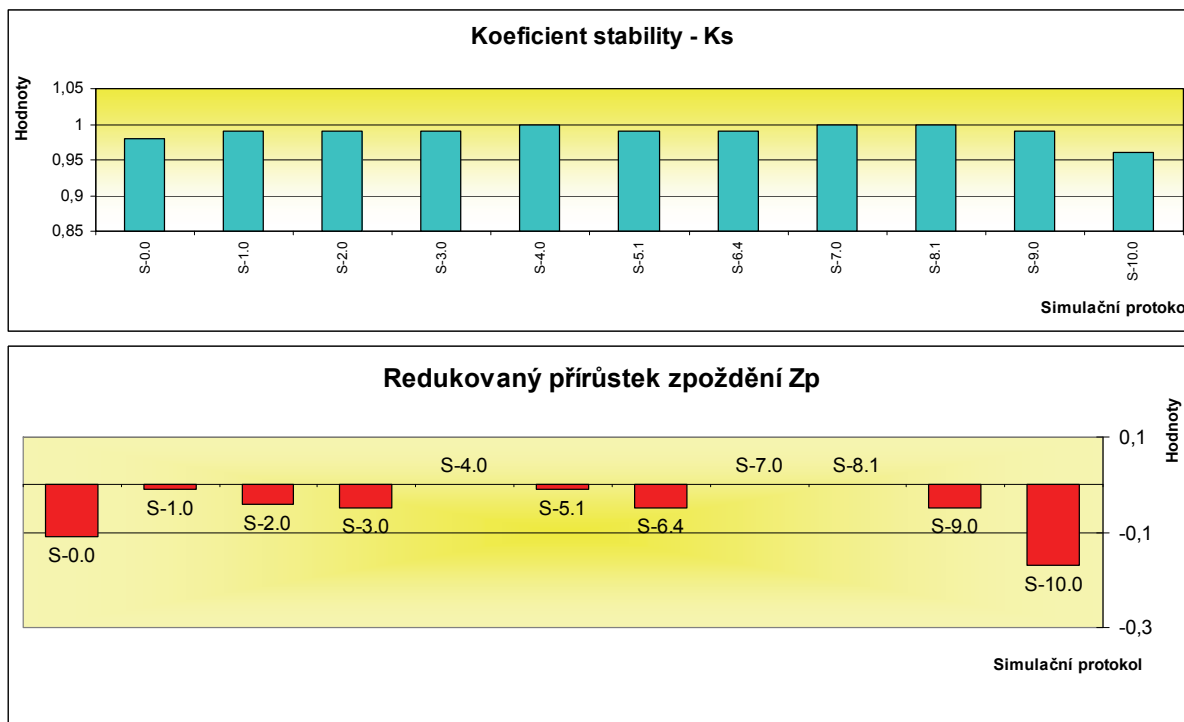
Zdroj: [Autor]

V tabulce 9 je zachyceno zvyšování kapacity DI dle jednotlivých simulačních protokolů na zkoumaném úseku a příslušné technicko-technologické řešení.

Tabulka 9 – Realizovaná opatření na zvyšování kapacity DI

Simulační protokol	Opatření na DI
S – 0.0	Převedení hlásky Zelená Lhota na výhybnu se dvěma kolejiemi
S – 1.0	V ŽST Nýrsko se vybuduje nové SZZ ESA 11 + TZZ v mezistaničním úseku Nýrsko – Zelená Lhota
S – 2.0	V ŽST Janovice nad Úhlavou se vybuduje nového SZZ ESA 11 + v mezistaničním úseku Klatovy – Janovice nad Úhlavou se vybuduje nové TZZ automatické hradlo AHE – 88 s oddílovými návěstidly
S - 3.0	V ŽST Janovice nad Úhlavou se vybuduje čtvrtá dopravní kolej
S - 4.0	V mezistaničním úseku Klatovy – Janovice nad Úhlavou se změní TZZ na tříznakový autoblok ABE- 84
S - 5.1	Mezi ŽST Klatovy a Janovice nad Úhlavou se vybuduje druhá traťová kolej
S - 6.4	V mezistaničním úseku Nýrsko – Zelená Lhota se vybuduje nové TZZ - automatické hradlo AHE – 88 s oddílovými návěstidly
S - 7.0	V mezistaničním úseku Klatovy – Janovice nad Úhlavou se vybuduje nové TZZ tříznakový autoblok ABE – 84
S - 8.1	V mezistaničním úseku Janovice nad Úhlavou – Nýrsko se vybuduje nové TZZ – AHE 88 s oddílovými návěstidly
S - 9.0	a) V ŽST Špičák se vybuduje třetí dopravní kolej b) Celá trať se začne organizovat podle předpisu SŽDC (ČD) D2
S - 10.0	KONEC SIMULACE

Zdroj: [Autor]

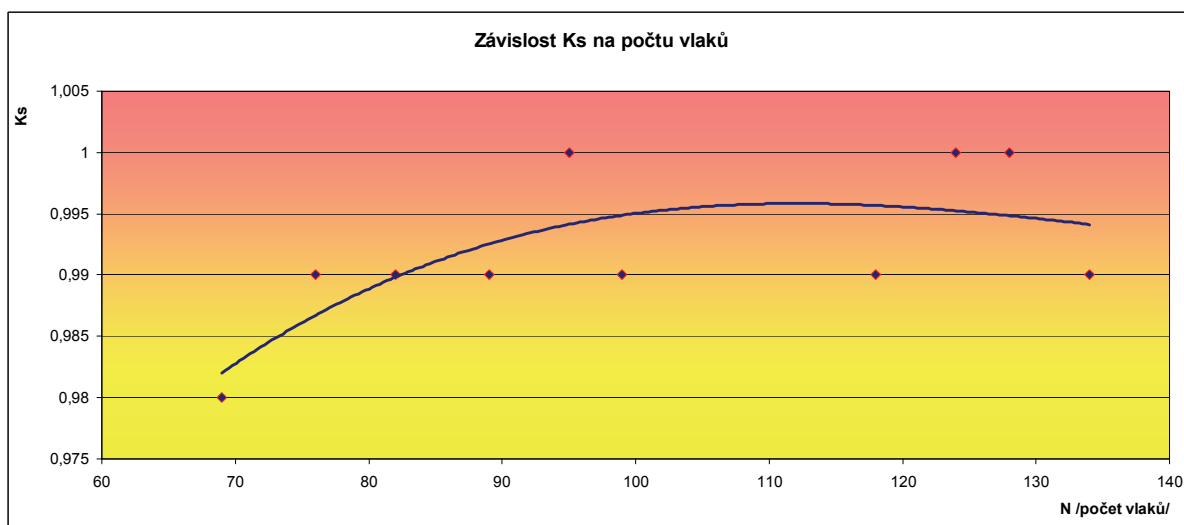


Obrázek 27 – Souhrnné ukazatele K_s a ΔZ_p pro větve sycení

Zdroj: [Autor]

Při zvyšování rozsahu DP byl sledován i ukazatel S_o , a to ve vztahu k úpravě DI. Pro zvyšování rozsahu DP a posléze i zvyšování kapacity DI lze říci, že **výsledky zkoumání příslušného traťového úseku potvrdily platnost stanovené hypotézy**. To znamená, že i při zvyšování kapacity DI byl vždy nalezen odpovídající rozsah DP, při dodržení stanovených kvalitativních ukazatelů (viz obrázek 27).

Na obrázku 28 je zobrazen pomocí interpolace teoretický průběh koeficientu K_s na sledovaném úseku v závislosti na počtu vlaků. Je logické, že větší počet vlaků vykazuje větší hodnoty K_s , průběh regresní funkce závislosti K_s na počtu vlaků roste až na úroveň cca 110

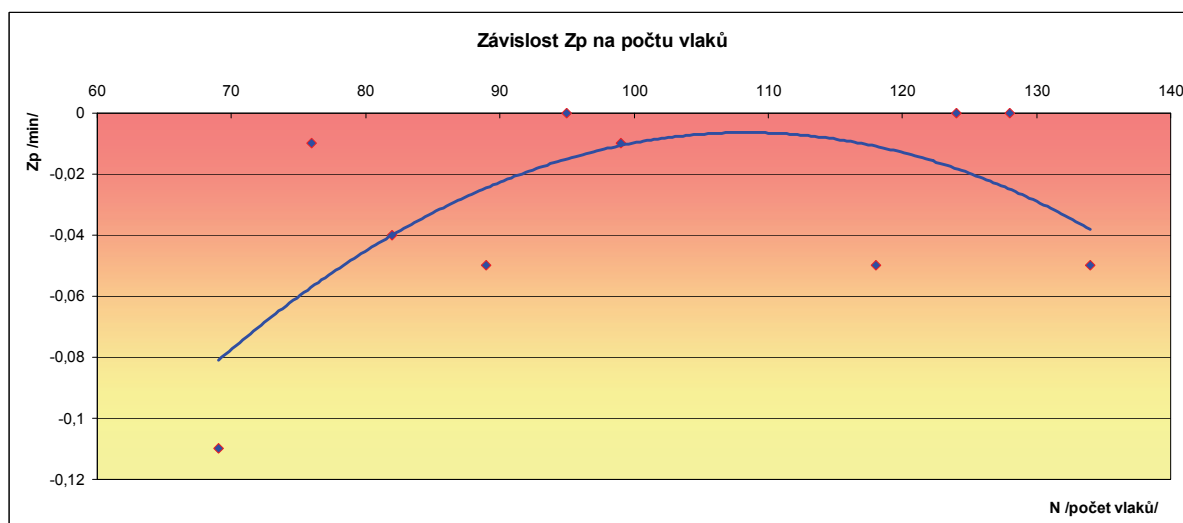


Obrázek 28 – Teoretický průběh koeficientu stability K_s v závislosti na počtu vlaků

Zdroj: [Autor]

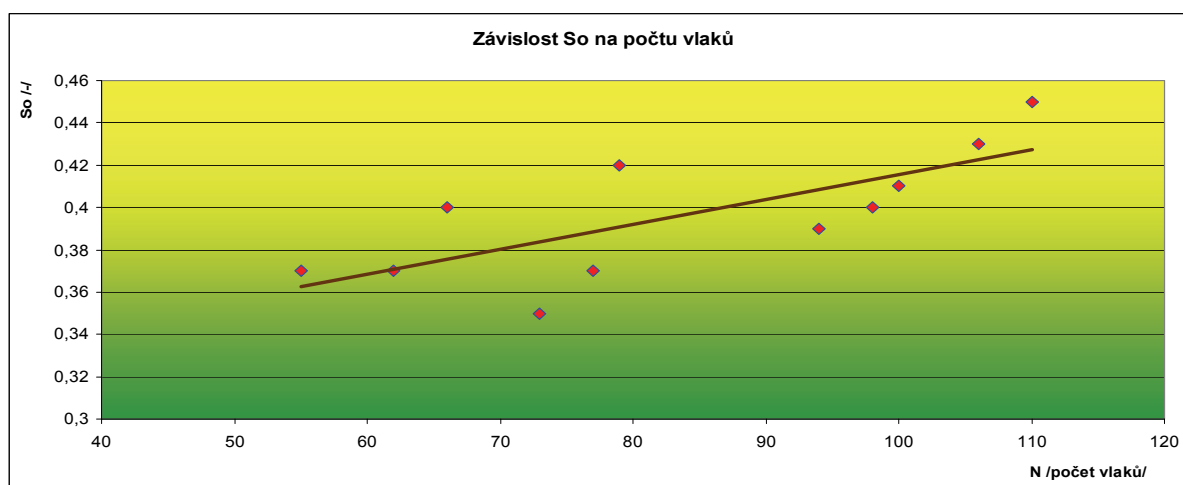
vlaků, kde ukazatel K_s dosahuje svého maxima. Takový průběh funkce odpovídá předpokladu: více vlaků, rozdílné heterogenity – stabilita DI klesá, méně vlaků, druhově stejných – stabilita DI stoupá.

Na obrázku 29 je zobrazen pomocí interpolace průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků ve větvi sycení rozsahu DP. Klesající průběh teoretické funkce závislosti koeficientu ukazatel ΔZ_p na počtu vlaků dosahuje svého maxima okolo 110 vlaků. Při zvýšeném počtu vlaků a ustáleném nebo mírně klesajícím K_s začíná také mírně klesat ukazatel ΔZ_p , stejně jako při redukcí rozsahu DP.



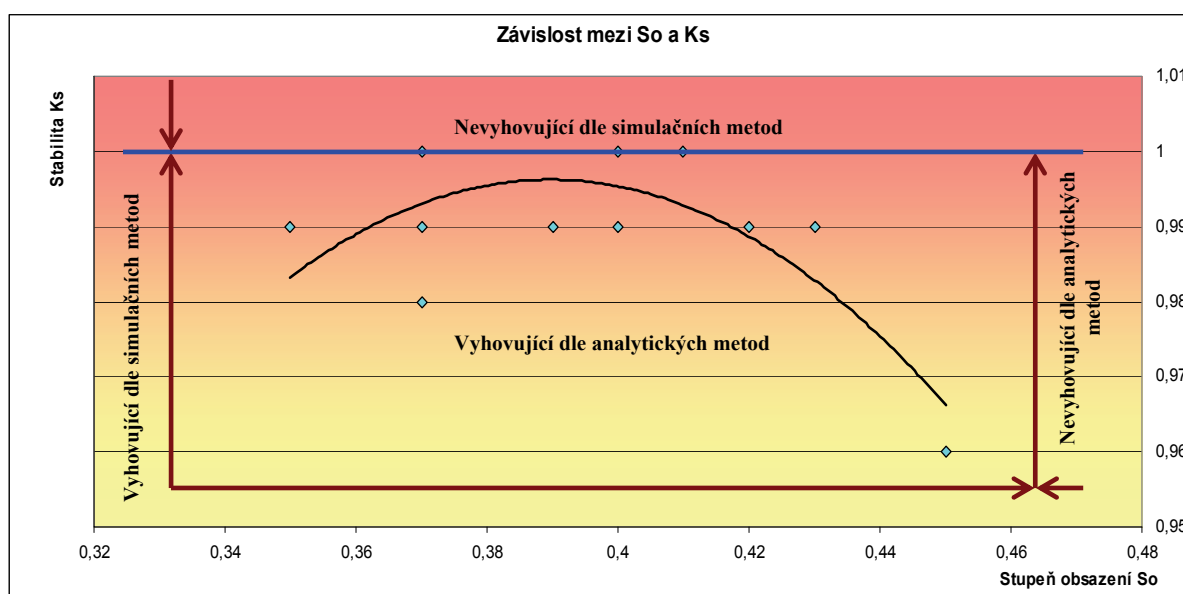
Obrázek 29 – Teoretický průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků Zdroj: [Autor]

Na obrázku 30 je znázorněn analytickými metodami [1] ukazatel S_o v závislosti na počtu vlaků. Z obrázku je patrné, že jde o přímou lineární závislost s kladnou směrnici. Závislost je již slabší než ve větvi redukce, což je způsobeno skokovým zvyšováním kapacity DI a pozvolným sycením DP. Lze říci, že S_o je přímo úměrný počtu vlaků.



Obrázek 30 – Závislost stupně obsazení S_o na počtu vlaků Zdroj: [Autor]

Jako jeden z cílů disertační práce doktorand uvedl, porovnat analytické a simulační metody (viz obrázek 31). Z porovnání hodnot ukazatelů S_o a K_s jednotlivých simulačních běhů je zřejmá jistá korelace. Na vodorovné ose x jsou zobrazeny hodnoty S_o , svislá osa reprezentuje analytické hodnoty podle [1]. Na svislé ose y jsou vyneseny hodnoty ukazatele K_s , zde se za mezní hodnotu považuje hodnota 1,00.



Obrázek 31 – Porovnání simulačních a analytických metod

Zdroj: [Autor]

Všechny teoretické hodnoty regresních funkcí ukazatelů K_s , ΔZ_p a S_o byly stanoveny metodou nejmenších čtverců [18] a analytickým nástrojem „Řešitel“, který je součástí programu Excel. Testem dobré shody [18] doktorand ověřil, že kritické hodnoty všech tří regresních funkcí jsou menší než kritická hodnota ($\chi_{0,95;9}^2 = 16,919$). Nelze zamítnout na 5 % hladině významnosti nulovou hypotézu H_0 a zjištěné teoretické hodnoty regresních funkcí nelze považovat za statisticky významně odlišné, než jsou naměřené hodnoty doktorandem. Parametry teoretické funkce závislosti K_s na S_o (23) na zkoumaném traťovém úseku jsou:

$$K_{s-i} = -8,239S_{o-i}^2 + 6,421S_{o-i} - 0,2549 \quad [-] \quad (23)$$

kde: K_{s-i} je koeficient stability i -tého simulačního běhu [-]

S_{o-i} je stupeň obsazení i -tého simulačního běhu [-]

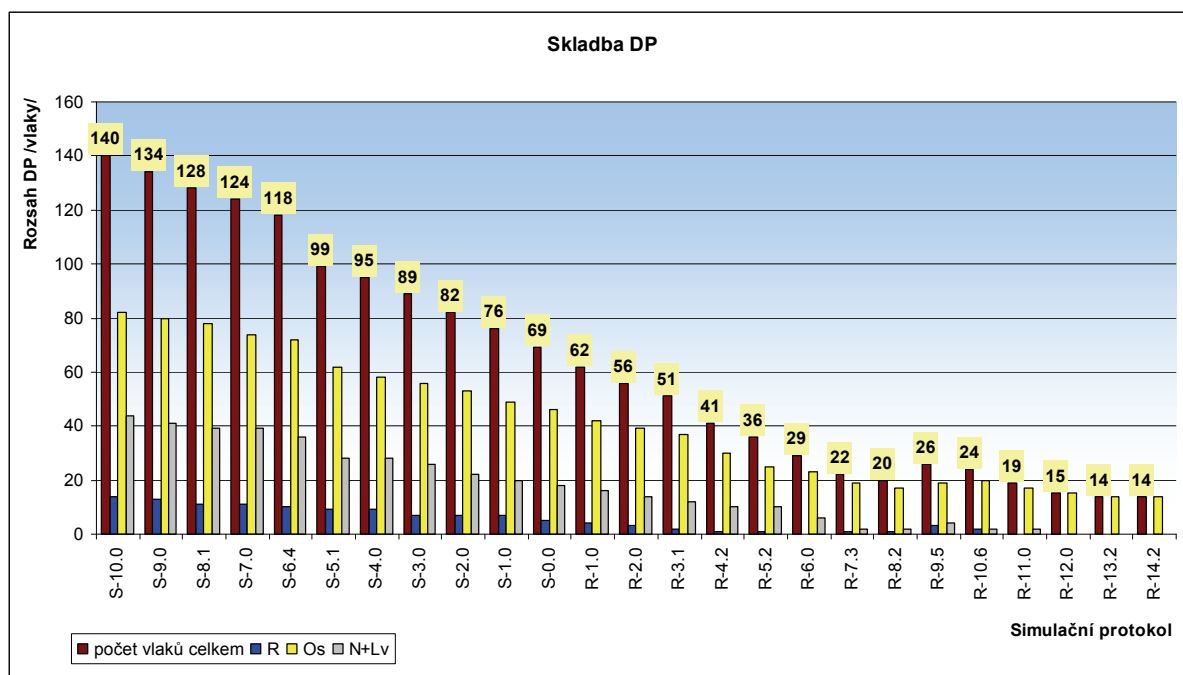
Pro ověření platnosti závěrů pro teoretický průběh funkce K_s v závislosti na S_o byl použit stejně jako ve větvi redukce koeficient korelace R . Koeficient (index) korelace lze použít k měření těsnosti závislosti pro libovolnou regresní funkce, jejíž parametry byly odhadnuty metodou nejmenších čtverců, což je právě tento případ.

Koeficient korelace $R = 0,779$, což ukazuje na přímou závislost mezi koeficient K_s a S_o .

5.3 Shrnutí výsledků navrženého řešení na vybraném traťovém úseku

V disertační práci byla doktorandem navržena a odzkoušena metodika zkoumání vzájemného vztahu DI a DP, kterou je možno použít i při neznalosti vývoje budoucího rozsahu DP. V podmínkách nejistoty je potřebné stanovit výhledové scénáře jak pro pokles, tak i pro růst rozsahu DP. Stejně tak postupoval doktorand, který nemá k dispozici žádné relevantní údaje o budoucím vývoji rozsahu DP na zkoumané trati Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín. Navržené postupy může využít manažer DI při plánování investic do DI nebo pro dopravce (objednavatele) při navrhování budoucího rozsahu DP.

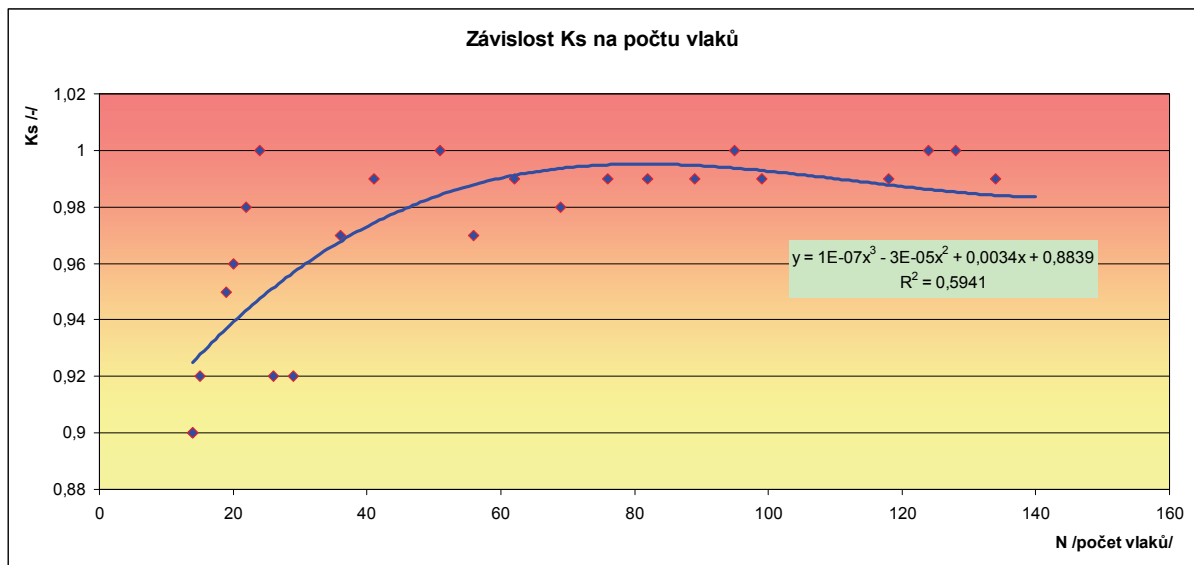
Výzkum rozsahu DP (viz obrázek 32), jak již bylo vícekrát zdůrazněno, velice záleží na zvoleném simulačním kroku k a dále na samotné konstrukci JŘ. Tyto dva odhadované faktory lze nahradit pouze zadáním rozsahu DP (skutečného, konkrétního nebo plánovaného) nebo při zadání DI (skutečné, konkrétní nebo plánované). Potom lze zkoumat konkrétní stav DI nebo rozsah DP ve vzájemné interakci.



Obrázek 32 – Vývoj celé skladby rozsahu DP v disertační práci

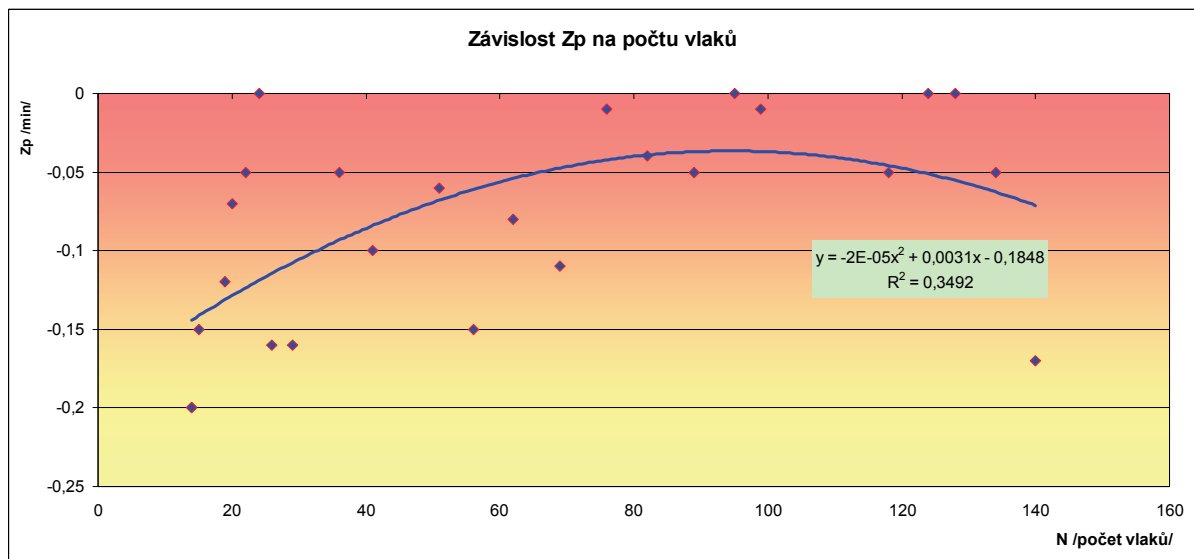
Zdroj: [Autor]

Dalším úskalím je nastavení požadované kvality pomocí ukazatelů K_s a ΔZ_p , tak aby byly přijatelné pro manažera DI i dopravce. Na zkoumaném traťovém úseku byly zvoleny intervalově $K_s = \langle 0,9;1 \rangle$ a $\Delta Z_p = \langle -0,2;0 \rangle$ (viz obrázky 33 a 34). Při zužování intervalů může dojít k situacím, že se jen velmi obtížně bude hledat rovnováha mezi rozsahem DP a DI. V krajních případech se může stát, že se hledaná rovnováha nenalezne. Pak je nutné buď stanovit nové meze ukazatelů K_s a ΔZ_p a snížit kvalitu DS nebo jeden z ukazatelů přestat sledovat.



Obrázek 33 – Výsledná závislost K_s na počtu vlaků z obou větví

Zdroj: [Autor]



Obrázek 34 – Výsledná závislost ΔZ_p na počtu vlaků z obou větví

Zdroj: [Autor]

Závěry:

I přes doktorandovo očekávání, že ukazatele K_s a ΔZ_p budou se zvyšujícím počtem vlaků trvale vzrůstat nebo se po určité době ustálí, dochází v určitém bodě ke zlomu, odkud tyto ukazatele klesají. K mírnému poklesu K_s a ΔZ_p při větších počtech vlaků dochází mj. protože:

- jde o poměrové ukazatele, tzn. že sice přírůstek ukazatelů vzrůstá, ale roste pomaleji než roste počet vlaků, což způsobuje konkávnost regresní funkce a mírný pokles ukazatelů K_s a ΔZ_p ,
- při větším počtu vlaků dochází k růstu pobytů ve stanicích nad nezbytně nutnou technologicko - přepravní dobu (minimální pobyt). Tento čas je vhodně spotřebován ke zmenšování zpoždění vlaků,

- při zvyšování počtu vlaků se zvyšuje kapacita DI, ta ale roste skokově oproti růstu rozsahu DP, což opět vede k mírnému poklesu sledovaných ukazatelů K_s a ΔZ_p ,
- při vyšším počtu vlaků je vyšší pravděpodobnost možnosti svazkování vlaků.

Doktorand věří, že tyto výsledky disertační práce mohou manažera DI iniciovat k tomu, aby zvážil vytvoření nového oddělení, které by se problematice vzájemné interakce mezi DI a rozsahem DP samostatně zabývalo. Dalším přínosem pro řešení vztahu mezi DI a DP by byl jistě větší rozsah zkoumaných tratí např. podle tříd. Toho si je doktorand plně vědom, nicméně není jeho možnostech (hlavně časových) relevantně obsáhnout simulaci více tratí v podmínkách nejistoty. To by znamenalo další roky zkoumání. Nicméně **na zkoumaném traťovém úseku byla prověřena navrhovaná metodika úspěšně.** Doktorandovi není znám žádný závažný důvod, pro který by tato navrhovaná metodika nemohla být aplikována i na jiných traťových úsecích.

Dalším přínosem navrhované metodiky je skutečnost, že prostřednictvím ukazatelů vzájemně spojuje jak progresivní simulační metody (K_s a ΔZ_p), tak i analytické metody (S_o). Jedná se tak v podstatě o provázání simulačních a analytických metod tak, že se [1] nemusí radikálně měnit ve vazbě na DI. Jde o suplování chybějící novelizace směrnice [1], která je v platnosti již od roku 1965. Směrnici [1] navrhovaná metodika se využívá pro určení ukazatele S_o a na jeho základě se přistupuje k opatřením na DI vedoucí k rovnovážnému stavu mezi DI a rozsahem DP.

Možné směry dalšího výzkumu:

- Vybrat dle navrhované metodiky větší počet traťových úseků a ten rozdělit např. podle tříd tratí (koridory, celostátní, regionální).
- Nechat vyjádřit širší odbornou veřejnost, manažera DI, dopravce k nastavení intervalů kvalitativních kvót ukazatelů K_s a ΔZ_p .
- V souvislosti s předchozím bodem zkoumat i ekonomické aspekty plynoucí z navrhovaných změn.
- Provést výzkum vývoje zpoždění vlaků na síti ČD podle jednotlivých kategorií vlaků a jejich statistická interpretace.

6 Závěr

Lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle disertační práce **byly dosaženy** (podkapitoly 5.2.2 a 5.2.3). **Vyslovená hypotéza byla taktéž beze zbytku potvrzena.** Doktorand si v neposlední řadě cení i přínosů, které práce přinesla. Za vlastní přínos zejména považuje návrh algoritmu zkoumání vztahu DI a rozsahu DP, který lze aplikovat i v podmínkách nejistoty, tzn. v období, o kterém není mnoho relevantních údajů ke zkoumání. Dále doktorand provedl částečné porovnání simulačních a analytických metod a provedl jejich praktickou aplikaci na trati Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín. Z analýzy současného stavu vztahu DI a DP vyplývá řada otázek k řešení. Zejména ve vazbě na výhledový rozsah (výhledový JŘ) a kapacitu DI. K největším nedostatkům patří výhledový rozsah DP, který nelze převzít z oficiálních zdrojů MD ČR, či železničních zdrojů. Proto je odvozen zcela nahodile. V současné době není nikdo z odpovědných zástupců kraje, MD ČR, tak ani vlastních dopravců schopen odhadnout rozsah dopravy, který bude za 3, 7 a 10 let. Tento stav nejistoty se nutně promítá z části i do této disertační práce, a tak nemůže plně reflektovat reálný stav, který nastane za 3, 7 či 10 let, proto je v práci doktorandem využita metoda scénářů a pro výhledový rozsah DP a navrhovanou DI.

Zůstávají další možnosti v tomto směru lidského poznání. Je třeba zdůraznit, že doktorandovi jsou známy možné nedostatky, které pramení zejména z omezených možností zkoumání jednoho doktoranda a jeho časových možností pozorování. Nicméně **bylo provedeno několik desítek tisíc simulačních běhů**, byly provedené i opakované simulace s cílem ověřit chování systému za delší časové období. Využití simulace pro dopravní plánování na železnici je v mnohých evropských zemích hojně rozšířené. Praktické zkušenosti s využíváním simulací ukazují, že je vhodné vycházet z pomyslného trojúhelníku DP (výhledový JŘ) – DI – vozidlový park.

Při tradičním přístupu k plánování je problematika výhledového JŘ a z něj plynoucí organizace DP odsouvána až nakonec přípravných prací. Důsledky tohoto přístupu mohou způsobit obtížnou realizovatelnost následně řešených provozních konceptů. Tato práce navrhuje zařazení simulace již na začátek plánování o budoucím rozsahu DP, a tak se vyhnout dodatečným investicím na dobudování kapacity DI.

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Orientační hodnoty využití kapacity pro určité typy tratí.....	11
Tabulka 2 - Orientační hodnoty propustnosti jednokolejné trati po aplikaci opatření.....	23
Tabulka 3 - Obecně závazná priorita vlaků, jejich zkratky a základní rychlosti	36
Tabulka 4 - Míra rozlišení uplatňovaná v různých typech železničních simulátorů.....	44
Tabulka 5 – Opatření na DI pro zvýšení kapacity DI	65
Tabulka 6 – Opatření na DI na snížení kapacity DI	65
Tabulka 7 – Ukazatele propustnosti vstupní simulace R - 0.0.....	68

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Kapacitní bilance.....	11
Obrázek 2 - Komponenty: úsek, výhybka, návěstidlo a vlaková cesta.....	16
Obrázek 3 - Příklad železniční stanice.....	17
Obrázek 4 - Čtverec obsazení prostorového oddílu	18
Obrázek 5 - Čtverec obsazení provozním intervalem následné jízdy.....	18
Obrázek 6 - Čtverec obsazení prostorového oddílu na tříznakém autobloku.....	19
Obrázek 7 - Čtverec časového rámce.....	19
Obrázek 8 - Závislost rozsahu železničního provozu na dopravní infrastruktuře.....	24
Obrázek 9 – Blokové schéma zkoumání vztahu mezi DI a DP při fixní DI	27
Obrázek 10 – Blokové schéma zkoumání vztahu mezi DI a DP při fixním rozsahu DP	28
Obrázek 11 - Náklady na kapacitu DI vztaženo na manažera DI.....	31
Obrázek 14 - Náklady na kapacitu DI s koeficientem stability K_s	32
Obrázek 15 - Vztah DI a kvality.....	33
Obrázek 16 – Systém nastavení vah	38
Obrázek 17 - Struktura vícekritériálního hodnocení.....	47
Obrázek 18 - Výstupní charakteristiky jízdy vlaku v OpenTracku.....	53
Obrázek 19 - Příklad síťového jízdního řádu vytvořeného ve Viriatu.....	55
Obrázek 18 - Vývojový diagram řešení simulace vztahu DP a DI.....	60
Obrázek 19 – Skladba redukovaného rozsahu DP.....	70
Obrázek 20 – Souhrnné ukazatele K_s a ΔZ_p pro redukční větev.....	71
Obrázek 21 – Teoretický průběh koeficientu stability K_s v závislosti na počtu vlaků.....	71
Obrázek 22 – Teoretický průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků	72
Obrázek 23 – Závislost stupně obsazení S_o na počtu vlaků.....	72

Obrázek 26 – Porovnání simulačních a analytických metod.....	73
Obrázek 27 – Extrapolace funkční závislosti K_s na S_o	74
Obrázek 26 – Skladba sycení rozsahu DP.....	75
Obrázek 28 – Teoretický průběh koeficientu stability K_s v závislosti na počtu vlaků.....	76
Obrázek 29 – Teoretický průběh přírůstku zpoždění ΔZ_p v závislosti na počtu vlaků	77
Obrázek 30 – Závislost stupně obsazení S_o na počtu vlaků.....	77
Obrázek 31 – Porovnání simulačních a analytických metod.....	78
Obrázek 32 – Vývoj celé skladby rozsahu DP v disertační práci.....	79
Obrázek 33 – Výsledná závislost K_s na počtu vlaků z obou větví.....	80
Obrázek 34 – Výsledná závislost ΔZ_p na počtu vlaků z obou větví.....	80

Seznam použitých informačních zdrojů

- 1 SŽDC (ČD) D24, *Předpisy pro zjišťování propustnosti železničních tratí*, Praha, 1966.
- 2 UIC Kodex 406 – *Kapacita*. UIC International Union of Railways, Paris, 1 vydání, 2004, ISBN 2-7461-0802-X.
- 3 D23, *Služební předpis pro stanovení provozních intervalů a následného mezidobí*, ČD, Praha, 2002.
- 4 ČERNÝ, J., ČERNÁ, A. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*, ISBN 80-86530-15-9, Institut Jana Pernera, o.p.s., Pardubice, 2004.
- 5 ŠOTEK, K., BACHRATÝ, H.: *Nové možnosti simulačních modelů reálného prostředí*. Sborník II. Mezinárodní konference Teorie dopravních systémů, Pardubice 18.1.2007, ISBN: 978-80-7194-927-5.
- 6 VORÁČOVÁ, Š., PĚNIČKA, M., VESELÝ, J.: *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Skripta, ČVUT dopravní Praha, 2008, 126 s, ISBN: 978 - 80 - 01 - 03979 - 3.
- 7 GAŠPARIK, J., ZITRICKÝ, V.: *Nový spôsob stanovenia kapacity železničnej infraštruktúry v zmysle požiadaviek metodiky UIC*, *Železničná doprava a logistika* 1/2008, s. 37 - 46.
- 8 TEICHMANN, D. : *Propustná výkonnosť mezilehlých stanic na tratích pojižděných vyššími rychlostmi*, Ph.D. Thesis, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Institut dopravy FS, Ostrava, 2004.
- 9 AMCHA, R., KRÝŽE, P.: *Nové přístupy k posuzování propustnosti železničních tratí*, *Časopis Doprava* č. 4/2008, s. 8 – 9, ISSN 0012 – 5520.
- 10 BREJCHA, R.: *Omezená kapacita železniční sítě výlukovou činností*. *ŽelAktuel* 2008, Pardubice, 2008, ISBN 978- 80- 86530-51-2.
- 11 BULÍČEK, J., MOJŽÍŠ, V.: *Nová situace v oblasti propustnosti železničních tratí*. *ŽelAktuel* 2008, Pardubice, 2008, ISBN 978- 80- 86530-51-2.
- 12 PĚNIČKA, M.: *Towards a Theory of Railways*, Ph.D. Thesis, 202 s., ČVUT dopravní Praha, Praha 2006.
- 13 BRANDALÍK, F., KLUVÁNEK, P.: *Operační analýza v železniční dopravě*, 498 s., nakladatelství ALFA Bratislava, 1984.
- 14 SVOBODA, R.: *Prověření propustnosti železniční tratě č. 011 s ohledem na možnost vložení tras vlaků vysokorychlostní dopravy v úseku Kolín - Praha*, diplomová práce, Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera, 2008.

- 15 DANĚK, J., VONKA, J.: *Dopravní provoz železnic*, nakladatelství Alfa, Bratislava 1988.
- 16 KŘIVÝ, I., KINDLER, E.: *Simulace a modelování*, Skripta, Ostravská univerzita, Ostrava, 2001, 146 s.
- 17 BAŽANT, M.: *Řešení vybraných provozních problémů osobní železniční stanice v rámci simulačního modelu*, Ph.D. Thesis, Univerzita Pardubice – Dopravní fakulta Jana Pernera, Pardubice. 2009, 122 s.
- 18 FIALA, P., JABLONSKÝ, F., MAŇAS, M.: *Vícekritériální rozhodování*, Skripta, Vysoká škola ekonomická, Praha, 1994, 316 s, ISBN 80-7079-748-7.
- 19 FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT, M.: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York : Springer. 1045 pp. ISBN: 978-0387230672.
- 20 FOTR, J., ŠVECOVÁ, L., DEDINA, J., HRUZOVÁ, H., RICHTER, J., *Manažerské rozhodování*. Praha: Ekopress, s. r. o., 2006. 409 str. ISBN 80-86929-15-9.
- 21 *Viriato* [online]. 2010 dostupné z www: <<http://www.sma-partner.ch/>>. [cit. 2010-06-06]
- 22 *Villon* [online]. 2010. Dostupné z www: <<http://www.simcon.sk/sk/tools/villon>>. [cit. 2010-03-03]
- 23 *Railsim* [online]. 2010. Dostupné z www: <<http://www.railsim.com/>>. [cit. 2010-10-10]
- 24 *Railsys* [online]. 2010. Dostupné z www: <http://www.rmcon.de/englisch/uber_railsys.html>. [cit. 2010-08-01]
- 25 *Opentrack* [online]. 2010. Dostupné z www: <<http://www.opentrack.ch>>. [cit. 2010-10-10]
- 26 HRUBAN, I.: *Železniční dopravní infrastruktura a kvalita v dopravě*, In: *Vědeckotechnický sborník Českých drah* číslo 29/2010, ISSN 1214 - 9047.
- 27 MOLKOVÁ, T. a kol.: *Kapacita železničních tratí*, Univerzita Pardubice – Dopravní fakulta Jana Pernera, Pardubice , 2011, s 150, ISBN 978–80–7395–317–1.
- 28 SOUČEK, E. *Základy statistiky, skripta*, ISBN 80-7194-388-6, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2001, 167 s.

Poznámka: **tučně** jsou uvedeny knižní publikace.

Publikační a vědecko-výzkumná činnost doktoranda

- [1] BREJCHA, R.: *Spojení Praha Masarykovo nádraží – Kladno s odbočkou na letiště Praha-Ruzyně*, Doprava č. 4/2007, s. 30-31, ISSN 0012 – 5520.
- [2] BREJCHA, R.: *Omezená kapacita železniční sítě vylukovou činností. Kolokvium s mezinárodní účastí - ŽelAktuel 2008*, Pardubice, 2008, ISBN 978- 80- 86530-51-2.
- [3] BREJCHA, R.: *Výpočet provozních intervalů na tratích řízených podle předpisu SŽDC (ČD) D3*, In: *Vědeckotechnický sborník Českých drah číslo 27/2009*, ISSN 1214 - 9047.
- [4] BREJCHA, R., Benediktová, M., Chlaň, A.: *Nové možnosti financování projektů regionální železniční dopravy*. Dopravní systémy a hodnota uživatele dopravy, s. 20-28, Pardubice, 2009, ISBN 978-80-7395-181-8.
- [5] BREJCHA, R., BENEDIKTOVÁ, M.: *Realizace uceleného projektu pro JŘ 2009/2010 v Plzeňském kraji*, Doprava č. 5/2009, s. 24-26, ISSN 0012 – 5520.
- [6] BREJCHA, R.: *Nové projekty v regionální železniční dopravě Plzeňského kraje*. Kolokvium s mezinárodní účastí – *ŽelAktuel 2009*, Pardubice, 2009. ISBN 978- 80- 86530-61-1.
- [7] BREJCHA, R.: *Priorita vlaků*, In: *Vědeckotechnický sborník Českých drah číslo 31/2011*, ISSN 1214 – 9047.
- [8] BREJCHA, R., BENEDIKTOVÁ, M.: *Plzeňská linka*, *Železniční magazín*, ročník 2011, číslo 7, s. 44 – 45, M - Presse plus, s. r. o., Praha, ISSN 1212–1851.
- [9] BREJCHA, R.: *Příspěvek do monografie modelování, (v době uzávěrky ještě nevyšlo)*, ISBN XXX-XX-XXX.
- [10] BENEDIKTOVÁ, M., BREJCHA, R., BULÍČEK, J.: *Technologicko – provozní aspekty železniční Plzeňské linky*, konference „Verejná osobná doprava“, Bratislava 2011.

Poznámka: **Tučně** jsou uvedeny vlastní publikace související s tématem disertační práce.

Ostatní činnost doktoranda

Akademický rok 2007/2008:

- TŘD I a TŘD II – odborná přednáška na téma konstrukce JŘ pro studenty 2 a 3. ročníku ČVUT dopravní v Praze.
- Výběrová přednáška pro studenty 5. ročníku TŘD v Pardubicích na téma JŘ a propustnost.
- TŘD II – Praha, propustnost a její zjišťování pomocí zkonstruovaného listu JŘ.
- Oponentní posudek bakalářské práce studenta Lukáše Procházky na téma „*Organizace zajištění výluk na síti SŽDC*“.
- Oponentní posudek a částečné vedení bakalářské práce studenta Lukáše Duška na téma „*Dálkově ovládané zabezpečovací zařízení*“.
- Oponentní posudek diplomové práce studentky Ivany Šimové na téma „*Koordinace provozu a investiční činnosti v žst. Beroun*“.

Akademický rok 2008/2009:

- Provozování dráhy a drážní dopravy – odborná přednáška pro studenty 2. ročníku DFJP v Pardubicích na téma využití výpočetní techniky na konstrukci jízdních řádů.
- Zajištění odborného dohledu na praxi na Dopravní fakultě technické univerzity v Drážďanech studentů ČVUT dopravní Praha a DFJP Pardubice.
- Zajištění a provedení odborné exkurze na dispečerském pracovišti DOZZ Plzeň – Cheb a dispečerském pracovišti Odboru 16 – osobní dopravy.
- Oponentní posudek diplomové práce studentky Margit Uttendorfské na téma „*Faktory ovlivňující výběr druhu dopravy z pohledu cestujícího*“.
- Oponentní posudek diplomové práce studentky Nadi Jelínkové na téma „*Cyklistická doprava a bezpečnost*“.

Akademický rok 2009/2010:

- Oponentní posudek diplomové práce studenta Lukáše Duška na téma „*Vliv lidského faktoru na celkovou propustnost železniční dopravní cesty*“.
- Odborná spolupráce na diplomové práci studenta Lukáše Fialy na téma „*Provozní dopady aplikace ochranných vzdáleností podle TNŽ 34 2620*“.
- Výběrová přednáška pro studenty 5. ročníku TŘD v Pardubicích na téma Poplatky za použití dopravní cesty a výpočet volné kapacity dopravní cesty.

Akademický rok 2010/2011:

- Oponentní posudek diplomové práce studenta Jiří Fousek na téma „*Technologický postup zavedení náhradní autobusové dopravy*“.
- Provozování dráhy a drážní dopravy – odborná přednáška pro studenty 2. ročníku DFJP v Pardubicích na téma Využití výpočetní techniky na konstrukci jízdních řádů a kapacita dopravní cesty.
- Vedení odborné exkurze na dispečerském pracovišti DOZZ Plzeň – Cheb, návštěva na pracovišti SENA Plzeň, pracovišti odboru prodeje tras OSS Plzeň a exkurze SZZ ŽST Plzeň hl.n.
- Oponentní posudek diplomové práce studenta Jiřího Pálky na téma „*Modernizace trati Brno – Přerov, I. etapa Blažovice - Nezamyslice*“.

Přílohy:

Seznam příloh:

Příloha 1 - Nastavení parametrů simulačního modelu

Příloha 2 - Redukce rozsahu DP při fixní DI

Příloha 3 - Sycení rozsahu DP při fixní DI

Příloha 1 - Nastavení parametrů simulačního modelu

zpoždění

náhodná zpoždění vlaků

Ano

redukce

Ano

čas, po které lze nevýhodné řešení vypustit

30

minimální počet potomků pro provedení redukce

100

opakování

počet opakování

365

protokol výsledky

číslo pro označení následujícího protokolu výsledky

x

parametry grafikonu

měřítko souřadnice x

2,5

měřítko souřadnice y

6,5

zobrazovat minutové kóty nebo zpoždění

Zpoždění

zobrazovat čísla vlaků

Ano

vykreslování NJŘ u všech průběžných variant

propustnost

výpočetní období

1440

parametry simulace

dovolit náskok vlaků

Ne

vyhledávat a řešit konflikty staničních kolejí

Ano

Příloha 2 – Redukce rozsahu DP při fixní DI

Zde je doktorandem prověřena platnost navrhované metodiky pro redukcí DP (omezování rozsahu DP), včetně úprav DI. Ze vstupní kapacitní bilance protokolu R – 0.0 zkoumaného traťového úseku (viz tabulka 7) se musí podle metodiky nejprve zjistit mezistaniční úsek s nejnižším S_o . Zde se jedná o mezistaniční úsek Špičák – Železná Ruda-město. Na základě vytipovaného úseku a možností kapacitního snížení (viz tabulka 6) v daném úseku lze zrušit dopravu D3 v Železně Rudě-městě. Nadále zde vlaky zastavují již pouze jako na zastávce. Dalším krokem navrhované metodiky je snížení rozsahu DP o simulační krok k , což je 7 vlakových tras (10% rozsahu DP). Po té následuje spuštění simulačního běhu s počtem 365 iterací. Výsledek simulačního běhu s označením R – 1. 0 je uveden souhrnně v tabulce na konci druhé přílohy.

Vstupní simulace byla provedena v kapitole 5.2.1. Závěry vstupní simulace je možno převzít a označit jako R – 0.0 vstupní redukce DP. Simulační krok 10 % rozsahu DP a počet iterací a nastavení SM je stejné při výchozí simulaci (viz příloha 1).

Tabulka 10 – Redukce DP simulace R – 0.0 na R – 1.0

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda	2/3	2/2	969
Os	Klatovy – Železná Ruda	9/7	8/6	7546, 7551
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	7/5		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1		
Os	Špičák – Železná Ruda	6/6	5/5	7579, 7578
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2	1/1	68950, 68951
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2		

Zdroj: [Autor]

Podle výsledků z tabulky 7 – Ukazatele propustnosti vstupní simulace a v kontextu zásad zpracovaných v disertační práci, budou provedeny změny na DI v úseku Špičák – Železná Ruda-město – Železná Ruda-Alžbětín. Stupeň obsazení zde vykazuje nejnižší hodnoty, proto zde bude dle zásad kapitoly 4.5.4 – „Úpravy DI“ zrušena doprava Železná Ruda-město pro sled vlaků. Jízda vlaků se bude provádět v mezistaničním úseku Špičák – Železná Ruda-Alžbětín.

Simulace R - 1.0:

$$K_s = 0,99$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,08$$

Tabulka 11 – Ukazatele propustnosti simulace R - 1.0

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
úsek	kolej	N	T_{obs}	t_{obs}	S_o	
						T=1440
Klatovy	Janovice n. Ú.	1	50	474,0	9,5	0,33
Janovice n. Ú.	Nýrsko	1	33	332,0	10,1	0,23
Nýrsko	Hamry-H. Stráž	1	26	662,8	25,5	0,47
Hamry-H. Stráž	Špičák	1	26	336,5	12,9	0,23
Špičák	Železná Ruda-A.	1	36	490,5	13,6	0,34

Zdroj: [Autor]

Na základě výsledků tabulky 9 bude provedena úprava DI v úseku Janovice nad Úhlovou – Nýrsko, tak že sníží počet dopravních kolejí v ŽST Nýrsko na 3 staniční koleje.

Tabulka 12 – Redukce DP simulace R – 1.0 na R – 2.0

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda	2/2	1/0	964
Os	Klatovy – Železná Ruda	8/6		
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2	1/1	7566, 7591
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlovou	7/5		
Os	Janovice nad /Úhlovou - Nýrsko	1/1	1/1	7564, 7563
Os	Špičák – Železná Ruda	5/5		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlovou	1/1		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2	1/1	98910, 98911
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlovou	2/2		

Zdroj: [Autor]

Simulace R – 2.0

$$K_s = 0,97$$

$$\Delta Z_p = - 0,15$$

Tabulka 13 – Ukazatele propustnosti simulace R - 2.0

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
úsek		kolej	N	T_{obs}	t_{obs}	S_o
						T=1440
Klatovy	Janovice n. Ú.	1	45	427,0	9,5	0,30
Janovice n. Ú.	Nýrsko	1	27	270,5	10,0	0,19
Nýrsko	Hamry-H. Stráž	1	23	574,8	25,0	0,40
Hamry-H. Stráž	Špičák	1	23	290,0	12,6	0,20
Špičák	Železná Ruda-A.	1	33	437,0	13,2	0,30

Zdroj: [Autor]

Na základě výsledků tabulky 11 bude provedena úprava DI v úseku ŽST Janovice nad Úhlovou – ŽST Nýrsko, tak že změní organizace práce v ŽST Janovice nad Úhlovou, včetně snížení personální potřeby (- 1 signalista) a změny SZZ.

Tabulka 14 – Redukce DP simulace R – 2.0 na R – 3.0

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda	1/2	0/1	967
Os	Klatovy – Železná Ruda	8/6	1/1	7504, 7547
Os	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlovou	7/5	1/1	17545, 17544
Os	Janovice nad /Úhlovou - Nýrsko	0/0		
Os	Špičák – Železná Ruda	5/5		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlovou	1/1		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	1/1		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlovou	2/2	1/1	78110, 78111

Zdroj: [Autor]

Simulace R - 3.0

$$K_s = 0,96$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,23$$

Výstupní hodnota $\overline{\Delta Z_p}$ neodpovídá zadanému intervalu (hodnota je pod spodní hranicí zadaného intervalu) lze přistoupit k sycení rozsahu DP o $k/2 = 2$ vlaky viz. R – 3.1. Proto zde nejsou uvedeny hodnoty propustnosti dle [1], ale jen tabulka 13 - Redukce simulace z 3.0 na R – 3.1.

Tabulka 15 – Redukce DP simulace R – 3.0 na R – 3.1

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda	1/1		
Os	Klatovy – Železná Ruda	7/5	+1/1	7504, 7547
Os	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	6/4		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	0/0		
Os	Špičák – Železná Ruda	5/5		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	1/1		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		

Zdroj: [Autor]

Simulace R - 3.1

$$K_s = 1,00$$

$$\Delta Z_p = - 0,06$$

Tabulka 16 – Ukazatele propustnosti simulace R – 3.1

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
úsek	kolej	N	T_{obs}	t_{obs}	S_o	
						T=1440
Klatovy	Janovice n. Ú.	1	40	396,0	9,9	0,28
Janovice n. Ú.	Nýrsko	1	26	272,5	10,5	0,19
Nýrsko	Hamry-H. Stráž	1	22	547,8	24,9	0,40
Hamry-H. Stráž	Špičák	1	22	278,5	12,7	0,19
Špičák	Železná Ruda-A.	1	32	421,5	13,2	0,29

Zdroj: [Autor]

Na základě výsledků z tabulky 16, je potřebné upravit DI v úseku ŽST Hamry-Hojsova Stráž – ŽST Špičák tak, že se v ŽST Hamry-Hojsova Stráž sníží počet dopravních kolejí na 2.

Tabulka 17 – Redukce DP simulace R – 3.1 na R – 4.0

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda	1/1		
Os	Klatovy – Železná Ruda	8/6	-1/1	7504, 7547
Os	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	6/4	-1/0	17542
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	0/0		
Os	Špičák – Železná Ruda	5/5		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	1/1		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2	- 1/1	78130, 78131
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		

Zdroj: [Autor]

POZNÁMKA:

Další simulační běhy jsou pouze v elektronické verzi na CD, které je přiloženo k této disertační práci.

Příloha 3 – Sycení rozsahu DP při fixní DI

Zde je doktorandem prověřena platnost navrhované metodiky pro sycení rozsahu DP, včetně úprav DI. Ze vstupní kapacitní bilance protokolu R – 0.0, který odpovídá protokolu S – 0.0 se musí zjistit mezistaniční úsek s nevyšším S_0 . Zde se jedná o mezistaniční úsek ŽST Nýrsko – ŽST Hamry-Hojsova Stráž. Na základě vytipovaného úseku a možností kapacitního zvýšení (viz tabulka 5) v daném úseku je nutné vybudovat výhybnu na místě stávající hlásky Zelená Lhota. Dalším krokem navrhované metodiky je zvýšení rozsahu DP o simulační krok k , který činí 7 vlakových tras (10 % rozsahu DP) a cílový rozsah DP je stanoven na dvojnásobek výchozího stavu (cca 140 vlaků). Poté následuje spuštění simulačního běhu s označením S – 1.0 je uveden souhrnně v této příloze. Přidání nové trasy vlaku se provádí tak, že se vloží s ohledem na již existující trasy bezkonfliktně. v případě, že vkládaná trasa má vyšší prioritu a jejím vložením nastává konflikt, je možné původní trasu posunout tak, aby nevznikl žádný kolizní bod. Rozdílně od větve redukce se ve větvi sycení přidávají vlakové trasy tak, že se respektuje simulační krok k a zároveň reálná přepravní potřeba nové trasy. Skutečnou potřebnost takto nově vzniklé trasy prověří až reálný provoz, který simulace nemůže nikdy nahradit. Ve hře je několik desítek proměnných, které působí na dopravce, cestující a přepravce.

Simulační protokol S – 0.0

$$K_s = 0,97$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,13$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/3		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	9/7		
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	7/5		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	6/6		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Nýrsko – Hamry-Hojsova Stráž	1		1440	25,2	0,51

Opatření na DI:

Převedení hlásky Zelená Lhota na výhybnu Zelená Lhota se dvěma dopravními kolejemi.

Simulační protokol S – 1.0

$$K_s = 0,98$$

$$k = + 7 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,04$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/3	+1/1	960,965
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	9/7	+1/1	7538, 7555
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	7/5	+0/1	17555
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	6/6		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2	+1/1	68954, 68955
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Nýrsko – Hamry-Hojsova Stráž	1		1440	13,75	0,31

Opatření na DI:

Vybudování nového SZZ v ŽST Nýrsko a ŽST Zelená Lhota + AH bez oddílových návštěvidel v mezistaničním úseku Nýrsko – Zelená Lhota.

Simulační protokol S – 2.0

$$K_s = 0,99$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,04$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	10/8		
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2	+1/1	7568, 7565
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	7/6		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	6/6	+1/1	7582, 7583
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		
Mn	Klatovy – Nýrsko	1/1	+1/1	88344, 88345
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1		1440	8,66	0,40

Opatření na DI:

Úprava SZZ v ŽST Janovice nad Úhlavou vybudování SZZ ESA 11 a v mezistaničním oddílu se aplikuje TZZ AH – 88 s oddílovými návěstidly.

Simulační protokol S – 3.0

$$K_s = 0,99$$

$$k = + 7 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,05$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	10/8	+1/1	7506, 7503
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	7/6	+1/0	17524
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	7/7		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín		+1/1	68000, 68001
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	2/2	+1/1	78114, 78115

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1		1440	6,96	0,35

Opatření na DI:

V ŽST Nýrsko se zvýší počet dopravních kolejí ze 3 na 4 dopravní koleje.

Simulační protokol S – 4.0

$$K_s = 1,00$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,00$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín		+1/1	100, 101
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	8/6		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1/1	+1/1	7584, 7585
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	7/7		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3	+1/1	68956, 68957
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1		1440	6,88	0,37

Opatření na DI:

V úseku Klatovy – Janovice nad Úhlavou se vybuduje nové TZZ ABE-3.

Simulační protokol S – 5.0

$$K_s = 1,03$$

$$k = + 8 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,14$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Ažbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	3/3	+1/1	7520, 7521
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	8/6		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	2/2		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	7/7	+2/2	5390, 5391, 5392, 5393
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	2/2	+1/1	78134, 78135
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
			1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 5.1

$$K_s = 0,99$$

$$-k/2 = - 4 \text{ trasy}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,01$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	8/6		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	2/2		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	9/9	-1/1	5392, 5393
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1	-1/0	68950
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3	-0/1	78131
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1		1440	7,71	0,42

Opatření na DI:

Mezi ŽST Klatovy a ŽST Janovice nad Úhlavou se vybuduje druhá traťová kolej v celé délce mezistaničního úseku.

Simulační protokol S – 6.0

$$K_s = 0,86$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,59$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	8/6	+1/1	17556, 17557
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	2/2		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	8/8	+1/1	5392, 5393
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	0/1	+1/0	68950
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/2	+0/1	78131
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
			1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 6.1

$$K_s = 0,89$$

$$k/2 = + 3 \text{ trasy}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,49$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Ažbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/4	+1/0	972
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	2/2		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	9/9		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou		+1/1	57800, 57801
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
			1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 6.2

$$K_s = 0,87$$

$$k/3 = + 2 \text{ trasy}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,60$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Ažbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	2/2		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	9/9		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	2/2	+1/1	98914, 98915
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
Omezující úsek s nejvyšším S_o		kolej	N	T	t_{obs}	S_o
				1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 6.3

$$K_s = 1,03$$

$k/4 = \text{nelze přidat} \rightarrow 2 * k = + 6 \text{ tras}$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,19$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou		+1/1	350, 351
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Ažbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	11/9	+2/2	7554, 7505, 7556, 7507
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad /Úhlavou - Nýrsko	2/2	+1/1	7530, 7531
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	9/9	+1/1	5394, 5395
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1	+1/1	68002, 68003
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	2/2	+1/1	88346, 88347
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24						
Omezující úsek s nejvyšším S_o		kolej	N	T	t_{obs}	S_o
				1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 6.4

$$K_s = 0,99$$

$$-k/2 = -6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = -0,05$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1	-1/1	350, 351
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	13/11		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	3/3		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	10/10	-1/1	5394, 5395
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/2	-1/1	68002, 68003
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Nýrsko – Zelená Lhota	1		1440	12,55	0,42

Opatření na DI:

V mezistaničním úseku Nýrsko – Zelená Lhota se vybuduje EAH-88 s dvěma prostorovými oddíly zhruba ½ úseku.

Simulační protokol S – 7.0

$$K_s = 1,00$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,00$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	0/0	+1/1	350, 351
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	13/11		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	3/3		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	9/9	+1/1	5394, 5395
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1	+1/1	68002, 68003
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	1		1440	8,96	0,43

Opatření na DI:

V mezistaničním úseku Janovice nad Úhlavou - Nýrsko se vybuduje EAB-84 (tříznaký autoblok).

Simulační protokol S – 8.0

$$K_s = 1,03$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,18$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Ažbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	13/11		
Os	Klatovy – Nýrsko	4/4	+1/1	7532, 7533
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad /Úhlavou - Nýrsko	3/3		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	10/10	+1/1	5396, 5397
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/2	+1/1	68004, 68005
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
			1440		

Opatření na DI:

Opatření na DI nelze provést – nejsou splněny všechny požadavky dané metodikou.

Simulační protokol S – 8.1

$$K_s = 1,00$$

$$-k/2 = -2 \text{ trasy}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = 0,00$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	13/11		
Os	Klatovy – Nýrsko	5/5		
Os	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad Úhlavou - Nýrsko	3/3		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	11/11		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/3	-1/1	68002, 68003
Pn	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Janovice nad úhlavou – Nýrsko	1		1440	8,98	0,44

Opatření na DI:

V mezistaničním úseku Janovice nad Úhlavou – Nýrsko se vybuduje EAH-88 se dvěma prostorovými oddíly cca v ½ úseku.

Simulační protokol S – 9.0

$$K_s = 0,99$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,05$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	1/1	+1/1	102, 103
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	13/11	+1/1	7534, 7535
Os	Klatovy – Nýrsko	5/5		
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad /Úhlavou - Nýrsko	3/3		
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	11/11	+1/1	5396, 5397
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/2	+1/1	68002, 68003
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o
Hamry-Hojsova Stráž - Špičák	1		1440	11,11	0,43

Opatření na DI:

- V ŽST Špičák se zvýší počet dopravních kolejí ze dvou na tři dopravní koleje.
- V úseku Hamry-Hojsova Stráž – Železná Ruda-Alžbětín se doprava bude organizovat podle předpisu SŽDC (ČD) D2.

Simulační protokol S – 10.0

$$K_s = 0,96$$

$$k = + 6 \text{ tras}$$

$$\overline{\Delta Z_p} = - 0,17$$

Kategorie vlaku	Trasa vlaku	Směr S/L	Směr S*/L*	čísla vlaků
OSOBNÍ DOPRAVA				
Ex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1	+1/1	352, 353
Ex	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	2/2		
R	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	4/4		
Os	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	14/12		
Os	Klatovy – Nýrsko	5/5		
Os	Klatovy – Janovice nad /Úhlavou	9/7		
Os	Janovice nad /Úhlavou - Nýrsko	3/3	+1/1	7536, 7537
Os	Špičák – Železná Ruda-Alžbětín	12/12		
NÁKLADNÍ DOPRAVA				
Nex	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	1/1		
Pn	Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín	3/3		
Pn	Klatovy – Janovice nad / Úhlavou	4/4		
Mn	Klatovy – Nýrsko	3/3		
Mn	Klatovy – Železná Ruda	3/3	+1/1	98916, 98917
Lv	Klatovy – Železná Ruda	3/3		
Lv	Klatovy – Janovice nad Úhlavou	3/3		

Ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24					
Omezující úsek s nejvyšším S_o	kolej	N	T	t_{obs}	S_o

Opatření na DI:

Konec simulace!!!