

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv periodického jízdního řádu na kapacitu trati

Ing. Přemysl Šrámek

Disertační práce

2017

Studijní program:

P3710 Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor:

3708V024 Technologie a management v dopravě a telekomunikacích

Školitel: prof. Ing. Tatiana Molková, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Ivo Hruban, Ph.D.

Disertační práce vznikla na školícím pracovišti:

Katedra technologie a řízení dopravy

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji 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 Pardubicích dne 7. 4. 2017

Přemysl Šrámek

Rád bych poděkoval vedoucí práce prof. Ing. Tatianě Molkové, Ph.D. a školiteli specialistovi Ing. Ivo Hrubanovi, Ph.D. za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání disertační práce. Také děkuji Ing. Pavlu Krýžemu, Ph.D. ze SŽDC za poskytnutí simulačního programu SimuT.

ANOTACE

Tato disertační práce se zabývá vlivem periodicity JŘ na kapacitu trati. Nejdříve je na základě jízdního řádu 2016 vytvořena simulace v simulačním programu SimuT, poté jsou pro jednotlivá vozební ramena vytvořeny a následně simulovány periodické jízdní řády. Výstupem simulace je vždy počet vlakových tras (kvantitativní parametr), průměrné přírůstky zpoždění (kvalitativní parametr) a kapacitní ukazatele dle SŽDC D24. Autorem jsou vypočítány i kapacitní ukazatele dle UIC 406. Práce se zabývá i možností tvorby integrovaného taktového jízdního řádu vlaků osobní dopravy a síťově propojených periodických tras vlaků nákladní dopravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kapacita trati, periodicitu, průměrný přírůstek zpoždění, SimuT, stabilita jízdního řádu, vlaková trasa.

TITLE

The periodic timetable influence on line capacity

ANNOTATION

This thesis deals with the influence of timetable periodicity on line capacity. First, based on the schedule 2016 there is created a simulation in the simulation program SimuT, and then they are for individual train branches formed and subsequently simulated periodic schedules. The output of the simulation is always a number of train routes (quantitative parameter), the average delay increments (qualitative parameters) and capacitive indicators according to the SŽDC D24. There are calculated capacity indicators UIC 406, too. The work deals with the possibility of implementation of an integrated timetable in passenger transport and periodic freight train paths.

KEYWORDS

Line capacity, periodicity, average delay increment, SimuT, timetable stability, train route.

OBSAH

ÚVOD	13
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE	14
1.1 Periodický jízdní řád a kapacita trati.....	14
1.1.1 Periodický jízdní řád	14
1.1.2 Kapacita trati	23
1.2 Shrnutí kritické analýzy současného stavu.....	30
2 DEFINICE CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	33
2.1 Cíl práce	33
2.2 Vyslovení hypotézy.....	33
3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ	34
3.1 Modelování dynamických systémů.....	34
3.2 Simulace.....	35
3.3 Simulátory pro železniční provoz	37
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	41
4.1 Současný rozsah provozu	44
4.1.1 Současný rozsah provozu Kolín – Choceň.....	45
4.1.2 Současný rozsah provozu Choceň – Hradec Králové – Velký Osek.....	47
4.1.3 Současný rozsah provozu Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.....	50
4.1.4 Současný rozsah provozu Kolín – Velký Osek.....	51
4.1.5 Současný rozsah provozu Moravany – Borohrádek.....	52
4.1.6 Shrnutí současného rozsahu provozu	54
4.2 Tvorba PJŘ.....	54
4.2.1 Tvorba PJŘ Kolín - Choceň	54
4.2.2 Tvorba PJŘ Choceň – Hradec Králové – Velký Osek	59
4.2.3 Tvorba PJŘ Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.	64
4.2.4 Tvorba PJŘ Kolín – Velký Osek.....	68
4.2.5 Tvorba PJŘ Moravany – Borohrádek.....	70
4.2.6 Shrnutí tvorby PJŘ.....	72
4.3 Tvorba ITJŘ	73
4.4 Sít'ově propojené periodické trasy vlaků nákladní dopravy (SPP)	76

4.4.1	Tvorba SPP Kolín – Choceň	77
4.4.2	Tvorba SPP Choceň – Hradec Králové hl. n. – Velký Osek	80
4.5	Dílčí závěr	85
5	VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ.....	87
5.1	Porovnání jednotlivých variant JŘ	87
5.2	Souvztažné výzkumné práce	99
5.3	Formulace obecně platných závěrů.....	101
5.4	Ověření hypotézy disertační práce	105
6	VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA	107
7	ZÁVĚR	108
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	109
9	PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE.....	112
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	113

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdíly mezi ITJŘ a síťovou nabídkou periodických nákladních tras.....	20
Tabulka 2: Orientační hodnoty využití kapacity pro konkrétní typy tratí	26
Tabulka 3: Časový diagram možností plánování rozšíření kapacity	26
Tabulka 4: Orientační hodnoty míry časové přirážky pro konkrétní typy tratí	28
Tabulka 5: Míra rozlišení daného subsystému v rámci stanovené úrovně simulace	36
Tabulka 6: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Kolín – Choceň.....	45
Tabulka 7: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Kolín – Choceň.....	46
Tabulka 8: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Kolín – Choceň	46
Tabulka 9: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek.....	47
Tabulka 10: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek	48
Tabulka 11: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek	49
Tabulka 12: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové	50
Tabulka 13: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové.....	50
Tabulka 14: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové ...	51
Tabulka 15: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek.....	51
Tabulka 16: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek .	52
Tabulka 17: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek.....	52
Tabulka 18: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek.....	53
Tabulka 19: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek.....	53
Tabulka 20: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek	53
Tabulka 21: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Kolín – Choceň	55
Tabulka 22: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Kolín - Choceň.....	56
Tabulka 23: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Kolín – Choceň.....	57
Tabulka 24: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Kolín – Choceň.....	57
Tabulka 25: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Choceň – Velký Osek	59
Tabulka 26: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Choceň – Velký Osek	61
Tabulka 27: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Choceň – Velký Osek.....	62
Tabulka 28: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Choceň – Velký Osek	63

Tabulka 29: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Pardubice – Hradec Králové	65
Tabulka 30: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Pardubice – Hradec Králové	66
Tabulka 31: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Pardubice – Hradec Králové.....	66
Tabulka 32: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Pardubice – Hradec Králové	67
Tabulka 33: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Kolín – Velký Osek	69
Tabulka 34: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Kolín – Velký Osek.....	69
Tabulka 35: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Kolín – Velký Osek.....	69
Tabulka 36: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Kolín – Velký Osek	70
Tabulka 37: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Moravany – Borohrádek	70
Tabulka 38: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Moravany - Borohrádek.....	71
Tabulka 39: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Moravany – Borohrádek..	71
Tabulka 40: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Moravany – Borohrádek	71
Tabulka 41: Periody jednotlivých PJŘ	72
Tabulka 42: Hranové časy mezi uzly ITJŘ.....	74
Tabulka 43: Hodnoty kruhových rovnic pro jednotlivé n-úhelníky	74
Tabulka 44: Požadované hodnoty kruhových rovnic pro jednotlivé n-úhelníky (osobní doprava)	75
Tabulka 45: Ukazatele propustnosti pro 24 h, SPP Choceň – Velký Osek	82
Tabulka 46: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, SPP Choceň – Velký Osek	84
Tabulka 47: Ukazatele propustnosti období špičky, SPP Choceň – Velký Osek.....	84
Tabulka 48: Počet vlaků v jednotlivých JŘ	87
Tabulka 49: Kapacitní ukazatele v JŘ 2016	89
Tabulka 50: Kapacitní ukazatele v PJŘ	90
Tabulka 51: Kapacitní ukazatele v SPP	91
Tabulka 52: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, celá síť	92
Tabulka 53: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Choceň.....	93
Tabulka 54: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Choceň – Velký Osek	94
Tabulka 55: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.	95
Tabulka 56: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Velký Osek	96
Tabulka 57: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Moravany – Borohrádek	97
Tabulka 58: Kapacitní ukazatele pro vybrané mezistaniční úseky.....	99
Tabulka 59: Přehled parametrů pro celou uzavřenou síť	101

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Ideální stav ITJŘ	18
Obrázek 2: Rámcový postup pro tvorbu periodických nákladních tras v síti	22
Obrázek 3: Kapacitní bilance	25
Obrázek 4: Společný traťový úsek více koridorových tratí	42
Obrázek 5: Vývojový diagram řešení disertační práce	43
Obrázek 6: Zvolené implementační území	44
Obrázek 7: NJŘ Pardubice – Přelouč v období ranní špičky	59
Obrázek 8: NJŘ Týniště n. O. – HK – Slezské předměstí v období ranní špičky	64
Obrázek 9: NJŘ v období ranní špičky Pardubice – Hradec Králové	68
Obrázek 10: NJŘ v období ranní špičky Moravany – Borohrádek	72
Obrázek 11: Úzké hrdlo Pardubice hl. n. – Přelouč	78
Obrázek 12: Úzké hrdlo Kolín – Řečany n. L.	78
Obrázek 13: Úzké hrdlo Kolín – Řečany n. L., detail	79
Obrázek 14: Úzké hrdlo Týniště n. O. – Třebechovice pod O. – Hradec Králové – Slezské Předměstí	80
Obrázek 15: Uvolněná kapacita pro vlak 63442	81
Obrázek 16: Uvolněná kapacita pro vlak 63441	82
Obrázek 17: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, celá síť	93
Obrázek 18: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín - Choceň	94
Obrázek 19: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Choceň – Velký Osek	95
Obrázek 20: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.	96
Obrázek 21: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Velký Osek	97
Obrázek 22: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Moravany – Borohrádek	98
Obrázek 23: Postup implementace PJŘ na definované železniční infrastrukturu	103
Obrázek 24: Ishikawův diagram nedosažení požadované kvality PJŘ	105

SEZNAM ZKRATEK

AB	automatický blok
ADI	celkový průměrný přírůstek zpoždění
ADIF	průměrný přírůstek zpoždění vlaků nákladní dopravy
ADIL	průměrný přírůstek zpoždění vlaků dálkové osobní dopravy
ADIR	průměrný přírůstek zpoždění vlaků regionální osobní dopravy
AH	automatické hradlo
DB	Deutsche Bahn (Německé dráhy)
DI	dopravní infrastruktura
DOZZ	dálkově ovládané zabezpečovací zařízení
ERTMS	evropský systém řízení železničního provozu
EU	Evropská unie
FMEA	analýza možného výskytu a vlivu vad
HK	Hradec Králové
IS	informační systém
ITJŘ	integrovaný taktový jízdní řád
JOP	jednotné obslužné pracoviště
JŘ	jízdní řád
NJŘ	nákresný jízdní řád
PJŘ	periodický jízdní řád
RFC	evropské železniční nákladní koridory
RPB	reléový poloautomatický blok
RZZ	reléové zabezpečovací zařízení
SimuT	simulační program Simulování Tratí
SJŘ	sešitový jízdní řád
SPP	síťově propojené periodické trasy vlaků nákladní dopravy
SZZ	staniční zabezpečovací zařízení
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
TEN-T	transevropská dopravní síť
TEST	typové elektronické stavědlo
TK	traťová kolej
TJŘ	taktový jízdní řád

TZZ	tratiškové zabezpečovací zařízení
UIC	Mezinárodní železniční unie
VO	Velký Osek
ŽST	železniční stanice

ÚVOD

Určení vlivu periodicity jízdního řádu na kapacitu trati je jedním z výzkumných úkolů, jehož vyřešením lze optimalizovat provozování dráhy i provozování drážní dopravy, a to bez realizace finančně nákladných a administrativně náročných rekonstrukčně-stavebních opatření.

V rámci tohoto výzkumu je nezbytné uvažovat jak kvalitativní, tak i kvantitativní stránku dané problematiky. Hlavním zájmem manažera železniční infrastruktury je realizace kvantitativní (co nejvyšší počet vlakových tras) generující tržby v podobě poplatku za přidělení kapacity a poplatku za využití železniční dopravní cesty, hlavním zájmem jednotlivých dopravců je především realizace kvality, resp. co nejstabilnější vlakové trasy v dostatečném počtu. Jak dopravci, tak manažer železniční infrastruktury pak mají zájem na nalezení optimálního využití vlakových tras z hlediska jejich kvantitativní i kvality. Z hlediska daného výzkumného úkolu je navíc třeba vše ještě vztáhnout k implementaci periodických jízdních řádů.

Je potřeba si také uvědomit současný rozdíl v přístupu manažera železniční infrastruktury k osobním a nákladním dopravcům. Mezitím co osobní dopravci jsou z hlediska provozní priority preferováni co do kvality i kvantitativní tras, vlaky nákladní dopravy jsou často zpožděny kvůli předjíždění vlaky osobní dopravy, ačkoliv nákladní doprava generuje na jeden vlak vyšší tržby pro provozovatele dráhy. Tento nepříznivý stav nákladních dopravců, kteří stejně jako osobní dopravci požadují co nejvyšší stabilitu jimi využívaných vlakových tras, se snaží již změnit různé organizace, např. ŽESNAD či Evropskou unií realizované Železniční nákladní koridory (RFC). I nákladní dopravci jsou schopni provozovat drážní dopravu v rámci periodických jízdních řádů, resp. v rámci síťově propojených periodických tras vlaků nákladní dopravy.

Na řešení problematiky vlivu periodicity jízdních řádů na kapacitu trati bude nutné kvantifikovat počet tras jednotlivých kategorií vlaků coby ukazatel kvantitativní a dále definovat a aplikovat i kvalitativní ukazatele, konkrétně ukazatel určující stabilitu daného jízdního řádu. Dále bude nezbytné pro ověření konkrétního řešení vypočítat kapacitní ukazatele dle standardizovaných používaných metod (SŽDC D24, UIC 406). Na základě těchto parametrů bude vytvořen multikriteriální model, který se stane poté předmětem simulace ve vybraném simulačním programu.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

Kapacita železniční dopravní cesty ani problematika periodických jízdních řádů (PJŘ) již nejsou zcela novým vědeckým tématem, přesto současná implementace PJŘ v reálném provozu a její kapacitní nároky dokazují, že se nejedná o téma zcela vyčerpané. Autor disertační práce analyzoval vybrané publikace zahraničních i domácích autorů a výsledek následně utřídil do dvou tematických bloků, které společně vystihují současný stav poznání v oblasti tématu disertační práce.

1.1 Periodický jízdní řád a kapacita trati

Charakteristika PJŘ spočívá ve stejných časech odjezdů a příjezdu vlaků v dané stanici či na dané trati podle velikosti periody. Kapacita dopravní infrastruktury (DI) je využitelná propustnost v rámci rozvržení požadovaných tras vlaků na úseku dopravní cesty v určitém období (Molková a kol., 2010, s. 11).

1.1.1 Periodický jízdní řád

Dle Rolanda Haudenschilda (1981) je PJŘ popisován jako tuhý jízdní řád (JŘ), tedy jako protiklad k flexibilnímu (pohyblivému) JŘ. Jako takový je chápán jako opakování času odjezdů a příjezdů vlaků na dané trati či stanici ve stejnou minutu každou hodinu (či každé dvě hodiny), což předpokládá stejnou cestovní rychlost a konstantní následné mezidobí jízdy následných vlaků. Dle Haudenschilda (1981) se poprvé objevil pojem takt, resp. taktová doprava po druhé světové válce. Velikost taktu, resp. periody se může pohybovat v rozmezí 10 min až 2 h.

Dle Hrabáčka (2010) lze PJŘ dále dělit z časoprostorového hlediska na:

- a) směrový takt – vazba vlaků dané linky, ale pouze jednoho směru,
- b) takt linky – stejný takt vlaků jedné linky v obou směrech,
- c) takt trati – více linek provozovaných na jedné trati, všechny linky vůči sobě v daném taktu, takty všech linek stejné,
- d) síťový takt – stejný takt na všech tratích s danými návaznostmi.

V rámci PJŘ je nezbytné dále definovat základní pojmy, a to pojmy perioda, hranový čas, symetrie, osa symetrie, taktový uzel a integrovaný taktový jízdní řád (ITJŘ). Definice jsou uváděny na základě Hrabáčka (2010) a Liebchena (2005).

Perioda – představuje pravidelný časový odstup mezi jednotlivými spoji, a to v rámci několika minut až po několik hodin.

Hranový čas – jinými slovy také systémová jízdní doba. Jedná se o potřebný čas mezi dvěma taktovými uzly, kdy v případě síťových systémových vazeb (v rámci ITJŘ) je jeho hodnota celistvým násobkem zvolené velikosti periody. V systémové jízdní době je obsažena vlastní jízdní doba, čas pobytu spoje v taktových uzlech a nácestných stanicích z dopravních a přepravních důvodů stejně jako jsou také obsaženy vyrovnávací časy (v případě ITJŘ).

Symetrie – symetrický TJŘ je založen na předpokladu splnění shodných parametrů obou směrů stejné linky, především na stejném počtu vlaků v obou směrech, stejných jízdních a přestupních časech v daných úsecích, na shodných dobách pobytu ve stejných stanicích a zastávkách jako také na jednotných jízdních vlastnostech (rovnoběžný symetrický nákrešný jízdní řád (NJŘ)).

Osa symetrie – je závislá na velikosti zvolené periody. Jedná se o čas, zajišťující vazbu mezi oběma směry linky provozované v taktu. V tento čas dochází k pravidelnému potkávání (míjení, křížování) spojů jedné linky po celé provozní období JŘ. Prostřednictvím stejné osy symetrie jednotlivých linek je možné zajistit jejich vzájemné systémové vazby. V rámci Evropské unie (EU) je jako základní brána osa symetrie k celé hodině (X. 00), která předpokládá velikost periody 2 hodiny. Obdobně pro velikost periody 1 hodina jsou osy symetrie X. 00 a X. 30, pro velikost periody 30 minut poté X. 00, X. 15, X. 30, X. 45 atd.

Taktový uzel – stanice, kde jsou realizovány pravidelné systémové vazby jedné či více linek. Jednotlivé spoje přijíždějí do příslušného taktového uzlu před časem symetrie, aby po uplynutí stanoveného času (staniční intervaly, přestupní doby, vyrovnávací časy) z uzlu po čase symetrie odjely.

Integrovaný taktový jízdní řád – zavedení PJŘ na jedné trati vyvolává nutně řetězovou reakci, tedy nezbytnost zavedení PJŘ i na ostatních tratích, které se s dotčenou tratí stýkají v taktovém uzlu. Pouze tímto způsobem je možné zajistit obousměrné přestupní vazby mezi jednotlivými linkami tak, aby byl minimalizován celkový čas přepravy v rámci obsluhované sítě, a tím zvýšena atraktivita veřejné dopravy. Jedná se tedy o nadstavbu k běžnému PJŘ, kdy je ve všech požadovaných taktových uzlech nutné, aby byly dodrženy potřebné hranové časy mezi těmito taktovými uzly. Dle Specka (1996) se smysluplnost realizace ITJŘ pohybuje v rozmezí velikosti periody 15 – 120 min, protože pro periodu kratší než 15 min není nezbytné

sledovat pravidelné systémové přestupní jízdní doby. Naopak pro periodu delší než 2 h již není zcela zásadní, zdali dané spoje jedou v taktu. Limitní hranici mezi taktovým a volným jízdním řádem je definována perioda 4 h.

K PJŘ i ITJŘ se vztahují určité podmínky nezbytné pro jejich realizaci. V rámci PJŘ jsou vlaky stejné linky determinovány vazbou v taktových uzlech pro přestup, křižování či jiné dopravní důvody (dodržení následného mezidobí). V případě více taktových uzlů v rámci jedné trati je zřejmé, že čas jízdy mezi taktovými uzly musí odpovídat určité hodnotě. Během dopravního pobytu musí být v taktovém uzlu všechny vlaky s plánovanou vazbou, a to i spoje stejné linky opačného směru. Hranový čas mezi dvěma uzly se tedy vždy musí rovnat minimálně celistvému násobku poloviny času zvolené periody (1).

$$t_H = n \cdot \frac{t_T}{2} \quad (1)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

t_H hranový čas mezi taktovými uzly [min]

t_T velikost taktu [min]

Z tohoto pravidla lze odvodit i počet dopraven potřebných ke křižování mezi dvěma taktovými uzly (2).

$$n_k = \frac{2 t_H}{t_T} - 1 \quad (2)$$

n_k počet stanic potřebný na křižování zaokrouhlený nahoru[-]

t_H hranový čas mezi taktovými uzly [min]

t_T velikost taktu [min]

V rámci ITJŘ je navíc nezbytná koordinace hranových vazeb tak, aby bylo možné efektivní propojení dané sítě. Dle Hrabáčka (2010) platí tzv. kruhová rovnice (3), kdy suma všech hranových časů v daném n-úhelníku, který vytváří uzavřenou síť, se rovná celistvému násobku taktu t_T .

$$t_{H1} + t_{H2} + t_{H3} = n_1 \cdot \frac{t_T}{2} + n_2 \cdot \frac{t_T}{2} + n_3 \cdot \frac{t_T}{2} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \frac{t_T}{2} = n \cdot t_T \quad (3)$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

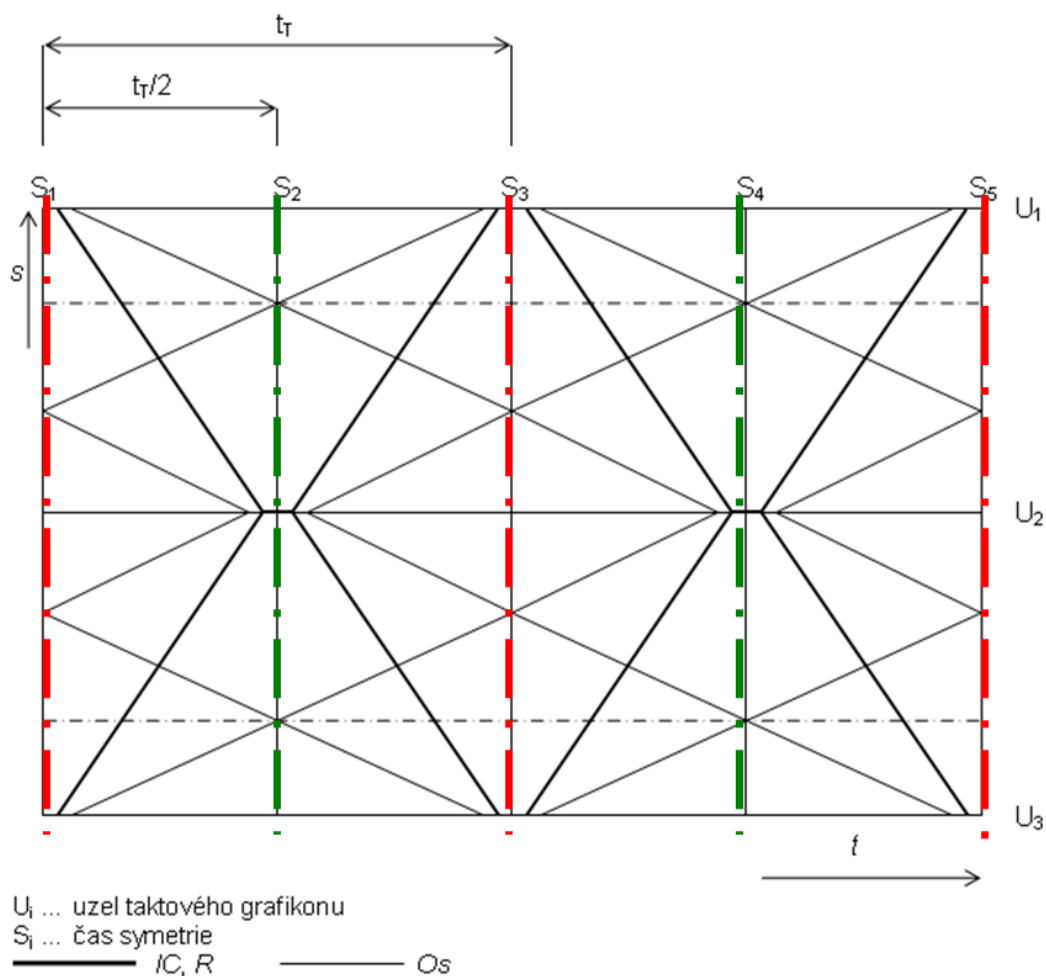
t_{Hi} hranový čas mezi taktovými uzly na příslušných hranách n-úhelníku [min]

t_T velikost taktu [min]

Aby bylo možné realizovat ideální ITJŘ, je nezbytné splnit 4 základní podmínky (Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, 2001):

- a) jednotná perioda v rámci sítě,
- b) jednotná osa symetrie,
- c) splnění podmínky pro hranový čas
- d) splnění podmínky pro kruhové rovnice.

Jednotná perioda je významná z hlediska možnosti kombinace různých železničních sítí – dálkové a regionální, popř. příměstské dopravy, a to v jednotlivých obdobích dne a týdne (špičky, sedla). Vhodně zvolenou velikostí periody je umožněno zachování přestupních vazeb i mezi dvěma periodickými dopravními systémy, které využívají rozdílnou velikost taktu. Jediným výraznějším omezením praktického charakteru je kombinace s intervalem 60 minut tak, aby odjezdy daných spojů byly každou hodinu stejné (nejčastěji je kombinován takt 15min, 20 min či 30 min). Jednotná osa symetrie je poté nezbytná ke správnému fungování systémových vazeb (křižování, přestupy), jejichž významnost roste s velikostí taktu, resp. s velikostí střední doby čekání. V sedlovém čase, kdy je velikost periody 120 min, je nežádoucí a pro cestující velmi nepříjemné, když není systémová vazba dodržena. Aby mohly ale být dodrženy všechny systémové vazby v rámci daného taktového uzlu, musí tento disponovat dostatečným počtem kolejí s nástupištní hranou – je tedy v rámci konstrukce ITJŘ nezbytné sledovat i tento parametr. V ideálním případě lze dosáhnout implementace ITJŘ v podobě zobrazené na Obrázku 1 (Drábek, 2013, s. 30).



Zdroj: Drábek, 2013

Obrázek. 1: Ideální stav ITJŘ

Co se realizace ITJŘ týče, nelze vždy předpokládat, že nastane ideální stav – je proto alespoň zpočátku nutné počítat s určitými systémovými omezeními:

- neobsluhování všech míst zastavení,
- přidání míst zastavení,
- nedodržení přestupních vazeb v taktovém přestupním uzlu mezi vybranými linkami nebo realizace pouze směrových přestupních vazeb,
- zavedení dodatečných spojů mimo schéma taktu,
- variace nabídky za účelem zajištění přestupních vazeb,
- nevedení všech vlaků ve stejném taktu v rámci jedné linky,
- vhodná organizace provozu v taktových uzlech.

Tato omezení mohou být ale i trvalého charakteru, popř. jich lze využít pro zkrácení či prodloužení hranových časů mezi danými taktovými uzly (neobsluhování či přidání míst zastavení) (Hrabáček, 2010, s. 17).

Klíčovým ukazatelem nejen PJŘ je dále jejich stabilita coby základní schopnost snižovat vzniklá zpoždění v rámci sítě, a to až do jejich úplné eliminace. Dle Hansena a Albrechta (2008) jsou rozlišovány 2 typy stability JŘ - lokální stabilita otevřeného systému (subsítě) a celková stabilita uzavřeného systému (celé sítě).

Systém je lokálně stabilní, pokud je suma výstupních zpoždění menší než suma zpoždění vstupních, kde jsou do vstupních zpoždění zahrnuty vlaky do otevřeného systému vstupující a vlaky v rámci systému výchozí a výstupní zpoždění představují vlaky vystupující ze systému a vlaky zde končící. U otevřených systémů je nezbytné určení a dodržování vymezených hranic daného systému. Princip lokální stability je možné aplikovat na provázané systémy vozebních ramen, jak je uvádí ve své disertační práci Krýže (2005).

Uzavřený systém představuje celistvou síť, kde probíhají všechny dopravní i přepravní úkony. Systém je celkově stabilní, pokud je počáteční zpoždění systému zcela eliminováno ve stanoveném čase (Hansen, Albrecht, 2008, str. 119).

Žádný efektivní JŘ se také neobejde bez vyřešeného trasování vlaků v železničních stanicích (ŽST), kdy nemohou být jednotlivé prvky DI současně obsazovány více jízdními cestami. Tento problém je tím důležitější, čím vyšší je hustota provozu a složitost (velikost, rozsáhlost) ŽST. Dle Hansena a Albrechta (2008) jsou totiž přetížené ŽST v systémech s vysokou hustotou dopravního provozu hlavním zdrojem zpoždění. Otázkou je také konkrétní trasování vlaků v dané ŽST, kdy je pro vlaky osobní dopravy nezbytností přistavení k dostatečně dlouhému nástupišti tak, aby byl umožněn nástup a výstup cestujících ze všech dveří vlaku. Dále je z hlediska dispečerského řízení vhodné přistavovat vysoce obsazené osobní vlaky k nástupišťům blíže staniční budově, aby nedocházelo k přílišným kolizím proudů cestujících z jednotlivých vlaků. Toto opatření také do určité míry ovlivňuje trasování v dané ŽST (Hansen, Albrecht, 2008, str. 146 - 148).

V roce 2016 byly implementovány evropské železniční nákladní koridory (RFC), přičemž Českou republikou procházejí čtyři z devíti těchto koridorů. Jedná se o koridory RFC 5 (Balt - Jadran), RFC 7 (Orient/Východo-středomořský), RFC 9 (Československý, tzv. CS koridor) a nejnověji RFC 8 (Severní moře - Balt) (Čech, Šlachťová, 2015, str. 8). Zástupci všech devíti koridorů RFC podepsali 14. října 2014 ve Vídni na jednání sdružení manažerů infrastruktury a přidělců kapacity RailNetEurope Společnou deklaraci evropských železničních nákladních koridorů o spolupráci na vytvoření sítě koridorů RFC, ve které se vzájemně zavazují hledat společná řešení

a jednotné postupy za účelem vytvoření zákaznický přívětivé sítě (Čech, Šlachtová, 2015, str. 9). Nezbytným předpokladem fungování této sítě je dodržení příslušných koridorových tras tak, aby nedocházelo ke zpoždování nákladních expresů s následkem odplutí kontejnerové lodě bez příslušného nákladu. Vzhledem k předpokládané četnosti tras lze předpokládat, že nákladními dopravci bude vyžadován režim termín cargo, tedy rozšíření PJŘ i na nákladní dopravu.

Dle Drábka (2013) je vhodné za účelem respektování potřeb nákladní dopravy konstruovat místo PJŘ spíše síťově propojené periodické trasy (SPP), které jsou chápány jako síťová nabídka kapacity. V Tabulce 1 jsou uvedeny rozdíly mezi ITJŘ a síťově propojenými periodickými trasami.

Tabulka 1: Rozdíly mezi ITJŘ a síťovou nabídkou periodických nákladních tras

Prvek	Osobní doprava	Nákladní doprava
	linky	síťově propojené periodické trasy
doba taktu	ano	ano
nulová symetrie	ano	ano
systémová jízdní doba	ano	synchronizační jízdní doba
taktové skupiny	ano	ne nutně
přípoje (zákazník)	pobyt + přestup	pokud možno průjezd
přípoje (plánování)	synchronizační doba	synchronizační jízdní doba

Zdroj: Drábek

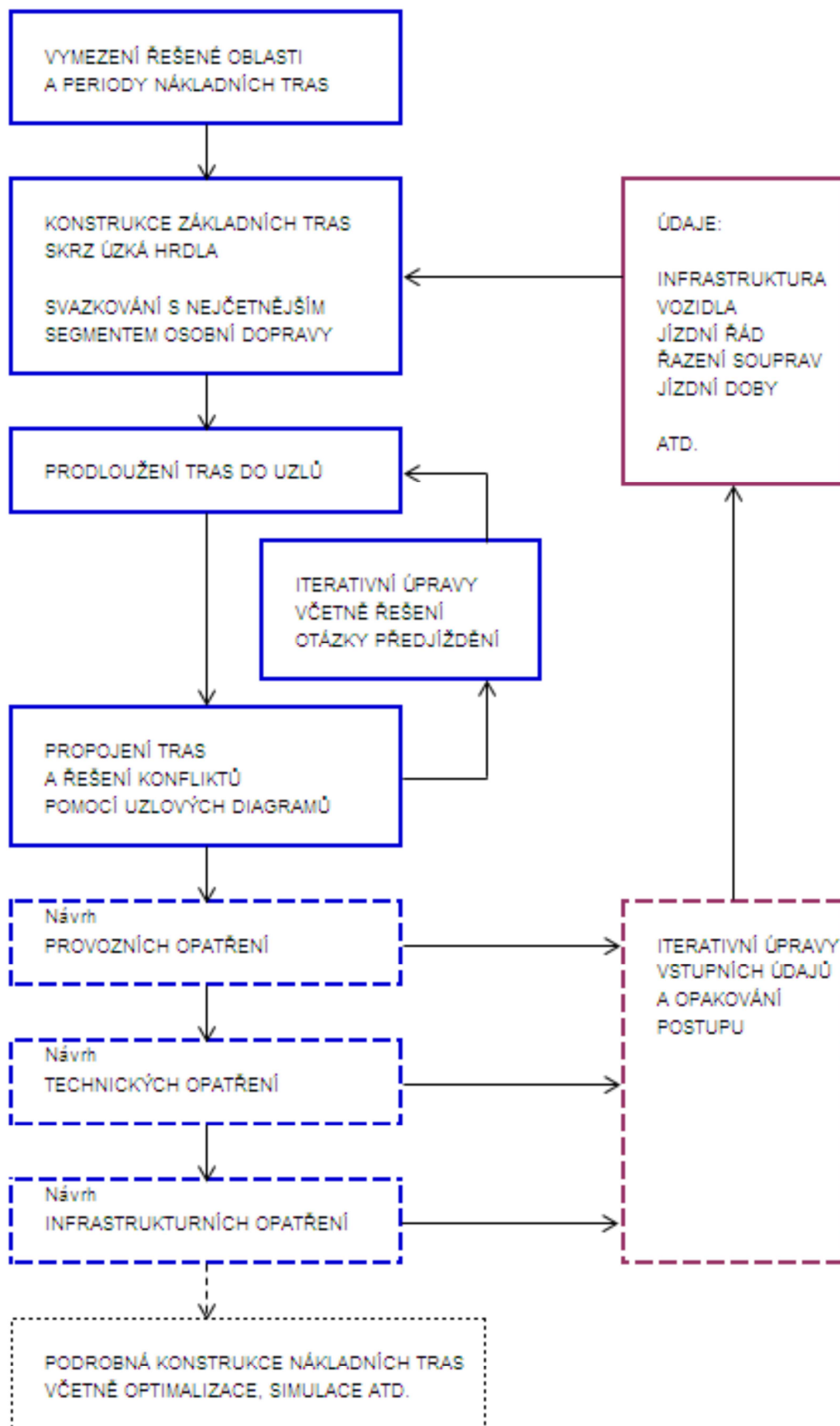
Síťově propojené periodické nákladní trasy nákladní dopravy je vhodné konstruovat tak, aby byly svazkovány přes úzké hrdlo sítě spolu s vlaky osobní dopravy, které by je mohly poté předjet v tzv. kompenzační zóně, sloužící také pro tvorbu časové zálohy z důvodu synchronizační jízdní doby (propojení volných časových oken v úzkých hrdlech). Drábek ve své disertační práci (2013) uvádí rámcový postup pro tvorbu periodických nákladních tras v síti, viz Obrázek 2.

V této disertační práci Drábek vypracoval i přehled podpůrných opatření pro uvedený rámcový postup:

1. opatření provozně-technologická:

- umělé zpomalení nákladního vlaku,
- přidání či odebrání přípreže či postrku v kompenzačních zónách,
- prodloužení doby pobytu vlaků osobní dopravy,
- úprava zastavovací politiky vlaků osobní dopravy,

- snížení počtu vrstev (segmentů dopravy) osobní dopravy na dané trati,
2. opatření technická:
- automatické vedení vlaku,
 - navádění vlaků do bezkonfliktních tras v reálném čase (rescheduling),
3. opatření infrastrukturní:
- nové výhybky (vyšší rychlost do odbočky),
 - prodloužení předjízdných kolejí,
 - prodloužení staničních kolejí na jednokolejné trati,
 - částečné zdvoukolejnění tratě,
 - ETCS.



Zdroj: Drábek (neveřejná DP)

Obrázek 2: Rámcový postup pro tvorbu periodických nákladních tras v síti

1.1.2 Kapacita trati

Kapacita DI je využitelná propustnost v rámci rozvržení požadovaných tras vlaků na úseku dopravní cesty v určitém období (Molková a kol., 2010, s. 11).

Dle Černého a Černé (2004) lze kapacitu z hlediska dopravních systémů členit následovně:

- a) technická propustnost – propustnost dopravní sítě, kde všechny dopravní komplety dodržují stanovenou rychlost, na kterou je dopravní cesta konstruována, dodržují stanovenou bezpečnou vzdálenost mezi sebou a využívají všechny dostupné cesty (pruhy silniční komunikace, traťové koleje),
- b) technologická kapacita – propustnost za předpokladu heterogenního dopravního proudu – dopravní komplety nemají shodné parametry (délka, hmotnost, rychlost) a vstupují do systému stochasticky,
- c) použitelná kapacita – technologická kapacita po odečtení dopravních výkonů ve veřejném zájmu a ostatních obvyklých výkonů.

V České republice je pro výpočet kapacity používán předpis **SŽDC (ČD) D24** ve znění pozdějších změn. Propustnost traťového úseku je zde definována jako rozsah vlakové dopravy, který za daného stavu a technického vybavení provozních zařízení tratí a při zachování řádu, platného pro jejich využívání, může být na dané trati v určitém časovém období trvale a pravidelně zvládnutelný.

Teoretická propustnost (4) je dle SŽDC (ČD) D24 počet vlaků každého směru, jež lze na dané trati trvale a plynule provázet v časovém období 24 hodin.

$$n_{max} = \frac{T}{t_{obs}} \quad (4)$$

n_{max}	teoretická (maximální) propustnost [počet vlaků/výpočetní období]
T	výpočetní období [min]
t_{obs}	technologický čas obsazení konkrétního provozního zařízení jedním vlakem [min/vlak]

Předpis SŽDC (ČD) D24 definuje i praktickou propustnost (5), do které započítává i čas oprav a údržby provozních zařízení, stejně jako určitý čas pro zajištění kvality provozování dráhy, resp. pro eliminaci zpoždění. Praktickou propustnost již plně využívá pravidelná doprava.

$$n = \frac{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stát})}{t_{obs} + t_{dod} + t_{ruš}} \quad (5)$$

n	praktická propustnost [počet vlaků/výpočetní období]
$\sum t_{výl}$	celkový čas výluk provozního zařízení pro opravy a údržbu [min]
$\sum t_{stál}$	celkový čas obsazení provozního zařízení pro stálé manipulace [min]
t_{obs}	technologický čas obsazení konkrétního provozního zařízení jedním vlakem [min/vlak]
t_{dod}	čas pro eliminaci nepravidelností [min/vlak]
$t_{ruš}$	průměrný čas z celkového času vzájemného rušení jízd z důvodu nemožnosti současných jízd v rámci daného provozního zařízení, připadající na jeden vlak [min/vlak]

V rámci praktické propustnosti je vypočítáván koeficient jejího využití (6), definovaný jako poměr rozsahu pravidelné dopravy k praktické propustnosti dané trati či konkrétního provozního zařízení.

$$K_{VP} = \frac{N}{n} \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

N rozsah pravidelné dopravy [počet vlaků/výpočetní období]

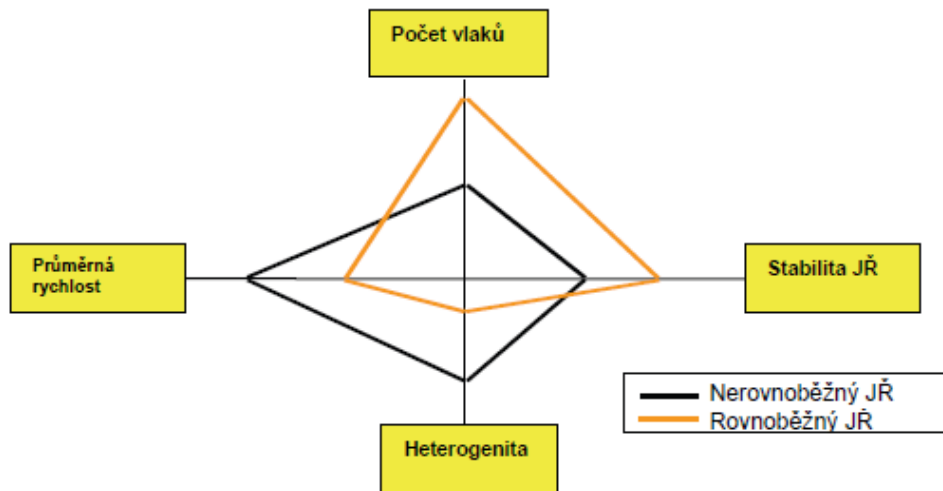
Předpis SŽDC (ČD) D24 definuje i stupeň obsazení provozního zařízení (7), který je poměrem celkového času obsazení daného provozního zařízení pravidelným rozsahem vlakové dopravy k výpočetnímu období, sníženému o celkové časy výluk a stálých manipulací. Za dostatečně obsazené provozní zařízení je pokládáno zařízení se stupněm obsazení v rozmezí $S_o = 0,5$ až $0,67$.

$$S_o = \frac{N \cdot t_{obs}}{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})} \quad (7)$$

S_o	stupeň obsazení provozního zařízení [-]
T	výpočetní období [min]
N	rozsah pravidelné dopravy [počet vlaků/výpočetní období]
t_{obs}	technologický čas obsazení konkrétního provozního zařízení jedním vlakem [min/vlak]
$\sum t_{výl}$	celkový čas výluk provozního zařízení pro opravy a údržbu [min]
$\sum t_{stál}$	celkový čas obsazení provozního zařízení pro stálé manipulace [min]

Dle **UIC Kodexu 406** (2004) kapacita jako taková vlastně neexistuje, protože závisí především na tom, jak je daná DI využívána. Základními parametry, na nichž kapacita závisí, jsou počty vlaků a jejich průměrná rychlost, stabilita a heterogenita JŘ. Vzájemný vztah těchto základních parametrů je vyjádřen kapacitní bilancí (Obrázek 3).

Je zde stanovena jedna osa pro každý parametr – křivka, spojující konkrétní hodnoty základních parametrů, představuje kapacitu.



Zdroj: UIC Kodex 406

Obrázek 3: Kapacitní bilance

Stanovení kapacity je založeno na vyhodnocení existujícího JŘ, v případě posuzování navrhovaných tratí do budoucna poté na konstrukci výhledového JŘ. Vlastní stanovení kapacity lze realizovat grafickou a výpočetní metodou. Grafická metoda je založena na kompresi navržených vlakových tras na časový odstup dle provozních intervalů. Metoda výpočetní využívá dvou následujících vzorců (8), (9):

$$k = A + B + C + D \quad (8)$$

k	využitý čas celkem [min]
A	obsazení infrastruktury [min]
B	čas mezery [min]
C	mezera pro jednokolejné tratě (křižování) [min]
D	časová rezerva pro údržbu [min]

$$K = \frac{k \cdot 100}{U} \quad (9)$$

K	využití kapacity [%]
U	výpočetní období [min]

Koeficient využití kapacity má ve většině případů pouze orientační charakter, a to kvůli mnoha dalším parametrům, které se při provozování drážní dopravy vyskytují. Především se jedná o parametry zajišťující dodržení osy symetrie PJŘ, tedy o možnost křižování či předjíždění v rámci stanoveného traťového úseku. Dalšími významnými parametry jsou vzájemné závislosti zkoumaného traťového úseku a navazujících úseků,

a to hlavně z důvodu dodržení přestupních vazeb v rámci ITJŘ. V Tabulce 2 jsou zobrazeny orientační hodnoty využití kapacity pro konkrétní typy tratí.

Tabulka 2: Orientační hodnoty využití kapacity pro konkrétní typy tratí

Typ tratě	K – přepravní špička	K – celý den
Speciální příměstská doprava	85 %	70 %
Speciální vysokorychlostní trať	75 %	60 %
Tratě se smíšeným provozem	75 %	60 %

Zdroj: UIC Kodex 406

Pokud je výpočetně dosažena nižší hodnota, než je hodnota uvedená v Tabulce 2, lze předpokládat, že daný traťový úsek disponuje určitou kapacitní rezervou. Pokud je dosaženo hodnoty vyšší, jedná se již o přetěžování dané DI.

Vyhláška UIC 406 byla aktualizována v červnu 2013. Tato aktualizace se zabývá možnostmi plánování rozšíření kapacity, viz Tabulka 3.

Tabulka 3: Časový diagram možností plánování rozšíření kapacity

Proces budování infrastruktury →				
Plánování		Stavba	Provozování a údržba	
1	2	3	4	5
Dimenzování	Technické rozvržení	Tvorba verzí JŘ	Konstrukce JŘ	Provozování
strategický		taktický	operativní	
Proces tvorby JŘ →				

Zdroj: UIC CODE 406, úprava autor

Dále definuje tzv. kompresní metodu výpočtu kapacity, která se skládá z následujících kroků:

- definování infrastruktury a rozsahu jízdního řádu,
- definování hodnocených úseků,
- výpočet spotřeby kapacity,
- vyčíslení spotřeby kapacity,
- vyčíslení nespotřebované (volné) kapacity.

V první části je definována infrastruktura jako jednotlivé tratě, uzly a vyloučené oblasti. Tratě jsou rozděleny na koridory a ostatní tratě, uzly se dělí na stanice, nádraží (velké stanice) a odbočky, mezi vyloučené oblasti patří seřadovací nádraží, logistické

a intermodální terminály, vlečky a jiná zařízení provozovaná jiným manažerem infrastruktury než ostatní síť.

V druhém bodě jsou definovány 2 typy úseků – traťové úseky a traťové úseky obsazované vlakovými cestami. Traťové úseky jsou používány k výpočtu spotřebované kapacity na základě komprese tras v daném JŘ, traťové úseky obsazované vlakovými cestami se používají k výpočtu kapacity pomocí vkládání či odebírání jednotlivých vlakových tras, kdy je uvažováno s prioritou vlakových cest. U vícekolejných tratí je předpokládáno, že traťové úseky obsazované vlakovými cestami pro oba směry provozu jsou totožné. Stejně jako koridory i traťové úseky obsazované vlakovými cestami se mohou překrývat, proto je nezbytné určit množství možných vlakových cest.

Spotřebovaná kapacita je dle UIC 406 měřena jako využití daných prvků infrastruktury na stanoveném úseku ve sledovaném čase (10).

$$C = \frac{T_O + T_A}{T} \cdot 100 \quad (10)$$

C	spotřebovaná kapacita [%]
T_O	čas obsazení prvků infrastruktury [min]
T_A	časová přírážka [min]
T	stanovené časové období [min]

V rámci vyčíslení spotřeby kapacity (krok 4 kompresní metody) je dále definována míra využití kapacity (11) a míra časové přírážky (12).

$$K = \frac{T_O}{T} \cdot 100 \quad (11)$$

K	míra využití kapacity [%]
T_O	čas obsazení prvků infrastruktury [min]
T	stanovené časové období [min]

Orientační hodnoty míry využití kapacity pro konkrétní typy tratí jsou uvedeny v Tabulce 2.

$$R_{T_A} = \left(\frac{100}{K} - 1 \right) \cdot 100 \quad (12)$$

R_{T_A}	míra časové přírážky [%]
K	míra využití kapacity [%]

Orientační hodnoty míry časové přírážky pro konkrétní typy tratí jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4: Orientační hodnoty míry časové přirážky pro konkrétní typy tratí

Typ tratě	R_{TA} – přepravní špička	R_{TA} – celý den
Speciální příměstská doprava	18 %	43 %
Speciální vysokorychlostní trať	33 %	67 %
Tratě se smíšeným provozem	33 %	67 %

Zdroj: UIC CODE 406

Celkovou spotřebovanou kapacitu lze vypočítat jako podíl času obsazení navýšeného o míru časové přirážky a stanoveného časového období (13).

$$C = \frac{T_O \cdot (1 + R_{TA})}{T} \cdot 100 \quad (13)$$

C spotřebovaná kapacita [%]

T_O čas obsazení prvků infrastruktury [min]

R_{TA} míra časové přirážky [%]

T stanovené časové období [min]

Celková spotřebovaná kapacita reflektuje vlastnosti infrastruktury v rámci traťových úseků obsazovaných vlakovými cestami. Traťový úsek s největší spotřebovanou kapacitou se tedy stává reprezentativním traťovým úsekem pro traťový úsek obsazovaný vlakovými cestami (jako celek) s tím, že přijatelná pro zachování kvality vlakových tras je spotřebovaná kapacita do výše 100 % včetně. Spotřebovaná kapacita nad 100 % na daném traťovém úseku vypovídá o existenci úzkého místa, které je třeba optimalizovat, aby nedocházelo ke zhoršení kvality. Spotřebovaná kapacita pod 100 % svědčí o možnosti přidávat na daný traťový úsek další vlakové cesty.

Do časové přirážky je dle UIC CODE 406 zahrnut čas mezery, čas na údržbu infrastruktury, čas technologických operací (např. posun) a čas na provázení vlaků dálkové dopravy, které mohou ovlivnit současně dva či více traťových úseků.

Další možností stanovení kapacity je vkládání dodatkových vlaků do sestaveného JŘ. Algoritmus pro tuto metodiku byl implementován do IS KANGO (Šotek, Bachratý, 2007), přičemž trasa dodatkových vlaků je vkládána tak, aby nedošlo ke konfliktům s naplánovanými vlaky a současně nedocházelo k nadměrnému nárůstu jízdnicích dob dodatkových vlaků. Jsou připraveny vzorové dodatkové vlaky, které jsou vkládány do již sestaveného JŘ, čímž dochází ke vzniku více konfliktních situací. Tyto konflikty jsou postupně eliminovány prostřednictvím upravené varianty simulačního algoritmu IS KANGO – JŘ, který funguje na bázi cyklického vyhledávání konfliktů

vlaků s určením prioritního konfliktu a jeho následným řešením změnou trasování dodatkového vlaku.

V zahraničí bylo téma propustné výkonnosti řešeno na základě různých metod, z nichž byly vybrány následující (Brejcha, 2011, s. 19- 25):

Metoda prof. E. V. Archangelského – jedná se o jeden z prvních vědeckých přístupů výpočtu propustnosti železničních zařízení, který byl zaveden již v polovině 20. století sovětským vědcem E. V. Archangelským. Tento stochastický přístup se dokonce používá dodnes – při výpočtu propustnosti staničních zhlaví. Jako takový je využíván i v rámci předpisu SŽDC (ČD) D24, kde propustná výkonnost staničního zhlaví je rovna propustné výkonnosti omezujícího prvku daného zhlaví (výkonnost zhlaví je vyjádřena v úkonech za výpočetní období).

Metodika výpočtu používaná DB AG – na německých železnicích je využívána metodika pomocí simulačního modelu (Amcha, Krýže, 2008, s. 8 – 9). V modelu je zpracována předpokládaná struktura vlaků včetně jízdnicích dob a stanovení časových poloh stejně jako konkrétní omezující podmínky (provozní intervaly, následná mezidobí). Posléze je proveden určitý počet simulačních běhů, kde v každém běhu dochází k simulaci sestaveného JŘ v provozu. Jednotlivým vlakům je přidělováno náhodné zpoždění na základě exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti (menší hodnoty zpoždění se vyskytují častěji než hodnoty větší). V simulaci jsou řešeny konflikty vznikající z důvodu zpoždění (nedodržený provozní interval), kdy dochází k sekundárním (následným) zpožděním dalších vlaků, ale také k eliminaci zpoždění krácením jízdnicích dob a pobytů ve stanicích. Pro každý simulační běh je po provedení simulace následně vypočten poměr součtu zpoždění všech vlaků na výstupu z daného úseku a součtu zpoždění na jeho vstupu. Průměr takto stanovených poměrů za všechny simulační běhy poté vytváří kritérium, zda rozsah dopravního provozu odpovídá dané DI. Toto kritérium je nazýváno koeficient stability K_s (14). Pokud je větší než 1, vzniklá zpoždění nejsou eliminována a rozsah dopravního provozu převyšuje možnosti DI.

$$K_s = \frac{Z_p^{\text{výstupní}}}{Z_p^{\text{vstupní}}} [-] \quad (14)$$

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

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

Obdobným ukazatelem je průměrný přírůstek zpoždění $\overline{\Delta Z_p}$ (15), který je stanoven jako podíl rozdílu celkového výstupního a celkového vstupního zpoždění

a počtu vlaků. Pokud je přírůstek kladný, vzniklá zpoždění nejsou eliminována a DI není schopna vyrovnávat mimořádnosti vzniklé v rámci stanoveného rozsahu provozu.

$$\Delta Z_p = \frac{Z_{p\text{výstupní}} - Z_{p\text{vstupní}}}{N} \text{ [min/vlak]} \quad (15)$$

Z_p výstupní	zpoždění na výstupu [min]
Z_p vstupní	zpoždění na vstupu [min]
N	celkový počet vlaků

Důležitým dokumentem pro definování konkrétních parametrů železničních tratí (kapacitu nevyjímaje) je dle Binka (2015) Nařízení Evropského Parlamentu a rady (EU) 1315/2013 o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě ze dne 11. 12. 2013, které pro železniční tratě zahrnuté v hlavní síti TEN-T pro nákladní dopravu požaduje mimo jiné:

- zajištění dostatečné kapacity,
- plnou elektrizaci tratí a v rozsahu nezbytném pro provoz elektrických vlaků též manipulačních kolejí a vleček,
- hmotnost na nápravu nejméně 22,5 t; traťovou rychlost 100 km/h a možnost provozovat vlaky o délce 740 m,
- plné zavedení systému ERTMS.

Jedním z hlavních kapacitních problémů v případě plné implementace tohoto nařízení je délka staničních kolejí, kdy většina ŽST disponuje pouze dopravními kolejemi o délce 650 m, neboť tento parametr byl požadován při modernizaci tranzitních koridorů. V rámci připravovaných investic je již ale pečlivě sledována délka předjízdových kolejí minimálně 780 m tak, aby požadované nákladní vlaky mohly být bez problému provozovány (Binko, 2015, str. 7).

1.2 Shrnutí kritické analýzy současného stavu

V roce 2016 je ke kapacitě dopravní cesty přistupováno především prostřednictvím metodiky UIC 406, v České republice je pro výpočet kapacity používána i metodika stanovená předpisem SŽDC (ČD) D24 (tato metodika je principiálně používána i na Slovensku). Metodika dle zmíněného předpisu využívá ke stanovení kapacity především počet vlaků za výpočetní období, metodika UIC 406 procentuální vyjádření, kdy připouští, že kapacita jako taková vlastně neexistuje. Obě metodiky mají své výhody i nevýhody – předpisová metodika je vhodnější např. pro

traťové úseky, kde se zásadně nemění charakter DI či rozsah dopravního provozu. Metodika UIC 406 je naopak přesnější v případě vyjádření spotřebované kapacity (procentuálně) k celkovému dennímu výpočtovému času pro každý prostorový oddíl (mezistaniční úsek).

Periodický jízdní řád, popř. ITJŘ je úspěšně zaváděn na tratích většiny evropských států. Jako nejproblematictější se v tomto případě jeví dodržení potřebných hranových časů tak, aby systémové vazby v rámci celé sítě mohly být efektivně naplňovány. Dané hranové časy jsou ovlivňovány jak ze strany dopravců – parametry vozidel, tak ze strany manažera infrastruktury – kvalitou DI.

Jako problematický lze také označit vztah periodicity JŘ a kapacity trati. Na všech tratích jsou v dnešní době upřednostňovány kvalitativní parametry provozování drážní dopravy, tedy dodržování JŘ vlaků osobní dopravy tak, aby mohl být dodržen např. příslušný PJŘ, popř. ITJŘ. Koridorové tratě jsou ale vytíženy natolik, že nezanedbatelné jsou i parametry kvantitativní, tedy počet možných tras, které lze dopravcům přidělit. Počet těchto tras je závislý na vlastnostech DI (provozní intervaly, následná mezidobí, traťová rychlost), stejně jako na vlastnostech konkrétní trasy, která je ovlivněna požadavky dopravce (parametry vlaku - konstrukční rychlost vozidel, rychlost použitých vozidel, požadavky na zastavení a manipulace). Počet tras je také neméně ovlivněn polohou jednotlivých tras v rámci NJŘ vůči sobě. Z toho je zřejmé, že periodicky vedené trasy vlaků osobní dopravy ovlivní počet zbývajících tras, a tím i kapacitu dané trati. Navíc dopravci, působícími v oblasti železniční nákladní dopravy, jsou již často požadovány trasy v režimu „termín cargo“, tedy trasy s pevně stanoveným JŘ, resp. garantovaným časem dodání přepravci, které jsou vzhledem k upřednostňování tras vlaků osobní dopravy stále obtížněji realizovatelné. Ve své podstatě se jedná o požadavek rozšíření pevného JŘ i na vlaky nákladní dopravy. Tento problém se bude do budoucna s vysokou pravděpodobností vyostřovat, a to především z důvodu vzniku a provozování mezinárodních tras v rámci RFC.

Komplikovaný je též vztah manažera infrastruktury a dopravce. V zájmu manažera infrastruktury je přidělit a realizovat co nejvyšší možný počet tras, jimiž jsou generovány příjmy v podobě poplatků za použití železniční dopravní cesty, tedy maximalizace kvantity tras za podmínky dodržení jejich stávající kvality (stabilita, spolehlivost). V zájmu jednotlivých dopravců jsou přesně realizované trasy bez zpoždění tak, aby byly maximálně uspokojeny zájmy přepravců, jimiž by mohl být jinak

zvolen alternativní způsob dopravy (silniční, vodní). V zájmu dopravců je tedy především maximalizace kvality tras za podmínky jejich dostatečné kvantity.

Otázkou je také rychlost a efektivnost přidělování kapacity. V současnosti jsou v České republice nabídkové trasy přidělovány na základě žádosti dopravce dispečerským aparátem SŽDC. Je zavedeno pravidlo, že konkrétní trasa může mít oproti své původní poloze maximální náskok 180 min a maximální zpoždění 1200 min. V případě jízdy vlaku v této trase mimo dané časové rozmezí je vlak v nejbližší stanici zastaven a vyčkává na nový přiděl trasy či na možnost pokračování ve své trase (v případě náskoku). Zde může být dopravcem přiřazena trasa vlaku, již má zakoupenou a aktuálně nevyužitou (zpoplatněna je i nespotřebovaná kapacita), nebo pokud takovou trasu k dispozici nemá, zažádat dispečerský aparát o přidělení trasy nové, čímž může dojít k určité časové prodlevě. Jako nejefektivnější se v daném případě jeví možnost tvorby informačního systému manažera infrastruktury, kam by prostřednictvím stanovených oprávnění vstupovali jednotliví dopravci a na základě požadovaných parametrů tras zakupovali trasy nabídkové.

V rámci maximalizace kvality i kvantity tras je nezbytné stanovit, do jaké míry ovlivňuje periodicitu tras vlaků osobní dopravy efektivní využití možných tras, a tím i kapacitu trati.

2 DEFINICE CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Pro disertační práci na téma Vliv periodického jízdního řádu na kapacitu trati byl stanoven následující cíl a hypotéza.

2.1 Cíl práce

Doktorandem byl stanoven následující cíl disertační práce – cílem disertační práce je nalezení optimálního využití vlakových tras z hlediska jejich kvantity i kvality ve vztahu k implementaci PJŘ.

2.2 Vyslovení hypotézy

„Rostoucí periodicitu JŘ negativně ovlivňuje využití kapacity železničních tratí, resp. možnost nalezení efektivního využití vlakových tras.“

Potvrzením této hypotézy by nabýval na významu fakt, že ne pro všechny tratě je nejvhodnější zcela periodický JŘ, popř. ITJŘ. Např. pro tratě s převažující nákladní dopravou by mohlo být značně problematické upřednostňování vlaků osobní dopravy jedoucích v rámci taktu, obzvláště osobních zastávkových vlaků. Pro rychle jedoucí nákladní vlaky, popř. vlaky kategorie Nex, by bylo jen velmi obtížné najít nákladově optimální trasu tak, aby byla zachována její kvalita, o energetické náročnosti rozjezdu těžkých nákladních vlaků ani nemluvě.

Dále by potvrzení dané hypotézy mělo vést jednotlivé národní správce železniční DI k unifikaci pravidel pro její využívání, kdy by díky známému vlivu periodicity JŘ na kapacitu trati mělo být možné stanovit konkrétní pravidla pro optimalizaci kapacity pro konkrétní trať s daným rozsahem provozu. Je zřejmé, že tato pravidla se budou nejvíce lišit pro tratě jednokolejné a víceokolejné, resp. pro tratě s jednosměrně či obousměrně pojížděnou traťovou kolejí.

3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ

Vzhledem k rozsáhlosti a komplexnosti řešeného problému se jako nejefektivnější prostředek a metoda nabízejí modelování a simulace. Jejich základem je mnohonásobné opakování průběhu zkoumaného jevu s požadavkem na vysokou přesnost z důvodu následného využití ve skutečném provozu. Jelikož se jedná o stochastické dynamické modely, je počítačová podpora nezbytná.

3.1 Modelování dynamických systémů

Dle Brejchy (2011) jsou v rámci modelování zkoumány objekty, u nichž jsou z důvodu nemožnosti zvládnutí objektu v celé jeho komplexnosti zaváděny abstrakce, zanedbávající určité aspekty objektu. Zbývající aspekty jsou zvládnutelné, vymezují tedy v rámci modelování systém. Ve statickém systému dochází k abstrakci významu času, v dynamickém systému jsou abstrahovány jiné veličiny, čas však nikdy. Simulace se zabývá pouze dynamickými systémy. Tyto systémy tedy existují v čase, v každém okamžiku mají určitý stav. Skládají se z permanentních a temporálních prvků, kdy permanentní prvky existují v dynamickém systému celou jeho existenci, prvky temporální do systému vstupují a opět z něj vystupují. Konkrétní stav dynamického systému je determinován danými prvky, jejich atributy (vlastnostmi) a relacemi mezi prvky.

Model jako takový představuje analogii mezi dvěma systémy, kde vztah obou systémů (modelovaného a modelujícího) je determinován přiřazením každého prvku modelovaného systému každému prvku modelujícího systému včetně atributů jednotlivých prvků, kdy mezi hodnotami atributů modelujícího a modelovaného systému je vždy dána určitá relace.

V rámci modelování jako výzkumné techniky je zkoumaný systém nahrazován modelem, resp. systémem, který jej modeluje, s cílem získat prostřednictvím pokusu s modelem informace o původním zkoumaném systému. Neboli modelovaným systémem je zkoumaný systém, experimentováno však je se systémem modelujícím (Brejcha, 2011, s. 45-48).

V disertační práci bude modelování dynamických systémů použito jako výzkumná technika, nezbytná pro nadefinování odpovídajících simulací. Bude vytvořen simulační model, kde permanentními prvky jsou jednotlivé součásti DI a prvky temporálními jednotlivé vlaky, které do modelu vstupují a opět z něj vystupují. Atributy

permanentních prvků DI budou do modelu převedeny na základě informací z tabulek traťových poměrů a staničních řádů jednotlivých stanic, atributy temporárních prvků daných vlaků budou přeneseny na základě dat z JŘ o dané kategorii vlaku. Mezi permanentními a temporárními prvky budou poté vytvořeny relace odpovídající skutečnému provozu.

3.2 Simulace

Simulace využívá výzkumnou techniku modelování, kdy je zkoumaný dynamický systém nahrazen jeho simulátorem, v němž jsou prováděny experimenty s cílem získat relevantní výstupní data o původním zkoumaném dynamickém systému. Je nezbytné vymezit systém na původním objektu zkoumání, nahradit tento zkoumaný systém simulačním modelem, provádět experimenty se simulačním modelem za účelem zjištění chování systému za různých vstupních podmínek a následně aplikovat výsledky zpět na objekt zkoumání (Brejcha, 2011, s. 42).

V roce 2016 je používána především počítačová simulace, kterou lze dle charakteru simulovaného systému rozdělit na simulaci spojitou (hodnoty atributu se mění v čase pouze spojitě), simulaci diskrétní a simulaci kombinovanou (diskrétně – spojitou). Dále je možné simulace také členit dle rozlišovací úrovně simulačního modelu či dle časové souvislosti (synchronní, asynchronní).

Hlavní výhodou simulace je aplikace optimalizujících modelů na danou problematiku v dostupném čase. Lze tak porovnat nákladově optimální řešení s řešením, které poskytuje maximální službu cestujícím a následně vyvodit optimální poměr nákladů a poskytnutých služeb (Hansen, Albrecht, 2008, s. 151). Prostřednictvím simulace lze dosáhnout i následujících výhod:

- a) úspora nákladů - simulace umožňuje přizpůsobit rozsah provozu dané DI či dle Wierzchorka (2006) vybudovat DI dle požadovaného rozsahu provozu. Lze tak předejít především neefektivním investicím do DI, která by se posléze mohla ukázat jako naddimenzovaná či poddimenzovaná,
- b) analýza výkonu - lze detailně analyzovat obsazení jednotlivých kolejových skupin stejně jako interakci všech druhů vlaků (i těch se sporadickým výskytem) s danou DI,
- c) hodnocení interakce - je možné danou DI zatížit mnoha možnými kombinacemi a trasami vlaků,

- d) předcházení konfliktů - díky simulaci lze všechny konfliktní jízdní cesty předem detekovat a před uvedením do skutečného provozu vyřešit,
- e) tvorba výhledových JŘ - prostřednictvím simulace je možné implementovat technologické optimalizace DI i vozidel do JŘ. Lze tak vytvářet výhledové JŘ s ověřenou stabilitou (Hansen, Albrecht, 2008, str. 155 - 156).

Dle typu a rozsahu řešeného problému je nezbytné určit rozlišovací úroveň simulačního modelu, resp. jeho míru abstrakce, na jejímž základě bude dosahováno relevantních výsledků. Jsou rozlišovány 3 základní úrovně simulace – simulace makroskopická, mezoskopická a mikroskopická. Železniční doprava jako dynamický systém je ve většině simulátorů rozdělena na 3 subsystémy – subsystém pevný, pohyblivý a řídicí. Míra rozlišení daného subsystému v rámci stanovené úrovně simulace je dle Křivého a Kindlera (2001) zobrazena bodově v Tabulce 5. Jeden bod znamená nízké rozlišení, 3 body rozlišení vysoké.

Tabulka 5: Míra rozlišení daného subsystému v rámci stanovené úrovně simulace

Podsystém/Model	Makroskopický model	Mikroskopický model	Mezoskopický model
Pevný podsystém	•	•••	•
Pohyblivý podsystém	•	•••	•••
Řídicí podsystém	•	•••	••

Zdroj: Křivý, Kindler (2001)

Makroskopické modely – data jednotlivých podsystémů jsou zestručněna tak, aby bylo možné zkoumat rozsáhlé dopravní systémy, a to za cenu méně detailního sledování jednotlivých podsystémů. Jsou vhodné pro plánování celkové kapacity ŽST či části dopravní sítě stejně jako pro ověření výhledových JŘ v rámci sítě.

Mikroskopické modely – sledují jednotlivé dopravní elementy a interakce mezi nimi navzájem, na druhou stranu ale vyžadují detailní informace o jednotlivých podsystémech. Tento typ modelu je aplikován především pro zkoumání jednotlivých ŽST (včetně seřadovacích) či jednotlivých traťových úseků.

Mezoskopické modely – kombinují přístup mikroskopických a makroskopických modelů. V rámci mikroskopického přístupu jsou dopravní elementy popisovány značně podrobně, v rámci makroskopického přístupu nejsou již ale detailně

sledovány interakce jednotlivých elementů. Stěžejní je otázka výběru správného nastavení parametrů a elementů modelu tak, aby byla zachována funkčnost modelu a zároveň umožněna efektivnější tvorba příslušného simulátoru (oproti mikroskopickým modelům). Mezoskopické modely jsou vhodné především pro prognózu, vyžadující detail pohyblivého subsystému bez interakce s pevným podsystémem.

V rámci disertační práce bude implementován především makroskopický přístup, a to z důvodu zkoumání části dopravní sítě s méně detailním náhledem na jednotlivé subsystémy. Bude se jednat o synchronní simulaci s tvorbou výhledových jízdnicích řádů pro stanovené scénáře s různou periodicitou JŘ. Pro každý simulační scénář bude spuštěno 365 simulačních běhů, odpovídajících reálné době trvání grafikonu. Simulačním scénářem je v rámci této práce označována vždy simulace daného traťového úseku, konkrétní varianta (JŘ 2016, PJŘ, ...) se tedy skládá z více simulačních scénářů. Aby byla zajištěna alternativa vstupních zpoždění, budou tato zpoždění náhodně přiřazována simulačním programem na základě exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti, které nejvíce koresponduje s reálným provozem. Zároveň bude umožněna jízda nákladních vlaků s náskokem tak, aby mohly využít uvolněnou kapacitu. Výstupem simulace poté bude vytvořený list NJŘ se všemi zadanými atributy stejně jako ukazatele propustnosti dle SŽDC (ČD) D24 a UIC 406 včetně celkového průměrného přírůstku zpoždění.

3.3 Simulátory pro železniční provoz

Jednotlivé simulační nástroje pro železniční provoz se liší jak účelem, pro něž byly vyvinuty, tak především uživatelským prostředím a požadovaným množstvím a charakterem vstupních dat.

OpenTrack – je využíván především pro určování kapacity DI, testování navrhovaných JŘ, výpočet energetické náročnosti jízdy vlaku či pro ověření nasazení různých typů zabezpečovacích zařízení.

RailSys – jeho funkčnost je zajištěna na bázi posloupnosti kroků – zpracování provozních dat, následné zpracování plánu a zobrazení okamžitých a konečných výsledků. Tento simulační nástroj umožňuje iterativní plánovací proces s průběžnou kontrolou, vhodný především pro plánování kapacity, výpočet jízdnicích dob a v neposlední řadě také pro konstrukci a ověřování JŘ.

Viriato – tento nástroj je zaměřen zejména na plánování technologických situací a provozních stavů na železniční síti s předpokladem vytváření systematických JŘ.

Výstupem programu mohou být NJŘ, mapy sítě s popisem jednotlivých linek či grafické charakteristiky vlaků nebo DI.

Villon – umožňuje detailní simulaci technologických procesů v logistických uzlech. Je především experimentálním prostředím s možností zkoumání důsledků realizací jednotlivých variant technologických a řídicích procesů.

DONS - simulační program generující JŘ, používaný Netherlands Railways. Je zde implementován simulační nástroj STATIONS, řešící konkrétní trasování jízdních cest v ŽST v rámci daného JŘ.

RUT - jeden ze základních simulačních programů DB, výpočetní podpora managementu tras (Rechnerunterstütztes Trassenmanagement). Prostřednictvím detailní DI, precizního stanovení jízdních dob a úplného automatického řešení konfliktů je rychle a téměř bezchybně stanoven podrobný JŘ (Vakhtel, 2002, str. 29).

SABINE - jedná se o simulaci a zhodnocení plynutí dopravního toku v rámci sítě (Simulation und Auswertung des Betriebsablaufs In Netz). Pracuje na bázi Petriho sítí (Wieczorek, 2006, str. 41).

GLEISE - na základě teorie hromadné obsluhy dimenzuje kolejové skupiny dle parametrů a stanovuje tak maximální možný počet obslužených vlaků. Integrovan do systému ANKE (Vakhtel, 2002, str. 28).

STRELE - simulační program na bázi teorie pravděpodobnosti, zabývající se propustnou výkonností hlavních železničních tratí (Streckenleistungsfähigkeit). Řeší především vznik sekundárních zpoždění stejně jako skládání okrajových zbytkových časů (Pufferzeiten) do nové vlakové trasy (Wieczorek, 2006, str. 41).

STRESI - simulační program založený na principu asynchronní simulace, zabývající se simulací skutečného provozu na dvoukolejných železničních tratích (Streckensimulation). Umožňuje automatické konstruování JŘ v rámci dané simulace (Vakhtel, 2002, str. 26).

BABSI - na základě asynchronní simulace realizuje automatické přidělování vlakových tras prostřednictvím přesně plánovaných čekacích časů (Wieczorek, 2006, str. 41).

ANKE - analytický simulační program založený na teorii pravděpodobnosti a teorii hromadné obsluhy, sloužící především k nalezení optimálního nastavení kapacity částí železniční sítě a železničních uzlů (analytische Netzkapazitätsermittlung). Dle Vakhtela (2002) jsou nezbytnými vstupy pro tento program infrastrukturní i vlaková data, která simulační program ANKE čerpá ze simulačního programu RUT,

který detailně modeluje jízdní řády v závislosti na dané DI. Oba tyto simulační nástroje jsou využívány v rámci sítě DB.

NEMO - simulační nástroj makroskopické simulace (Network Evaluation Model), umožňující sestavu výhledových JŘ na základě předpokládané dopravní situace na síti. Používán ÖBB společně s programem RailSys, určeným především k simulaci mikroskopické úrovně tvorby JŘ (Hansen, Albrecht, 2008, str. 53).

SimuT - jedná se o program **Simulování Trať**, jehož primárním účelem je ověřování provozních konceptů (včetně JŘ) v závislosti na DI.

Tento simulační nástroj byl vytvořen a je stále zdokonalován na odboru základního řízení provozu SŽDC, jmenovitě Ing. Pavlem Krýžem, Ph.D. a Ing. René Amchou. Simulační program SimuT využívá simulační prioritu vlaků založenou na přiřazování určitých vah či hodnocení. Jedno hodnocení je vždy společné pro každou vyskytující se variantu druhu vlaků s tím, že za základ ohodnocený hodnotou 1 je vzata příměstská regionální doprava, která dělí stupnici druhu vlaků na více důležité a méně důležité, čímž je zajištěna obecná priorita vlaků. Rozsah hodnot vah je možný v intervalu $(0, \infty)$.

V rámci simulačního programu SimuT jsou jako vstupní data vyžadována data vytvářející vlastní DI, data zkoumaného rozsahu železničního provozu a definice variantních řešení.

DI je zadávána prostřednictvím jednotlivých excelovských listů – na listu body jsou zadávány zkratky dopravních bodů, definované uživatelem. Na listech staniční dopravní koleje, traťové koleje a dopravní úseky jsou zadávány počty dopravních a traťových kolejí, jejich vzájemná provázanost, nástupištní hrany příslušných dopravních kolejí či délky mezistaničních úseků. Na listu doby je poté nezbytné zadat provozní intervaly.

Zkoumaný železniční provoz je možné definovat pomocí manuálního zadání či prostřednictvím výměnných souborů KANGO-JŘ. Jako podklad pro manuální zadávání je dostačující pouze NJŘ, navíc program pracuje na bázi jízdních dob – není tedy třeba znát trakční charakteristiky vozového a lokomotivního parku dopravců. Jízdní doby jsou vypočítány na základě programu Dynamika 3.0 s garancí 4 % provozní zálohy. Lze též nastavit eventuální krácení jízdních dob, a to v rozsahu 1 % - 4 %.

Variantní řešení lze definovat v rámci listu nastavení. Je zde možné vypnout či zapnout generování náhodných vstupů zpoždění, zvolit výpočetní dobu a počet provedených simulací, vybrat z možností grafického zobrazení, vypnout či zapnout

konflikty staničních kolejí stejně jako povolit či zakázat jízdu nákladních vlaků s náskokem. Prostřednictvím listu oběhy lze definovat oběhy lokomotivních a vozových náležitostí – tuto funkci je možné efektivně využít pro dodržování čekacích časů v rámci ITJŘ, a to s nezbytnou manuální kontrolou (kdyby měl být čekací čas překročen, nebude na rozdíl od oběhové náležitosti aplikován vůbec). Na listu obsazení jsou analyticky vypočteny hodnoty propustné výkonnosti dle Směrnice SŽDC (ČD) D24.

Celkovým výstupem simulačního programu SimuT je vytvořený list NJŘ se všemi zadanými atributy, jako také ukazatele propustnosti včetně celkového průměrného přírůstku zpoždění, který je vypočítán za všechny simulace jako podíl rozdílu celkového výstupního a vstupního zpoždění a počtu vlaků. Prostřednictvím tohoto ukazatele je hodnocena stabilita příslušného JŘ a s ní související kvalita vlakových tras.

Simulační nástroj SimuT je naprogramován v jazyku Visual Basic, fungujícím na základu Microsoft Excel – z tohoto důvodu je vhodný pro široké použití téměř na všech kancelářských PC. Simulační program SimuT byl vybrán pro řešení disertační práce také z důvodu implementační vhodnosti oproti jiným softwarovým nástrojům - prostřednictvím efektivního zadání dat lze simulovat rozdílné scénáře bez zpoždění, s náhodným vstupním zpožděním (exponenciální rozdělení pravděpodobnosti) či s nastaveným zpožděním konkrétního vlaku, který svou opožděnou trasou způsobuje v rámci dopravní sítě sekundární zpoždění. Dalším důvodem výběru tohoto simulačního programu pro řešení disertační práce je přehledný výpočet ukazatelů dle směrnice SŽDC (ČD) D24, průměrného přírůstku zpoždění za všechny simulační běhy a možnost zahrnutí jednotlivých traťových kolejí do výpočtu dle UIC 406. V neposlední řadě byl tento program vybrán z důvodu jednoduché možnosti přenastavení parametrů priority vlaků, kdy lze např. vlakům kategorie Nex zvýšit jejich dopravní prioritu změnou nastavení hodnot multikriteriálního modelu.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní řešení vlivu periodicity JŘ na kapacitu trati bylo řešeno formou simulací, realizovaných v simulačním programu SimuT, a to pro každou trať zvlášť v rámci uzavřené sítě. Byly realizovány následující simulace:

- současný rozsah provozu (JŘ 2016),
- vytvořený PJŘ, maximalizace periodicity,
- vytvořený ITJŘ,
- vytvořené síťově provázané periodické trasy vlaků nákladní dopravy.

Jednotlivé varianty JŘ byly vytvářeny s ohledem na předpokládaný a přiměřený rozsah provozu tak, aby byl vytvořen především funkční systém.

Vliv periodicity JŘ na kapacitu trati byl řešen prostřednictvím výpočtu ukazatelů propustnosti dle Směrnice SŽDC D24, dále dle vyhlášky UIC 406 a výpočtem průměrného přírůstu zpoždění pro jednotlivé simulační scénáře. Výsledky dosažené pro jednotlivé simulační scénáře byly porovnány, na základě čehož byly dedukovány výsledky a vytvořen vývojový diagram optimálního využití vlakových tras z hlediska jejich kvantity i kvality ve vztahu k implementaci PJŘ.

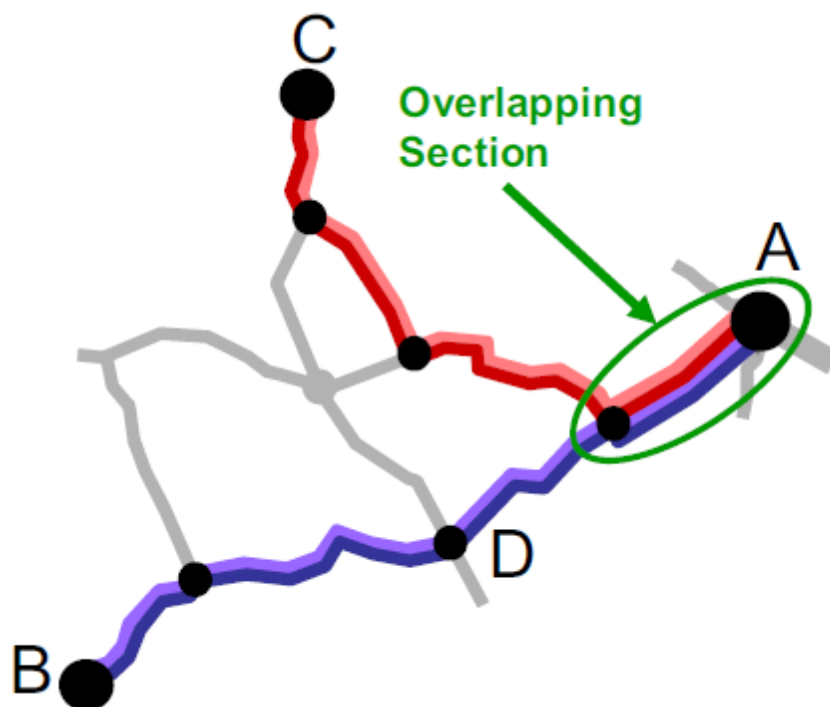
Stupeň obsazení provozního zařízení dle Směrnice SŽDC D24 byl počítán dle vzorce (7), ukazatele propustnosti dle UIC 406 poté dle vzorců (11), (12) a (13). Pro výpočet průměrného přírůstu zpoždění byl použit vzorec (15). Jednotlivé fáze řešení byly rozčleněny do podkapitol.

Jednotlivé simulační scénáře jsou mimo jiné charakterizovány mírou periodicity, která je dle návrhu autora této disertační práce počítána jako podíl vlaků vedených v rámci PJŘ či ITJŘ a všech vlaků obsažených v daném JŘ (16).

$$R_p = \frac{N_p}{N_c} \cdot 100 [\%] \quad (16)$$

R_p	míra periodicity
N_p	počet vlaků dle PJŘ/ITJŘ
N_c	celkový počet vlaků v JŘ

Nejvíce specifickou trať v definované implementační oblasti je úsek trati 010 Kolín – Choceň, který je společnou částí (tzv. overlapping section) evropských nákladních koridorů RFC, konkrétně RFC 7 a RFC 9. Problematikou společných traťových úseků více koridorů se zabývá i UIC CODE 406, odkud byl převzat pro danou problematiku Obrázek 4.

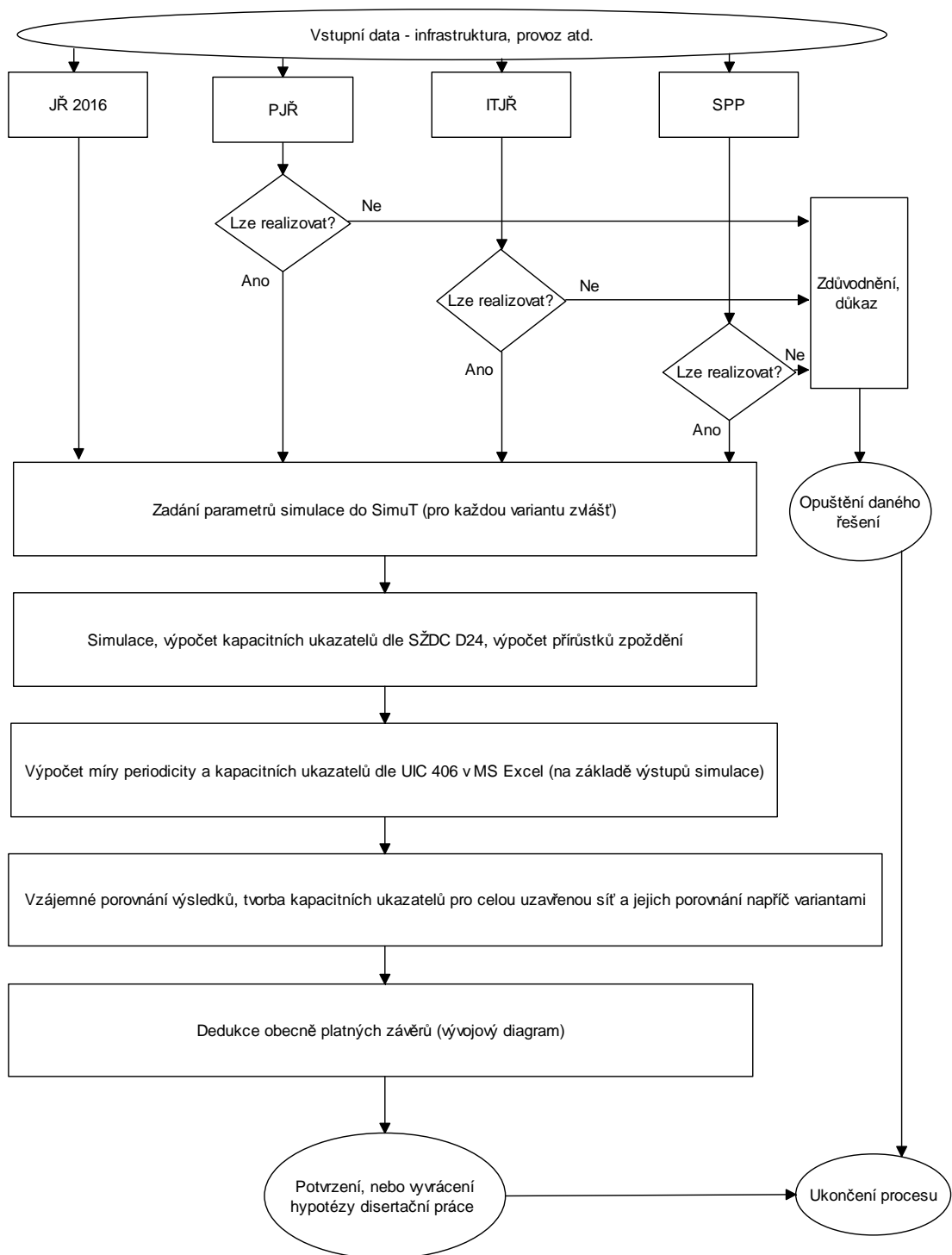


Zdroj: UIC CODE 406

Obrázek 4: Společný traťový úsek více koridorových tratí

V rámci všech simulačních scénářů bylo v simulačním programu SimuT pro všechny simulační běhy generováno náhodné vstupní zpoždění na základě exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti, nákladním vlakům byla povolena jízda vlaku s náskokem a pro každý simulační scénář bylo provedeno celkem 365 běhů (pro každý den JŘ).

Vlastní řešení disertační práce bylo realizováno na základě vývojového diagramu, který je znázorněn na Obrázku 5.



Zdroj: autor

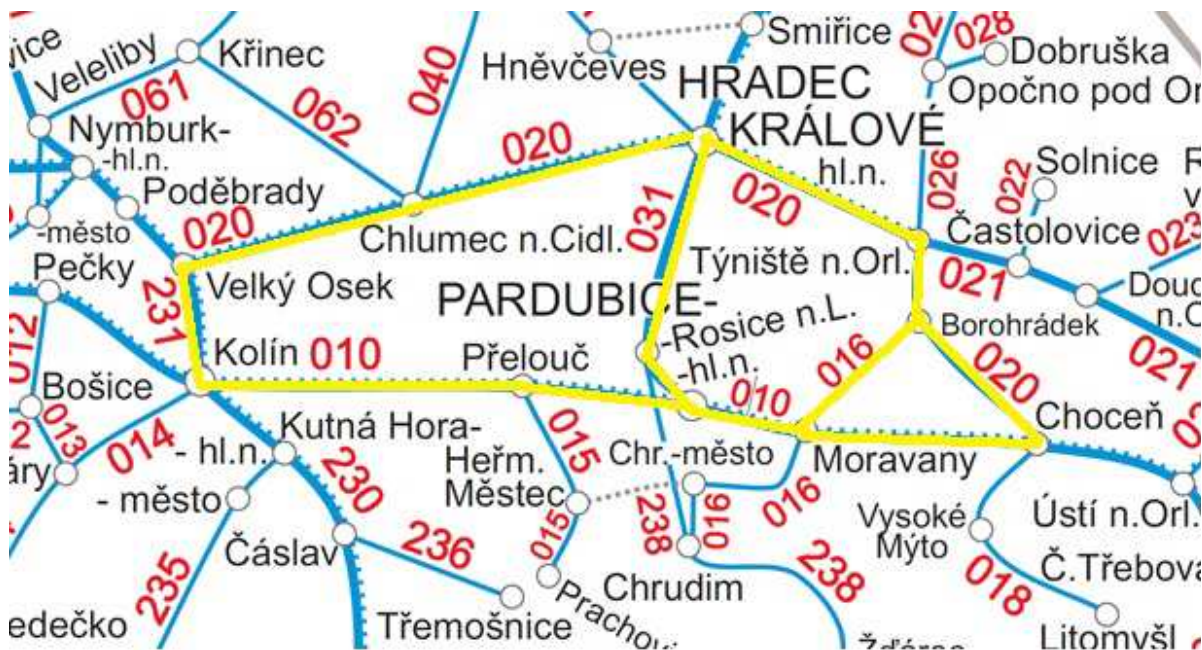
Obrázek 5: Vývojový diagram řešení disertační práce

4.1 Současný rozsah provozu

Z hlediska výše uvedených ukazatelů propustnosti byl analyzován JŘ 2016. Byly zadány trasy osobních i nákladních vlaků dle sešitových jízdních řádů (SJŘ) a NJŘ pro úseky jednotlivých tratí, které byly analyzovány co do ukazatelů propustnosti zvlášť. Vlastním řešením je zde výpočet kapacitních ukazatelů, stability JŘ a míry periodicity. Celkem byla tedy realizována simulace 5 simulačních scénářů, a to pro následující úseky (vozební ramena):

- Kolín – Choceň,
- Choceň – Hradec Králové – Velký Osek,
- Kolín – Velký Osek,
- Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.,
- Moravany – Borohrádek.

Z důvodu nezbytnosti zachování jinak stejných podmínek (*ceteris paribus*) byly všechny simulace v rámci zvolené sítě rozfázovány na těchto 5 simulačních scénářů. Výše uvedených 5 úseků navíc vytváří síť, vhodnou pro realizaci ITJŘ, viz Obrázek 6.



Zdroj: SŽDC, s. o.

Obrázek 6: Zvolené implementační území

Tabulka obsahující informace o parametrech jednotlivých tratí a ŽST je uvedena v Příloze A. Nastavení použité v simulačním programu SimuT pro všechny simulační scénáře je uvedeno v Příloze B.

4.1.1 Současný rozsah provozu Kolín – Choceň

JŘ 2016 byl na tomto úseku zadán do simulačního scénáře na základě SJŘ 501 pro osobní a následně i pro nákladní dopravu s ověřením dle NJŘ 501. Výsledky pro výpočetní období celého dne ($T = 1\,440$ min) jsou zobrazeny v Tabulce 6 a Tabulce 7.

Tabulka 6: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Kolín – Choceň

Mezistaniční úsek	TK	N	T_{obs} (min)	t_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{T_A} (%)	C (%)
Choceň - Zámorsk	1	168	701,5	4,18	0,49	48,72	105,27	81,35
Zámorsk - Uhersko	1	167	666,6	3,99	0,46	46,29	116,02	77,31
Uhersko - Moravany	1	167	525,8	3,15	0,37	36,51	173,87	60,98
Moravany - Kostěnice	1	169	531,1	3,14	0,37	36,88	171,14	61,59
Kostěnice – Pardubice hl. n.	1	171	546,2	3,19	0,38	37,93	163,64	63,34
Pardubice hl. n. – Přelouč	1	170	805,5	4,74	0,56	55,94	78,77	93,42
Přelouč – Řečany n. L.	1	167	667,6	4,00	0,46	46,36	115,70	77,42
Řečany n. L. – Záboří n. L.	1	171	713,3	4,17	0,50	49,53	101,88	82,72
Záboří n. L. - Kolín	1	171	744,5	4,35	0,52	51,70	93,42	86,34
Choceň - Zámorsk	2	164	507,8	3,10	0,35	35,26	183,58	58,89
Zámorsk - Uhersko	2	164	516,3	3,15	0,36	35,85	178,91	59,88
Uhersko - Moravany	2	164	488,3	2,98	0,34	33,91	194,90	56,63
Moravany - Kostěnice	2	166	630,6	3,80	0,44	43,79	128,35	73,13
Kostěnice – Pardubice hl. n.	2	167	677,5	4,06	0,47	47,05	112,55	78,57
Pardubice hl. n. – Přelouč	2	170	692,5	4,07	0,48	48,09	107,94	80,31
Přelouč – Řečany n. L.	2	168	630,9	3,76	0,44	43,81	128,25	73,17
Řečany n. L. – Záboří n. L.	2	171	690,3	4,04	0,48	47,94	108,61	80,06
Záboří n. L. - Kolín	2	172	722,5	4,20	0,50	50,17	99,31	83,79

Zdroj: autor

Jak je vidět z Tabulky 6, dle metodiky UIC se žádný parametr nepřibližuje limitním hodnotám dle Tabulky 2 a Tabulky 4. Celková spotřebovaná kapacita C nikdy nedosahuje úrovně 100 %, infrastruktura tedy ještě není přetížená, existence úzkého

místa na tomto úseku byla vyvrácena, naopak je možné v celodenním kontextu přidávat další vlakové cesty. Dle metodiky SŽDC D24 se dostatečně obsazené provozní zařízení vyznačuje ukazatelem S_o v rozmezí 0,5 až 0,67. U traťových úseků s daným parametrem v tomto rozmezí bylo provedeno jeho označení žlutou barvou – pro obě traťové koleje splňuje dané rozmezí pouze jeden traťový úsek, a to traťový úsek Záboří n. L. – Kolín.

Tabulka 7: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Kolín – Choceň

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
1,05 min/vlak	2,77 min/vlak	- 0,01 min/vlak	- 0,46 min/vlak	47,40

Zdroj: autor

Celkový průměrný přírůstek zpoždění 1,05 min/vlak svědčí o tom, že daný JŘ není schopen eliminovat náhodně vzniklá zpoždění, naopak – při celkovém počtu 384 vlaků je výstupní zpoždění oproti vstupnímu o 403,2 min vyšší. Kladný celkový průměrný přírůstek zpoždění byl způsoben především vlaky dálkové osobní dopravy. Zjištění je o to zajímavější, že dle předcházející Tabulky 6 není daná infrastruktura přetížená, naopak bylo dle metodiky UIC konstatováno, že lze přidávat další vlakové trasy. Míra periodicity byla vypočítána na 47,40 % - v PJŘ bylo vedeno 182 vlaků z 384.

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 8.

Tabulka 8: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Kolín – Choceň

Mezistaniční úsek	TK	T_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Choceň - Zámorsk	1	71,0	0,59	59,15	69,05	78,68
Zámorsk - Uhersko	1	63,9	0,53	53,22	87,89	70,78
Uhersko - Moravany	1	47,2	0,39	39,36	154,09	52,34
Moravany - Kostěnice	1	47,1	0,39	39,28	154,57	52,25
Kostěnice – Pardubice hl. n.	1	47,9	0,40	39,93	150,46	53,10
Pardubice hl. n. – Přelouč	1	75,8	0,63	63,18	58,29	84,02
Přelouč – Řečany n. L.	1	60,0	0,50	49,97	100,12	66,46
Řečany n. L. – Záboří n. L.	1	62,6	0,52	52,14	91,78	69,35
Záboří n. L. - Kolín	1	69,7	0,58	58,05	72,26	77,21
Choceň - Zámorsk	2	52,6	0,44	43,86	127,97	58,34

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Zámorsk - Uhersko	2	56,7	0,47	47,22	111,76	62,81
Uhersko - Moravany	2	56,6	0,47	47,14	112,12	62,70
Moravany - Kostěnice	2	68,4	0,57	56,98	75,49	75,79
Kostěnice – Pardubice hl. n.	2	73,0	0,61	60,85	64,33	80,93
Pardubice hl. n. – Přelouč	2	73,3	0,61	61,10	63,66	81,27
Přelouč – Řečany n. L.	2	63,8	0,53	53,20	87,97	70,76
Řečany n. L. – Záboreí n. L.	2	72,7	0,61	60,55	65,15	80,53
Záboreí n. L. - Kolín	2	75,6	0,63	63,01	58,71	83,80

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 8, žádný z ukazatelů propustnosti nedosahuje hodnot, které by svědčily o přetížení infrastruktury, pouze dle směrnice SŽDC D24 dochází k dostatečnému obsazení příslušných provozních zařízení.

4.1.2 *Současný rozsah provozu Choceň – Hradec Králové – Velký Osek*

JŘ 2016 byl na tomto úseku zadán do simulačního scénáře na základě SJŘ 505 pro osobní a následně i pro nákladní dopravu s ověřením dle NJŘ 505. Výsledky pro výpočetní období celého dne (T = 1 440 min) jsou zobrazeny v Tabulce 9 a Tabulce 10.

Tabulka 9: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	43	295,0	6,86	0,20	20,49	388,14	34,21
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	43	254,5	5,92	0,18	17,67	465,82	29,51
Čermná n. O. – Borohrádek	1	43	229,5	5,34	0,16	15,94	527,45	26,62
Borohrádek – Týniště n. O.	1	45	371,0	8,24	0,26	25,76	288,14	43,03
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	66	574,5	8,70	0,40	39,90	150,65	66,63
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slezské př.	1	66	569,5	8,63	0,40	39,55	152,85	66,05
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	70	447,5	6,39	0,31	31,08	221,79	51,90

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	68	541,5	7,96	0,38	37,60	165,93	62,80
Praskačka - Dobřenice	1	78	473,5	6,07	0,33	32,88	204,12	54,91
Dobřenice – Káranice	1	76	520,5	6,85	0,36	36,15	176,66	60,36
Káranice – Nové Město n. C.	1	76	336,0	4,42	0,23	23,33	328,57	38,97
Nové Město n. C. – Chlumeč n. C.	1	76	346,0	4,55	0,24	24,03	316,18	40,13
Chlumeč n. C. – Převýšov	1	67	340,0	5,07	0,24	23,61	323,53	39,43
Převýšov – Choťovice	1	67	448,0	6,69	0,31	31,11	221,43	51,96
Choťovice – Dobšice n. C.	1	67	342,0	5,10	0,24	23,75	321,05	39,66
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	71	389,0	5,48	0,27	27,01	270,18	45,11
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	36	117,2	3,26	0,08	8,14	1128,67	13,59
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	35	104,5	2,99	0,07	7,26	1277,99	12,12

Zdroj: autor

Jak je vidět z Tabulky 9, žádný z kapacitních ukazatelů nedosahuje hodnoty svědčící o přetížení infrastruktury. Úzké místo v současném rozsahu provozu nebylo na infrastruktuře identifikováno.

Tabulka 10: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R _p (%)
- 1,26 min/vlak	- 0,60 min/vlak	- 1,23 min/vlak	- 1,88 min/vlak	44,83

Zdroj: autor

Záporný celkový průměrný přírůstek zpoždění vypovídá o schopnosti současného JŘ eliminovat vzniklá zpoždění, a to u všech analyzovaných druhů dopravy. Míra periodicity je 44,83 % (78 ze 174 vlaků).

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 11.

Tabulka 11: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Choceň – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	41,2	0,34	34,33	142,72	45,66
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	35,5	0,30	29,58	181,69	39,35
Čermná n. O. – Borohrádek	1	26,7	0,22	22,25	274,53	29,59
Borohrádek – Týniště n. O.	1	41,2	0,34	34,33	142,72	45,66
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	60,9	0,51	50,75	64,20	67,50
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slezské př.	1	60,4	0,50	50,33	65,56	66,94
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	51,1	0,43	42,58	95,69	56,64
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	63,7	0,53	53,08	56,99	70,60
Praskačka - Dobřenice	1	60,7	0,51	50,58	64,74	67,28
Dobřenice – Káranice	1	61,6	0,51	51,33	62,34	68,27
Káranice – Nové Město n. C.	1	39,8	0,33	33,17	151,26	44,11
Nové Město n. C. – Chlumeč n. C.	1	45,5	0,38	37,92	119,78	50,43
Chlumeč n. C. – Převýšov	1	40,6	0,34	33,83	146,31	45,00
Převýšov – Choťovice	1	60,2	0,50	50,17	66,11	66,72
Choťovice – Dobšice n. C.	1	45,9	0,38	38,25	117,86	50,87
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	49,3	0,41	41,08	102,84	54,64
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	13,0	0,11	10,83	669,23	14,41
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	11,9	0,10	9,92	740,34	13,19

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 11, žádný z ukazatelů propustnosti nedosahuje hodnot, které by svědčily o přetížení infrastruktury, pouze dle směrnice SŽDC D24 dochází

k dostatečnému obsazení příslušných provozních zařízení. Daná infrastruktura vykazuje i v období ranní špičky dostatečné kapacitní rezervy.

4.1.3 Současný rozsah provozu Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.

JŘ 2016 byl na tomto úseku zadán do simulačního scénáře na základě SJŘ 505 pro osobní a následně i pro nákladní dopravu s ověřením dle NJŘ 505. Výsledky pro výpočetní období celého dne ($T = 1\,440$ min) jsou zobrazeny v Tabulce 12 a Tabulce 13.

Tabulka 12: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové

Mezistaniční úsek	TK	N	T_{obs} (min)	t_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Pce hl. n. – Pce. Rosice n. L.	1	130	468,0	3,60	0,32	32,50	207,69	54,28
Pce Rosice n. L. – Stéblová	1	81	513,0	6,33	0,36	35,63	180,70	59,49
Stéblová – Opatovice n. L.	1	41	268,0	6,54	0,19	18,61	437,31	31,08
Stéblová – Opatovice n. L.	2	41	182,5	4,45	0,13	12,67	689,04	21,16
Opatovice n. L. – HK hl. n.	1	86	455,0	5,29	0,32	31,60	216,48	52,77

Zdroj: autor

Na tomto úseku zkoumané infrastruktury nedochází dle Tabulky 12 ke kapacitním problémům, naopak dvoukolejný úsek přispěl ke zkapacitnění trati díky možnosti letmého křižování mezi dvěma krajskými městy.

Tabulka 13: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
- 0,20 min/vlak	- 0,61 min/vlak	- 0,25 min/vlak	0,78 min/vlak	38,69 %

Zdroj: autor

Záporný celkový průměrný přírůstek zpoždění vypovídá o schopnosti současného JŘ eliminovat náhodně vzniklá zpoždění a zamezovat tak vzniku sekundárního zpoždění u dalších vlaků. Jediný kladný přírůstek zpoždění byl zaznamenán u vlaků nákladní dopravy, což může být mimo jiné způsobeno tím, že na této trati nejedí téměř vůbec vlaky kategorie Nex a ostatní kategorie nákladních vlaků (Pn, Mn) mají z dopravního hlediska nižší prioritu vůči vlakům osobní dopravy. Relativně nízká míra periodicity daného JŘ byla způsobena především neperiodicky vedenými vlaky motorové trakce, které pokračují ze železniční stanice Pardubice –

Rosice nad Labem na trať 238 ve směru Havlíčkův Brod (periodicky bylo vedeno 53 z celkového počtu 137 vlaků).

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 14.

Tabulka 14: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Pardubice – Hradec Králové

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Pce hl. n. – Pce. Rosice n. L.	1	68,4	0,57	57,00	75,44	63,18
Pce Rosice n. L. – Stěblová	1	76,0	0,63	63,33	57,89	70,19
Stěblová – Opatovice n. L.	1	32,7	0,27	27,24	267,16	30,19
Stěblová – Opatovice n. L.	2	31,2	0,26	25,97	285,13	28,78
Opatovice n. L. – HK hl. n.	1	63,5	0,53	52,91	89,01	58,64

Zdroj: autor

Dle metodiky UIC nedochází k dostatečnému využití kapacity, naproti tomu dle metodiky SŽDC D24 celkem 3 úseky vykazují dostatečné obsazení provozního zařízení, v případě mezistaničního úseku Pardubice – Rosice nad Labem – Stěblová se hodnota tohoto kapacitního ukazatele přibližuje již k hranici, od které lze prohlásit infrastrukturu za přetíženou.

4.1.4 *Současný rozsah provozu Kolín – Velký Osek*

JŘ 2016 byl na tomto úseku zadán do simulačního scénáře na základě SJŘ 502 pro osobní a následně i pro nákladní dopravu s ověřením dle NJŘ 502. Výsledky pro výpočetní období celého dne (T = 1 440 min) jsou zobrazeny v Tabulce 15 a Tabulce 16.

Tabulka 15: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Kolín – Velký Osek	1	108	394,0	3,65	0,27	27,36	265,48	45,69
Kolín – Velký Osek	2	105	393,0	3,74	0,27	27,29	266,41	45,58

Zdroj: autor

Tento simulační scénář současného rozsahu provozu je specifický tím, že obsahuje pouze jeden mezistaniční úsek, a to z důvodu nezbytnosti uzavření sítě vybraného rozsahu železniční infrastruktury. Tento mezistaniční úsek lze považovat dle Tabulky 15 v rámci celodenního provozu za kapacitně ne příliš vytížený.

Tabulka 16: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
0,27 min/vlak	- 0,01 min/vlak	- 0,04 min/vlak	0,52 min/vlak	37,09 %

Zdroj: autor

Ačkoliv daný mezistaniční úsek není považován za kapacitně přetížený, díky vysoké heterogenitě vlaků dochází ke vzniku kladného celkového průměrného přírůstku zpoždění, což znamená, že daný JŘ není schopen eliminovat náhodně vzniklá zpoždění. Kladný celkový průměrný přírůstek zpoždění je způsoben kladným průměrným přírůstkem zpoždění vlaků nákladní dopravy, kdy dochází k projevu specifičnosti daného mezistaničního úseku, a to provážením mezinárodních nákladních vlaků kategorie Nex. Provoz nákladních vlaků vedených mimo PJŘ ovlivňuje i míru periodicity, která dosahuje výše pouze 37,09 % (79 vlaků z celkových 213).

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 17.

Tabulka 17: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Kolín – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	T_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Kolín – Velký Osek	1	36,5	0,30	30,42	228,77	33,71
Kolín – Velký Osek	2	29,9	0,25	24,92	301,34	27,62

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 17, daný mezistaniční úsek je rovnoměrně vytížen v období celého dne, neboť vybrané ukazatele propustnosti pro období dopravní špičky jsou svou výší velmi podobné ukazatelům propustnosti z Tabulky 15.

4.1.5 *Současný rozsah provozu Moravany – Borohrádek*

JŘ 2016 byl na tomto úseku zadán do simulačního scénáře na základě SJŘ 517 pro osobní a následně i pro nákladní dopravu s ověřením dle NJŘ 517. Výsledky pro výpočetní období celého dne ($T = 1\,440$ min) jsou zobrazeny v Tabulce 18 a Tabulce 19. Provozování drážní dopravy na úseku Moravany – Borohrádek je v současné době řízeno na základě předpisu SŽDC D3, kdy dirigující dispečer sídlí v ŽST Moravany. Daný úsek byl rozdělen na 2 mezistaniční úseky, a to Moravany – Holice a Holice – Borohrádek, a to z důvodu ohlašovací povinnosti v Holicích.

Tabulka 18: Ukazatele propustnosti pro 24 h, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Moravany - Holice	1	37	522,0	14,11	0,36	36,25	175,86	60,54
Holice - Borohrádek	1	18	239,5	13,31	0,17	16,63	501,25	27,78

Zdroj: autor

Současný rozsah provozu na úseku Moravany – Borohrádek vykazuje značné kapacitní rezervy, které jsou ale pouze omezeně využitelné, a to díky způsobu řízení drážní dopravy (dirigování) a chybějící elektrifikaci tratě. Na daném úseku jsou v současnosti vedeny pouze osobní vlaky; žádné odklonové vlaky zde ani nejsou uvažovány.

Tabulka 19: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R _P (%)
- 0,29 min/vlak	- 0,17 min/vlak	- 1,16 min/vlak	60,42 %

Zdroj: autor

Vzhledem k rozsahu provozu je logické, že prostor k eliminaci náhodně vzniklých zpoždění je značný, o čemž vypovídá záporný celkový průměrný přírůstek zpoždění. Průměrný přírůstek zpoždění pro dálkovou osobní dopravu nebyl počítán, a to z důvodu absence vlaků tohoto segmentu v rámci simulačního scénáře. Míra periodicity je relativně vysoká, a to 60,42 % (29 z celkových 48 vlaků). Tento výsledek lze vysvětlit nízkým počtem vlaků nákladní dopravy. Ukazatele propustnosti pro období špičky jsou zobrazeny v Tabulce 20.

Tabulka 20: Ukazatele propustnosti období špičky, JŘ 2016, Moravany – Borohrádek

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Moravany - Holice	1	42,3	0,35	35,25	183,69	39,07
Holice - Borohrádek	1	66,5	0,55	55,42	80,45	61,42

Zdroj: autor

Vyšší špičkové obsazení úseku Holice – Borohrádek oproti obsazení tohoto úseku v rámci celého dne lze vysvětlit kumulací osobních vlaků v období ranní špičky stejně jako jízdou manipulačního vlaku, která byla v některých simulačních bězích dovolena s náskokem. I tak ale daný úsek není rozhodně kapacitně přetížen.

4.1.6 Shrnutí současného rozsahu provozu

Současný rozsah provozu je v rámci zvoleného implementačního území charakterizován určitými kapacitními rezervami. Zvolené traťové úseky byly záměrně vybrány zcela rozdílné co do počtu traťových kolejí, elektrifikace, způsobu provozování drážní dopravy aj. Na dvoukolejných tratích s vysokou heterogenitou provozu totiž dochází i přes určité kapacitní rezervy ke vzniku kladného celkového průměrného přírůstku zpoždění, který je zapříčiněn vyšším průměrným přírůstkem zpoždění nákladních vlaků. Na jednokolejných tratích k tomuto nedochází, ale především proto, že zde nejsou v takové míře nákladní vlaky prováženy. Na žádném ze zvolených úseků nejsou nákladní vlaky vedeny v PJŘ. Míra periodicity současného provozu se až na jednu výjimku (Moravany – Borohrádek) pohybuje okolo 40 % všech vlaků.

V dalších simulačních scénářích bude míra periodicity zvyšována.

4.2 Tvorba PJŘ – návrh

Pro účely simulace bylo využito rozdělení na 5 simulačních scénářů (viz bod 4.1). Za účelem maximalizace míry periodicity byl vytvořen PJŘ v nákladní dopravě. Pro jednotlivé simulační scénáře byla stanovena perioda s ohledem na nejdelší hranový čas mezi dvěma taktovými uzly dle vzorce (1). Vzhledem k odlišnému charakteru jednotlivých druhů železniční dopravy bylo nezbytné uvažovat celkem s tvorbou minimálně 3 period pro každý simulační scénář – pro dálkovou osobní dopravu, regionální osobní dopravu a železniční nákladní dopravu s tím, že takto vytvořené 3 periody je nezbytné implementovat do jednoho JŘ. Pro vybrané simulační scénáře bylo nezbytné vytvořit 2 samostatné periody pro nákladní dopravu (jednu pro Nex, druhou pro Pn). V případě dvoukolejných úseků byly tyto počítány jako dva jednokolejné úseky s vytvořením pouze jednoho PJŘ.

4.2.1 Tvorba PJŘ Kolín - Choceň

V rámci tohoto simulačního scénáře byly vytvořeny celkem 4 periody – pro dálkovou osobní dopravu, regionální osobní dopravu, expresní nákladní dopravu a ostatní nákladní dopravu. Taktové uzly vybrané pro konkrétní druh dopravy, hranové časy odpovídajících vlaků a zvolené velikosti periody v souladu se vzorcem (1) jsou zobrazeny v Tabulce 21. Hranový čas reprezentativního vlaku dané kategorie (Ex, Os, Nex, Pn) byl použit z JŘ 2016.

Tabulka 21: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Kolín – Choceň

Druh dopravy	Typ vlaku	Úsek mezi taktovými uzly	Hranový čas	Zvolená perioda
Dálková osobní	Ex	Kolín – Pardubice hl. n.	19 min	20 min
		Pardubice hl. n. - Choceň	15 min	
Regionální osobní	Os	Kolín – Přelouč	28 min	30 min
		Přelouč – Pardubice hl. n.	15 min	
		Pardubice hl. n. – Moravany	15 min	
		Moravany – Choceň	20 min	
Expresní nákladní	Nex	Kolín – Choceň	58 min	30 min
Ostatní nákladní	Pn	Kolín – Pardubice hl. n.	30 min	60 min
		Pardubice hl. n. - Choceň	30 min	

Zdroj: autor

U dálkové osobní dopravy byla na základě hranových časů zvolena perioda 20 min, tedy 3 expresní vlaky osobní dopravy za hodinu. V některých obdobích dne může převyšovat poptávka po těchto trasách ze strany dopravců nabídku manažera infrastruktury na pouhé 3 trasy za hodinu – v těchto případech je možná optimalizace prostřednictvím konsolidace tras, resp. využití jedné trasy více vlaky, neboť společným úsekem většiny osobních expresních vlaků je nyní úsek Praha hl. n. – Česká Třebová. K rozdělení expresního vlaku tak může dojít až v ŽST Česká Třebová. Takto společnou trasu lze využít i rozdílnými dopravci, ovšem za předpokladu platnosti uznávání jízdních dokladů daného dopravce všemi ostatními dopravci.

V rámci regionální osobní dopravy byla zvolena kvůli většímu množství taktových uzlů a nezastavování vlaků dálkové osobní dopravy v ŽST Přelouč a v ŽST Moravany perioda o velikosti 30 min.

Pro expresní nákladní dopravu byla také zvolena perioda o velikosti 30 min, pro ostatní nákladní dopravu, tedy především pro vlaky kategorie Pn, poté perioda o velikosti 60 min. Cílem je v rámci nákladní dopravy preferovat i co do kvantity tras nákladní expresy, a to především proto, že úsek Kolín – Choceň je součástí evropských nákladních koridorů s předpřipravenými trasami, které jsou konstruovány především pro expresní kontejnerové vlaky.

Do tohoto simulačního scénáře bylo implementováno celkem 336 vlaků, z toho 104 vlaků dálkové osobní dopravy, 83 vlaků regionální osobní dopravy a 149 vlaků nákladní dopravy. Současný rozsah provozu obsahuje celkem 384 vlaků, z toho 171

vlaků dálkové osobní dopravy, 62 vlaků regionální osobní dopravy a 151 vlaků nákladní dopravy. Simulační scénář na bázi PJŘ tedy nabízí o 67 tras dálkové osobní dopravy a 2 trasy nákladní dopravy méně, zato o 21 tras regionální osobní dopravy více. Trasy nákladní dopravy budou v jednom z následujících simulačních scénářů optimalizovány prostřednictvím tvorby SPP, a pokud v rámci tras dálkové osobní dopravy bude 65 % tras konsolidováno (spojení 2 vlaků v úseku Praha hl. n. – Česká Třebová), lze prostřednictvím 104 tras provést 172 vlaků, při konsolidaci 100 % dokonce 204 vlaků, tedy o 33 více než v JŘ 2016.

Ukazatele propustnosti pro období celého dne jsou zobrazeny v Tabulce 22.

Tabulka 22: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Kolín - Choceň

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň - Zámorsk	1	163	666,5	4,09	0,46	46,28	116,05	77,30
Zámorsk - Uhersko	1	163	591,4	3,63	0,41	41,07	143,49	68,59
Uhersko - Moravany	1	163	490,7	3,01	0,34	34,08	193,46	56,91
Moravany - Kostěnice	1	163	464,2	2,85	0,32	32,24	210,21	53,83
Kostěnice – Pardubice hl. n.	1	163	486,6	2,99	0,34	33,79	195,93	56,43
Pardubice hl. n. – Přelouč	1	161	865,5	5,38	0,60	60,10	66,38	100,37
Přelouč – Řečany n. L.	1	162	547,1	3,38	0,38	37,99	163,21	63,45
Řečany n. L. – Záboří n. L.	1	163	820,9	5,04	0,57	57,01	75,42	95,20
Záboří n. L. - Kolín	1	162	746,5	4,61	0,52	51,84	92,90	86,57
Choceň - Zámorsk	2	163	480,1	2,95	0,33	33,34	199,94	55,68
Zámorsk - Uhersko	2	163	495,6	3,04	0,34	34,42	190,56	57,48
Uhersko - Moravany	2	163	495,6	3,04	0,34	34,42	190,56	57,48
Moravany - Kostěnice	2	163	586,3	3,60	0,41	40,72	145,61	67,99
Kostěnice – Pardubice hl. n.	2	162	495,9	3,06	0,34	34,44	190,38	57,51
Pardubice hl. n. – Přelouč	2	163	593,0	3,64	0,41	41,18	142,83	68,77
Přelouč – Řečany n. L.	2	163	564,9	3,47	0,39	39,23	154,91	65,51

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Řečany n. L. – Záboří n. L.	2	162	740,6	4,57	0,51	51,43	94,44	85,89
Záboří n. L. - Kolín	2	163	778,5	4,78	0,54	54,06	84,97	90,28

Zdroj: autor

Jak je vidět z Tabulky 22, ačkoliv byl implementován nižší počet tras než ve variantě simulačního scénáře 4.1.1, došlo v nejvíce obsazených úsecích k navýšení jednotlivých kapacitních ukazatelů. Dle metodiky UIC lze první traťovou kolej v úseku Pardubice hl. n. – Přelouč hl. n. považovat dokonce již za nepatrně kapacitně přetíženou, hrozí zde tedy vznik úzkého místa. Dle metodiky SŽDC D24 pro obě traťové koleje splňují rozmezí vytížení 0,50-0,67 již dva traťové úseky, a to traťové úsek Záboří n. L. – Kolín a Řečany n. L. – Záboří n. L.

Tabulka 23: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Kolín – Choceň

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R _p (%)
- 1,03 min/vlak	3,30 min/vlak	- 1,72 min/vlak	- 3,67 min/vlak	100,00

Zdroj: autor

Tabulka 23 deklaruje jednotlivé přírůstky zpoždění pro zcela periodický JŘ s mírou periodicity 100 %. Celkový průměrný přírůstek zpoždění - 1,03 min/vlak svědčí o tom, že daný JŘ je sice schopen eliminovat náhodně vzniklá zpoždění, ovšem problémem zůstává průměrný přírůstek zpoždění vlaků dálkové osobní dopravy, který se oproti simulačnímu scénáři 4.1.1 naopak zvýšil, a to i přes celkový nižší počet tras tohoto druhu vlaků. Vlaky nákladní dopravy a regionální osobní dopravy lze tedy v rámci PJŘ vhodně trasovat tak, aby přispívaly ke stabilitě JŘ (eliminaci vstupního zpoždění), u vlaků dálkové osobní dopravy je ale tento aspekt značně problematický.

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 24.

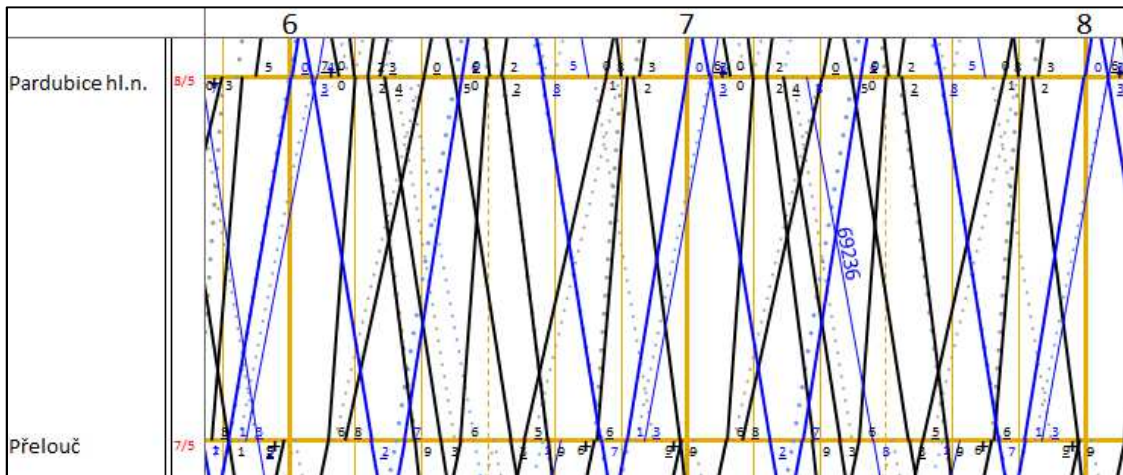
Tabulka 24: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Kolín – Choceň

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň - Zámorsk	1	65,4	0,55	54,50	83,49	72,49
Zámorsk - Uhersko	1	58,1	0,48	48,42	106,54	64,39

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Uhersko - Moravany	1	48,2	0,40	40,17	148,96	53,42
Moravany - Kostěnice	1	45,6	0,38	38,00	163,16	50,54
Kostěnice – Pardubice hl. n.	1	47,8	0,40	39,83	151,05	52,98
Pardubice hl. n. – Přelouč	1	86,0	0,72	71,67	39,53	95,32
Přelouč – Řečany n. L.	1	54,0	0,45	45,00	122,22	59,85
Řečany n. L. – Záboří n. L.	1	80,6	0,67	67,17	48,88	89,33
Záboří n. L. - Kolín	1	73,7	0,61	61,42	62,82	81,68
Choceň - Zámorsk	2	47,1	0,39	39,25	154,78	52,20
Zámorsk - Uhersko	2	48,6	0,41	40,50	146,91	53,87
Uhersko - Moravany	2	48,6	0,41	40,50	146,91	53,87
Moravany - Kostěnice	2	57,6	0,48	48,00	108,33	63,84
Kostěnice – Pardubice hl. n.	2	49,0	0,41	40,83	144,90	54,31
Pardubice hl. n. – Přelouč	2	58,2	0,49	48,50	106,19	64,51
Přelouč – Řečany n. L.	2	55,5	0,46	46,25	116,22	61,51
Řečany n. L. – Záboří n. L.	2	68,6	0,57	57,17	74,93	76,03
Záboří n. L. - Kolín	2	71,6	0,60	59,67	67,60	79,36

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 24, žádný z ukazatelů propustnosti nedosahuje dle metodiky UIC hodnot, které by svědčily o přetížení infrastruktury v období špičky. Naproti tomu podle směrnice SŽDC D24 dochází v období špičky na první traťové koleji mezi stanicemi Pardubice hl. n. – Přelouč k přetížení infrastruktury. Na tomto místě je vhodné upozornit na vyšší propracovanost metodiky UIC, která implementuje kapacitní výpočty pro období špičky lépe než již relativně stará metodika SŽDC D24, a proto je metodika UIC používána pro účely této práce jako rozhodující. Jízdní řád inkriminovaného přetíženého úseku dle SŽDC D24 je znázorněn na Obrázku 7.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 7: NJŘ Pardubice – Přelouč v období ranní špičky

4.2.2 Tvorba PJŘ Choceň – Hradec Králové – Velký Osek

V rámci tohoto simulačního scénáře byly vytvořeny 3 periody – pro dálkovou osobní dopravu, regionální osobní dopravu a jednotná perioda pro nákladní dopravu. Taktové uzly vybrané pro konkrétní druh dopravy, hranové časy odpovídajících vlaků a zvolené velikosti periody v souladu se vzorcem (1) jsou zobrazeny v Tabulce 25. Hranový čas reprezentativního vlaku dané kategorie (R, Os, Nex, Pn) byl použit z JŘ 2016.

Tabulka 25: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Choceň – Velký Osek

Druh dopravy	Typ vlaku	Úsek mezi taktovými uzly	Hranový čas	Zvolená perioda
Dálková osobní	R	Týniště n. O. – HK hl. n.	20 min	40 min
		HK hl. n. – Chlumec n. C.	19 min	
		Chlumec n. C. – Velký Osek	18 min	
Regionální osobní	Os	Choceň – Týniště n. O.	27 min	60 min
		Týniště n. O. – HK hl. n.	24 min	
		HK hl. n. – Chlumec n. C.	27 min	
		Chlumec n. C. – Velký Osek	25 min	
Nákladní	Nex, Pn	Choceň – Týniště n. O.	25 min	60 min
		Týniště n. O. – HK hl. n.	22 min	
		HK hl. n. – Chlumec n. C.	27 min	
		Chlumec n. C. – Velký Osek	24 min	

Zdroj: autor

U dálkové osobní dopravy, která je zde tvořena pouze vlaky kategorie R, byla na základě hranových časů zvolena perioda 40 min. Vlaky dálkové osobní dopravy se

navíc vůbec nevyskytují na úseku trati Choceň – Týniště nad Orlicí – tato zásada byla tedy při tvorbě PJŘ zachována. Na druhou stranu byl díky tvorbě PJŘ značně posílen provoz vlaků dálkové osobní dopravy v úseku Týniště n. O. – Hradec Králové hl. n. V rámci regionální osobní dopravy byla zvolena kvůli většímu množství taktových uzlů perioda o velikosti 60 min.

V nákladní dopravě je cílem preferovat spíše průběžné nákladní vlaky, přepravující zátěž mezi jednotlivými taktovými uzly, a to až do plánovaného zdvoukolejnění této tratě, kdy vzroste potřeba provážení nákladních expresů. Z toho důvodu byla pro nákladní dopravu stanovena pouze jedna perioda, a to o velikosti 60 min. Grafickou analýzou vytvořeného JŘ ale bylo zjištěno, že reálně lze v období od 5:00 do 15:00 (pro vlak směr Choceň – Velký Osek) vložit pouze jednu trasu za 2 hodiny, viz příloha C. Vložení jakékoliv jiné trasy pro vlak nákladní dopravy je znemožněno obsazením trati vlakem osobní dopravy, křížováním či nedostatečným počtem dopravních kolejí v příslušné ŽST. Pro nákladní vlaky směr Velký Osek – Choceň bylo zjištěno, že v časovém rozmezí 5:00 – 15:00 nelze vzhledem k již dříve realizovaným trasám vložit žádnou trasu. Mezi ŽST Hradec Králové – Slezské Předměstí a ŽST Týniště nad Orlicí se nalézají dva jednokolejné mezistaniční úseky vytvářející úzké místo. Realizace většího množství tras není možná také kvůli omezenému počtu staničních kolejí (konkrétně 3) v ŽST Hradec Králové – Slezské Předměstí a v ŽST Třebechovice pod Orebem. V případě přidání jedné dopravní koleje do jedné z těchto železničních stanic by již křížování protijedoucích nákladní tras bylo možné (za předpokladu vyřešení přístupu cestujících k vlakům osobní dopravy). Celkem bylo tedy vloženo v rámci periodického jízdního řádu pouze 6 vlaků nákladní dopravy, zbylé trasy byly vloženy neperiodicky. Neperiodicky bylo vloženo celkem 12 tras nákladních vlaků – byla zohledněna doba střežení pracoviště zaměstnanců řízení provozu dle JŘ 2016.

Do tohoto simulačního scénáře bylo implementováno celkem 108 vlaků, z toho 50 vlaků dálkové osobní dopravy, 40 vlaků regionální osobní dopravy a 18 vlaků nákladní dopravy. Současný rozsah provozu obsahuje přitom celkem 174 vlaků, z toho 30 vlaků dálkové osobní dopravy, 106 vlaků regionální osobní dopravy a 38 vlaků nákladní dopravy. Simulační scénář na bázi PJŘ tedy nabízí vcelku o 20 tras dálkové osobní dopravy více, a to navíc v rámci prodlouženého vozebního ramena až do ŽST Týniště nad Orlicí. Dále obsahuje o 66 vlaků regionální osobní dopravy méně, což je ale způsobeno úsekovým vedením osobních vlaků v rámci současného rozsahu provozu.

V rámci PJŘ bylo vytvořeno vozební rameno Choceň – Hradec Králové hl. n. – Velký Osek, kdy jsou jednotlivé osobní vlaky trasovány v celém tomto úseku pouze pod jedním číslem, oproti dvěma až čtyřem číslům v původním simulačním scénáři současného rozsahu provozu. Tras nákladních vlaků bylo implementováno celkem o 20 méně, částečně kvůli vytvoření delšího vozebního ramene (efekt jako u regionální osobní dopravy), částečně kvůli nemožnosti provázení většího množství nákladních vlaků přes den z důvodu existence úzkého místa. Více je uvedeno v Tabulce 26.

Tabulka 26: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Choceň – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	49	280,0	5,71	0,19	19,44	414,29	32,47
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	49	289,5	5,91	0,20	20,10	397,41	33,57
Čermná n. O. – Borohrádek	1	49	300,5	6,13	0,21	20,87	379,20	34,85
Borohrádek – Týniště n. O.	1	49	432,0	8,82	0,30	30,00	233,33	50,10
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	100	775,5	7,76	0,54	53,85	85,69	89,94
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slezské př.	1	100	838,0	8,38	0,58	58,19	71,84	97,18
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	100	621,5	6,22	0,43	43,16	131,70	72,08
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	100	740,5	7,41	0,51	51,42	94,46	85,88
Praskačka - Dobřenice	1	103	493,5	4,79	0,34	34,27	191,79	57,23
Dobřenice – Káranice	1	103	618,5	6,00	0,43	42,95	132,82	71,73
Káranice – Nové Město n. C.	1	103	435,0	4,22	0,30	30,21	231,03	50,45
Nové Město n. C. – Chlumec n. C.	1	103	366,0	3,55	0,25	25,42	293,44	42,45
Chlumec n. C. – Převýšov	1	103	409,5	3,98	0,28	28,44	251,65	47,49
Převýšov – Choťovice	1	103	644,0	6,25	0,45	44,72	123,60	74,69
Choťovice – Dobšice n. C.	1	103	423,5	4,11	0,29	29,41	240,02	49,11

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	103	511,5	4,97	0,36	35,52	181,52	59,32
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	47	141,4	3,01	0,10	9,82	918,39	16,40
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	56	158,2	2,82	0,11	10,99	810,24	18,35

Zdroj: autor

Vytvořením PJŘ došlo ke vzniku úzkého místa, konkrétně se jedná o 2 mezistaniční úseky, a to Týniště nad Orlicí – Třebechovice pod Orebem a Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské Předměstí. Tyto 2 mezistaniční úseky jsou vytížené dle metodiky SŽDC D24, dle metodiky UIC v celodenním měřítku známky přetížení nevykazují. Následující Tabulka 27 zobrazuje průměrné přírůstky zpoždění a míru periodicity.

Tabulka 27: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Choceň – Velký Osek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R _p (%)
- 2,21 min/vlak	- 0,29 min/vlak	- 1,81 min/vlak	- 8,46 min/vlak	86,11

Zdroj: autor

Záporný celkový průměrný přírůstek zpoždění vypovídá o schopnosti PJŘ eliminovat vzniklá zpoždění, a to u všech analyzovaných druhů dopravy. Oproti JŘ 2016 je v rámci PJŘ generován nižší záporný celkový průměrný přírůstek zpoždění, a to především díky vlakům nákladní dopravy, které byly mimo PJŘ trasovány s pobyty pro manipulaci v definovaných uzlech. Na druhou stranu ale nebylo možné v rámci PJŘ v denní době realizovat větší množství nákladních tras. Průměrný přírůstek zpoždění vlaků regionální osobní dopravy je oproti JŘ 2016 také nižší, oproti tomu průměrný přírůstek vlaků dálkové osobní dopravy je vyšší, ale stále záporný. Příčinou tohoto zvýšení je především prodloužení vozebního ramene dálkové osobní dopravy až do ŽST Týniště nad Orlicí. Míra periodicity je 86,11% (93 ze 108 vlaků), oproti JŘ 2016 došlo téměř k jejímu zdvojnásobení.

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 28. V rámci období ranní

špičky jsou prezentovány kapacitní ukazatele, odpovídající reálnému obsazení infrastruktury při implementaci PJŘ.

Tabulka 28: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Choceň – Velký Osek

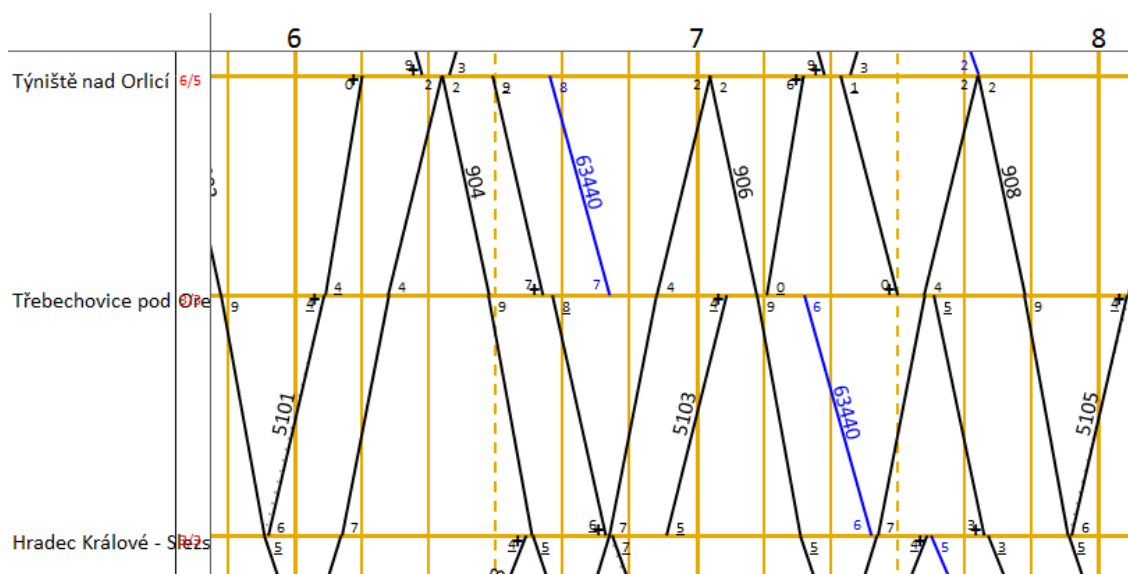
Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	28,6	0,24	23,81	320,00	31,67
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	29,5	0,25	24,62	306,22	32,74
Čermná n. O. – Borohrádek	1	30,7	0,26	25,55	291,35	33,99
Borohrádek – Týniště n. O.	1	44,1	0,37	36,73	172,22	48,86
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	85,3	0,71	71,09	40,67	94,55
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slezské př.	1	92,2	0,77	76,82	30,18	102,17
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	68,4	0,57	56,97	75,53	75,77
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	74,1	0,62	61,71	62,05	82,07
Praskačka - Dobřenice	1	52,7	0,44	43,92	127,69	58,41
Dobřenice – Káranice	1	60,0	0,50	50,04	99,84	66,55
Káranice – Nové Město n. C.	1	42,2	0,35	35,19	184,14	46,81
Nové Město n. C. – Chlumec n. C.	1	35,5	0,30	29,61	237,70	39,38
Chlumec n. C. – Převýšov	1	39,8	0,33	33,13	201,83	44,06
Převýšov – Choťovice	1	62,5	0,52	52,10	91,93	69,30
Choťovice – Dobšice n. C.	1	41,1	0,34	34,26	191,85	45,57
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	49,7	0,41	41,38	141,64	55,04
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	15,0	0,13	12,54	697,74	16,67
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	14,1	0,12	11,77	749,56	15,66

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 28, při vytvoření PJŘ dochází v období ranní špičky k přetížení mezistaničního úseku Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské Předměstí, který je přetížen jak z hlediska metodiky SŽDC D24, tak z hlediska metodiky UIC 406. Tento mezistaniční úsek lze tedy nazvat úzkým místem, a to také kvůli značnému vytížení (dle SŽDC D24) navazujícího mezistaničního úseku Týniště nad Orlicí – Třebechovice pod Orebem, stejně jako kvůli omezenému počtu dopravních

kolejí v ŽST Hradec Králové – Slezské Předměstí a Třebechovice pod Orebem (v obou ŽST pouze 3 dopravní koleje).

V rámci tohoto simulačního scénáře byly nalezeny i jiné vytížené úseky dle metodiky SŽDC D24, nicméně dle rozhodující metodiky UIC 406 není tyto úseky prozatím nezbytné z kapacitního hlediska řešit. Na druhou stranu díky tvorbě ucelených vozebních ramen nebyla plně využita kapacita dvoukolejného mezistaničního úseku Velký Osek – Kanín – Velký Osek. Na Obrázku 8 je znázorněn NJŘ ranní špičky v úseku Týniště nad Orlicí – Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské předměstí.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 8: NJŘ Týniště n. O. – HK – Slezské předměstí v období ranní špičky

4.2.3 Tvorba PJŘ Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.

V rámci tohoto simulačního scénáře byly vytvořeny 3 periody – pro dálkovou osobní dopravu, regionální osobní dopravu a jednotná perioda pro nákladní dopravu. Taktové uzly vybrané pro konkrétní druh dopravy, hranové časy odpovídajících vlaků a zvolené velikosti periody v souladu se vzorcem (1) jsou zobrazeny v Tabulce 29. Hranový čas reprezentativního vlaku dané kategorie (R, Os, Pn) byl použit z JŘ 2016.

Tabulka 29: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Pardubice – Hradec Králové

Druh dopravy	Typ vlaku	Úsek mezi taktovými uzly	Hranový čas	Zvolená perioda
Dálková osobní	R	Pardubice hl. n. – HK hl. n.	18 min	20 min
Regionální osobní	Os	Pardubice hl. n. – HK hl. n.	22 min	60 min
Nákladní	Pn	Pardubice hl. n. – HK hl. n.	60 min	120 min

Zdroj: autor

U dálkové osobní dopravy, která je zde tvořena pouze vlaky kategorie R, byla na základě hranových časů zvolena perioda 20 min coby základ rychlého meziměstského spojení mezi dvěma krajskými městy. Toto spojení bylo doplněno vlaky regionální osobní dopravy, zastavujícími ve všech stanicích a zastávkách, s periodou o velikosti 60 min. Jelikož tato trať není primárně pro vozbu nákladních vlaků využívána (vyjma vlaků do uhelné elektrárny Opatovice n. L., zajižďejících do ŽST Opatovice n. L. – Pohřebačka z odbočky Plačice), byla zvolena perioda 120 min (hranový čas 60 min odpovídá ztíženému průjezdu nákladních vlaků v rámci plné implementace PJŘ v osobní dopravě). Osobní vlaky jedoucí pouze v úseku Pardubice hl. n. – Pardubice – Rosice n. L. a pokračující dále po trati 238 směr Hlinsko v Čechách nebyly trasovány samostatně – je zde možnost konsolidace tras s rychlíky, ale především s osobními vlaky zastavujícími v ŽST Pardubice – Rosice n. L.

Do tohoto simulačního scénáře bylo zahrnuto 118 tras dálkové osobní dopravy, zastavujících pouze ve stanicích Pardubice hl. n., Pardubice – Rosice nad Labem a Hradec Králové hl. n. Dále bylo zahrnuto 40 vlaků regionální osobní dopravy, které zastavují ve všech stanicích a zastávkách. Vlaků nákladní dopravy bylo implementováno 21. V JŘ 2016 bylo trasováno 19 vlaků dálkové osobní dopravy, 105 vlaků regionální osobní dopravy a 13 vlaků nákladní dopravy. V osobní dopravě byla v rámci tvorby PJŘ změněna koncepce osobní dopravy, kdy většina vlaků osobní dopravy je vedena vlaky kategorie R, a to za účelem vytvoření rychlého meziměstského spojení Pardubic s Hradcem Králové. Změna koncepce byla zvolena z důvodu zachování konkurenceschopnosti vlakové dopravy v podmínkách již realizovaného zvýšení rychlostního limitu na silnici I. třídy mezi těmito dvěma krajskými městy. Byla tak upřednostněna pravidelná přeprava většího množství cestujících z krajských měst před zastávkovými osobními vlaky, které jsou i tak trasovány s periodou 60 min.

Výsledky pro výpočetní období celého dne ($T = 1\,440$ min) jsou zobrazeny v Tabulce 30.

Tabulka 30: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Pardubice – Hradec Králové

Mezistaniční úsek	TK	N	T_{obs} (min)	t_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Pce hl. n. – Pce. Rosice n. L.	1	179	640,5	3,58	0,44	44,48	124,82	74,28
Pce Rosice n. L. – Stéblová	1	179	995,0	5,56	0,69	69,10	44,72	115,39
Stéblová – Opatovice n. L.	1	89	387,0	4,35	0,27	26,88	272,09	44,88
Stéblová – Opatovice n. L.	2	90	401,0	4,46	0,28	27,85	259,10	46,50
Opatovice n. L. – HK hl. n.	1	179	906,5	5,06	0,63	62,95	58,85	105,13

Zdroj: autor

Na tomto úseku zkoumané infrastruktury dochází při implementaci příslušného PJŘ k přetížení dvou mezistaničních úseků, konkrétně úseku Pardubice – Rosice nad Labem – Stéblová a úseku Opatovice nad Labem – Pohřebačka – Hradec Králové hl. n. Většina vlaků byla trasována tak, aby byly vykřižovány letmo na dvoukolejném mezistaničním úseku Stéblová – Opatovice nad Labem – Pohřebačka, což následně při zatížení PJŘ vytváří tzv. Braessův paradox – v přilehlých mezistaničních úsecích dochází ke zhoršení ukazatelů propustnosti. Další kapacitní ukazatele jsou zobrazeny v Tabulce 31.

Tabulka 31: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Pardubice – Hradec Králové

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
0,76 min/vlak	- 0,12 min/vlak	- 0,57 min/vlak	8,28 min/vlak	100 %

Zdroj: autor

Kladný celkový průměrný přírůstek zpoždění vypovídá o určité nestabilitě JŘ, která je ale dle průměrných přírůstků jednotlivých segmentů dopravy způsobena především vlaky nákladní dopravy, které bylo možné v rámci PJŘ trasovat kvůli zatížení infrastruktury jen obtížně. Naopak průměrný přírůstek zpoždění v obou segmentech osobní dopravy vykazoval záporné hodnoty – PJŘ vytvořený pro osobní dopravu lze tak považovat za relativně stabilní. Oproti JŘ 2016 došlo k podstatně vyššímu zatížení infrastruktury (179 vlaků oproti 137), na vývoji jednotlivých průměrných přírůstků zpoždění se projevila změna koncepce v osobní dopravě (pro

dálkovou osobní dopravu vyšší průměrný přírůstek zpoždění v PJŘ, pro regionální osobní dopravu naopak nižší). Míra periodicity byla maximalizována.

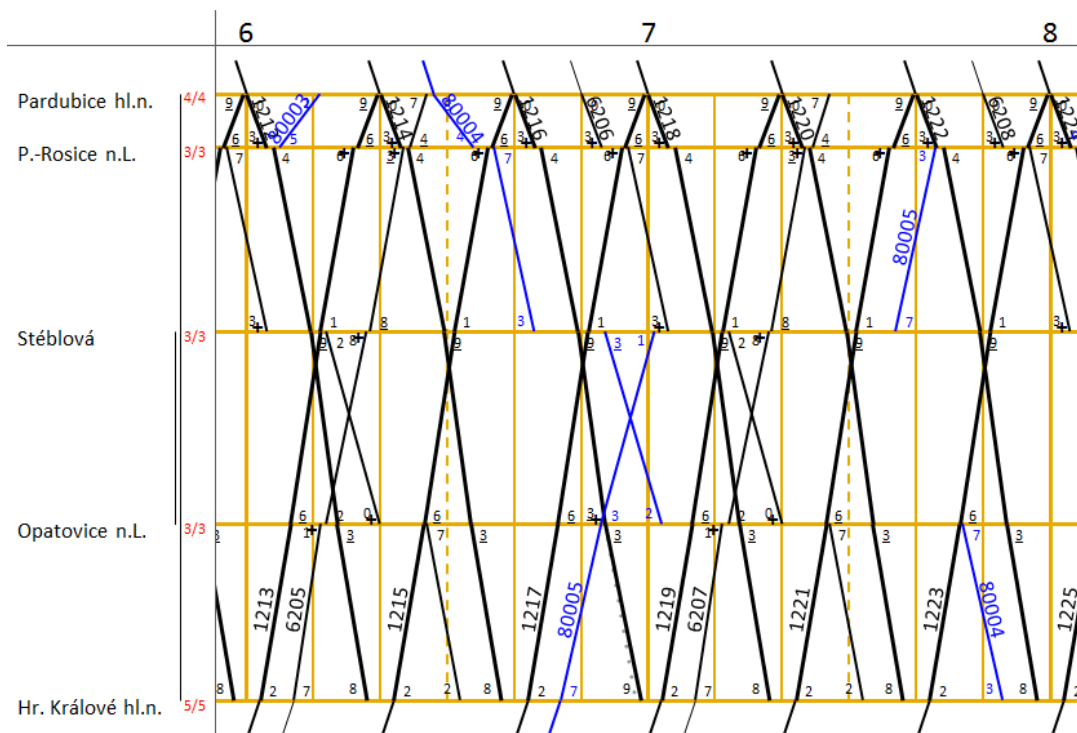
Vybrané ukazatele propustnosti byly počítány pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 32.

Tabulka 32: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Pardubice – Hradec Králové

Mezistaniční úsek	TK	T_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{T_A} (%)	C (%)
Pce hl. n. – Pce. Rosice n. L.	1	64,4	0,54	53,67	86,31	71,39
Pce Rosice n. L. – Stéblová	1	100,1	0,83	83,38	19,93	110,90
Stéblová – Opatovice n. L.	1	39,1	0,33	32,61	206,63	43,37
Stéblová – Opatovice n. L.	2	40,1	0,33	33,42	199,25	44,44
Opatovice n. L. – HK hl. n.	1	91,2	0,76	75,96	31,64	101,03

Zdroj: autor

Přetížení již výše zmíněných dvou mezistaničních úseků bylo potvrzeno i pro období špičky, a to jak metodikou SŽDC D24, tak dle UIC 406. Zároveň ale i když dochází k přetěžování příslušných úseků infrastruktury, PJŘ v osobní dopravě je dle Tabulky 31 relativně stabilní. Vysoké zatížení infrastruktury se tedy projevuje až při implementaci tras nákladní dopravy do PJŘ. Jako řešení se nabízí budoucí zdvoukolejnění přetížených úseků. NJŘ v období ranní špičky je znázorněn na Obrázku 9.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 9: NJŘ v období ranní špičky Pardubice – Hradec Králové

4.2.4 Tvorba PJŘ Kolín – Velký Osek

Tento simulační scénář je specifický tím, že se jedná o pouhý jeden mezistaniční úsek, sloužící především jako spojnice k uzavření vybrané sítě tratí. Na tomto úseku ale začíná z Kolína tzv. pravobřežní trať, využívaná především mezistátními vlaky kategorie Nex, směřovanými do SRN. Jelikož se jedná o dvoukolejný mezistaniční úsek, nebyla dodržována podmínka nutné přítomnosti vlaků opačného směru stejné linky v taktovém uzlu. Taktové uzly vybrané pro konkrétní druh dopravy, hranové časy odpovídajících vlaků a zvolené velikosti periody jsou zobrazeny v Tabulce 33. Hranový čas reprezentativního vlaku dané kategorie (R, Os, Nex) byl použit z JŘ 2016.

Byly vytvořeny celkem 3 periody – pro dálkovou osobní dopravu, regionální osobní dopravu a nákladní dopravu, kde byl jako reprezentativní přiřazen vlak kategorie Nex.

Tabulka 33: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Kolín – Velký Osek

Druh dopravy	Typ vlaku	Úsek mezi taktovými uzly	Hranový čas	Zvolená perioda
Dálková osobní	R	Kolín – Velký Osek	8 min	60 min
Regionální osobní	Os	Kolín – Velký Osek	10 min	60 min
Nákladní	Nex	Kolín – Velký Osek	9 min	20 min

Zdroj: autor

Pro oba dva segmenty osobní dopravy byla zvolena perioda ve výši 60 min, perioda v nákladní dopravě byla zvolena ve výši 20 min, a to především za účelem implementace dostatečného množství nákladních tras. V rámci PJŘ bylo implementováno celkem 221 tras, z toho 38 tras dálkové osobní dopravy, 40 tras regionální osobní dopravy a 143 tras nákladní dopravy. Oproti JŘ 2016 bylo konstruováno v PJŘ o 24 nákladních tras více a 16 osobních tras méně (za oba segmenty).

Tabulka 34: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Kolín – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	N	T_{obs} (min)	t_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{T_A} (%)	C (%)
Kolín – Velký Osek	1	110	401,5	3,65	0,28	27,88	258,66	46,56
Kolín – Velký Osek	2	111	405,5	3,65	0,28	28,16	255,12	47,03

Zdroj: autor

Tento simulační scénář obsahuje pouze jeden mezistaniční úsek, který dle Tabulky 34 nelze považovat v rámci celodenního provozu za kapacitně příliš vytížený.

Tabulka 35: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Kolín – Velký Osek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
0,26 min/vlak	0,07 min/vlak	0,32 min/vlak	0,30 min/vlak	100,00 %

Zdroj: autor

Ačkoliv daný mezistaniční úsek není považován za kapacitně přetížený, díky vysoké heterogenitě vlaků dochází i v rámci PJŘ ke vzniku kladného celkového průměrného přírůstku zpoždění (viz Tabulka 35), což znamená, že daný JŘ není zcela schopen eliminovat náhodně vzniklá zpoždění. Kladný celkový průměrný přírůstek zpoždění je způsoben kladným průměrným přírůstkem zpoždění všech kategorií vlaků, jednotlivé výsledky se navíc příliš neliší od výsledků dosažených za současného

rozsahu provozu. Provoz nákladních vlaků byl ale zcela implementován do PJŘ, míra periodicity tak byla maximalizována.

Vybrané ukazatele propustnosti byly vypočítány též pro období ranní dopravní špičky od 6:00 do 8:00, výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 36.

Tabulka 36: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Kolín – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Kolín – Velký Osek	1	36,5	0,30	30,42	228,77	40,45
Kolín – Velký Osek	2	36,5	0,30	30,42	228,77	40,45

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 36, daný mezistaniční úsek je v rámci PJŘ rovnoměrně vytížen v období celého dne, neboť vybrané ukazatele propustnosti pro období dopravní špičky jsou svou výší velmi podobné ukazatelům propustnosti z Tabulky 34.

4.2.5 Tvorba PJŘ Moravany – Borohrádek

V rámci tohoto simulačního scénáře byly vytvořeny pouze 2 periody – jedna pro osobní a jedna pro nákladní dopravu. Osobní doprava je zde zastoupena jen regionální osobní dopravou, tedy vlaky kategorie Os. Nákladní doprava poté pouze vlaky kategorie Mn, viz Tabulka 37.

Tabulka 37: Taktové uzly, hranové časy, periody, PJŘ Moravany – Borohrádek

Druh dopravy	Typ vlaku	Úsek mezi taktovými uzly	Hranový čas	Zvolená perioda
Regionální osobní	Os	Moravany - Borohrádek	25 min	60 min
Nákladní	Mn	Moravany - Borohrádek	60 min	120 min

Zdroj: autor

Do hranového času nákladních vlaků kategorie Mn byla zahrnuta i doba manipulace v ŽST Holice, a to tak, že hranový čas byl zaokrouhlen na velikost 60 min (jízdní doba činí 36 min). Na základě vytvořeného PJŘ byly vypočítány ukazatele propustnosti v Tabulce 38.

Tabulka 38: Ukazatele propustnosti pro 24 h, PJŘ Moravany - Borohrádek

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Moravany - Holice	1	57	836,5	14,68	0,58	58,09	72,15	97,01
Holice - Borohrádek	1	57	821,0	14,40	0,57	57,01	75,40	95,21

Zdroj: autor

Vytvořením PJŘ a vozového ramena Moravany – Borohrádek došlo k vyššímu obsazení prvků infrastruktury, kterou lze dle předpisu SŽDC D24 i dle metodiky UIC 406 považovat za dostatečně vytíženou. V rámci PJŘ bylo trasováno 38 vlaků osobní dopravy a 19 vlaků nákladní dopravy, čímž došlo ke snížení počtu osobních vlaků o 4 a zvýšení počtu nákladních vlaků o 13. K reálnému snížení počtu osobních vlaků však nedošlo – v PJŘ jsou vlaky trasovány na celém úseku pod jedním číslem, v JŘ 2016 jsou přečíslovány v ŽST Holice. Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity pro tento simulační scénář jsou zobrazeny v Tabulce 39.

Tabulka 39: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, PJŘ Moravany – Borohrádek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R _p (%)
- 0,88 min/vlak	- 0,60 min/vlak	- 1,43 min/vlak	100,00 %

Zdroj: autor

I přes vyšší vytížení infrastruktury a současné zatížení větším počtem vlaků byla prostřednictvím tvorby PJŘ zvýšena stabilita JŘ (oproti současnému stavu), jejímž důkazem je snížení všech průměrných přírůstků zpoždění (celkového, v regionální osobní dopravě, v nákladní dopravě). Míra periodicity byla maximalizována.

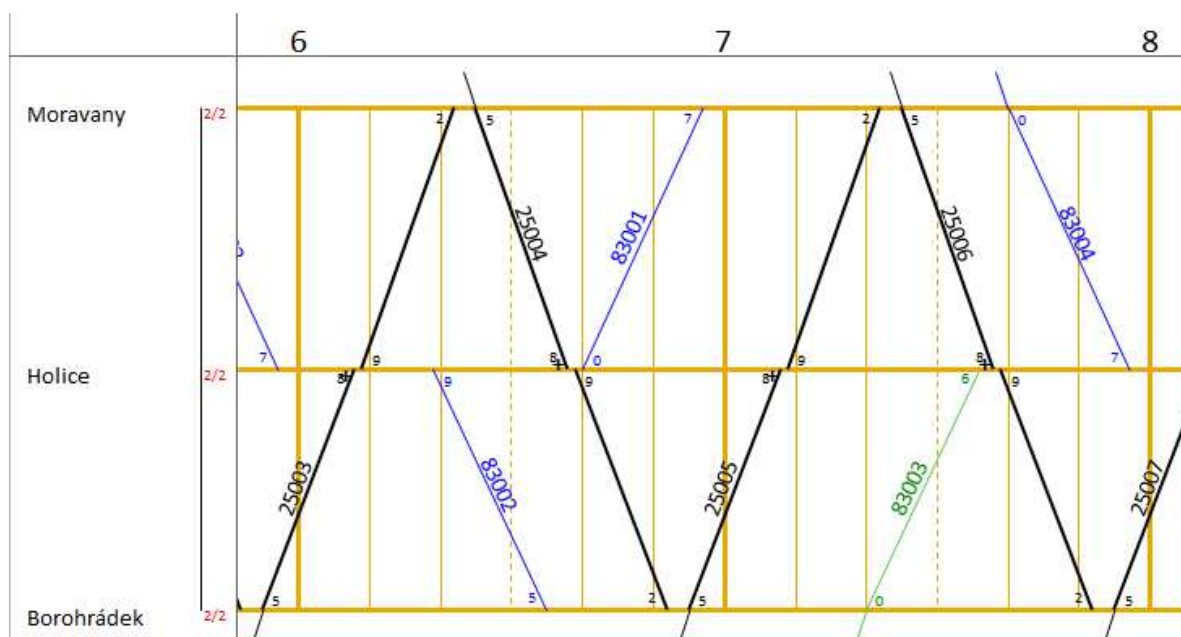
V Tabulce 40 jsou zobrazeny kapacitní ukazatele pro období ranní dopravní špičky.

Tabulka 40: Ukazatele propustnosti období špičky, PJŘ Moravany – Borohrádek

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Moravany - Holice	1	88,1	0,73	73,38	36,28	97,59
Holice - Borohrádek	1	86,4	0,72	72,02	38,86	95,78

Zdroj: autor

Pro období špičky bylo potvrzeno dostatečné vytížení infrastruktury. Dle metodiky SŽDC D24 by sice daná infrastruktura byla přetížená, dle metodiky UIC 406, která je pro účely této práce používána jako rozhodující, však k přetížení infrastruktury nedochází. Období ranní špičky je na této trati zobrazeno na Obrázku 10.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 10: NJR v období ranní špičky Moravany – Borohrádek

4.2.6 Shrnutí tvorby PJŘ

Na všech 5 úsecích vytvářejících uzavřenou síť byl na základě hranových časů vytvořen PJŘ, implementující 2 až 4 periody o různé výši dle daného úseku, více v Tabulce 41.

Tabulka 41: Periody jednotlivých PJŘ

Úsek/Druh dopravy	Dálková osobní (min)	Regionální osobní (min)	Expresní nákladní (min)	Nákladní ostatní (min)
Kolín - Choceň	20	30	30	60
Choceň – HK – VO	40	60	60	
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	20	60	120	
Kolín – VO	60	60	20	
Moravany - Borohrádek	X	60	120	

Zdroj: autor

Periody jsou takto rozdílné z důvodu různých provozních konceptů zvolených především na základě charakteristiky daného traťového úseku. Míra periodicity byla vyjma úseku Choceň – Hradec Králové (HK) hl. n. – Velký Osek (VO) maximalizována. Bylo vytvořeno periodické trasování vlaků pro všechny počítané segmenty dopravy (dálková osobní, regionální osobní, nákladní). Pro osobní dopravu

lze dle Tabulky 41 sjednotit periodu na 60 min, u nákladní dopravy poté na 120 min. Provázaností jednotlivých PJŘ do ITJŘ včetně výpočtu kapacitních ukazatelů se zabývá následující kapitola.

4.3 Tvorba ITJŘ – návrh

Integrovaný taktový jízdní řád byl vytvářen na základě tvorby PJŘ za splnění předpokladů uvedených již na str. 13 a 14 této práce (Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, 2001):

- a) jednotná perioda v rámci sítě,
- b) jednotná osa symetrie,
- c) splnění podmínky pro hranový čas,
- d) splnění podmínky pro kruhové rovnice.

Dle těchto podmínek je zřejmé, že není možné do ITJŘ zahrnout všechny trasy vlaků realizované na vybraných úsecích infrastruktury v rámci PJŘ. Velikost periody musí být sjednocena, a to pro každý segment dopravy – celkem tak budou vytvořeny tři paralelní ITJŘ (pro dálkovou osobní, regionální osobní a nákladní dopravu) implementované na jedné uzavřené síti. Obzvláště na implementaci ITJŘ dálkové osobní a regionální osobní dopravy je třeba klást důraz, a to především z důvodu minimalizace přestupních časů.

Suma všech hranových časů v daném n -úhelníku, který vytváří uzavřenou síť, se musí rovnat celistvému násobku taktu t_T , a to pro každý n -úhelník uzavřené sítě. V rámci zvoleného implementačního území se jedná o celkem 6 n -úhelníků definovaných následujícími vrcholy (dopravními body):

- 1) Kolín – Velký Osek – HK hl. n. – Pardubice hl. n. – Kolín,
- 2) Pardubice hl. n. – HK hl. n. – Týniště n. O. – Borohrádek – Moravany – Pardubice hl. n.,
- 3) Moravany – Borohrádek – Choceň – Moravany,
- 4) Kolín – Velký Osek – Týniště n. O. – Borohrádek – Moravany – Kolín,
- 5) Pardubice hl. n. – HK hl. n. – Týniště n. O. – Choceň – Pardubice hl. n.,
- 6) Kolín – Velký Osek – Týniště n. O. – Choceň – Kolín.

Cílový stav tvorby a implementace ITJŘ je obsažen v bodě 6, nicméně v této práci je řešena i problematika hranových časů předcházejících 5 n -úhelníků. V Tabulce 42 jsou uvedeny hranové časy mezi jednotlivými uzly ITJŘ pro jednotlivé segmenty dopravy, určené na základě jízdních dob JŘ 2016.

Tabulka 42: Hranové časy mezi uzly ITJŘ

Úsek	Hranový čas (min)		
	Dálková osobní	Regionální osobní	Nákladní
Kolín – Velký Osek	8	10	9
Velký Osek – HK hl. n.	37	52	51
HK hl. n. – Týniště n. O.	20	24	22
Týniště n. O. – Borohrádek	6	8	9
Borohrádek – Choceň	15	18	16
Choceň – Moravany	9	20	14
Moravany – Pardubice hl. n.	7	15	11
Pardubice hl. n. - Kolín	19	43	33
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	18	22	27
Borohrádek – Moravany	20	25	35

Zdroj: autor s využitím JŘ 2016

V nákladní dopravě byly uvedeny hranové časy odpovídající vlakům projíždějícím celý hranový úsek bez zastavení, a to nejvyšší dovolenou rychlostí, max. 100 km/h. V úseku Moravany – Borohrádek byl stanoven hranový čas dálkové osobní dopravy za účelem výpočtu kruhových rovnic na základě hranového času regionální osobní dopravy s odečtením přírážek pro zastavení a rozjezdy regionální osobní dopravy (parametry tratě neumožňují příliš velkou rychlostní diferenciaci). Dále byly vynechány taktové uzly Přelouč a Chlumeck nad Cidlinou, protože v nich ústící přípojné tratě již leží mimo zvolenou oblast.

V Tabulce 43 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty kruhových rovnic (sumy hranových časů) pro jednotlivé n-úhelníky (číselné označení viz výše).

Tabulka 43: Hodnoty kruhových rovnic pro jednotlivé n-úhelníky

N-úhelník	Výsledek kruhové rovnice (min)		
	Dálková osobní	Regionální osobní	Nákladní
1	82	127	120
2	71	94	104
3	44	63	65
4	117	177	170
5	75	107	99
6	121	190	165

Zdroj: autor

Za účelem splnění všech podmínek nezbytných pro tvorbu ITJŘ byla zvolena perioda pro regionální i pro dálkovou osobní dopravu ve výši 60 min s tím, že tvorba ITJŘ na konkrétních úsecích je dále analyzována jednotlivě dle zvoleného úseku. Perioda pro nákladní dopravu byla stanovena na 120 min s tím, že po vytvoření ITJŘ jsou následně vytvořeny síťově propojené periodické trasy vlaků nákladní dopravy dle rámcového iterativního postupu (Obrázek 2).

Za účelem konstrukce ITJŘ jsou vždy uvedena použitá opatření dle Hrabáčka (viz str. 18 této práce) prováděná tak, aby bylo dosaženo výsledků kruhové rovnice v Tabulce 44 (na základě vzorce (3)).

Tabulka 44: Požadované hodnoty kruhových rovnic pro jednotlivé n-úhelníky
(osobní doprava)

N-úhelník	Výsledek kruhové rovnice (min)					
	Dálková osobní	Rozdíl (min)	Regionální osobní	Rozdíl (min)	Nákladní	Rozdíl (min)
1	120	+ 38	180	+ 53	120	0
2	120	+ 49	120	+ 26	120	+ 16
3	60	+ 16	60	- 3	120	+ 55
4	120	+ 3	180	+ 3	240	+ 70
5	120	+ 45	120	+ 13	120	+ 21
6	120	- 1	240	+ 50	240	+ 75

Zdroj: autor

Záporné rozdíly jsou eliminovány prostřednictvím vhodné organizace provozu v taktových uzlech, popř. neobsluhování všech míst zastavení (zastávky na znamení v regionální osobní dopravě). Kladné rozdíly jsou vyrovnány pomocí čekacích dob v taktových uzlech.

Vzhledem k nezbytnosti splnění všech podmínek pro tvorbu ITJŘ ale bylo zjištěno, že tyto podmínky není možné současně splnit, tudíž ITJŘ s jednotnou osou symetrie, jednotnou periodou v rámci dané uzavřené sítě, se splněnou podmínkou pro hranový čas i pro kruhové rovnice nelze bez zásadních stavebně-rekonstrukčních opatření realizovat. Důkazem budiž následující soustava rovnic pro řešení podmínky kruhových rovnic, která nemá přijatelné řešení.

Nechť každý z vyrovnávacích časů se skládá z jednotlivých dílčích vyrovnávacích časů v jednotlivých taktových uzlech, kde x_1 je takovýto čas v ŽST

Kolín, x_2 v ŽST Pardubice hl. n., x_3 v ŽST Moravany, x_4 v ŽST Choceň, x_5 v ŽST Borohrádek, x_6 v ŽST Hradec Králové hl. n. a x_7 v ŽST Velký Osek. Poté platí: (17)

$$a) 38 = x_1 + x_2 + x_6 + x_7$$

$$b) 49 = x_2 + x_3 + x_5 + x_6$$

$$c) 16 = x_3 + x_4 + x_5$$

$$d) 3 = x_1 + x_3 + x_5 + x_7$$

$$e) 45 = x_2 + x_4 + x_6$$

$$f) -1 = x_1 + x_4 + x_7$$

Prvním problémem je, že se jedná o soustavu šesti rovnic o sedmi neznámých, nicméně úpravami lze získat následující vyjádření: (18)

$$g) 39 = x_2 - x_4 + x_6 \quad (a - f)$$

$$h) 6 = 2x_4 \rightarrow x_4 = 3 \quad (e - g)$$

$$i) 13 = x_3 + x_5 \quad (h \text{ do } c)$$

$$j) -4 = x_1 + x_7 \quad (h \text{ do } f)$$

$$k) -10 = x_1 + x_7 \quad (i \text{ do } d)$$

Je zcela zřejmé, že vzorce j) a k) prokazují nemožnost daného řešení. Jelikož požadované hodnoty kruhových rovnic lze měnit pouze o velikost periody, nelze bez stěžejních zásahů nalézt přijatelné řešení tvorby ITJŘ na dané uzavřené síti.

4.4 Síťově propojené periodické trasy vlaků nákladní dopravy (SPP) – návrh

Pro tvorbu síťově propojených periodických nákladních tras je využit PJŘ, kdy jsou jednotlivé nákladní trasy optimalizovány na základě iterativního algoritmu (Obrázek 2), který je modifikuje za účelem lepšího provázení úzkými hrdly sítě.

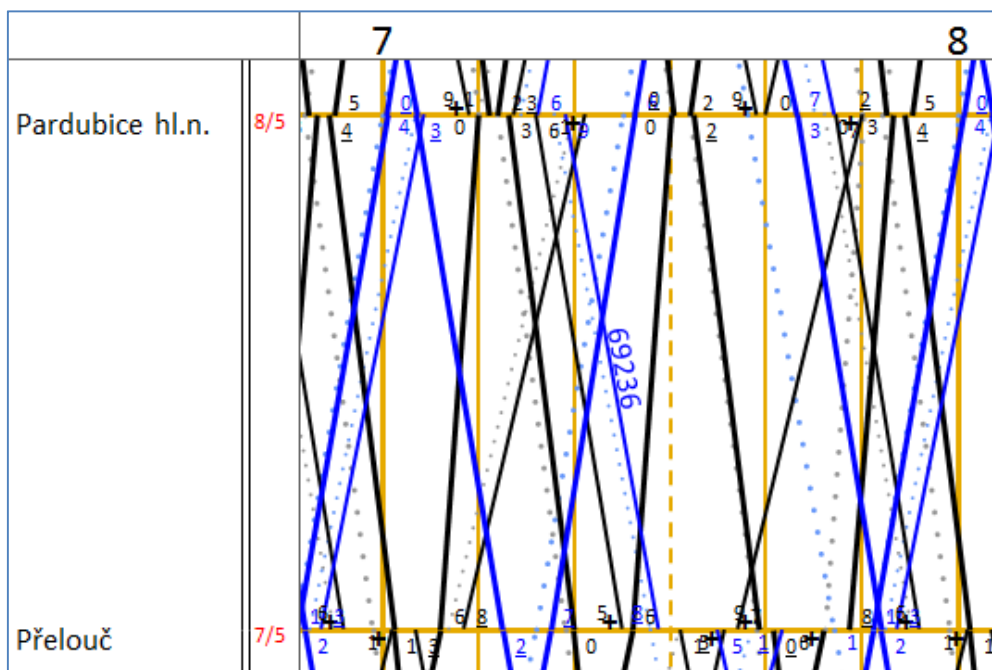
Za řešenou oblast je uvažována stanovená uzavřená síť, periody nákladních tras byly stanoveny na základě Tabulky 41 s tím, že v bezkolizních časech s osobní dopravou byl zachován stávající PJŘ v nákladní dopravě. V ostatních případech ale bylo dle jednotlivých úseků (stejně rozdělení jako pro PJŘ) přistoupeno ke konstruování průjezdu nákladních expresů přes úzká hrdla sítě. V rámci této práce jsou takto řešeny dva úseky z dané uzavřené sítě, kde je předpoklad realizace průjezdu nákladních expresů nejvyšší, a to úsek Kolín – Choceň a Choceň – Hradec Králové hl. n. – Velký Osek.

4.4.1 Tvorba SPP Kolín – Choceň

Síťově propojené periodické trasy nákladních expresů je nezbytné vhodně trasovat přes úzká hrdla sítě, jimiž jsou úseky s vysoce obsazenou či přetíženou infrastrukturou. Za srovnatelně problematická místa železniční sítě lze považovat i ŽST, v nichž není možné bez provozních omezení předjet nákladní expres osobním vlakem vyšší kvality. Jedná se o stanice, které nedisponují dostatečně dlouhou vedlejší dopravní kolejí, kde užitečná délka koleje záleží především na normativu délky vlaku, který chceme takto provážet. Kdyby byly za takovéto ŽST považovány ty, které nemají v obou směrech alespoň jednu vedlejší dopravní kolej dlouhou 700 m, bylo by nezbytné za úzké hrdlo ve směru Choceň – Kolín považovat celý úsek z ŽST Choceň až do ŽST Pardubice hl. n., protože ŽST Zámorsk, Uhersko, Moravany ani Kostěnice sudou vedlejší dopravní kolejí o užitečné délce 700 m a více nedisponují. Jelikož problematikou nedostatečné délky dopravních kolejí pro nákladní expresy se tato disertační práce přímo nezabývá, nebude tato problematika zcela řešena.

Jako úzká hrdla v rámci tohoto simulačního scénáře byly na základě Tabulky 22 a Tabulky 24 vybrány úseky Pardubice hl. n. – Přelouč (1. TK), Řečany nad Labem – Záboří nad Labem (obě TK) a Záboří n. L. – Kolín (obě TK). Jelikož se jedná o úpravu PJŘ osobní i nákladní dopravy s nejdelší periodou 60 min, bude z daného úseku řešeno vždy 60 min v období ranní špičky, konkrétně od 7 h do 8 h. Tento vzor bude poté použit po celý časový souběh všech tras PJŘ (v nočních hodinách útlum osobní dopravy).

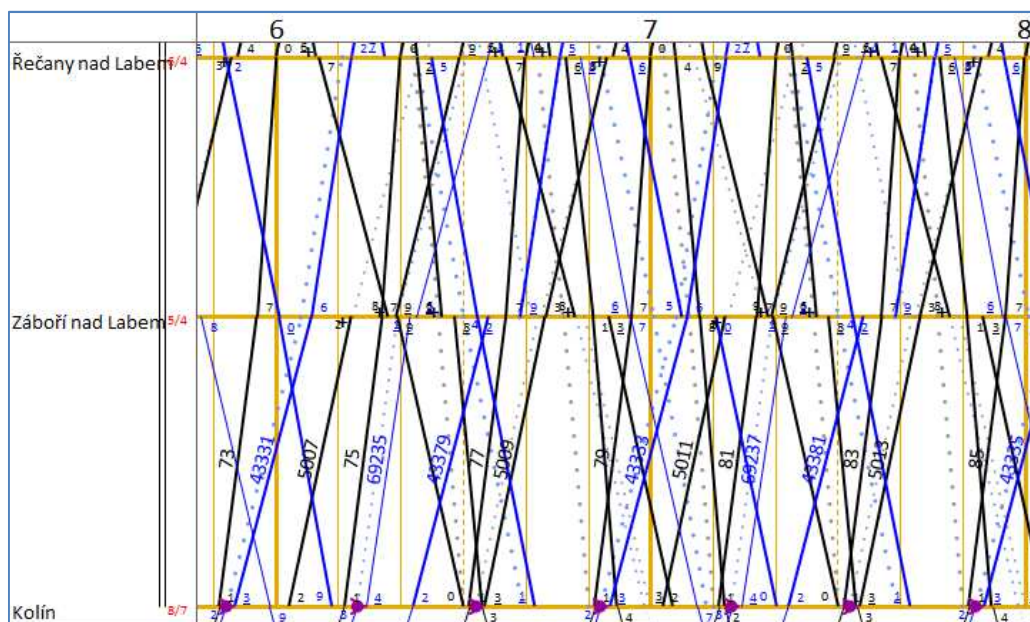
Na Obrázku 11 je zobrazen NJŘ Pardubice hl. n. – Přelouč od 7 h do 8 h. První traťová kolej směřuje z Přelouče do Pardubic. Tečkované trasy znázorňují v programu SimuT původní variantu trasy, která ale byla na základě provozních priorit přesunuta. Pokud k přesunu zadané trasy nedošlo, tečkovaná trasa se nezobrazí.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 11: Úzké hrdlo Pardubice hl. n. – Přelouč

Jelikož se jedná o první traťovou kolej, je nezbytné harmonizovat prodloužení trasy do uzlu Pardubice hl. n. s úzkými hrdly v první traťové koleji Kolín – Záboří n. L. a Záboří n. L. – Řečany n. L. Z důvodu harmonizace byly sledovány stejné trasy – časový rámeček byl tedy nepatrně posunut. Na Obrázku 12 je znázorněn NJŘ v úseku Kolín – Řečany nad Labem (1. TK vede v tomto směru).

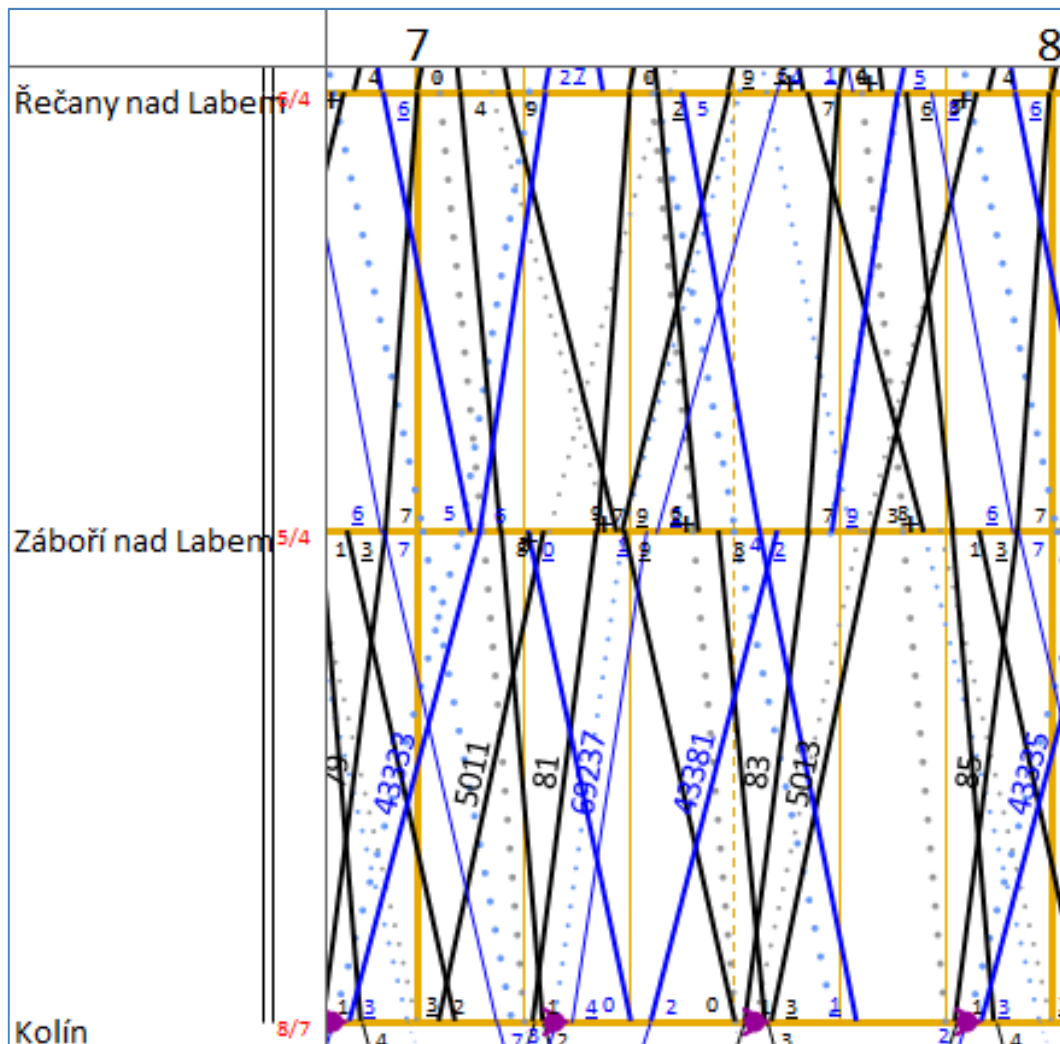


Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 12: Úzké hrdlo Kolín – Řečany n. L.

Po několika provedených simulačních scénářích bylo autorem této práce zjištěno, že v případě úzkých hrdel sítě v úseku Kolín – Choceň na první traťové koleji jsou již trasy nákladních expresů trasovány tak, aby byly efektivně provedeny úzkými hrdly. Tento předpoklad byl totiž autorem sledován již při konstrukci PJŘ v osobní i v nákladní dopravě.

Na Obrázku 13 je znázorněn NJŘ úseku Kolín – Řečany nad Labem od 7 h do 8 h za účelem optimalizace trasování nákladních expresů ve druhé traťové koleji, která směřuje z Řečan n. L. do Kolína (zahrnuto náhodné vstupní zpoždění).



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 13: Úzké hrdlo Kolín – Řečany n. L., detail

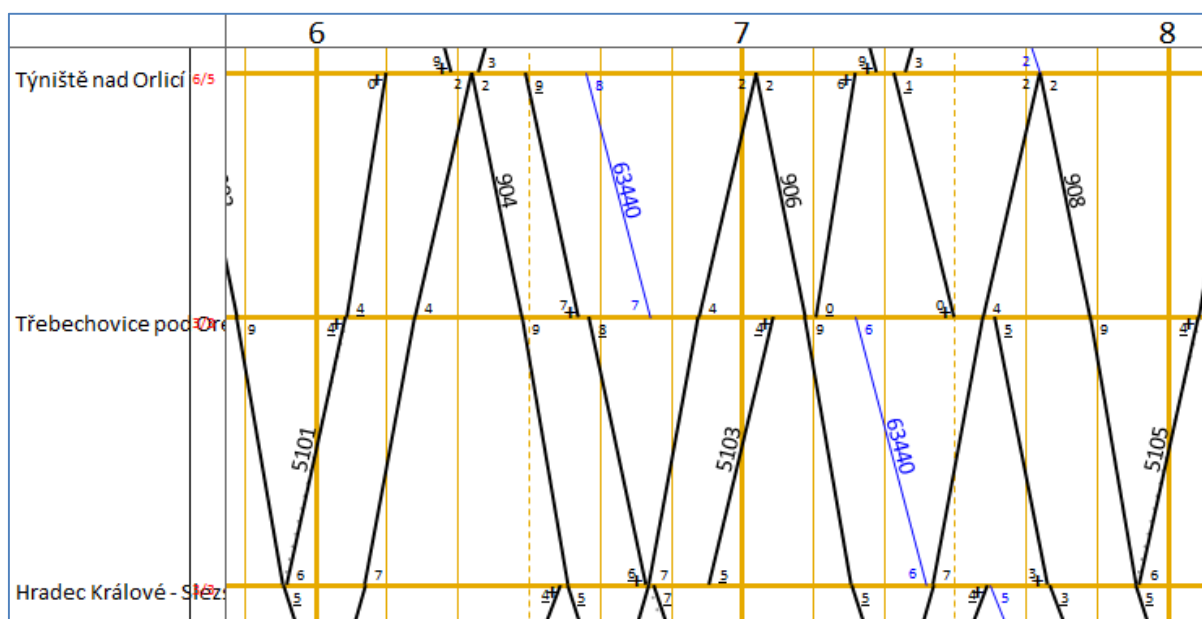
I v tomto případě bylo po několika provedených simulačních scénářích autorem této práce zjištěno, že v případě úzkého hrdla sítě v úseku Kolín – Choceň na druhé traťové koleji jsou již trasy nákladních expresů trasovány tak, aby byly efektivně provedeny úzkými hrdly, a to z důvodu implementace tohoto parametru do konstrukce PJŘ.

4.4.2 Tvorba SPP Choceň – Hradec Králové hl. n. – Velký Osek

Jako úzká hrdla v rámci tohoto simulačního scénáře byly na základě Tabulky 26 a Tabulky 28 vybrány 2 na sebe navazující mezistaniční úseky, a to Týniště nad Orlicí – Třebechovice pod Orebem a Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské předměstí. Cílem tvorby SPP je především umožnit provázení nákladních expresů v obou směrech, tedy i ve směru Velký Osek – Choceň. Zároveň je nezbytné sledovat i trasování jak do uzlu Týniště nad Orlicí, tak do uzlu Hradec Králové hl. n.

Jelikož se jedná o úpravu PJŘ osobní i nákladní dopravy s periodou 40 min a 60 min, bude z daného úseku řešeno 120 min v období ranní špičky, konkrétně od 6 h do 8 h. Tento vzor bude poté použit po celý časový souběh všech tras PJŘ (v nočních hodinách útlum osobní dopravy).

Na Obrázku 14 je znázorněn NJŘ Týniště nad Orlicí – Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské předměstí od 6 h do 8 h. Jedná se o jednokolejné traťové úseky.



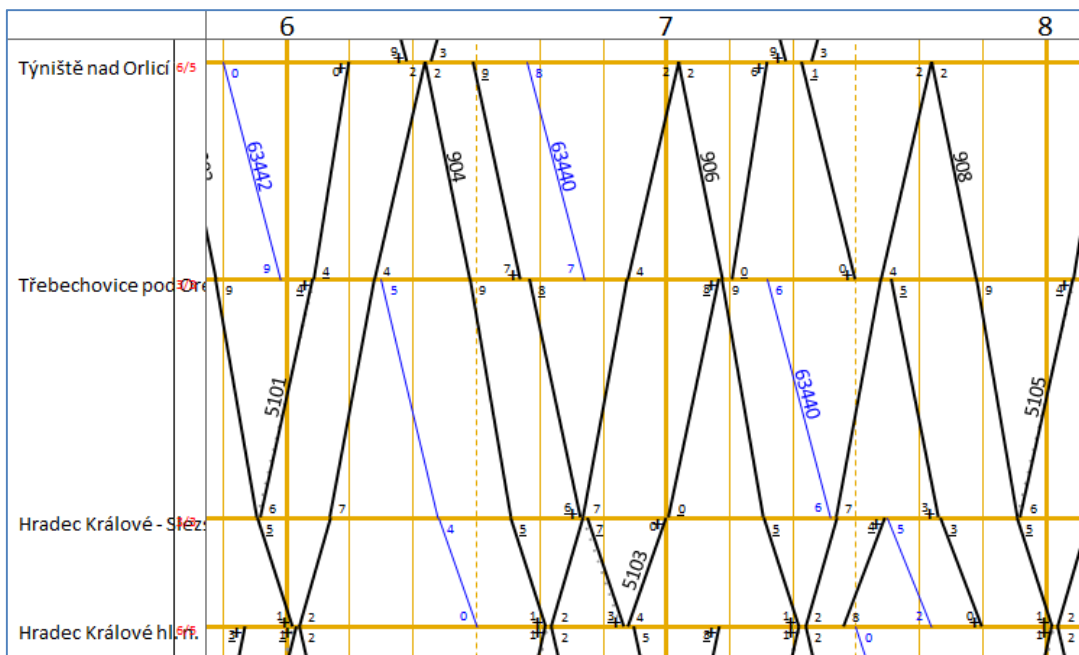
Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 14: Úzké hrdlo Týniště n. O. – Třebechovice pod O. – Hradec Králové – Slezské Předměstí

Na základě většího množství provedených simulačních scénářů bylo zjištěno, že úprava trasování (rescheduling) pouze vlaků nákladní dopravy kýžený efekt nepřináší, proto bylo přistoupeno k přetrasování vlaků osobní dopravy. Možností by bylo také celkové snížení počtu vlaků osobní dopravy, např. prodloužení periody vlaků dálkové osobní dopravy ze 40 min na 60 min, ale touto změnou by došlo ke zkreslení výzkumu nezachováním srovnatelných podmínek. Z tohoto důvodu byly změněny trasy vlaků

regionální osobní dopravy, vlaky dálkové osobní dopravy byly ponechány ve svých trasách (i vzhledem k prioritě vlaků).

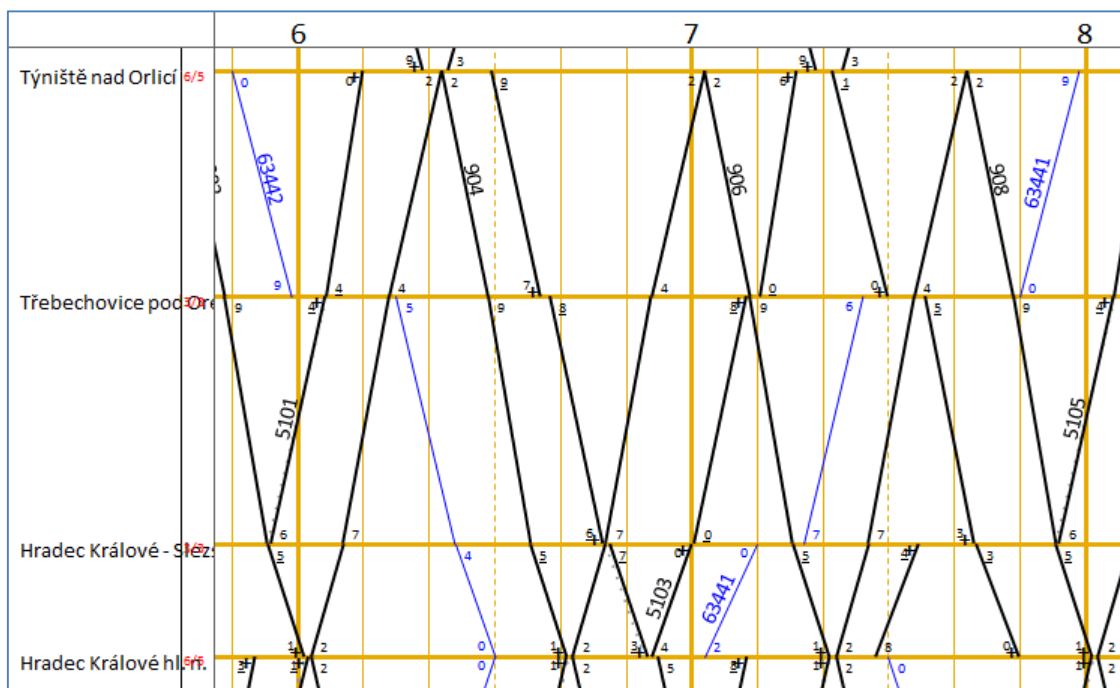
Porušením periody u lichých osobních vlaků (odjezd 6.54 místo 6.28, odjezd v 7.28 ale ponechán) lze dosáhnout výrazného zkrácení doby přepravy pro takto upravené trasování osobních vlaků (zrychlené osobní vlaky), lze tak vlastně hovořit o dvou typech vlaků regionální osobní dopravy s periodou nikoliv 60 min, ale 120 min. Touto změnou lze získat volnou kapacitu pro další nákladní expres, ale bohužel opět pouze ve směru Choceň – Týniště nad Orlicí. Nákrešný jízdní řád pro toto přetrasování je na Obrázku 15.



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 15: Uvolněná kapacita pro vlak 63442

Změnou trasy sudých osobních vlaků nelze bohužel (na základě provedených simulací) dosáhnout nalezení trasy pro nákladní expres ve směru Velký Osek – Choceň, nicméně díky realizaci trasy dle Obrázku 15 (vlak 63442) je možné odebrat původní trasu nákladního expresu ve směru Choceň – Velký Osek (na Obrázku 15 vlak 63440) a místo ní realizovat trasu nákladního expresu ve směru Velký Osek – Choceň, viz Obrázek 16 (vlak 63441).



Zdroj: autor s využitím SimuT

Obrázek 16: Uvolněná kapacita pro vlak 63441

Úpravou trasování byla dosažena rovnováha v oblasti nákladních vlaků, kdy je s periodou 120 min realizována vždy jedna trasa nákladního vlaku ve směru Choceň – Velký Osek a jedna trasa nákladního vlaku ve směru Velký Osek – Choceň. Cíl tvorby SPP byl tedy splněn, a to prostřednictvím změny trasování osobních vlaků.

Trasování měněných vlaků bylo optimalizováno v rámci celé trasy v JŘ (trasování do uzlů), kdy na základě období špičky byly takto změněny trasy v celém JŘ.

Tabulka 45 zobrazuje jednotlivé kapacitní ukazatele pro JŘ s SPP pro období 24 h.

Tabulka 45: Ukazatele propustnosti pro 24 h, SPP Choceň – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	N	T_{obs} (min)	t_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	57	357,0	6,26	0,25	24,79	303,36	41,40
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	57	342,0	6,00	0,24	23,75	321,05	39,66
Čermná n. O. – Borohrádek	1	57	352,5	6,18	0,24	24,48	308,51	40,88
Borohrádek – Týniště n. O.	1	57	512,0	8,98	0,36	35,56	181,25	59,38

Mezistaniční úsek	TK	N	T _{obs} (min)	t _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	109	859,0	7,88	0,60	59,65	67,64	99,62
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slezské př.	1	109	925,5	8,49	0,64	64,27	55,59	107,33
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	109	694,5	6,37	0,48	48,23	107,34	80,54
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	109	834,5	7,66	0,58	57,95	72,56	96,78
Praskačka - Dobřenice	1	111	543,5	4,90	0,38	37,74	164,95	63,03
Dobřenice – Káranice	1	111	694,0	6,25	0,48	48,19	107,49	80,48
Káranice – Nové Město n. C.	1	111	494,5	4,45	0,34	34,34	191,20	57,35
Nové Město n. C. – Chlumec n. C.	1	111	416,5	3,75	0,29	28,92	245,74	48,30
Chlumec n. C. – Převýšov	1	111	455,0	4,10	0,32	31,60	216,48	52,77
Převýšov – Choťovice	1	111	711,0	6,41	0,49	49,38	102,53	82,46
Choťovice – Dobšice n. C.	1	111	463,0	4,17	0,32	32,15	211,02	53,70
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	111	567,5	5,11	0,39	39,41	153,74	65,81
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	54	159,3	2,95	0,11	11,06	803,96	18,47
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	57	163,4	2,87	0,11	11,35	781,27	18,95

Zdroj: autor

Změnou trasování, resp. přidáním tras nákladních vlaků dochází v celodenním kontextu k mírnému přetížení mezistaničního úseku Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské předměstí. Jedná se o jeden z mála případů, kdy dle metodiky SŽDC D24 nelze infrastrukturní zařízení považovat za přetížená, nicméně dle rozhodující metodiky UIC určité přetížení vykázano je (většinou bývá poměr metodik

opačný). Ačkoliv zmíněný mezistaniční úsek lze prohlásit za mírně přetížený, vliv přetížení na stabilitu JŘ není podstatný, jak lze odečíst z Tabulky 46.

Tabulka 46: Průměrný přírůstek zpoždění a míra periodicity, SPP Choceň – Velký Osek

ΔZ_p celkový	ΔZ_p dálkový os.	ΔZ_p regionální	ΔZ_p nákladní	R_p (%)
- 3,14 min/vlak	0,02 min/vlak	- 1,66 min/vlak	- 12,20 min/vlak	88,60

Zdroj: autor

Jízdní řád lze prohlásit za stabilní, neboť jeho schopnost eliminovat náhodně vzniklá zpoždění se oproti PJŘ zvýšila. Zvýšení celkové stability se ale projevilo poklesem stability tras dálkové osobní dopravy, kde se průměrný přírůstek zpoždění dostal do kladných hodnot. Na stranu druhou, průměrný přírůstek zpoždění pro vlaky dálkové osobní dopravy o výši 1,2 s/vlak lze považovat za téměř nulový.

Co se míry periodicity týče, byly přidány nákladní trasy vedené v periodě 120 min za cenu rozvázání periody o velikosti 60 min u vlaků regionální osobní dopravy, ze které byly vytvořeny dvě kategorie vlaků (osobní vlaky a zrychlené osobní vlaky) s periodou 120 min. V rámci jedné z period tak bylo vedeno celkem 101 vlaků ze 114, což odpovídá míře periodicity 88,60 %.

Kapacitní ukazatele byly vypočítány i pro období ranní špičky od 6:00 do 8:00, více v Tabulce 47.

Tabulka 47: Ukazatele propustnosti období špičky, SPP Choceň – Velký Osek

Mezistaniční úsek	TK	T_{obs} (min)	S_o (%)	K (%)	R_{TA} (%)	C (%)
Choceň – Újezd u Chocně	1	31,3	0,26	26,10	283,19	34,71
Újezd u Ch. – Čermná n. O.	1	30,0	0,25	25,00	300,00	33,25
Čermná n. O. – Borohrádek	1	30,9	0,26	25,77	288,09	34,27
Borohrádek – Týniště n. O.	1	44,9	0,37	37,43	167,19	49,78
Týniště n. O. – Třebechovice p. O.	1	86,7	0,72	72,24	38,43	96,08
Třebechovice p. O. – Hradec Králové – Slez. p.	1	101,9	0,85	84,91	17,77	112,93
Hradec Králové Slezské př. – Hradec Králové hl. n.	1	76,5	0,64	63,72	56,95	84,74

Mezistaniční úsek	TK	T _{obs} (min)	S _o (%)	K (%)	R _{TA} (%)	C (%)
Hradec Králové hl. n. – Praskačka	1	91,9	0,77	76,56	30,62	101,82
Praskačka - Dobřenice	1	58,8	0,49	48,96	104,23	65,12
Dobřenice – Káranice	1	68,8	0,57	57,31	74,48	76,23
Káranice – Nové Město n. C.	1	49,0	0,41	40,84	144,88	54,31
Nové Město n. C. – Chlumeč n. C.	1	41,3	0,34	34,40	190,73	45,75
Chlumeč n. C. – Převýšov	1	45,1	0,38	37,58	166,13	49,97
Převýšov – Choťovice	1	70,5	0,59	58,72	70,31	78,09
Choťovice – Dobšice n. C.	1	45,9	0,38	38,24	161,54	50,85
Dobšice n. C. – Velký Osek – Kanín	1	56,2	0,47	46,87	113,38	62,33
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	1	17,7	0,15	14,75	577,97	19,62
Velký Osek – Kanín – Velký Osek	2	14,3	0,12	11,94	737,21	15,89

Zdroj: autor

Změnou trasování došlo v období ranní špičky k nárůstu přetížení mezistaničního úseku Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské Předměstí, navíc (oproti PJŘ) došlo i k přetížení dalšího úseku infrastruktury, a to Hradec Králové hl. n. – Praskačka. Dle metodiky SŽDC D24 jsou velmi vytížené či přetížené i další mezistaniční úseky, nicméně ty dle UIC 406 za přetížené považovat nelze. Vzhledem k vysokému vytížení infrastruktury je pozoruhodné, že stabilita JŘ jako celku se zvýšila, nicméně výhledově nelze zvýšení rozsahu dopravního provozu realizovat bez infrastrukturních opatření.

4.5 Dílčí závěr

V rámci vlastního řešení disertační práce byly vypočítány ukazatele propustnosti dle metodiky SŽDC D24 i dle vyhlášky UIC 406, a to pro zvolenou oblast za podmínek současného rozsahu provozu, za podmínek vytvořeného PJŘ, i za podmínek PJŘ s SPP. ITJŘ se v rámci zvolené oblasti nepodařilo sestavit, protože nebylo možné bez

výrazných zásahů do zvoleného provozního konceptu splnit všechny podmínky pro tvorbu ITJŘ.

Pro provedené simulace byla spočítána míra periodicity, stejně jako byla hodnocena stabilita JŘ prostřednictvím ukazatele průměrný přírůstek zpoždění, který byl počítán jak celkově pro celý JŘ, tak i pro jednotlivé segmenty dopravy. Vyhodnocení získaných výsledků je uvedeno v následující kapitole.

5 VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

V rámci vyhodnocení a diskuze získaných výsledků jsou porovnány jednotlivé JŘ a formulovány obecně platné závěry, na jejichž základě je ověřena hypotéza disertační práce.

5.1 Porovnání jednotlivých variant JŘ

Na základě vlastního řešení disertační práce, které je uvedeno v předchozí kapitole, byly sumarizovány výsledky tak, aby mohly být porovnány jednotlivé typy JŘ navzájem. V Tabulce 48 je uveden počet vlaků na definovaných 5 úsecích pro jednotlivé typy JŘ, kde horní číslo v buňce představuje celkový počet vlaků v daném JŘ, čísla ve spodní části každé buňky poté počet vlaků dálkové osobní dopravy/regionální osobní dopravy/nákladní dopravy. Pokud je uvedeno X, znamená to, že daný druh dopravy se na daném úseku nevyskytuje.

Tabulka 48: Počet vlaků v jednotlivých JŘ

Úsek/JŘ	JŘ 2016	PJŘ	SPP
Kolín - Choceň	384 171/62/151	336 104/83/149	336 104/83/149
Choceň – HK – VO	174 30/106/38	108 50/40/18	114 50/40/24
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	137 19/105/13	179 118/40/21	179 118/40/21
Kolín – VO	213 16/78/119	221 38/40/143	221 38/40/143
Moravany - Borohrádek	48 X/42/6	57 X/38/19	57 X/38/19
Celkem vlaků	956 236/393/327	901 310/241/350	907 310/241/356

Zdroj: autor

V PJŘ i SPP byl trasován celkově menší počet vlaků než v JŘ 2016, což bylo způsobeno především tvorbou ucelených vozebních ramen v rámci PJŘ i SPP, kdy průměrná kilometrická vzdálenost ujetá jedním vlakem (v simulačním programu SimuT 1 vlak = 1 číslo vlaku) je v PJŘ i v SPP vyšší než v JŘ 2016. Obzvláště u vlaků

regionální osobní dopravy, kdy bylo v rámci vozebního ramena použito pouze jedno číslo vlaku, došlo v několika případech k nahrazení až 4 čísel (vlak byl v rámci trasy v JŘ 2016 až třikrát přečíslován).

V jednotlivých JŘ došlo také ke změně heterogenity. Na vozebním rameni Kolín – Choceň došlo v rámci PJŘ, potažmo SPP k poklesu počtu vlaků dálkové osobní dopravy a nárůstu počtu vlaků regionální osobní dopravy. Nárůst počtu vlaků regionální osobní dopravy je způsoben vytvořením periody o velikosti 30 min, která podstatně zlepšuje dopravní obslužnost stanic a zastávek na vozebním rameni Kolín – Choceň, kde je navíc dopravní obslužnost vlaky regionální osobní dopravy pouze obtížně nahraditelná autobusovou dopravou, a to jak z důvodu absence paralelních autobusových linek, tak z důvodu nevýhodnosti obsluhy daných sídel autobusovou dopravou (potvrzeno časovou náročností obsluhy při realizaci náhradní dopravy při výlukách). Pokles počtu vlaků dálkové osobní dopravy je způsoben dodržením periody o velikosti 20 min, kdy ale menší počet vlakových tras může být řešen formou jejich konsolidace, tedy spojením více vlaků do jedné vlakové trasy. Na vozebním rameni Kolín – Choceň lze tuto myšlenku realizovat, kdy spojené vlaky mohou vyjíždět již z Prahy a rozdělovány mohou být na jednotlivé směry až v ŽST Česká Třebová. Konsolidací lze tak z hlediska manažera infrastruktury získat volnou kapacitu, z hlediska dopravce lze mimo jiné ušetřit na poplatku za použití železniční dopravní cesty.

Na vozebním rameni Choceň – Hradec Králové – Velký Osek došlo oproti předchozímu vozebnímu rameni naopak ke zvýšení počtu vlaků dálkové osobní dopravy, a to především díky zavedení vlaků dálkové osobní dopravy s periodou 40 min, která byla realizována i na části vozebního ramene Hradec Králové – Týniště nad Orlicí. Díky tomuto opatření bylo poté možné snížit počet vlaků regionální osobní dopravy. Stěžejní vliv na toto snížení ale mělo již dříve zmíněné použití jednoho čísla vlaku pro celé vozební rameno. Na vozebním rameni Choceň – Hradec Králové – Velký Osek byl v rámci této práce dosažen největší posun v oblasti síťově propojených periodických tras vlaků nákladní dopravy.

Na vozebním rameni Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n. byla změněna koncepce, kdy vlaky regionální osobní dopravy byly nahrazeny vlaky dálkové osobní dopravy, a to především z důvodu tvorby rychlého meziměstského spojení dvou krajských měst a jejich aglomerací. Perioda tohoto spojení o velikosti 20 min garantuje jeho plnou využitelnost a konkurenceschopnost vůči individuální automobilové

dopravě, která využívá zrekonstruovanou silniční infrastrukturu s nejvyšší dovolenou rychlostí 110 km/h. Koncept rychlého meziměstského železničního spojení také koresponduje se záměrem manažera železniční infrastruktury toto vozební rameno zdvoukolejnit v celé délce.

U dvou zbývajících úseků (Kolín – Velký Osek, Moravany – Borohrádek) se vzhledem k jejich délce a počtu železničních stanic a zastávek nedá příliš hovořit o ucelených vozebních ramenech, nicméně tyto úseky byly zařazeny především proto, aby bylo možné vytvořit uzavřenou železniční síť.

Pro všechny 3 uvedené varianty JŘ (JŘ 2016, PJŘ i SPP) jsou totiž vypočítány parametry pro celou uzavřenou železniční síť. Konkrétně se jedná o celkové zpoždění v rámci uzavřené sítě, a to jak pro všechny vlaky, tak pro jednotlivé segmenty železniční dopravy. Celkové zpoždění v rámci uzavřené sítě je počítáno jako skalární součin celkového počtu vlaků (počtu vlaků v daném segmentu) na daných vozebních ramenech a příslušných průměrných přírůstků zpoždění. Dále je pro jednotlivé JŘ počítán průměrný přírůstek zpoždění v rámci uzavřené sítě, a to jak celkový, tak i pro jednotlivé segmenty železniční dopravy. Průměrný přírůstek zpoždění je počítán jako podíl celkového zpoždění v rámci uzavřené sítě a celkového počtu vlaků na síti. Pro jednotlivé JŘ je také počítána celková míra periodicity, a to jako podíl vlaků trasovaných na síti periodicky a všech vlaků na síti. Celosíťové ukazatele jsou zobrazeny pro jednotlivé varianty JŘ společně s přehledem přírůstků zpoždění na jednotlivých vozebních ramenech v Tabulce 49, Tabulce 50 a Tabulce 51.

Tabulka 49: Kapacitní ukazatele v JŘ 2016

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Kolín - Choceň	1,05	2,77	- 0,01	- 0,46	47,40
Choceň – HK – VO	- 1,26	- 0,60	- 1,23	- 1,88	44,83
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	- 0,20	- 0,61	- 0,25	0,78	38,69
Kolín – VO	0,27	- 0,01	- 0,04	0,52	37,09
Moravany - Borohrádek	- 0,29	X	- 0,17	- 1,16	60,42

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Celkové zpoždění (min)/celková periodicita (%)	200,15	443,92	-167,51	-75,84	44,04
ΔZ_p pro uzavřenou sít' (min/vlak)	0,21	1,88	-0,43	-0,23	X

Zdroj: autor

Jak lze odečíst z Tabulky 49, pro JŘ 2016 je celkové zpoždění v rámci uzavřené železniční sítě kladné, takže i celkový průměrný přírůstek zpoždění JŘ 2016 pro celou sít' je kladný. Toto je způsobeno především velkým přírůstkem zpoždění vlaků dálkové osobní dopravy, a to hlavně na vozebním rameni Kolín – Choceň. Ani polovina všech vlaků na síti nebyla navíc vedena v periodických trasách – celková míra periodicity pro danou uzavřenou sít' a JŘ 2016 činí pouhých 44,04 %.

Tabulka 50: Kapacitní ukazatele v PJŘ

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Kolín - Choceň	- 1,03	3,30	- 1,72	- 3,67	100
Choceň – HK – VO	- 2,21	- 0,29	- 1,81	- 8,46	86,11
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	0,76	- 0,12	- 0,57	8,28	100
Kolín – VO	0,26	0,07	0,32	0,30	100
Moravany - Borohrádek	- 0,88	X	- 0,60	- 1,43	100

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Celkové zpoždění (min)/celková periodicita (%)	-441,42	317,20	-247,96	-509,50	98,34
ΔZ_p pro uzavřenou síť (min/vlak)	-0,49	1,02	-1,03	-1,46	X

Zdroj: autor

Dle Tabulky 50 je celkové zpoždění v rámci uzavřené sítě, a tedy i celkový průměrný přírůstek zpoždění pro uzavřenou síť záporný, což svědčí především o zvýšené stabilitě JŘ na uzavřené síti a o jeho schopnosti efektivně eliminovat náhodně vzniklá zpoždění. Oproti JŘ 2016 došlo ke zlepšení parametrů provozování drážní dopravy především v oblasti regionální osobní dopravy a nákladní železniční dopravy. Výjimkou z tohoto tvrzení je pro regionální osobní dopravu průměrný přírůstek zpoždění na úseku Kolín – Velký Osek, který vzrostl především z důvodu tvorby PJŘ v nákladní dopravě s periodou 20 min. Pro nákladní dopravu poté průměrný přírůstek zpoždění vzrostl v PJŘ pouze na úseku Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n., a to z důvodu tvorby rychlého meziměstského spojení s periodou 20 min. Míra periodicity byla zvýšena na 98,34 % - naprostá většina vlaků byla vedena v PJŘ.

Tabulka 51: Kapacitní ukazatele v SPP

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Kolín - Choceň	-1,03	3,30	-1,72	-3,67	100
Choceň – HK – VO	-3,14	0,02	-1,66	-12,2	88,60
Pardubice hl. n. – HK hl. n.	0,76	-0,12	-0,57	8,28	100
Kolín – VO	0,26	0,07	0,32	0,30	100

Úsek/Ukazatel	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)	Periodicita (%)
Moravany - Borohrádek	-0,88	X	-0,60	-1,43	100
Celkové zpoždění (min)/celková periodicita (%)	-560,70	332,70	-241,96	-650,02	98,57
ΔZ_p pro uzavřenou síť (min/vlak)	-0,62	1,07	-1,00	-1,83	X

Zdroj: autor

Z Tabulky 51 vyplývá, že oproti PJŘ se změnilly parametry především na úseku Choceň – Hradec Králové – Velký Osek, kde prostřednictvím přetrasování nákladních vlaků došlo ke snížení jejich průměrného přírůstku zpoždění za cenu zvýšení průměrného přírůstku zpoždění vlaků dálkové osobní dopavy s tím, že celkový průměrný přírůstek zpoždění se snížil (bylo dosaženo požadovaného efektu). Celkové zpoždění v rámci uzavřené sítě, tím pádem i celkový průměrný přírůstek zpoždění, se snížilo za současného nepatrného nárůstu míry periodicity. Za cenu nepatrného zvýšení celkového celosíťového zpoždění vlaků dálkové osobní dopavy bylo dosaženo výrazného zlepšení v oblasti nákladní dopavy, především co se stability JŘ a jeho schopnosti eliminovat náhodně vzniklá zpoždění týče.

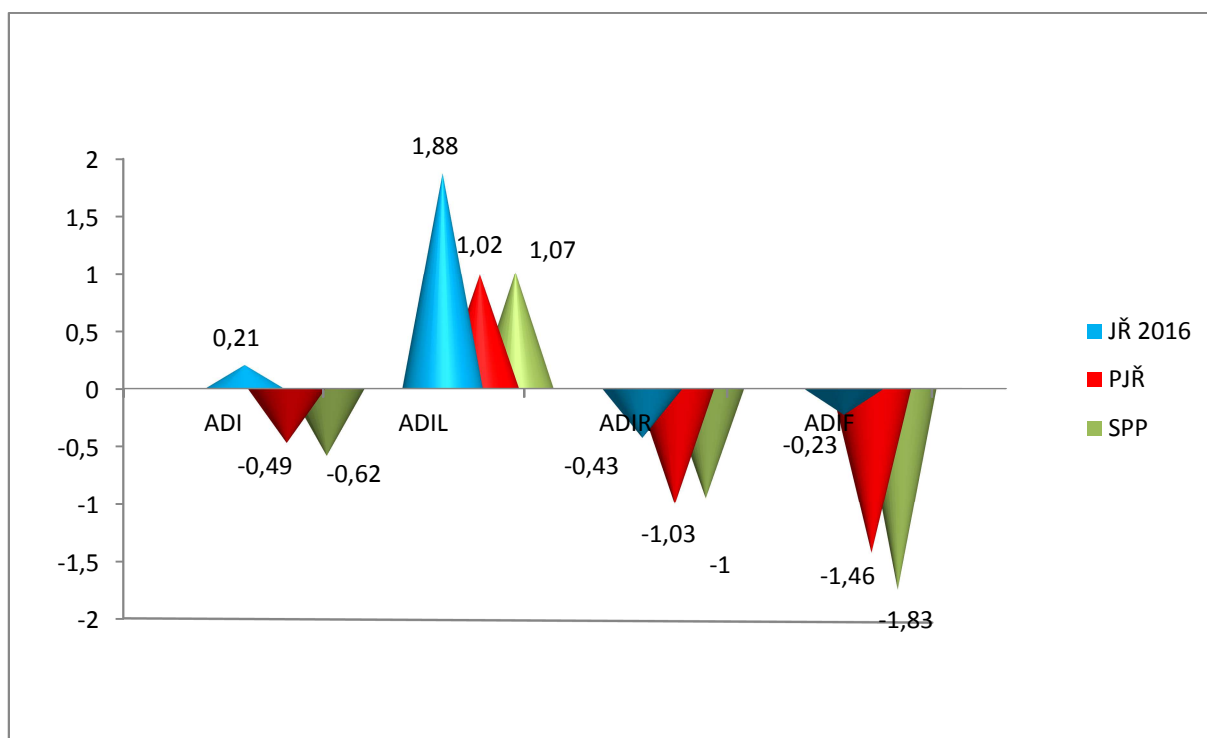
Dále jsou přehledně porovnány a graficky znázorněny jednotlivé průměrné přírůstky zpoždění v jednotlivých variantách JŘ, a to jak pro celou uzavřenou síť, tak i pro jednotlivé definované úseky (vozební ramena). Přehled pro celou uzavřenou síť je zobrazen v Tabulce 52 a na Obrázku 17.

Tabulka 52: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, celá síť

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	0,21	1,88	-0,43	-0,23
PJŘ	-0,49	1,02	-1,03	-1,46
SPP	-0,62	1,07	-1,00	-1,83

Zdroj: autor

Pomocí tvorby PJŘ došlo ke snížení všech přírůstků zpoždění v rámci uzavřené sítě (oproti JŘ 2016), tvorbou SPP byl dále snížen celkový průměrný přírůstek zpoždění.



Zdroj: autor

Obrázek 17: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, celá síť

V grafu byly pro přehlednost ponechány anglické zkratky, kde ADI je celkový průměrný přírůstek zpoždění, ADIL je průměrný přírůstek zpoždění pro vlaky dálkové osobní dopravy, ADIR vyjadřuje průměrný přírůstek zpoždění pro vlaky regionální osobní dopravy a ADIF znamená průměrný přírůstek zpoždění pro vlaky nákladní dopravy. Bohužel v žádné variantě JŘ nebyl eliminován průměrný přírůstek zpoždění vlaků dálkové osobní dopravy.

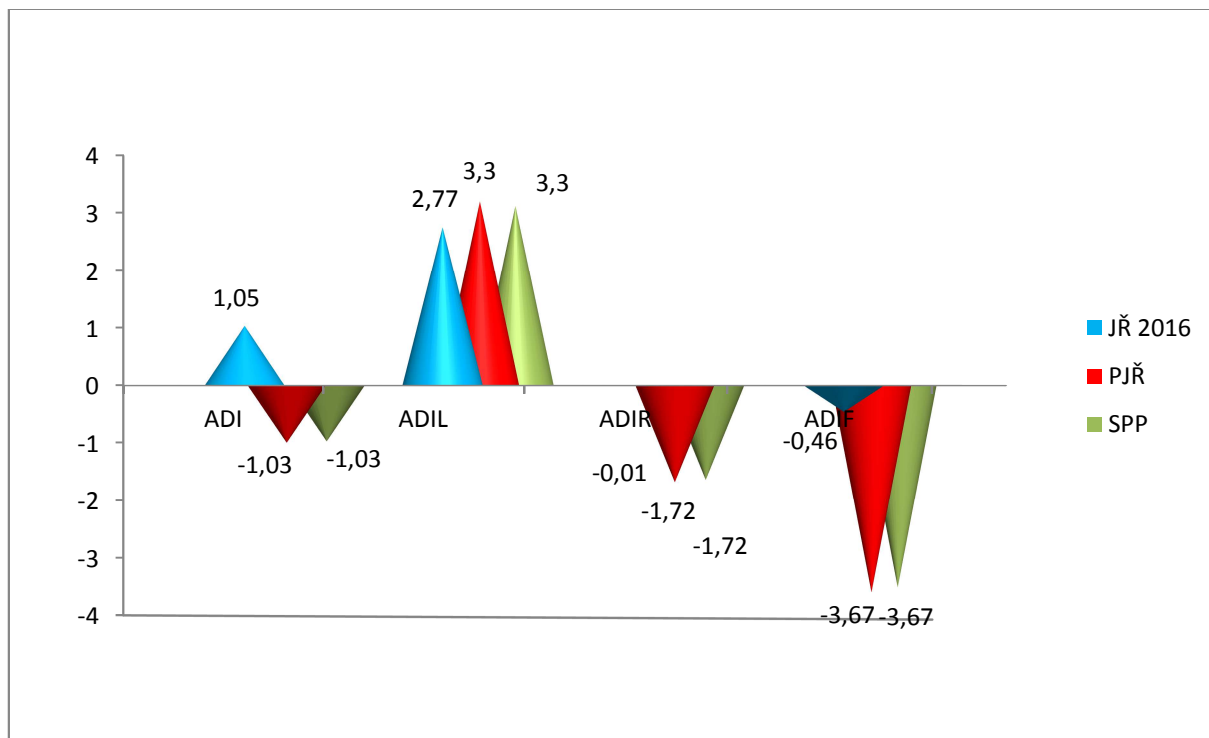
Tabulka 53 a Obrázek 18 poté zobrazují dané parametry pro vozební rameno Kolín – Choceň.

Tabulka 53: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Choceň

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	1,05	2,77	-0,01	-0,46
PJŘ	-1,03	3,30	-1,72	-3,67
SPP	-1,03	3,30	-1,72	-3,67

Zdroj: autor

Na tomto vozebním rameni byl prostřednictvím implementace PJŘ stabilizován JŘ tak, aby byl schopen eliminovat náhodně vzniklá zpoždění. Problematický je opět nárůst průměrného přírůstku zpoždění vlaků dálkové osobní dopravy, který je vyšší v rámci PJŘ než v JŘ 2016.



Zdroj: autor

Obrázek 18: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín - Choceň

Překvapivě nebylo na tomto plně dvoukolejném vozebním rameni dosaženo přetrasováním nákladních expresů zlepšení průměrných přírůstků zpoždění, což ale svědčí o vhodném trasování nákladních expresů v rámci PJŘ.

V Tabulce 54 a na Obrázku 19 jsou parametry zobrazeny pro vozební rameno Choceň – Hradec Králové – Velký Osek.

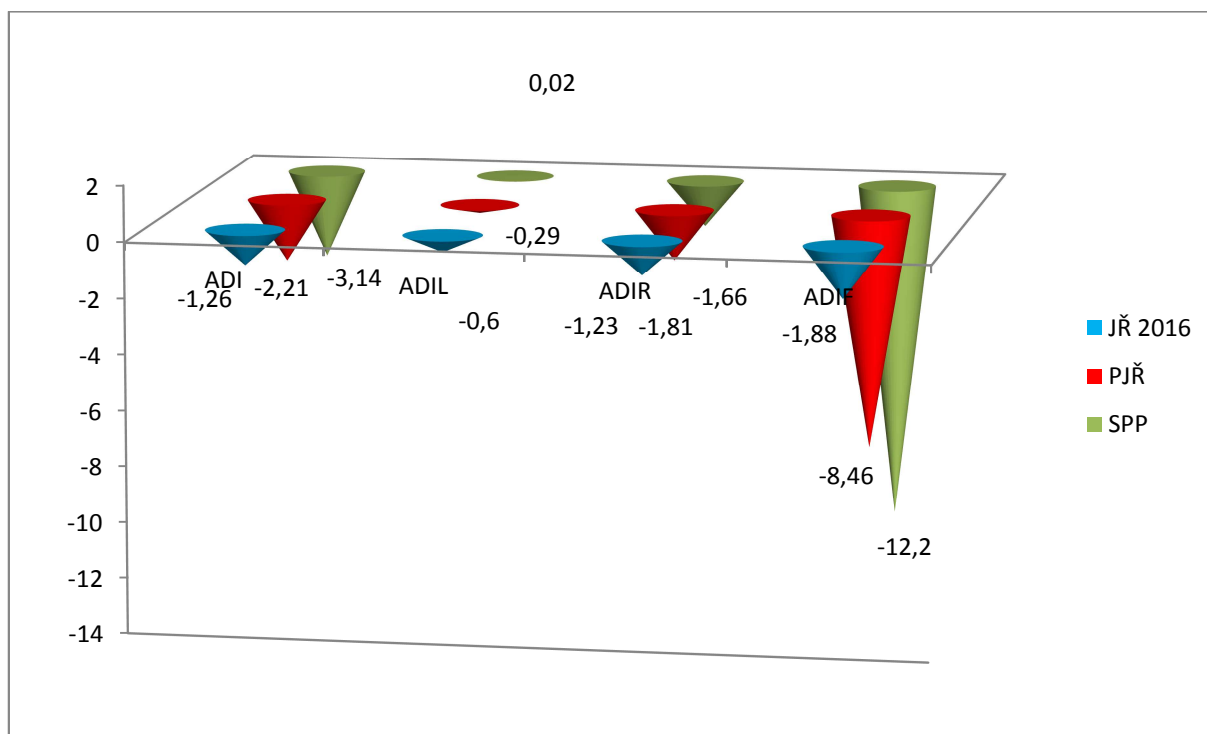
Tabulka 54: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Choceň – Velký Osek

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	-1,26	-0,60	-1,23	-1,88
PJŘ	-2,21	-0,29	-1,81	-8,46
SPP	-3,14	0,02	-1,66	-12,20

Zdroj: autor

Na tomto vozebním rameni se nejvíce projevil vliv přetrasování nákladních expresů na pokles celkového průměrného přírůstku zpoždění, a to za současného

zachování všech ostatních průměrných přírůstků zpoždění v záporných číslech či na téměř nulových hodnotách.



Zdroj: autor

Obrázek 19: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Choceň – Velký Osek

Z Obrázku 19 je zřejmé, že nejvíce lze na tomto vozebním rameni použitím vhodného JŘ ovlivnit průměrný přírůstek zpoždění vlaků nákladní dopravy s výrazným dopadem do celkového průměrného přírůstku zpoždění.

Průměrné přírůstky zpoždění pro vozební rameno Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n., které vzájemně spojuje dvě krajská města čteně jejich aglomerací, jsou vyobrazeny v rámci Tabulky 55 a Obrázku 20.

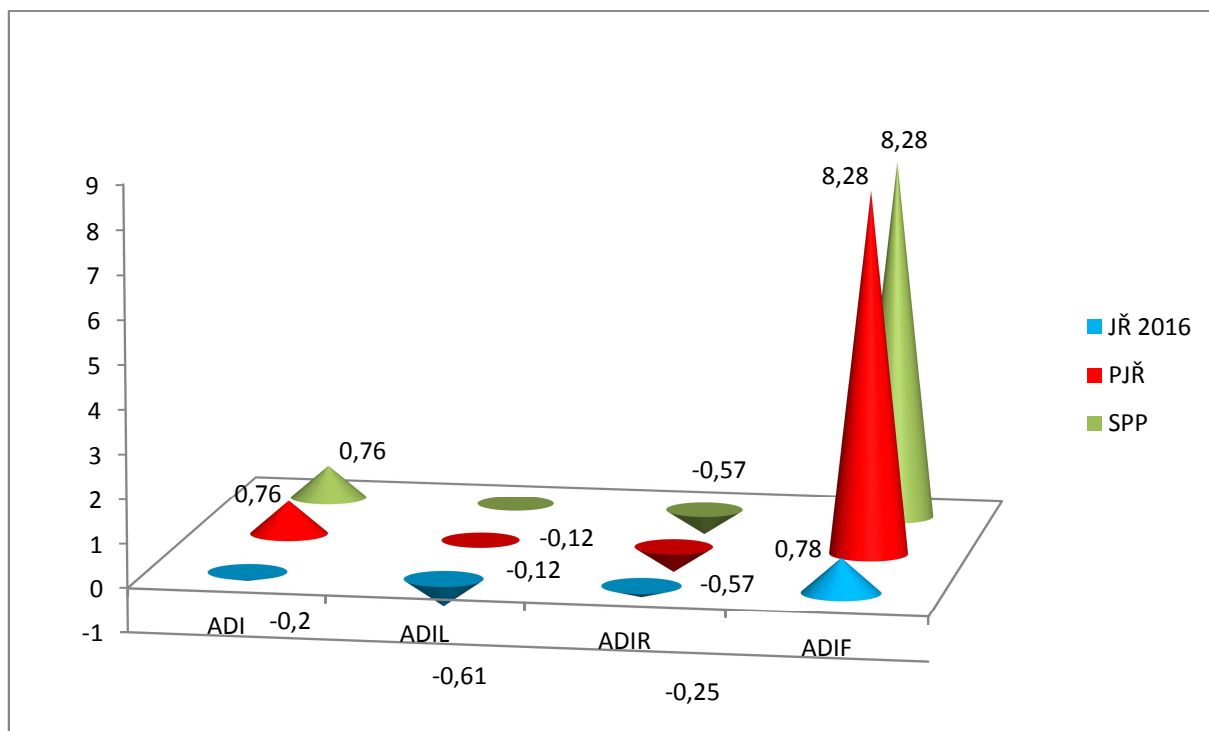
Tabulka 55: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	-0,20	-0,61	-0,25	0,78
PJŘ	0,76	-0,12	-0,57	8,28
SPP	0,76	-0,12	-0,57	8,28

Zdroj: autor

Na tomto vozebním rameni došlo implementací PJŘ ke zvýšení celkového průměrného přírůstku zpoždění, a to hlavně díky tvorbě rychlého meziměstského spojení s periodou 20 min, které na současné infrastruktuře velmi omezilo volnou kapacitu pro provážení nákladních vlaků. Růst celkového průměrného přírůstku byl

totiž zapříčiněn především výrazným nárůstem průměrného přírůstku zpoždění vlaků nákladní dopravy, které ale na této trati rozhodně nepatří k prioritním. U vlaků osobní dopravy zůstaly průměrné přírůstky zpoždění záporné.



Zdroj: autor

Obrázek 20: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n.

Jelikož na tomto vozební rameni nejsou provázeny žádné nákladní vlaky s vyšší prioritou, nebyla tvorba síťově propojených periodických tras vlaků nákladní dopravy realizována.

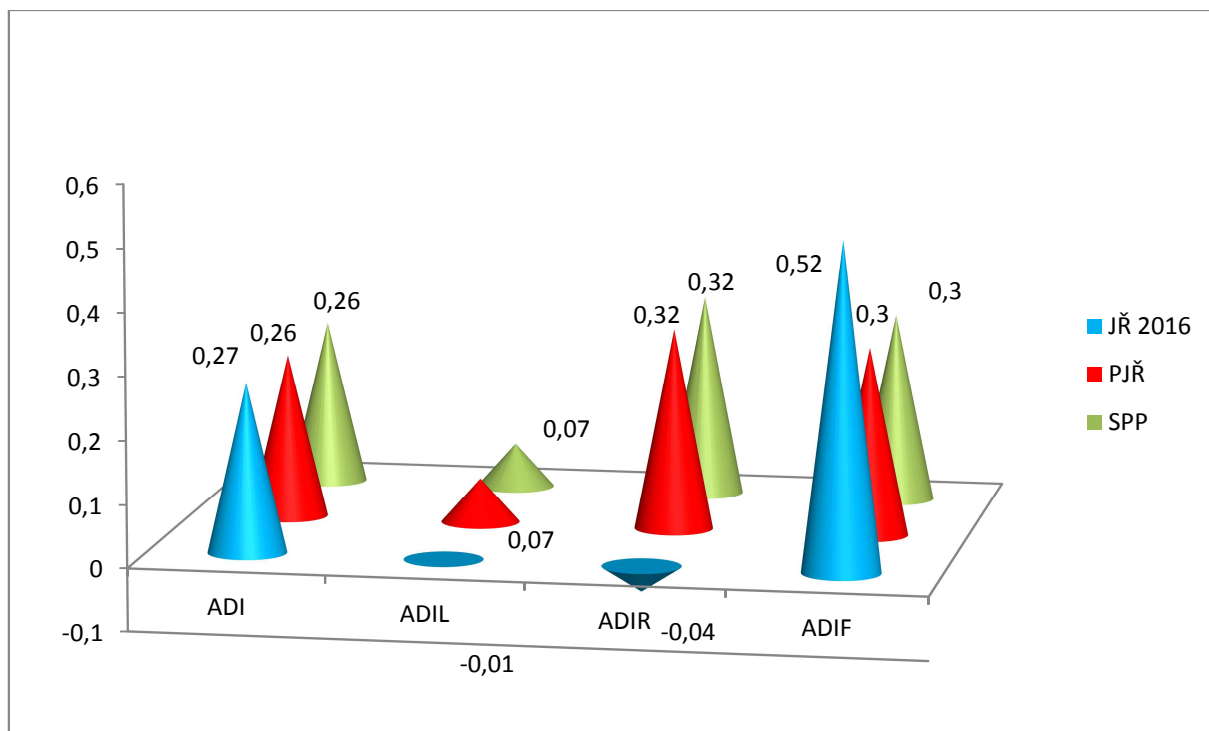
V Tabulce 56 a na Obrázku 21 jsou zobrazeny parametry pro spojovací úsek uzavřené sítě Kolín – Velký Osek.

Tabulka 56: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Velký Osek

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	0,27	-0,01	-0,04	0,52
PJŘ	0,26	0,07	0,32	0,30
SPP	0,26	0,07	0,32	0,30

Zdroj: autor

Na tomto úseku zůstal v rámci všech JŘ celkový průměrný přírůstek zpoždění kladný. Tento úsek byl v PJŘ koncipován hlavně pro nákladní expresy s periodou 20 min, kdy i přes zvýšení počtu těchto vlaků kles průměrný přírůstek zpoždění vlaků nákladní dopravy.



Zdroj: autor

Obrázek 21: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Kolín – Velký Osek

Celkový průměrný přírůstek zpoždění se v PJŘ snížil o jednu setinu minuty na vlak čili o 0,6 s/vlak, nicméně stěžejním prvkem PJŘ byla změna koncepce s důrazem na nákladní expresy.

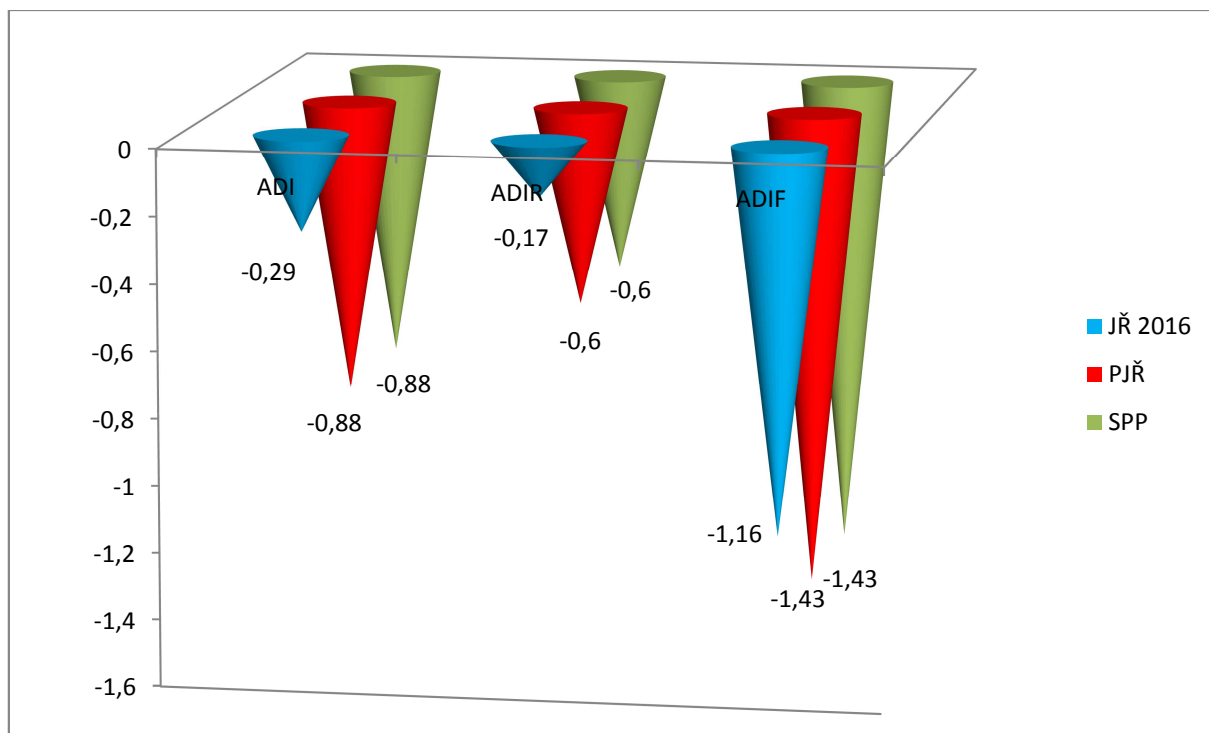
Poslední, taktéž spojovací úsek uzavřené sítě Moravany – Borohrádek a jemu příslušející parametry jsou znázorněny na Obrázku 22 a v Tabulce 57.

Tabulka 57: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Moravany – Borohrádek

JŘ	ΔZ_p celkový (min/vlak)	ΔZ_p dálkový os. (min/ vlak)	ΔZ_p regionální (min/vlak)	ΔZ_p nákladní (min/vlak)
2016	-0,29	X	-0,17	-1,16
PJŘ	-0,88	X	-0,60	-1,43
SPP	-0,88	X	-0,60	-1,43

Zdroj: autor

Na tomto úseku uzavřené sítě k problémům s kapacitou nedochází, všechny použité JŘ lze označit jako stabilní se schopností eliminovat zpoždění, která byla implementací PJŘ ještě zvýšena.



Zdroj: autor

Obrázek 22: Průměrné přírůstky zpoždění pro jednotlivé JŘ, Moravany – Borohrádek

Vlaky dálkové osobní dopravy nejsou na tomto úseku provozovány, proto na Obrázku X zcela chybí parametr ADIL. Z nákladních vlaků jsou provozovány pouze manipulační vlaky, jejichž rescheduling nebyl prozatím uvažován.

Dosud byly v rámci vyhodnocení zmíněny počty vlaků, jejich periodicita a průměrné přírůstky zpoždění. Nezbytné je ale také porovnat rozhodující kapacitní ukazatele (jako rozhodující metodika byla zvolena metodika dle UIC 406). Kapacitní ukazatele je nutné porovnat především pro nejvíce zatížené mezistaniční úseky, z nichž byly jako reprezentativní vzorek vybrány 3 úseky, konkrétně Pardubice hl. n. – Přelouč, Třebechovice pod Orebem – Hradec Králové – Slezské předměstí a Pardubice – Rosice nad Labem – Stěblová. Kapacitní ukazatele dle UIC 406 jsou pro jednotlivé JŘ přehledně zobrazeny v Tabulce 58.

Tabulka 58: Kapacitní ukazatele pro vybrané mezistaniční úseky

Mezistaniční úsek	K (%)	R _T (%)	C (%)
Pardubice hl. n. – Přelouč, JŘ 2016	55,94	78,77	93,42
Pardubice hl. n. – Přelouč, PJŘ	60,10	66,38	100,37
Pardubice hl. n. – Přelouč, SPP	60,10	66,38	100,37
Třebechovice – HK – Sl., JŘ 2016	39,55	152,85	66,05
Třebechovice – HK – Sl., PJŘ	58,19	71,84	97,18
Třebechovice – HK – Sl., SPP	64,27	55,59	107,33
Pardubice – Rosice – Stěblová, JŘ 2016	35,63	180,70	59,49
Pardubice – Rosice – Stěblová, PJŘ	69,10	44,72	115,39
Pardubice – Rosice – Stěblová, SPP	69,10	44,72	115,39

Zdroj: autor

Jak je vidět z Tabulky 58, s rostoucí periodicitou JŘ dochází ke zvyšování příslušných kapacitních ukazatelů neboli k většímu kapacitnímu vytížení železniční infrastruktury, a to až do úrovně jejího přetěžování. Paradoxní je, že v rámci uzavřené sítě bylo v této práci prokázáno, že s rostoucí periodicitou dochází ke zvýšení stability JŘ (klesající celkový průměrný přírůstek zpoždění na uzavřené síti). Z tohoto lze vyvozovat závěr, že pokud jsou v rámci jednotlivých vozebních ramen konstruovány PJŘ (popř. SPP) optimálně či suboptimálně tak, že jsou trasy vlaků vhodně a efektivně svazkovány, lze dosáhnout na uzavřené síti vysoké stability JŘ i v případě vysokého obsazení (či dokonce přetížení) několika úseků dané uzavřené sítě. Na stranu druhou by mělo být stěžejním zájmem manažera železniční infrastruktury takováto místa odstraňovat prostřednictvím rekonstrukčně-stavebních opatření, kdy lze po jejich plné implementaci předpokládat dosažení uspokojivé míry kvality i kvantity dopravní požadovaných vlakových tras.

5.2 Souvztažné výzkumné práce

Autorem disertační práce byly prověřovány i další aspekty vlivu periodicity JŘ, konkrétně vliv PJŘ na kapacitu jednokolejné trati při jejím postupném zdvoukolejnění, dále vliv různých počátků tras PJŘ na kapacitu trati a v neposlední řadě také provozní prioritizace nákladních expresů vedených v PJŘ na společném úseku evropských nákladních koridorů.

V rámci prvního zmíněného tématu, tedy vlivu PJŘ na kapacitu jednokolejné trati, byl stanoven vhodný postup postupného zdvoukolejnění železniční trati 031

v úseku Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n., kdy bylo zjištěno, že po dvoukolejném mezistaničním úseku Stěblová – Opatovice nad Labem – Pohřebačka, který byl již ze strany manažera infrastruktury vybudován, je za účelem odstranění přetížení provozního zařízení i za účelem optimalizace stability JŘ vhodné vybudovat druhou traťovou kolej v úseku Pardubice- Rosice nad Labem – Stěblová a jako třetí v pořadí zdvoukolejnit mezistaniční úsek Pardubice hl. n. – Pardubice – Rosice nad Labem. Poslední úsek ke zdvoukolejnění Opatovice nad Labem – Pohřebačka – Hradec Králové hl. n. se v současnosti jeví jako problematický, a to z důvodu kolize stavebního záměru s cílem občanských iniciativ zachovat v Hradci Králové kaštanovou alej u nyní jednokolejné trati. Na druhou stranu, pouze plným zdvoukolejněním v celém zmíněném úseku lze mezi oběma krajskými městy dosáhnout cestovního času srovnatelného s individuální automobilovou dopravou, která v současné době využívá silnice I. třídy s maximální dovolenou rychlostí 110 km/h (Šrámek, 2015, s. 231-239).

V rámci postupného zdvoukolejnění byla též zmíněna problematika Braessova paradoxu, kdy zkapacitněním sítě může docházet k přetížení nezkapacitněných navazujících úseků (Šrámek, 2015, s. 168-178). Tento problém se reálně objevil v okamžiku přidání zastávek, kdy na dříve efektivně využívaném dvoukolejném mezistaničním úseku Stěblová – Opatovice nad Labem – Pohřebačka začala kvůli změně provozního konceptu vznikat zpoždění.

Vliv různých počátků PJŘ na kapacitu trati byl zkoumán opět na železniční trati 031 v úseku Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n., kdy byla jasně zadána infrastruktura jednokolejné trati s dvoukolejným mezistaničním úsekem Stěblová – Opatovice nad Labem – Pohřebačka a vytvořen PJŘ osobních vlaků 3 kategorií s periodou spojení v každém směru 20 min, kdy byly počátky tras z obou krajských měst posouvány o 5 min. Po prozkoumání všech možných řešení bylo zjištěno, že z hlediska nejnižšího celkového průměrného přírůstku zpoždění je nejlepší variantou varianta X. 00, X. 05, tedy varianta počátku trasy s odjezdem z Hradce Králové hl. n. o 5 min později než z Pardubic hl. n. Tato varianta disponovala celkovým průměrným přírůstkem zpoždění 0,92 min/ vlak, což oproti nejhorší variantě X. 00, X. 15 s celkovým průměrným přírůstkem zpoždění 2,28 min/vlak představuje při celkovém počtu 128 vlaků celkový rozdíl ve výši vzniklého zpoždění 174,08 min, tedy téměř 3 hodiny (Šrámek, Molková, 2015, s. 169-173).

Provozní prioritou nákladních expresů vedených v PJŘ na společném úseku evropských nákladních koridorů byla prověřována prostřednictvím simulačního

programu SimuT, kdy bylo prokázáno, že s rostoucí prioritou nákladních expresů celkový průměrný přírůstek zpoždění klesá, ale pouze za předpokladu provázení dostatečného množství nákladních expresů, a to celé vztaženo k heterogenitě vlaků na daném úseku železniční infrastruktury. Jelikož zároveň dochází ke zvýšení průměrného přírůstku zpoždění vlaků osobní dopravy (jak dálkové, tak regionální), bylo prokázáno, že ve špičkových časech osobní dopravy zvýšení provozní priority nákladních expresů celkový průměrný přírůstek zpoždění naopak zvýší (Šrámek, Molková, 2016, s. 31-32).

5.3 Formulace obecně platných závěrů

Za účelem formulace obecně platných závěrů je nezbytné analyzovat jednotlivé aspekty výsledků této disertační práce. Parametr kvantity je definován především množstvím realizovaných tras, které je ale bohužel částečně zkresleno použitím ucelených vozebních ramen v PJŘ, kdy je jednomu vlaku na celém vozebním rameni přiděleno pouze jedno číslo. Vzhledem k tomuto faktu bylo zjištěno, že kvantita je srovnatelná v JŘ 2016, zkonstruovaném PJŘ i v SPP.

Základním parametrem určujícím kvalitu je celkový průměrný přírůstek zpoždění, který je nejnižší v SPP, poté v PJŘ a nejvyšších hodnot dosahuje v rámci JŘ 2016. Jelikož základním úkolem výzkumu bylo vztáhnout dané parametry k periodicitě JŘ, byl pro tento účel vždy spočítán ukazatel periodicity JŘ umožňující efektivní a jednoznačné porovnání JŘ. Kontrolním ukazatelem využití kapacity železničních tratí jsou poté kapacitní ukazatele dle UIC 406, především ukazatel celkové spotřebované kapacity C . Přehledně jsou všechny zmíněné parametry pro celou uvedenou uzavřenou síť zobrazeny v Tabulce 59, ukazatel celkové spotřebované kapacity je uveden pro nejvíce kapacitně zatížený úsek v daném JŘ.

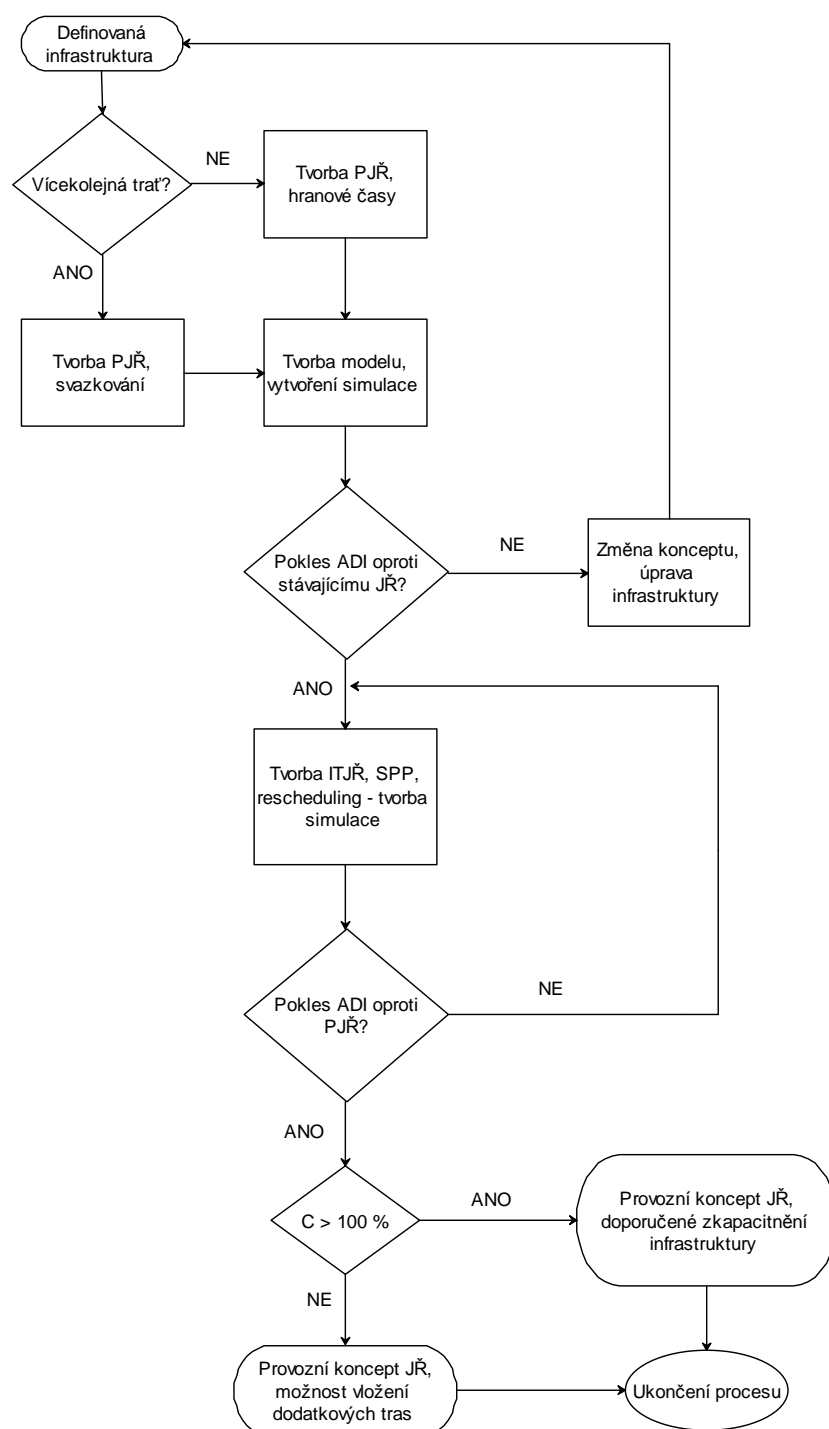
Tabulka 59: Přehled parametrů pro celou uzavřenou síť

JŘ	Počet tras	ΔZ_p celkový (min/vlak)	Periodicita (%)	C (%)
2016	956	0,21	44,04	93,42
PJŘ	901	-0,49	98,34	115,39
SPP	907	-0,62	98,57	115,39

Zdroj: autor

Na základě Tabulky 59 lze obecně potvrdit, že při vhodné konstrukci periodických tras v rámci PJŘ lze za podmínek srovnatelné kvantity tras zvýšit jejich kvalitu v podobě snížení celkového průměrného přírůstku zpoždění na uzavřené síti, a

to i přes vysoké kapacitní vytížení některých infrastrukturních zařízení. Jako předmět dalšího výzkumu se nabízí revize metodiky UIC 406 za účelem rozšíření výpočtu kapacitních ukazatelů nejen pro období celého dne a špičky, ale i pro jednotlivá rozmezí v rámci míry periodicity. Pro standardní výpočet dle stávající metodiky bylo totiž očekáváno, že při vysokém kapacitním vytížení jednotlivých infrastrukturních zařízení dojde ke zhoršení stability JŘ (zvýšení celkového průměrného přírůstku zpoždění). Pokud jsou ale všechny vlaky vedeny v PJŘ, a to i nákladní (předpoklad just in time doručení), lze efektivním svazkovaním dosáhnout s rostoucí periodicitou vyšší kvality vlakových tras. Celý postup implementace PJŘ na definované železniční infrastrukturu je přehledně znázorněn formou vývojového diagramu na Obrázku 23.



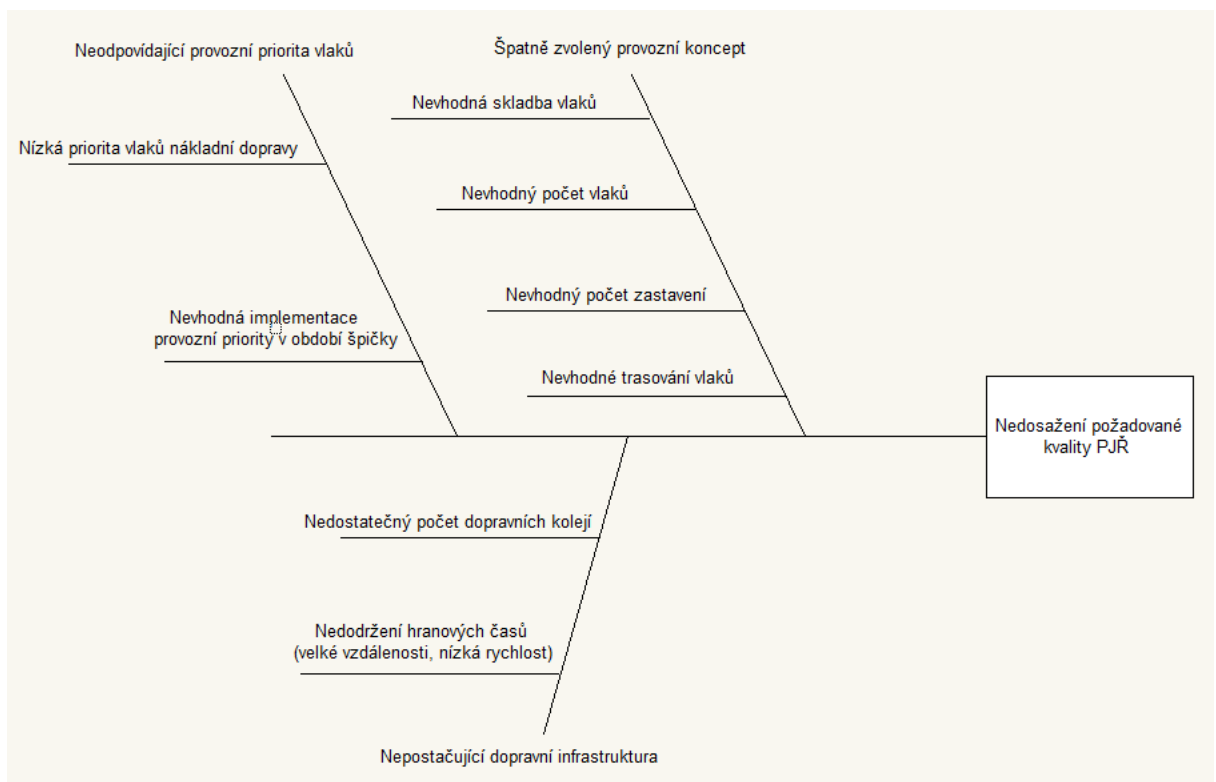
Zdroj: autor

Obrázek 23: Postup implementace PJŘ na definované železniční infrastruktuře

Tvorba PJŘ je v rámci definované infrastruktury rozdělena dle počtu traťových kolejí, kdy na vícekolejných tratích je třeba sledovat především svazkování vlaků, na tratích jednokolejných poté hranové časy a možnosti křížování. Za předpokladu

dodržení srovnatelné kvantity tras a zvýšení periodicity JŘ na celé uzavřené síti je vytvořen model, na jehož základě je naprogramována simulace. Pokud nedojde k poklesu celkového průměrného přírůstku zpoždění (na obrázku označen jako ADI = average delay increment), je nezbytné přistoupit ke změně konceptu (heterogenity, počet zastavení apod.) či k úpravám infrastruktury a následně postupovat znovu od začátku. Pokud celkový průměrný přírůstek zpoždění poklesne, je možné přistoupit k dalším opatřením, jako je tvorba ITJŘ, tvorba SPP či jiná případná změna trasování a na základě této změny vytvořit novou simulaci. Pokud celkový průměrný přírůstek zpoždění nepoklesne, je možné tento postup znovu iterativně opakovat, pokud dojde k jeho poklesu, je možné přistoupit k hodnocení kontrolního parametru, jímž je celková spotřebovaná kapacita dle metodiky UIC 406. Pokud je tento ukazatel vyšší než 100 %, lze zkonstruovaný JŘ považovat za funkční provozní koncept s doporučením zkapacitnit zjištěné vysoce zatížené úseky (provozní zařízení), pokud je tento ukazatel naopak nižší než 100 %, lze zkonstruovaný JŘ považovat za funkční provozní koncept s možností vkládání dodatkových tras.

Jelikož stěžejním vnímaným parametrem této disertační práce je kvalita provozování dráhy a drážní dopravy, resp. snižování celkového průměrného přírůstku zpoždění na uzavřené síti, je na Obrázku 24 uveden coby jeden z nástrojů pro zajištění kvality Ishikawův diagram nedosažení požadované kvality PJŘ.



Obrázek 24: Ishikawův diagram nedosažení požadované kvality PJŘ

Dle Obrázku 24 mohou být příčinami nedosažení požadované kvality PJŘ (poklesu celkového průměrného přírůstku zpoždění na uzavřené síti) nepostačující dopravní infrastruktura, špatně zvolený provozní koncept či neodpovídající provozní priorita vlaků. Příčinou nepostačující DI mohou být velké vzdálenosti mezi jednotlivými ŽST či nízká traťová rychlost vedoucí k nedodržení hranových časů. Problematický může být také nedostatečný počet dopravních kolejí v jednotlivých ŽST.

Zvolený provozní koncept může být špatný z hlediska nevhodné skladby vlaků (neodpovídající demografii, nevyužívající dvoukolejné vložky tratě), nevhodného počtu vlaků (příliš mnoho vlaků – malá perioda = zvýšení zpoždění, příliš málo vlaků – nezachována dopravní obslužnost), nevhodného počtu zastavení (při zkapacitnění může vznikat Braessův paradox) či z hlediska nevhodného trasování vlaků (čekání na křižování, příliš těsný sled). V rámci neodpovídající provozní priority lze zmínit nízkou prioritu vlaků nákladní dopravy, která následně způsobuje nevyužití volné kapacity z důvodu častého předjíždění vlaků nákladní dopravy expresy osobní dopravy a s tím souvisejícím generováním zpoždění (rozjezdy, zastavení) či nevhodnou implementaci dané provozní priority v období špičky (např. zvýšení priority nákladní dopravy ve špičce dopravy osobní). Jako předmět dalšího výzkumu v oblasti kvality se nabízí na základě uvedeného Ishikawova diagramu zpracovat kompletní analýzu FMEA (Failure Mode and Effects Analysis = analýza možného výskytu a vlivu vad).

5.4 Ověření hypotézy disertační práce

Byla vyslovena hypotéza: „*Rostoucí periodicitu JŘ negativně ovlivňuje využití kapacity železničních tratí, resp. možnost nalezení efektivního využití vlakových tras.*“ Vzhledem k tomu, že za podmínek zachování obdobné kvantity byla s rostoucí periodicitou JŘ dosažena vyšší kvalita JŘ, **byla hypotéza vyvrácena**. Rostoucí periodicitu JŘ neovlivňuje negativně využití kapacity železničních tratí, resp. možnost nalezení efektivního využití vlakových tras. Na tomto místě je ale nezbytné podotknout, že zachování stávající kvantity bylo prokázáno především na bázi srovnatelného množství vlakových tras (ujetých km), nikoliv na bázi počtu vlaků. Tento rozdíl je způsoben změnou konceptu v rámci PJŘ, kdy je prostřednictvím uceleného vozebního ramene jedna vlaková trasa vedena pod jedním číslem, naproti tomu v JŘ 2016 dochází k přečíslování vlaku při jízdě po později (v rámci PJŘ) definovaném vozebním rameni. Jelikož simulační program SimuT počítá jedno číslo vlaku jako jeden vlak, dochází

k výše popsanému rozdílu s tím, že nejvíce se toto projeví v kategorii regionální osobní dopravy.

Cíl práce byl splněn v podobě vytvoření algoritmu (Obrázek 23), který směřuje k nalezení optimálního využití vlakových tras z hlediska jejich kvantity i kvality ve vztahu k implementaci PJŘ.

6 VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA

Mezi vlastní přínosy doktoranda lze zahrnout především komplexní zpracování problematiky vlivu periodicity JŘ na kapacitu trati s vyjádřením kapacitních ukazatelů dle předpisu SŽDC D24 i dle metodiky UIC 406, definování kvalitativních parametrů stability JŘ prostřednictvím tvorby ukazatele průměrný přírůstek zpoždění a implementaci této problematiky na definovanou uzavřenou síť železniční infrastruktury s výpočtem a vyhodnocením celosíťových parametrů. Hlavním vlastním přínosem je poté vytvoření algoritmu, který směřuje k nalezení optimálního využití vlakových tras z hlediska jejich kvantity i kvality ve vztahu k implementaci PJŘ, jako také ověření kvality PJŘ prostřednictvím Ishikawova diagramu.

Mezi další přínosy doktoranda patří definice a využívání míry periodicity JŘ coby nezbytného parametru pro vyhodnocování výzkumu, jímž se zabývá tato disertační práce. Vytvořený PJŘ byl navíc dále optimalizován prostřednictvím návrhu SPP, čímž bylo dosaženo ještě vyšší stability JŘ. Doktorand také zmínil myšlenku revize metodiky UIC 406 za účelem rozšíření výpočtu kapacitních ukazatelů nejen pro období celého dne a špičky, ale i pro jednotlivá rozmezí v rámci míry periodicity, neboť pro standardní výpočet dle stávající metodiky bylo očekáváno, že při vysokém kapacitním vytížení jednotlivých infrastrukturních zařízení dojde ke zhoršení stability JŘ. Doktorand také dále navrhuje prověřit danou problematiku prostřednictvím různých metod k zabezpečení a zvyšování kvality (např. analýza FMEA).

7 ZÁVĚR

V rámci této disertační práce byly simulovány 3 varianty JŘ s tím, že u čtvrté plánované varianty (ITJŘ) bylo zjištěno, že nelze bez stěžejních zásahů nalézt přijatelné řešení tvorby ITJŘ na dané uzavřené síti.

Proti všem dosavadním očekáváním ale bylo prokázáno, že rostoucí periodičita JŘ není příčinou zhoršení optimálního využití vlakových tras – za podmínek srovnatelné kvantity totiž s rostoucí periodicitou JŘ došlo v rámci sledovaného výzkumu ke zvýšení celosíťových parametrů kvality provozování dráhy. Jelikož uzavřená síť, na níž byly realizovány simulace v simulačním programu SimuT, byla vybrána tak, aby obsahovala jednokolejné i vícekolejné tratě, navíc jednokolejné tratě vhodné pro různé provozní koncepty, lze daný výzkum považovat za obecně platný. Lze tedy říci, že zvýšením periodicity JŘ a jeho zavedením v nákladní dopravě (resp. zavedením SPP) lze uspokojit manažera infrastruktury co do kvantity tras a zároveň uspokojit i dopravce výrazným zvýšením kvality tras.

Samozřejmě je předpokladem, že dopravci budou schopni požadované kvality tras dosáhnout, resp. že budou disponovat dostatečně rychlým a dynamickým lokomotivním a vozovým parkem tak, aby byli schopni dodržovat očekávané jízdní doby za účelem dodržení hranových časů, popř. podmínek pro svazkování vlaků. Dalším problémem může být provozní priorita vlaků, kde především mezinárodní nákladní expresy jedoucí po RFC by měly mít tuto prioritu nastavenou vyšší než v současnosti tak, aby byly schopny dojet v reálném čase do kontejnerového terminálu na nakládku či vykládku. S touto problematikou souvisí i současný vysoký počet vlaků dálkové osobní dopravy provozovaných v České republice na infrastruktuře RFC, kdy jejich konsolidací lze dosáhnout uvolnění kapacity pro nákladní expresy. Tato myšlenka byla v rámci výzkumu aplikována na vozebním rameni Kolín – Choceň s výsledkem výrazného zvýšení stability tras nákladních expresů.

8 POUŽITÁ LITERATURA

AMCHA, René., KRÝŽE, Pavel, 2008. *Nové přístupy k posuzování propustnosti železničních tratí*. Časopis Doprava č. 4/2008. ISSN 0012 – 5520.

ARBEITSGRUPPE VERKEHRSPLANUNG, 2001. *Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan, Definitionen, Randbedingungen, Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen im Fern-, Regional- und Nahverkehr*. Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen – und Verkehrswesen.

BINKO, M., 2015. *Železniční infrastruktura pro nákladní dopravu*. Praha: Železniční magazín Czech Raildays, M-PRESSE plus, s. r. o. ISSN 1212-1851.

BREJCHA, Radim, 2011. *Modelové řešení dopravní infrastruktury v závislosti na rozsahu dopravního provozu*. Pardubice: Univerzita Pardubice.

ČECH, R., ŠLACHTOVÁ, M., 2015. *Železniční nákladní koridory RFC*. Praha: Železniční magazín Czech Raildays, M-PRESSE plus, s. r. o. ISSN 1212-1851.

ČERNÝ, J., ČERNÁ, A, 2004. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Pardubice: Institut Jana Pernera, o.p.s. ISBN 80-86530-15-9.

DRÁBEK, M., 2013. *Periodic Freight Train Paths in Network*. Praha: FD ČVUT.

FOTR, J., ŠVECOVÁ, L., DEDINA, J., HRUZOVA, H., RICHTER, J, 2006. *Manažerské rozhodování*. Praha: Ekopress, s. r. o. ISBN 80-86929-15-9.

GRÖGER, T., 2000. *Simulation des Vorganges der Trassenvergabe und Nachweis der Stabilität der Betriebsabwicklung*. Aachen: 3. Eisenbahnbetriebswissenschaftliches Kolloquium, Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH.

HANSEN, I. A., ALBRECHT, T., 2008. *Railway timetable & traffic*. Hamburg: Eurailpress. ISBN 9783777103716.

HAUDENSCHILD, Roland, 1981. *Taktfahrpläne im In- und Ausland*. Bern, Stuttgart: Projekt der SBB und seine Wirtschaftlichkeit. ISBN 3-258-03050-2.

HRABÁČEK, Jan, 2010. *Periodická doprava na dopravních sítích a její optimalizace*. Pardubice: Univerzita Pardubice.

- HÜRLIMAN, G., 2007. *Die Eisenbahn der Zukunft, Automatisierung, Schnellverkehr und Modernisierung bei den SBB 1955 bis 2005*. Zürich: Chronos Verlag. ISBN 978-3-0340-0856-3.
- KRÝŽE, Pavel, 2005. *Systematický jízdni řád a propustnost*. Pardubice: Univerzita Pardubice.
- KŘIVÝ, I., KINDLER, E., 2001. *Simulace a modelování*. Ostrava: Skripta, Ostravská univerzita.
- LIEBCHEN, Christian, 2005. *Fahrplanoptimierung im Personenverkehr - muss es immer ITF sein*. ETR Heft 11.
- MOJŽÍŠ, Vlastislav, MOLKOVÁ, Tatiana, 2002. *Technologie a řízení dopravy I: část železniční*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-7194-424-6.
- MOLKOVÁ, Tatiana a kol., 2010. *Kapacita železničních tratí*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-317-1.
- NACHTIGALL, K., 1999. *Periodic Network and Optimization and Fixed Interval Timetables*. Braunschweig: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
- PĚNIČKA, M., 2006. *Towards a Theory of Railways*. Praha: Ph.D. Thesis, ČVUT dopravní fakulta Praha.
- SPECK, Georg, 1996. *Der Integrale Taktfahrplan*. Der Nahverkehr 9/96.
- SŽDC, 2013. *Směrnice č. 104 Provozní intervaly a následná mezidobí*. Praha: SŽDC.
- SŽDC (ČD) D24, 1966. *Předpis pro zjišťování propustnosti železničních tratí*. Praha: České dráhy.
- SŽDC, s. o. Portál provozování dráhy. [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://provoz.szdc.cz/portal/Default.aspx>.
- ŠOTEK, K., BACHRATÝ, H., 2007. *Nové možnosti simulačních modelů reálného prostředí*. Sborník II. Pardubice: Mezinárodní konference Teorie dopravních systémů. ISBN 978-80-7194-927-5.
- ŠRÁMEK, P., 2015. *Kapacitní možnosti trati 031 v úseku Pardubice hl. n. - Hradec Králové hl. n.* Pardubice: Perner's Contacts 1/2015, s. 168 - 178. ISSN 1801-674X
- ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T., 2015. *The Influence of Beginning of Railway Routes of Periodic Timetable Introduced into the Line 031 in the Section Pardubice hl. n. -*

Hradec Králové hl. n. upon the Rail Capacity. Žilina: Proceedings from 11th European conference of young researchers and scientists TRANSCOM 2015., s. 169 – 173. ISBN 978-80-554-1043-2.

ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T., 2016. *The priority of international freight expresses in the overlapping section of RFC 7 and RFC 9 Kolín - Česká Třebová*. Praha: Studentská vědecká konference Interoperabilita v železniční dopravě IRICON 2016 – sborník příspěvků, s. 31 – 32. ISBN 978-80-01-05939-5.

ŠRÁMEK, P., 2015. *Postupné zdvoukolejnění železniční trati 031 v úseku Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n. v podmínkách periodického jízdního řádu*. Horizonty železničnej dopravy – zborník príspevkov 2015, s. 231 – 239. ISBN 978-80-554-1097-5.

TEICHMANN, D., 2004. *Propustná výkonnost mezilehlých stanic na tratích pojížděných vyššími rychlostmi*. Ostrava: Ph.D. Thesis, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Institut dopravy FS.

UIC CODE 406 – Capacity, 2013. Vyd. 2. Paris: UIC International Union of Railways. ISBN 978-2-7461-2159-1.

UIC Kodex 406 – Kapacita, 2004. Vyd. 1. Paris: UIC International Union of Railways. ISBN 2-7461-0802-X.

VAKHTEL, S., 2002. *Rechnerunterstützte analytische Ermittlung der Kapazität von Eisenbahnnetzen*. Aachen: Publikationsserver der RWTH Aachen University. [online]. 2015 [cit. 2015-04-03].

Dostupné z: http://publications.rwth-aachen.de/record/59464/files/Vakhtel_Sergey.pdf

WENDLER, E., 2000. *Verknüpfung simulativer und analytischer Modelle bei der Leistungsberechnung von Bahnanlagen*. Aachen: 3.

Eisenbahnbetriebswissenschaftliches Kolloquium, Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH.

WIECZOREK, T., 2006. *Inverse Kapazitätsbestimmung für die Eisenbahn-Infrastruktur*. Hamburg: Eurailpress. ISBN 3777103438.

9 PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE

ŠRÁMEK, P.: *Vliv periodického jízdního řádu na kapacitu trati*. Horizonty železničnej dopravy – zborník príspevkov 2014, s. 217 – 221. ISBN 978-80-554-0918-4

ŠRÁMEK, P., JUŘÍNEK, A., MOLKOVÁ, T.: *Periodický jízdní řád a kapacita trati*. Železničná doprava a logistika 2/2014, s. 34 – 40. ISSN 1336-7943

ŠRÁMEK, P.: *Kapacitní možnosti trati 031 v úseku Pardubice hl. n. - Hradec Králové hl. n.* Perner's Contacts 1/2015, s. 168 - 178. ISSN 1801-674X

ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T.: *The Influence of Beginning of Railway Routes of Periodic Timetable Introduced into the Line 031 in the Section Pardubice hl. n. - Hradec Králové hl. n. upon the Rail Capacity*. 11th European conference of young researchers and scientists TRANSCOM 2015, s. 169 – 173. ISBN 978-80-554-1043-2

ŠRÁMEK, P.: *Postupné zdvoukolejnění železniční trati 031 v úseku Pardubice hl. n. – Hradec Králové hl. n. v podmínkách periodického jízdního řádu*. Horizonty železničnej dopravy – zborník príspevkov 2015, s. 231 – 239. ISBN 978-80-554-1097-5

ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T.: *The priority of international freight expresses in the overlapping section of RFC 7 and RFC 9 Kolín - Česká Třebová*. Studentská vědecká konference Interoperabilita v železniční dopravě IRICON 2016 – sborník příspěvků, s. 31 – 32. ISBN 978-80-01-05939-5

ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T.: *Rescheduling tras nákladních expresů ve vztahu k jejich provozní prioritě*. Horizonty železničnej dopravy – zborník príspevkov 2016, s. 207 – 213. ISBN 978-80-554-1254-2

ŠRÁMEK, P., MOLKOVÁ, T.: *Utilization of Train Routes in Relation to the Implementation of Periodic Timetable*. Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE Belgrade 2016), s. 949 – 954. ISBN 978-86-916153-3-8

Doktorand byl zapojen do několika ročníků studentské grantové soutěže (SGS), v rámci kterých publikoval k tématu práce.

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Tabulka s parametry jednotlivých tratí v rámci implementačního území

Příloha B Použité nastavení simulačního programu SimuT

Příloha C Možné trasy vlaků nákladní dopravy v úseku Choceň – Hradec Králové hl. n.
– Velký Osek v období 5:00-15:00

Příloha A: Tabulka obsahující parametry jednotlivých tratí a ŽST v rámci zvoleného implementačního území

Trat'	Typ trati	ŽST	Typ ovládání	TZZ	Ostatní
010	dvoukolejná, kor.	Kolín	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Záboří n. L.	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Řečany n. L.	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Přelouč	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Pardubice hl. n.	RZZ	AB	
010	dvoukolejná, kor.	Kostěnice	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Moravany	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Uhersko	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Zámorsk	JOP	AB	CDP
010	dvoukolejná, kor.	Choceň	JOP		CDP
020	jednokolejná	Choceň	JOP	AH	CDP
020	jednokolejná	Újezd u Chocně	mech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Čermná n. O.	mech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Borohrádek	elektromech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Týniště n. O.	elektromech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Třebechovice p. O.	JOP	tel. dor.	
020	jednokolejná	Hradec Králové - SM	elektromech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Hradec Králové hl. n.	elektrom., JOP	AH	
020	jednokolejná	Praskačka	RZZ	AH	
020	jednokolejná	Dobřenice	JOP	AH	
020	jednokolejná	Káranice	JOP	AH	
020	jednokolejná	Nové Město n. C.	RZZ	AH	
020	jednokolejná	Chlumeck n. C.	RZZ	AH	
020	jednokolejná	Převýšov	elektromech.	tel. dor.	
020	jednokolejná	Choťovice	RZZ	AH	
020	jednokolejná	Dobšice n. C.	RZZ	AH	
020	jednokolejná	Velký Osek	JOP		
231	dvoukolejná	Velký Osek	JOP	AB	
231	dvoukolejná	Kolín	JOP		CDP
031	jednokolejná	Pardubice hl. n.	RZZ	3. kat.	
031	jednokolejná	Pardubice - Rosice n. L.	elektromech.	tel. dor.	
031	jednokolejná	Stéblová	mech.	tel. dor.	
031	jednokolejná	Opatovice n. L. - Pohřebačka	RZZ	AH	
031	jednokolejná	Hradec Králové hl. n.			
016	jednokolejná	Moravany	JOP	D3	neel.
016	jednokolejná	Borohrádek	elektromech.		neel.

Zdroj: SŽDC, úprava autor

Příloha B: Použité nastavení simulačního programu SimuT

Zpoždění		
režim zpoždění vlaků	1	0=uživatelská (použijí se hodnoty z listu vlaky), 1=náhodná, 2=řízená zpoždění
maximální hodnota zpoždění	30	jen pro režim zpoždění 2
krok zpoždění	10	jen pro režim zpoždění 2
modifikovaný vlak; nezadá-li se, modifikují se všechny vlaky		jen pro režim zpoždění 2
Redukce		
doba, po které lze nevýhodné řešení vypustit	10	1=časově a dle počtu potomků (doporučuje se), 0=výhradně dle počtu potomků
minimální počet potomků pro provedení redukce	15	použije se, pokud v předchozím řádku je hodnota 1
Opakování		
počet opakování (1 až 2000)	365	je-li zadáno 1, vykreslí se NJŘ; jinak se vytvoří list výsledky
Protokoly		
číslo pro označení následujícího protokolu výsledky	3	
protokol výsledky generovat i při opakování = 1	0	1=ano, 0=ne
generování podrobných protokolů	0	1=ano, 0=ne (jen pro experty)
Parametry NJŘ		
vodorovné měřítko	3	čím vyšší hodnota, tím je NJŘ širší
svislé měřítko	12	čím vyšší hodnota, tím je NJŘ vyšší
zobrazované informace	1	1=minutové kóty, 2=zpoždění, 3=staniční koleje, 0=nic
zobrazovat čísla vlaků	1	1=ano, 0=ne
vykreslování NJŘ u průběžných variant	0	1=ano, 0=ne, 2=jen bezkonfliktní varianty (jen pro experty)
vykreslování obsazení staničních kolejí	0	1=ano, 0=ne
Propustnost - alternativní výpočetní doba		
začátek [h]	6	hodnoty slouží pro analytický výpočet ukazatelů propustnosti
konec [h]	8	
Parametry simulace		
dovolit náskok vlaků	1	1=ano, 0=ne
vyhledávat a řešit konflikty staničních kolejí	1	1=ano, 0=ne

Zdroj: SimuT, úprava autor

Příloha C: Možné trasy vlaků nákladní dopravy v úseku Choceň – Hradec Králové hl. n. – Velký Osek v období 5:00-15:00

Vzhledem k periodě vlaků osobní dálkové dopravy 40 min je nezbytné sledovat trasy nákladní dopravy pro odjezd v lichou a sudou hodinu. Jak je ale možné odečíst z Tabulky 1 a Tabulky 2 níže, vlaky projíždějící/odjíždějící v sudou hodinu z Chocně by byly vlaky projíždějícími Chocní o hodinu později dojety v ŽST Třebechovice pod Orebem, a to především díky nedostatku dopravních kolejí v ŽST Hradec Králové – Slezské Předměstí. Z tohoto důvodu byly v daném rozmezí trasovány pouze vlaky s průjezdem Chocní v lichou hodinu, tedy v 5.12, 7.12, 9.12, 11.12, 13.12 (celkem 5 vlaků), periodicky je ještě veden i vlak v 15.12 (příjezd do Velkého Oseka v 20.28). V následujících hodinách je již možné nákladní vlaky provážet rychleji, tedy mimo zvolenou periodu.

Tabulka 1: Nákladní vlak z Chocně v 5.12

ŽST	Příjezd	Odjezd/Průjezd
Choceň		5.12
Újezd u Chocně		5.19
Čermná nad Orlicí		5.23
Borohrádek	5.28	5.32
Týniště nad Orlicí	5.42	6.38
Třebechovice pod Orebem	6.47	7.16
Hradec Králové – Slezské Předměstí	7.26	7.35
Hradec Králové hl. n.	7.42	8.20
Praskačka	8.30	8.36
Dobřenice	8.43	8.57
Káranice	9.06	9.08
Nové Město nad Cidlinou		9.14
Chlumec nad Cidlinou	9.19	9.47
Převýšov		9.51
Choťovice		9.57
Dobšice nad Cidlinou	10.02	10.15
Velký Osek – Kanín		10.21
Velký Osek	10.28	

Zdroj: autor

Tabulka 2: Nákladní vlak z Chocně 6.12

ŽST	Příjezd	Odjezd/Průjezd
Choceň		6.12
Újezd u Chocně		6.19
Čermná nad Orlicí		6.23
Borohrádek	6.28	6.32
Týniště nad Orlicí	6.42	7.50
Třebechovice pod Orebem	7.59	9.16
Hradec Králové - Slezské Předměstí	9.26	9.35

ŽST	Příjezd	Odjezd/Průjezd
Hradec Králové hl. n.	9.42	10.20
Praskačka	10.30	10.36
Dobřenice	10.43	10.57
Káranice	11.06	11.08
Nové Město nad Cidlinou		11.14
Chlumeck nad Cidlinou	11.19	11.47
Převýšov		11.51
Choťovice		11.57
Dobšice nad Cidlinou	12.02	12.15
Velký Osek - Kanín		12.21
Velký Osek	12.28	

Zdroj: autor