



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Vojtěch Šafranko

**OVĚŘENÍ PROVOZNÍCH KONCEPTŮ UZLU HRADEC  
KRÁLOVÉ PO MODERNIZACI SIMULACÍ**

Diplomová práce

**2022**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Vojtěch Šafranko**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – LA – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Ověření provozních konceptů uzlu Hradec Králové po modernizaci simulací**

Název tématu (anglicky): Verification of timetable concepts for Hradec Králové railway node after upgrade

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza železniční stanice Hradec Králové hl. n. po komplexní rekonstrukci
- Návrh simulačního modelu stavu po rekonstrukci
- Návrh simulačního modelu výhledového stavu infrastruktury
- Zpracování výhledového rozsahu dopravy od objednatelů
- Zhodnocení variant




- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Hansen, I. A., Pachel, J.: Railway Timetable and Traffic, Eurailpress Hamburg 2008  
Kol. autorů: Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan, FGSV Berlin, 2001

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Michl**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **16. května 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu logistiky a managementu dopravy



  
.....  
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
.....  
Bc. Vojtěch Safranko  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....13. prosince 2021

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Zdeňku Michlovi, vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení, konzultace, připomínky k diplomové práci a pomoc při práci s programem OpenTrack. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině, spolužákům a přátelům za materiální a morální podporu v průběhu studia na vysoké škole.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 16.května 2022



podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## OVĚŘENÍ PROVOZNÍCH KONCEPTŮ UZLU HRADEC KRÁLOVÉ PO MODERNIZACI SIMULACÍ

diplomová práce

Bc. Vojtěch Šafranko

květen 2022

### ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem simulačního modelu stanice Hradec Králové hlavní nádraží a železničních tratí v okolí této stanice. V následujících letech proběhne modernizace této stanice a přilehlých traťových úseků, z toho budou některé zdvoukolejněny. S pomocí simulace bude ověřena nová provozní koncepce, která počítá se zvýšeným objemem osobní i nákladní dopravy, ve srovnání s provozní koncepcí ve studii proveditelnosti.

klíčová slova: Hradec Králové, železniční doprava, zdvoukolejnění, simulace, provozní koncept

### ABSTRACT

The diploma thesis deals with the simulation model of Hradec Králové station and the other parts of this railway line. In the coming years will be realized the modernization of this station and the adjoining railway lines and some of them will be double – track lines. The new operating concept will be verified thanks to the simulation. This concept expects the increasing amount of the passenger transport and the freight, too - in the comparison with the operating concept included in the feasibility study.

key words: Hradec Králové, railway transport, double – track line, simulation, operating concept

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	6
1 ÚVOD .....	7
2 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ.....	8
2.1 Královéhradecký kraj .....	8
2.2 Město Hradec Králové .....	9
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFRASTRUKTURY .....	12
3.1 Stanice Hradec Králové hlavní nádraží .....	12
3.1.1 Popis kolejí ve stanici .....	13
3.2 Traťové úseky v okolí Hradce Králové .....	14
3.2.1 Železniční stanice .....	15
4 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO DOPRAVNÍHO ŘEŠENÍ .....	17
4.1 Osobní doprava .....	17
4.1.1 Nároky kladené na osobní dopravu .....	19
4.2 Nákladní doprava .....	19
5 VSTUPNÍ PARAMETRY DO SIMULACE.....	21
5.1 Infrastruktura .....	21
5.1.1 Železniční stanice a tratě .....	21
5.1.2 Sklony tratí .....	24
5.1.3 Související železniční stavby .....	24
5.2 Infrastruktura – dlouhodobý výhled .....	25
5.2.1 Sjednocení trakčních napájecích soustav v ČR .....	25
5.2.2 Elektrizace trati Častolovice – Letohrad.....	26
5.2.3 Elektrizace trati Chlumec n. C. – Nový Bydžov .....	26
5.2.4 Vysokorychlostní tratě .....	26
5.3 Objednávka osobní dopavy .....	27
5.3.1 Vozový park.....	28
5.4 Rozsah nákladní přepravy .....	31
6 PROGRAM OPENTRACK .....	33
6.1 Struktura programu.....	33
6.1.1 Vstupní data .....	33
6.1.2 Nastavení parametrů simulace .....	34
6.1.3 Výstupy.....	34
7 POSTUP TVORBY MODELU .....	35
7.1 Data o železniční infrastruktuře.....	35
7.2 Tvorba vlakových cest .....	37

7.3	Data o vozidlech .....	40
7.4	Tvorba vlakových spojů .....	41
7.4.1	Oběhy vozidel.....	43
8	BĚH SIMULACE.....	44
8.1	Typy simulačních metod .....	44
8.1.1	Konstrukční metody.....	44
8.1.2	Analytické metody .....	44
8.1.3	Simulační metody .....	44
8.1.4	Metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění .....	44
8.2	Nastavení parametrů simulace .....	45
8.3	Simulace bez primárního zpoždění.....	47
8.3.1	Vyhodnocení simulace.....	48
8.4	Simulace s primárním zpožděním.....	52
8.4.1	Vyhodnocení simulace – metodika .....	53
8.4.2	Vyhodnocení simulace – osobní doprava .....	54
8.4.3	Vyhodnocení simulace – nákladní doprava.....	56
9	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT .....	58
9.1	Simulace bez zpoždění.....	58
9.2	Simulace s primárním zpožděním.....	58
10	ZÁVĚR.....	61
	POUŽITÉ ZDROJE.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH .....	68

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČD	České dráhy, a. s.
ETCS	European Train Control System
Ex	expresní vlak
Nex	nákladní expres
Os	osobní vlak
Pn	průběžný (nákladní) vlak
R	rychlík
Sp	spěšný vlak
SŽ	Správa železnic, s.o.
VoChoc	Studie proveditelnosti trati Velký Osek – Hr. Králové – Choceň



# 1 ÚVOD

Modernizace a údržba železničních tratí je kontinuální proces. Za posledních třicet let se v České republice podařilo opravit téměř všechny hlavní železniční koridory. Trendem posledních let je podpora udržitelnosti a šetrnosti vzhledem k životnímu prostředí. Železniční doprava je podle současných společenských měřítek preferovaným módem dopravy. Za účelem zvýšení atraktivity veřejné železniční dopravy je nutná také koordinace jednotlivých stavebních akcí a průběžná obnova či renovace vozového parku.

Železniční stanice Hradec Králové hlavní nádraží neprošla v posledním období zásadní rekonstrukcí. V následujících letech se však plánují investiční akce, které zásadně ovlivní tuto stanici a přilehlé traťové úseky. Některé traťové úseky budou zdvoukolejněny a traťová rychlost se zvýší až na 160 km/h.

Cílem práce je ověřit, zda-li vyprojektované schéma kolejíště ve studii proveditelnosti bude schopné pojmout zvýšený objem osobní i nákladní dopravy. S pomocí programu OpenTrack autor vypracuje model stanice Hradec Králové hl. nádraží. Simulací provozu linek se zatížením náhodným primárním zpožděním bude ověřena robustnost návrhu infrastruktury a dopravní technologie. Výstupem této práce bude interpretace dat získaných ze simulace a návrh opatření k navrženému kolejíšti.

## 2 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ

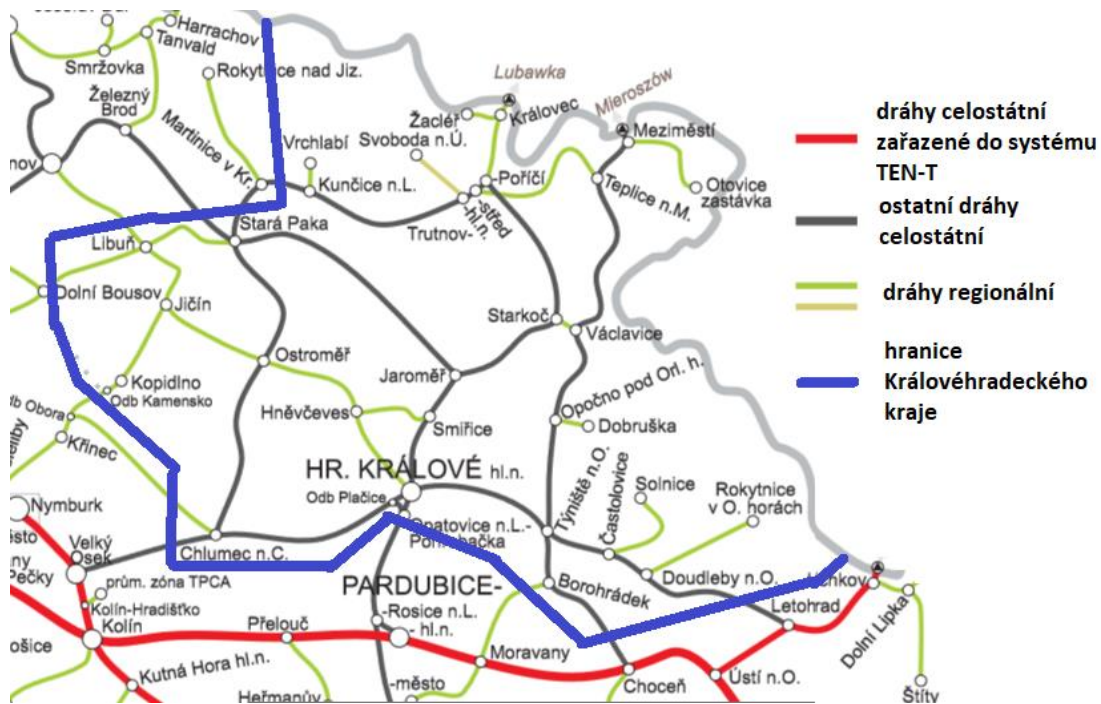
### 2.1 Královéhradecký kraj

Královéhradecký kraj se nachází v severovýchodní části Čech. S rozlohou přes 4,5 tis. km<sup>2</sup> je devátý největší kraj v České republice. V Královéhradeckém kraji žije přes půl milionu obyvatel a krajským městem je statutární město Hradec Králové, které dalo i název celému kraji. [1] Mezi hlavní silniční komunikace můžeme zařadit dálnici D11, spojující Českou republiku s Polskem (v současné době je v provozu úsek Praha – Hradec Králové – Jaroměř, další úseky jsou v různém stadiu příprav nebo stavby), dále dálnice D35, a také silnice první třídy I/35 (Liberec –) Jičín – Hradec Králové (– Olomouc). [2, úprava autor]



Obrázek 1: Česká republika s vyznačením Královéhradeckého kraje [3, úprava autor]

Z železničního hlediska se na území Královéhradeckého kraje nacházejí tratě celostátní i regionální. Železniční tratě jsou jednokolejné a většina z nich je neelektrifikována. Krajským územím neprochází žádný ze čtyř tranzitních železničních koridorů, které jsou v České republice. [2]



Obrázek 2: Kategorie drah v Královéhradeckém kraji [2]

Severní a východní části kraje jsou hornaté. V této části kraje se nachází pohoří Krkonoše s nejvyšší horou ČR – Sněžka, a Orlické hory. V Krkonoších pramení řeka Labe, která protéká jižním směrem územím kraje a dále pak severní částí Čech do Německa a vlévá se do Severního moře. Zajímavými přírodními památkami jsou skalní města v Adršpachu v broumovském výběžku a v Českém ráji. [2]

Z kulturně – historických památek kraje můžeme uvést zámky Hrádek u Nechanic, Častolovice, Opocno, dále barokní památky: hospital na Kuksu a klášter v Broumově nebo moderní architektura z první poloviny 20. století v Hradci Králové. Významná střediska letních i zimních sportů jsou Špindlerův Mlýn a Pec pod Sněžkou v Krkonoších a další v Orlických horách. I díky tomu je Královéhr. kraj atraktivní oblastí cestovního ruchu. [2]

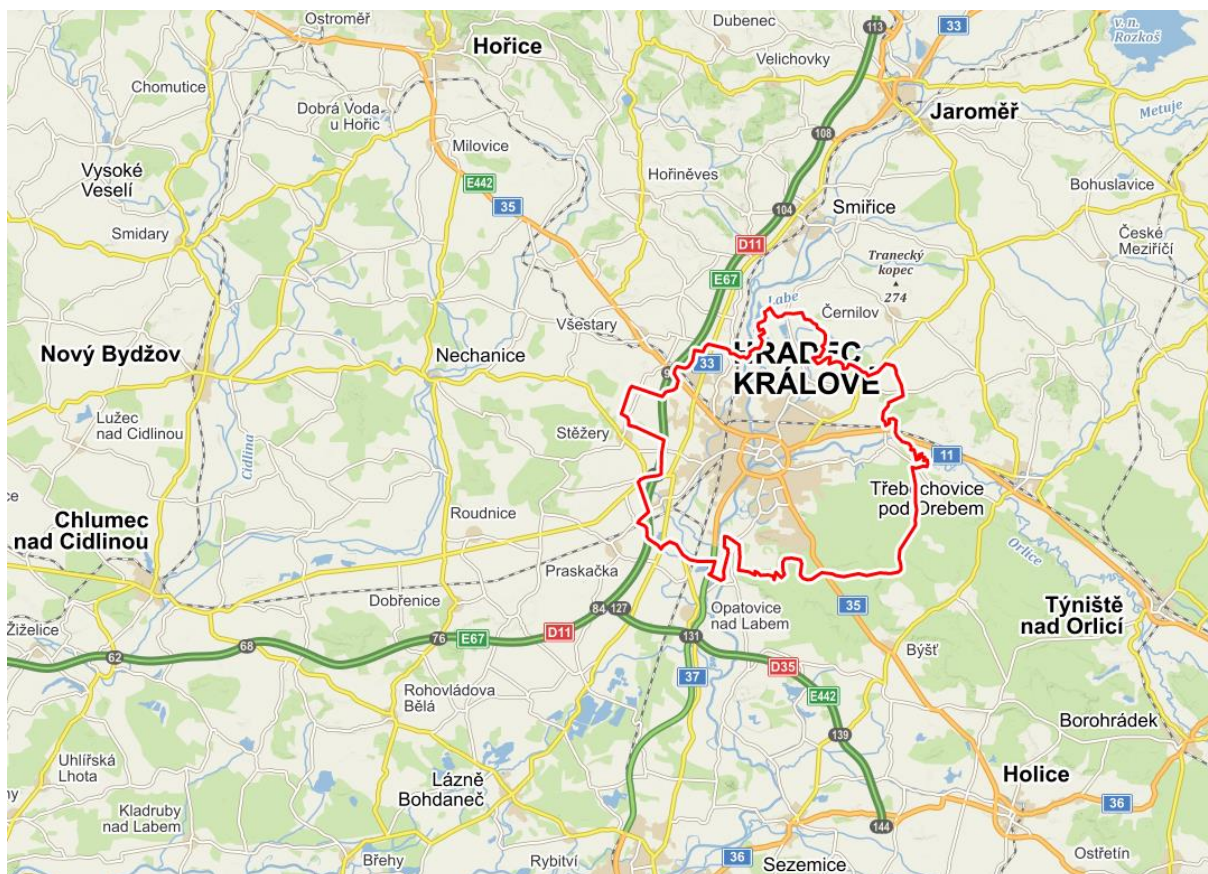
## 2.2 Město Hradec Králové

Město Hradec Králové je jedním ze statutárních měst České republiky. Podle dat Českého statistického úřadu k 1.1. 2022 žije v krajském městě 90 596 obyvatel.

V historii bylo město jedním z královských věnných měst. Za dob císařovny Marie Terezie a jejího syna Josefa II. byla zahájena přestavba města na vojenskou pevnost, která od svého dokončení nikdy nebyla využita. Po prohře habsburské monarchie v prusko – rakouské válce v roce 1866 se začalo uvažovat o zrušení pevnosti. V této době již byla několik let v provozu železniční trať Pardubice – Liberec. Na začátku 20. století byla většina pevnostních objektů zbořena. Na rozvoji města v novodobé historii se také podíleli architekti Jan Kotěra a Josef

Gočár. Ve druhé polovině dvacátého století se významně zvýšil počet obyvatel ve městě, a to díky výstavbě sídlišť z panelových domů (největší Slezské Předměstí a Moravské Předměstí).

Mezi významné stavby z 21. století můžeme zařadit Terminál hromadné dopravy. Jedná se o společný přestupní uzel mezi hradeckou městskou hromadnou dopravou a regionální autobusovou dopravou. Tato stavba je situována v blízkosti hradeckého vlakového nádraží.



Obrázek 3: Mapa s vyznačeným územím města Hradec Králové [3, úprava autor]

V Hradci Králové je dopravní obsluha realizována s pomocí městské hromadné dopravy. Dopravní podnik zajišťuje provoz na linkách trolejbusy, elektrobuses a autobusy. Vozidla jsou nasazována na 8 trolejbusových linek, 4 elektrobusev linky a 13 linek autobusových. Některé spoje zajiždějí také do obcí v blízkosti. Hradce Králové. Tato doprava je zajišťována na základě objednávky obcí.

Významným milníkem v historii hradeckého dopravního podniku bylo pořízení elektrobuses. V roce 2018 bylo dodáno společností SOR Libchavy 20 elektrobuses typu SOR NS 12 electric. Elektrobuses zvládají dojezd kolem 150 km. V souvislosti s touto dodávkou byly vybudovány dobíjecí stanice. [4]

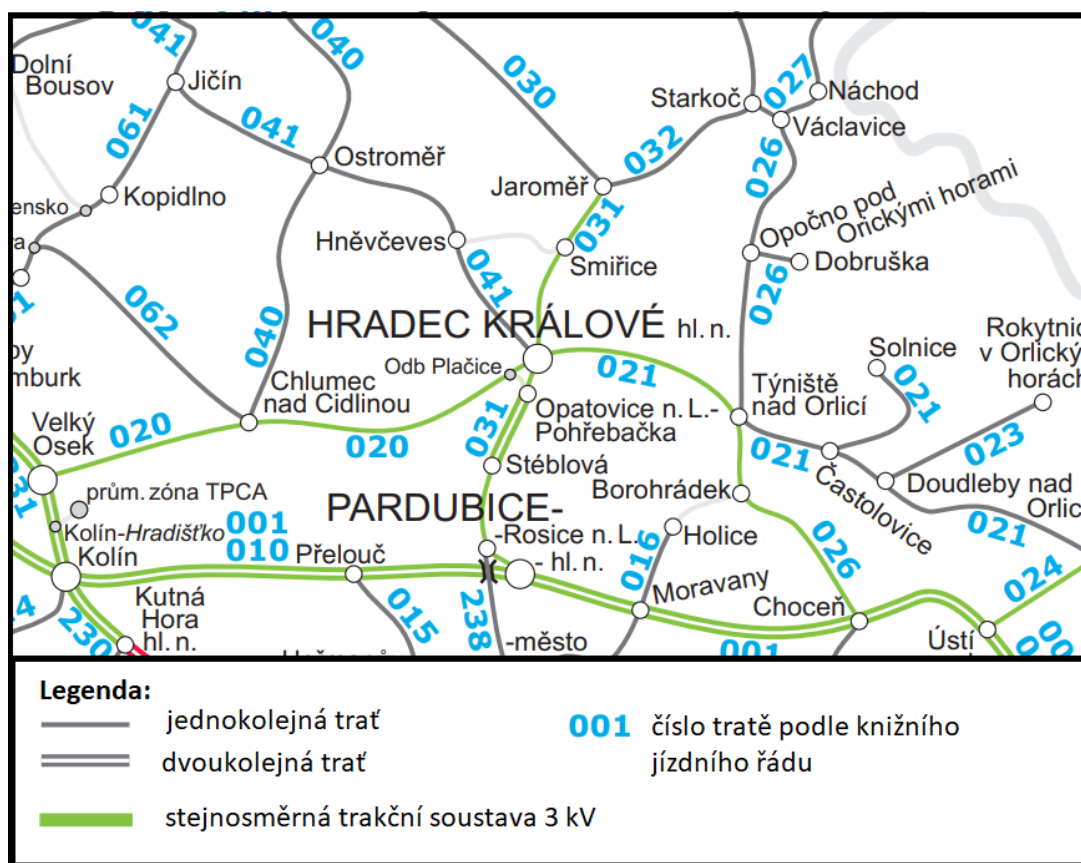
Nově pořízené parciální trolejbusy nahradily staré dieslové autobusy. Po většinu trasy parciální trolejbusy jedou pod trojelovým vedením a na „poslední míli“ využívají bateriový pohon. Tyto investice do vozidlového parku pomohly zvýšit podíl elektrické dopravy na 50 % výkonů hradecké městské dopravy. [5]

### 3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFRASTRUKTURY

#### 3.1 Stanice Hradec Králové hlavní nádraží

Stanice Hradec Králové hlavní nádraží představuje důležitý přestupní uzel v Královéhradeckém kraji. Do Královéhradecké stanice se lze dostat po železnici celkem z pěti směrů. Stanice leží na trati č. 020<sup>1</sup>, která propojuje (spolu s tratí č. 231) Hradec Králové s hlavním městem České republiky Prahou. Východním směrem je vedena trať č. 021 do Týniště nad Orlicí a Letohradu. Železniční trať č. 031 Pardubice – Hradec Králové – Jaroměř je tratí, která spojuje obě krajská města (Hradec Králové a Pardubice) ve východních Čechách. Dále je ze stanice Hradec Králové hl.n. vedena trať č. 041 směr Ostroměř, Jičín a Turnov. [2, 6, úprava autor]

Železniční tratě, zaústěné do stanice Hradec Králové hl.n., jsou uvedeny v následující mapce.



Obrázek 4: Železniční mapa – tratě v okolí Hradce Králové [6, úprava autor]

<sup>1</sup>Číslování tratí je převzato z železničního knižního jízdního řádu.

Hradecká výpravní budova, která byla dokončena v roce 1935, prochází postupnou rekonstrukcí. [7] V jednotlivých etapách se již opravilo prosklené zastřešení haly a nyní probíhá renovace podlah. [8]

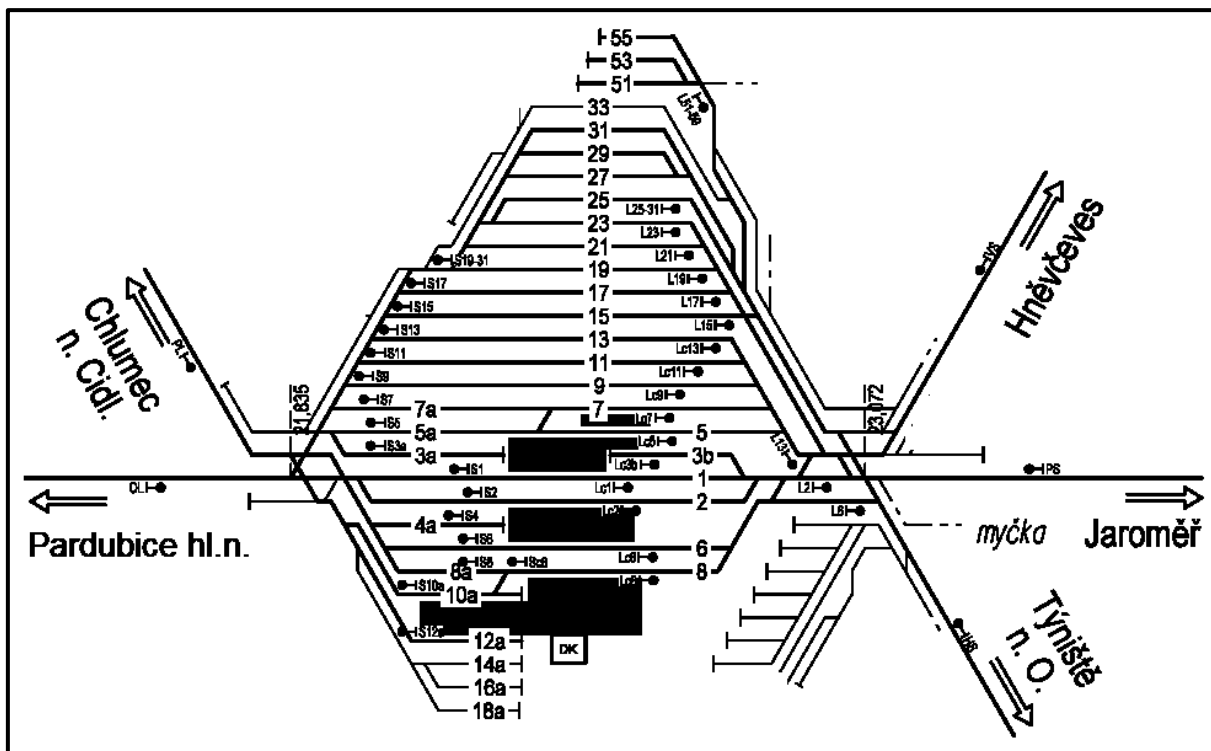


*Obrázek 5: Výpravní budova stanice Hradec Králové hlavní nádraží [9]*

Hradecké hlavní nádraží umožňuje nástup cestujících do vlaků ze dvou krytých ostrovních nástupišť, jednoho krytého vnějšího nástupiště (u výpravní budovy) a jednoho prodlouženého jazykového nástupiště. [10] Dohromady tedy sedm kolejí s nástupní hranou, což je při současném provozu v dopravních špičkách nedostatečné (vlaky musí vjíždět tzv. na obsazenou kolej).

### **3.1.1 Popis kolejí ve stanici**

Provoz v Hradci Králové hl.n. zajišťují dva typy staničního zabezpečovacího zařízení: elektromechanické 2. kategorie (stavědlo 1 – oblast jih, stavědlo 2 – oblast sever) a reléové 3. kategorie (dopravní kancelář – oblast „Hradec Střed“ z JOP). Maximální rychlost je téměř v celém obvodu stanice stanovena na 40 km/h bez ohledu na to, zda-li je vlaková cesta postavena po hlavní koleji nebo do odbočky. Toto snížení rychlosti prodlužuje cestovní dobu vlaku a také delší obsazení zhlaví stanice. [10]



Obrázek 6: Schéma stávajícího stavu kolejí stanic Hradec Králové hlavní nádraží [11]

Uspořádání kolejí ve stanici Hradec Králové hl.n. umožňuje současný vjezd osobních vlaků k jednotlivým nástupním hranám za určitých podmínek ze všech směrů.

### 3.2 Traťové úseky v okolí Hradce Králové

Bezpečný provoz na přilehlých mezistaničních úsecích zajišťují traťová zabezpečovací zařízení více typů: automatické hradlo (směr Opatovice n. L. – Pohřebačka, Praskačka), reléový poloautoblok (směr Všestary, Předměřice n. L.) a telefonické dorozumívání (směr Hradec Králové – Slezské Předměstí). Zjišťování konce vlaku zajišťují signalisté, kteří sledují průjezd vlaku na stavědle. [10]

Traťová rychlost nepřesahuje rychlost 100 km/h, proto není vyžadována instalace národního vlakového zabezpečovače LS (traťová část)<sup>2</sup>. V současné době jsou elektrizované tratě v okolí Hradce Králové zapojeny do stejnosměrné trakční soustavy 3 kV.

<sup>2</sup>Vlakový zabezpečovací systém LS (liniový systém) dělíme na traťovou část (umístěna na trati) a mobilní část (umístěna na hnacím vozidle). Traťová část přenáší na hnací vozidlo čtyři znaky, odvozené od návěsti návěstidla na konci prostorového oddílu. Na základě toho se rozsvěcuje příslušné světlo na návěstním opakovači v lokomotivě na stanovišti strojvedoucího. [12]



Železniční trať Choceň – Hradec Králové – Velký Osek je využívána jako alternativní trasa k 1. železničnímu koridoru, např. v případě mimořádnosti. Avšak v průběhu ranní a odpolední špičky je kapacita na tratích v okolí Hradce Králové téměř vyčerpaná.

V následující tabulce je uveden přehled omezení pro jízdu vlaků v okolí stanice Hradec Králové hl. n. z hlediska jejich délky a zatížení železničních vozů.

*Tabulka 1: Vlastnosti železničních tratí v okolí Hradce Králové [6]*

Směr	Normativ délky vlaků nákladní dopravy [m]	Největší povolená délka vlaku [m]	Dovolená traťová třída zatížení
HK-Slezské Př. (-Týniště n.O.)	532	680	C3
Opatovice n.L. (-Pardubice)	578	680	D4
Praskačka (- Chlumeč n.C.)	532	680	D4
Předměřice n.L. (-Jaroměř)	520	535	D4
Všestary (- Ostroměř)	188	370	C3
Dovolená traťová třída zařízení	Přípustná hmotnost na nápravu [t]	Přípustná hmotnost na běžný metr [t]	
C3	20	7,2	
D4	22,5	8	

### 3.2.1 Železniční stanice

Stanice Hradec Králové – Slezské Předměstí je situována ve východní části města Hradec Králové. Provoz ve stanici, s pomocí elektromechanického zab. zařízení, řídí jeden výpravčí a dva signalisté, kteří sledují provoz na dvou stavědlech. Výpravčí při řízení provozu využívá tři dopravní koleje. Rychlost při jízdě do odbočky je snížena na 40 km/h. [13] Na hradeckém zhlaví jsou zaústěny vlečky, které umožňují železniční obsluhu firem v průmyslové oblasti.

Železniční stanice Předměřice nad Labem leží severně od Hradce Králové, na trati č. 031. Železniční bezpečnost zajišťují celkem tři zaměstnanci (výpravčí a dva signalisté). Stanice je vybavena staničním zabezpečovacím zařízením 2. kategorie (typ elektromechanické). Jízda vlaku do odbočky je snížena na 50 km/h. [13]

Stanice Praskačka se nachází na trati č. 020, západně od Hradce Králové. Provoz ve stanici řídí jeden výpravčí s pomocí staničního zabezpečovacího zařízení třetí kategorie. Ve stanici jsou tři dopravní koleje a maximální rychlost při jízdě do odbočky je snížena z traťové rychlosti na 50 km/h. Ze stanice je také řízena odbočka Plačice, která umožňuje jízdu vlaků z Praskačky do Opatovic nad Labem. [13]

Železniční stanici Opatovice nad Labem – Pohřebačka nalezneme jižně od Hradce Králové. V severní části stanice jsou zaústěny tratě z Hradce Králové a z odbočky Plačice<sup>3</sup>. Jižním směrem pokračují dvě hlavní dopravní koleje směr Pardubice. Ze stanice Opatovice je také řízena odbočka ELNA Opatovice, kde je zaústěna vlečka z areálu firmy Elektrárny Opatovice. [13]

Železniční stanice Všestary se nachází severozápadně od Hradce Králové, na trati č. 041. Ve stanici jsou dvě dopravní koleje. Železniční provoz ve stanici zajišťuje jeden výpravčí, který obsluhuje staniční zabezpečovací zařízení 2. kategorie. [13]

---

<sup>3</sup> Železniční trať Opatovice nad Labem – odbočka Plačice byla vybudována za účelem vozby uhelných vlaků do elektrárny Opatovice bez jízdy a úvratí hnacího vozidla v žst. Hradec Králové hl.n. Tuto spojkou pravidelně využívá nákladní doprava, osobní doprava pouze při provozní mimořádnosti. [14]

## 4 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO DOPRAVNÍHO ŘEŠENÍ

### 4.1 Osobní doprava

Přestupní vazby ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží vycházejí z tzv. integrálního taktového jízdního řádu. Taktový uzel v X:00 umožňuje všesměrové přestupní vazby mezi jednotlivými spoji. Taktový uzel v X:30 neumožňuje přestup mezi vlaky ve všech směrech. Tento stav je způsobený infrastrukturními omezeními, protože všechny tratě zaústěné do stanice Hradec Králové jsou jednokolejné, a tudíž se vlaky mohou křížovat pouze ve stanicích. [10, úprava autor]

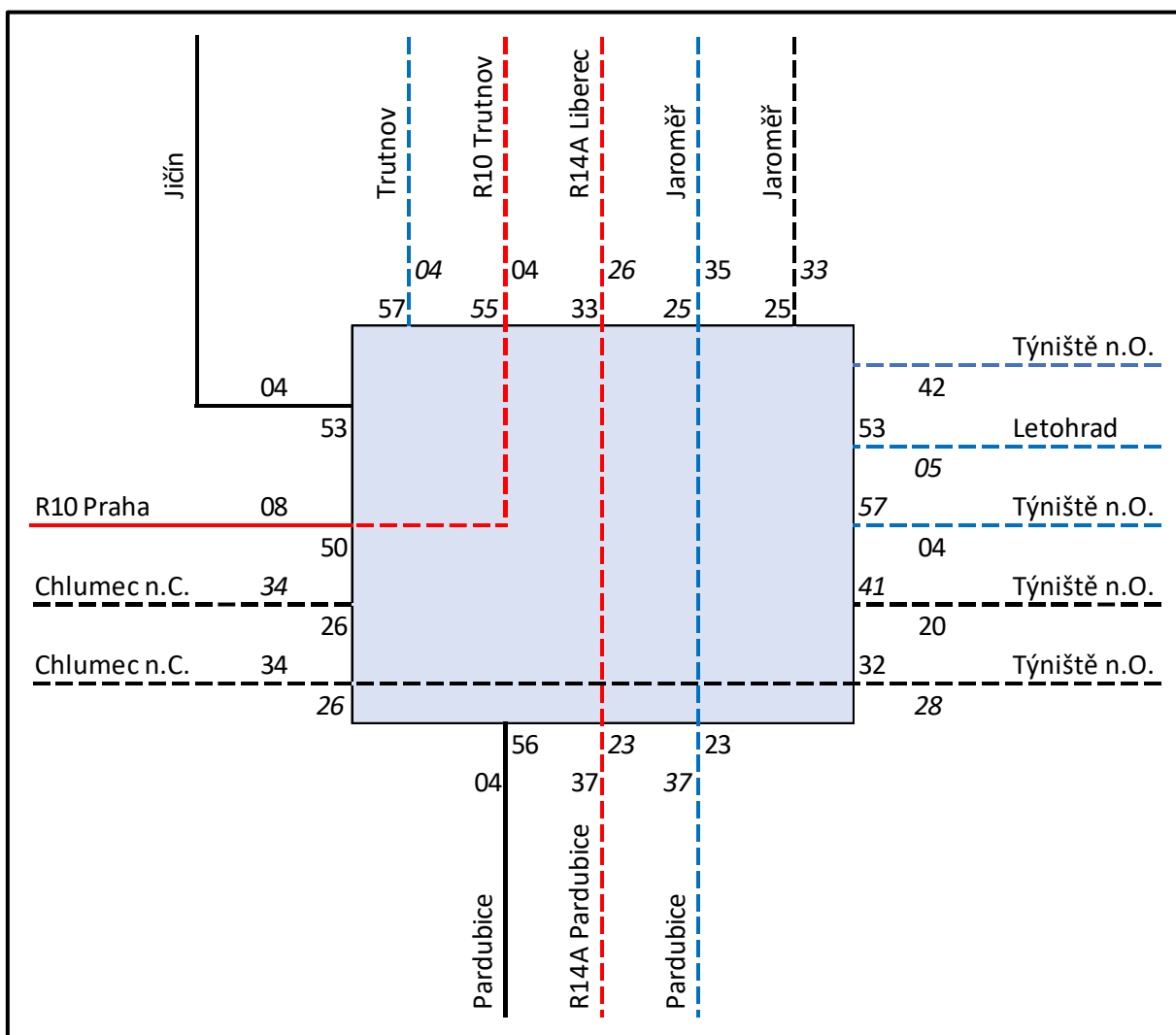
Z hlediska uspořádání jízd vlaků na jednotlivých tratích v okolí Hradce Králové můžeme jízdní řád nazvat jednoduchým<sup>4</sup>, u trati Hradec Králové – Předměřice – Jaroměř také skupinovým JŘ<sup>5</sup>. Při operativním řízení provozu je u těchto jednokolejných tratí zvýšená pravděpodobnost na tzv. přenášení zpoždění z důvodu křížování vlaků ve stanicích v porovnání s dvoukolejnou tratí (např. pokud vlak čeká na jiný přípojný vlak a toto zpoždění „přenes“ do další stanice, kde se míjí s protijedoucím vlakem) .

Na následujícím obrázku je zachycena poloha spojů ve stanici Hradec Králové hl.n. během odpolední špičky. Při zpracování obrázku došlo k dílčímu zjednodušení (nejsou zaznačeny jednotlivé posilové spoje). V průběhu ranní špičky převažují posilové spoje ve směru do krajského města Hradec Králové, během odpoledne směřují posilové spoje z Hradce Králové do regionů.

---

<sup>4</sup> V jednoduchém jízdním řádu nedochází k jízdě dvou a více vlaků jedním směrem za sebou. Vlaky se pravidelně střídají v sudém a lichém směru. [12]

<sup>5</sup> Ve skupinovém JŘ vlaky jedou za sebou v jednom směru v mezistaniční vzdálenosti, tzn. musí být dodržen traťový interval následné jízdy. [12]



Obrázek 7: Zobrazení návazností linek ve stanici Hradec Králové hl. n. [15, úprava autor]

Veřejnou drážní osobní dopravu v Královéhradeckém kraji zajišťují zejména ČD. Od prosince 2021 platí nová desetiletá smlouva, kterou uzavřel Královéhradecký kraj (z pozice objednatele) a dosavadní dopravce ČD. Dopravce bude postupně nasazovat na osobní a spěšné vlaky nové elektrické i motorové jednotky, které také zvýší komfort pro cestující. [16, úprava autor] Plánovaná modernizace tratí č. 020 a 021 a nová vozidla jsou jedním z předpokladů pro zvýšení atraktivity veřejné dopravy.

Železniční stanicí Hradec Králové hlavní nádraží jsou vedeny dvě linky dálkové dopravy, které umožňují spojení s dalšími významnými městy České republiky. Jejich objednávku zajišťuje Ministerstvo dopravy České republiky. Provoz linky R10 Praha – Hradec Králové – Trutnov zajišťuje dopravce České dráhy a.s., který na tuto linku nasazuje jednotlivé osobní vozy spojené do souprav. V úseku Praha – Hradec Králové je zaveden hodinový takt a soupravu táhne elektrická lokomotiva. V úseku Hradec Králové – Trutnov jsou spoje taženy

lokomotivou nezávislé trakce v taktu 120 minut. Současná smlouva platí pro období platnosti jízdních řádů mezi lety 2021 – 2028. [17] Linka R14A je vedena z Liberce přes Turnov, Starou Paku, Jaroměř a Hradec Králové do Pardubic. Dopravce Arriva vlaky s.r.o. nasazuje na tuto linku motorové jednotky řady 845. Uzavřená smlouva na jaře 2021 platí až do konce platnosti jízdního řádu 2026/2027. [18]

#### **4.1.1 Nároky kladené na osobní dopravu**

Snaha o dosažení optimální organizace přepravy osob má na jedné straně zajistit uspokojení přepravních potřeb a na druhé straně co nejlepší využití technických prostředků. [12]

Veřejnou dopravu musíme vnímat jako službu, která je vázána na zákazníka. Proto je důležité, aby dopravce vnímal požadavky cestujících a následně aby dopravce kontinuálně zlepšoval podmínky cestování ve veřejné dopravě. Cestující po úhradě přepravného očekává na jedné straně nejvyšší stupeň kvality přepravní služby, na druhé straně zde stojí možnosti dopravce. Očekávání z obou stran je třeba sladit. [19, úprava autor]

Jedná se o následující požadavky:

- rychlost přepravy
- četnost spojů
- pravidelnost
- pohodlí
- bezpečnost
- spolehlivost
- přiměřená cena jízdného
- zdvořilé a ochotné jednání personálu dopravce [19]

#### **4.2 Nákladní doprava**

Železniční nákladní dopravu můžeme podle objemu přepravovaného zboží rozdělit na dvě skupiny: přeprava ucelených vlaků a jednotlivých vozových zásilek. Ucelený vlak přepravuje zboží jedné komodity od dodavatele přímo k zákazníkovi bez nutnosti manipulace s vozy v seřadovacích stanicích. Naopak podíl přeprav vozových zásilek, realizovaných zejména na vedlejších tratích, klesá. [20, úprava autor]

Jednou z pravidelných relací ucelených vlaků v okolí Hradce Králové je vozba uhlí do stanice Opatovice nad Labem – Pohřebačka a dále po vlečce do areálu firmy Elektrárny Opatovice, a.s., která vyrábí elektrickou a tepelnou energii. Nákladní vlaky dopravují uhlí

nejčastěji ze severočeské hnědouhelné pánve přes stanice Ústí nad Labem – Západ, Velký Osek, Praskačka a dále po Plačické spojce do stanice Opatovice nad Labem. [14, 21]

Z mosteckých hnědouhelných pánví je také pravidelně přepravováno uhlí ucelenými vlaky do Elektrárny Poříčí II, kterou provozuje firma ČEZ. Ve stanici Hradec Králové hl. n. dochází k přepřahu lokomotiv, protože úsek Jaroměř – Trutnov je neelektrizovaný.

Dalším významným přepravním bodem v nákladní dopravě je stanice Solnice. Na území obce Kvasiny (těsně vedle města Solnice) se rozkládá výrobní automobilový závod firmy ŠKODA AUTO a.s. Část produkce firmy je exportována pomocí vlaků do stanice Týniště nad Orlicí. Zde dochází k manipulaci s vozy za účelem spojení do jednoho delšího vlaku a zapojení lokomotivy elektrické trakce.

U výše uvedených relací jsou v opačném směru vedeny tzv. vyrovnávkové vlaky. Jedná se o přepravu prázdných vozů do místa nové nakládky.

Na jednotlivých tratích v okolí Hradce Králové jsou ve vybrané dny v týdnu zavedeny manipulační vlaky, které zajišťují svoz a rozvoz jednotlivých vozových zásilek ze nebo do stanic, nákladišť a vleček.

## 5 VSTUPNÍ PARAMETRY DO SIMULACE

### 5.1 Infrastruktura

Efektivní organizace přepravy osob je jedním z úkolů správce železniční infrastruktury. Složitost řešení osobní přepravy vyžaduje plnění základních úkolů. [12, úprava autor]

- Zajištění bezpečnosti jízdy vlaků a také osobní bezpečnosti cestujících v železničních stanicích a na zastávkách (při úrovňových přejezdech přes koleje, nastupování, vystupování, čekání na spoj apod.).
- Zkrácení času stráveného jízdou ve vlacích a při přestupech, proto je třeba soustavně zdokonalovat jízdní řády vlaků osobní dopravy, zejména pokud jde o úsekovou rychlost, četnost spojů a jejich návaznost.
- Dodržování jízdních řádů.
- Zajištění co největšího pohodlí cestujících ve vlacích i na nádražích.
- Systematické hledání optimálního využití technických prostředků určených pro přepravu, tedy vozového parku, staničních prostorů, zařízení pro údržbu a opravu vozidel.
- Hledání správného poměru vlaků osobní a nákladní dopravy, aby současně na společné dopravní cestě mohl být veden i potřebný počet nákladních vlaků. Různé hmotnosti a tudíž i různé rychlosti vlaků ovlivňují konstrukci jízdního řádu. [12, úprava autor]

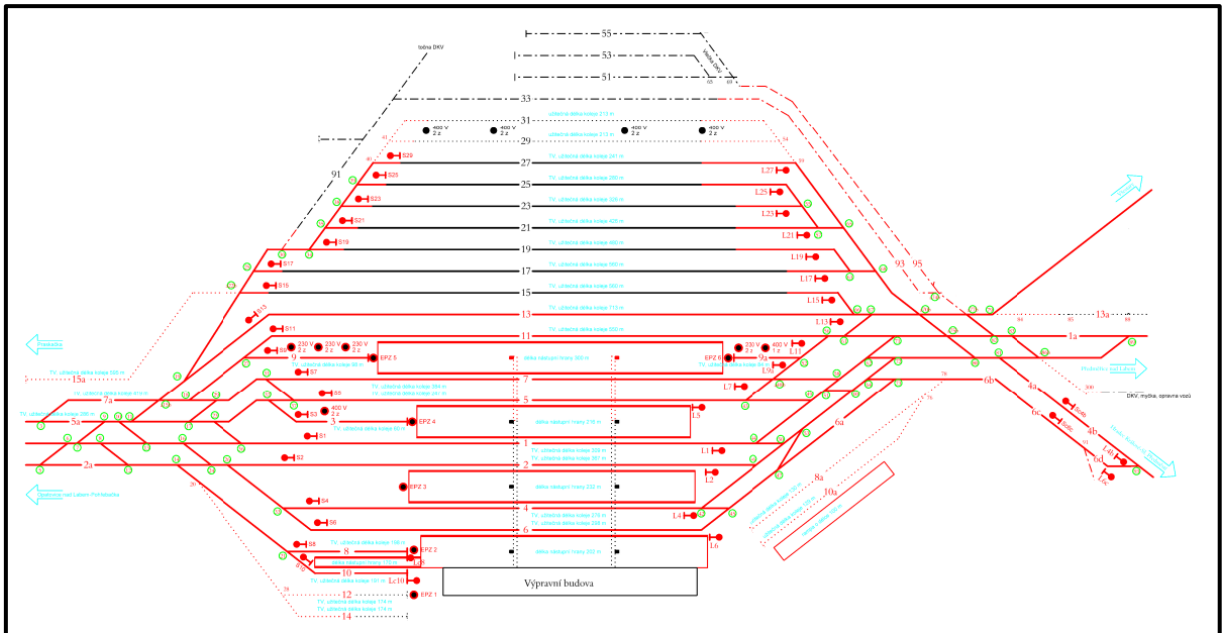
#### 5.1.1 Železniční stanice a tratě

Předpokládané investice Správy železnic a státní organizace významně promění stav železniční infrastruktury ve východních Čechách.

V počáteční fázi proběhne rekonstrukce železniční stanice Hradec Králové hlavní nádraží<sup>6</sup>. Podle stavební dokumentace při této stavbě dojde k přestavbě kolejových rozvětvení u obou zhlaví. Dále bude postaveno nové čtvrté ostrovní nástupiště mezi dopravními kolejemi č. 7 a 11 (číslování kolejí převzato z plánu modernizované stanice). Zaústění jednotlivých tratí (vyjma trati HK – Všestary) bude připraveno na zdvoukolejnění. [11]

---

<sup>6</sup> Celá stavební akce, při které dojde k modernizaci stanice Hradec Králové hl.n., se nazývá: Modernizace trati Hradec Králové – Pardubice – Chrudim, 2. stavba, zdvoukolejnění Opatovice nad Labem – Hradec Králové, 1. etapa, ŽST Hradec Králové.

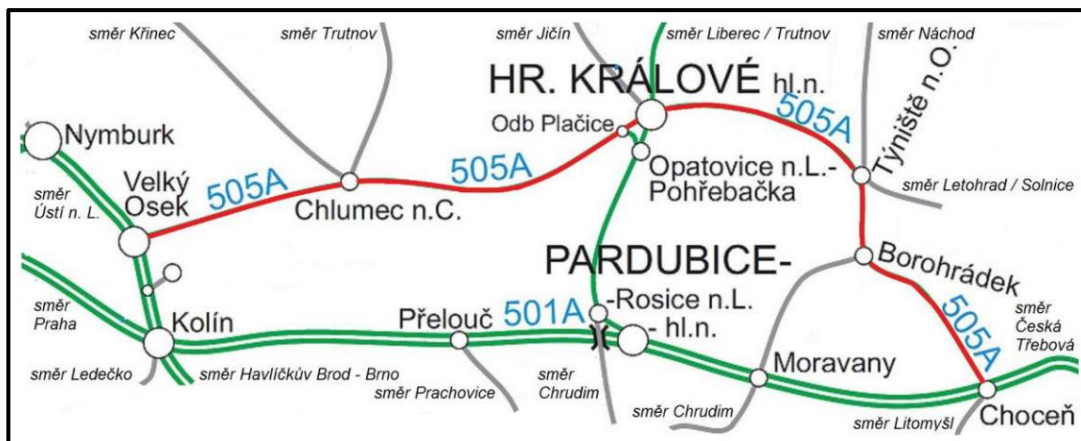


Obrázek 8: Plánované schéma modernizované stanice Hradec Králové hl. n. [11]

Traťový úsek Hradec Králové – Opatovice n.L. – Pohřebačka naváže na již dvoukolejný úsek Opatovice – Stéblová. Nástupiště ve stanici Opatovice n.L.-Pohřebačka budou zrušeny a náhradou, za účelem zachování dopravní obslužnosti obcí v okolí dopravní, vznikne zastávka Březhrad. A ze současné stanice se stane výhybna. [22]

Studie proveditelnosti, která byla vypracována za účelem komplexního posouzení variantního řešení úprav železniční trati č. 020, 021, 026, se nazývá Studie proveditelnosti Velký Osek – Hradec Králové – Choceň (dále jen „VoChoc“). Ve studii byly navrženy čtyři varianty, které jsou porovnávány se současným stavem (tj. varianta bez projektu). V roce 2015 Ministerstvo dopravy ČR, na základě posouzení studie VoChoc Centrální komisí MD ČR, schválilo tuto studii a požaduje rozpracování Varianty A4+B4. Varianta A4+B4 navrhuje zdvoukolejnění celého traťového úseku z V. Oseka až do Chocně a zvýšení maximální rychlosti až na 160 km/h. [11]



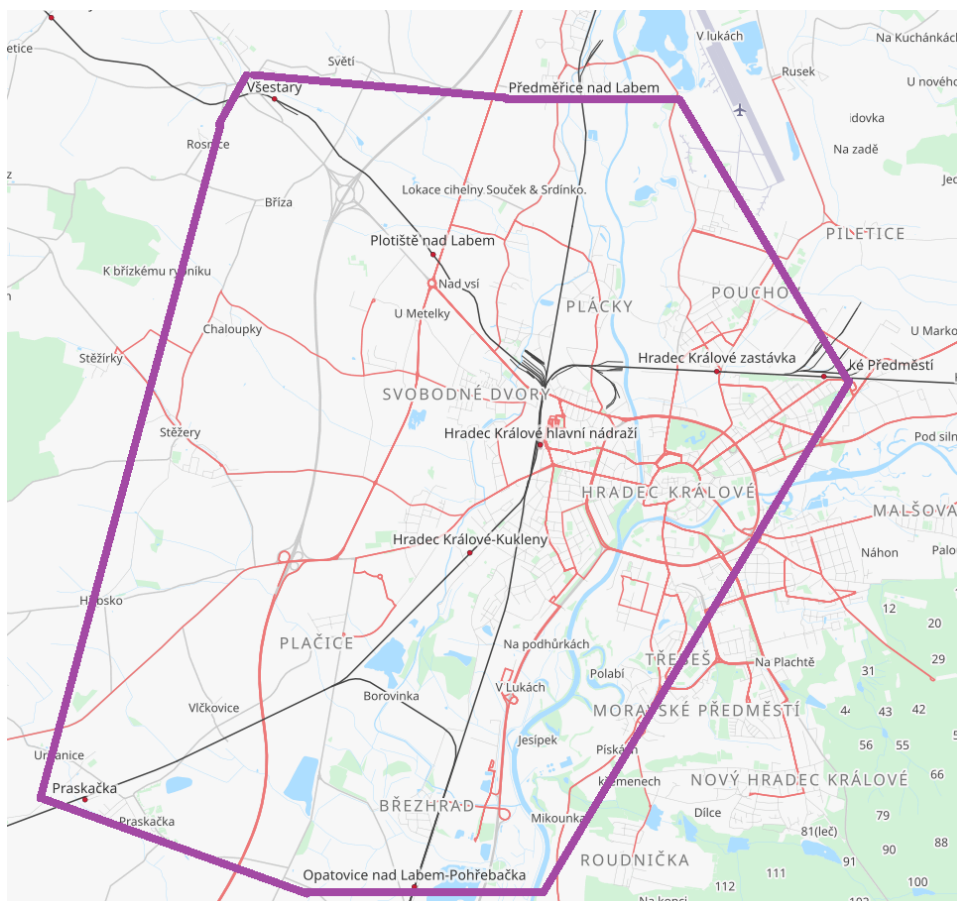


Obrázek 9: Železniční síť v okolí tratě Velký Osek - Hr. Králové – Choceň [22]

V souvislosti s realizací tohoto projektu dojde k přesunu části nákladní dopravy z 1. železničního koridoru právě na tuto trať. Dále bude umožněno přepravovat nákladní vlaky o délce až 740 metrů a i díky tomu zvýšit konkurenceschopnost nákladní železniční dopravy v porovnání se silniční nákladní dopravou. [20]

Úsek trati Hradec Králové – Jaroměř bude uvažován pro účely této práce prozatím jako jednokolejný a elektrizovaný. Dále se předpokládá instalace vlakového zabezpečovacího systému ETCS, který umožní zkrátit následné mezidobí vlaků v porovnání se současným stavem infrastruktury.

Traťový úsek mezi stanicemi Hradec Králové hl.n. a Věstary v následujících letech neprojde zásadní přestavbou nebo modernizací, která by zásadně změnila parametry této trati.



Obrázek 10: Vymezení zkoumané oblasti [23]

### 5.1.2 Sklony tratí

Na traťových úsecích v okolí Hradce Králové v současné době nabývá spád hodnot od 0 ‰ do 5 ‰, ojediněle 13 ‰ (na trati HK – Všetáry). [24, 25, 26, 27, 28] V rámci plánovaných modernizací nebo rekonstrukcí by neměla nastat významná změna ve spádu tratí, proto jsou použity hodnoty spádu trati, které platí před rekonstrukcí.

### 5.1.3 Související železniční stavby

Koncepce nákladní dopravy pro období 2017 – 2023 počítá také s Modernizací trati Týniště nad Orlicí – Solnice (Kvasiny). Modernizace je rozdělena do několika etap. V současné době je dokončena výstavba ostrovních nástupišť ve stanici Týniště nad Orlicí a komplexní rekonstrukce stanice Častolovice. Po dokončení bude trať elektrizována střídavou trakcí 25 kV, 50 Hz, dojde k vybudování výhyben Rašovice (mezi stanicemi Týniště n.O. a Častolovice) a Tutlety (v úseku Častolovice – Rychnov n. K.) a dále ke stavbě nového nákladového obvodu žst. Solnice u obce Lipovka. V nákladovém obvodu budou vozy řazeny do ucelených nákladních vlaků. [20, 29]

Významná investice do železniční infrastruktury je v plánu u obce Vysokov na Náchodsku. Jedná se o stavbu tzv. Vysokovské spojky, která je ve fázi zpracované studie proveditelnosti. Díky realizaci této stavby odpadne nutnost tzv. úvratě (změny směru jízdy) ve stanicích Starkoč a Václavice. Vlak by měl cestu z Hradce Králové do Náchoda zvládnout za 30 minut. V současné době je cestovní doba mezi těmito městy téměř 60 minut. [30]



Obrázek 11: Mapa s plánovaným vedením Vysokovské spojky [3, úprava autor]

## 5.2 Infrastruktura – dlouhodobý výhled

Plánování nových železničních staveb a jejich následná realizace musí vycházet ze společenské poptávky, resp. být uskutečněna na základě požadavků od objednavatelů dopravy. V České republice veřejnou železniční dopravu objednávají Ministerstvo dopravy ČR a jednotlivé krajské samosprávy.

Na základě celospolečenské dohody GreenDeal se také Česká republika zavázala, že v oblasti dopravy bude zavádět nízkoemisní nebo bezemisní vozidla.

### 5.2.1 Sjednocení trakčních napájecích soustav v ČR

Na základě studie, schválené Centrální komisí Ministerstva dopravy ČR v roce 2016, dojde v následujícím období ke sjednocení trakčních napájecích soustav. Schválený dokument doporučuje střídavou trakční soustavu. [31] V současné době se zpracovávají studie proveditelnosti, které navrhnu komplexní časový harmonogram pro změnu trakce

na AC 25 kV. Železniční tratě v okolí stanice Hradec Králové hl.n. jsou součástí studie proveditelnosti pro oblasti Nymbursko, Královéhradecko a Pardubicko. [32]

### 5.2.2 Elektrizace trati Častolovice – Letohrad

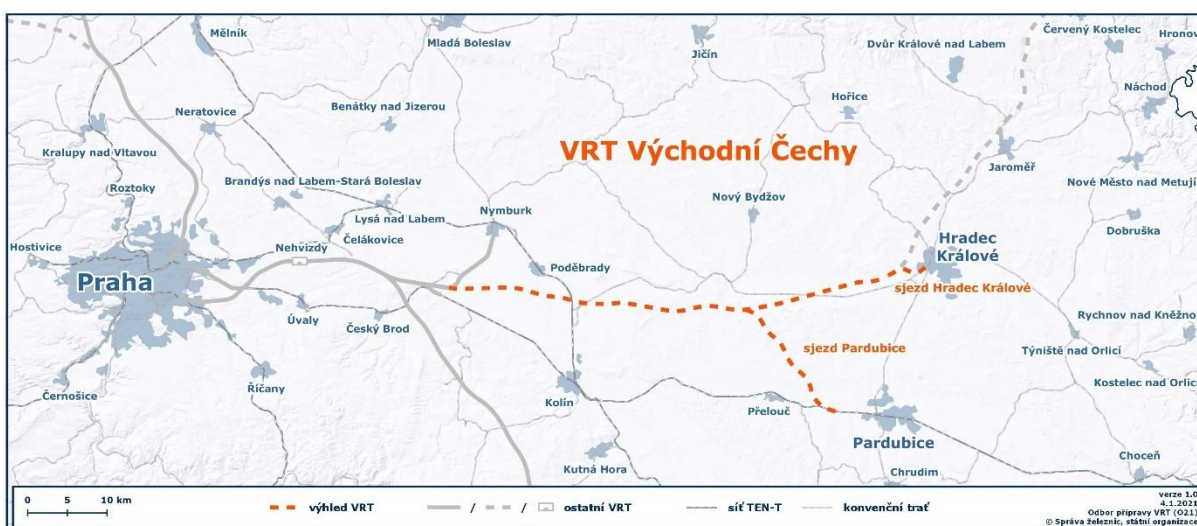
Železniční trať (Týniště n.O -) Častolovice – Letohrad je v současné době jednokolejná neelektrizovaná. Na trati jsou vedeny přímé dieslové vlaky Hradec Králové – Letohrad, přestože je úsek Hr. Králové – Týniště elektrizován. Požadavkem Královéhradeckého a Pardubického kraje je elektrizace trati Týniště n.O. – Letohrad, která může také sloužit jako odklonová trasa při mimořádnosti na trati 010 Choceň – Ústí nad Orlicí. [33]

### 5.2.3 Elektrizace trati Chlumeck n. C. – Nový Bydžov

Královéhradecký kraj v dlouhodobém horizontu požaduje elektrizaci úseku Chlumeck nad Cidlinou – Nový Bydžov. V současné době mají osobní vlaky při obratu v žst. Chlumeck n. C. 40 minut na obrat. Tato doba by byla dostatečná pro vedení přímého osobního vlaku z Hr. Králové až do N. Bydžova při zachování současného provozu dopravy. [34]

### 5.2.4 Vysokorychlostní tratě

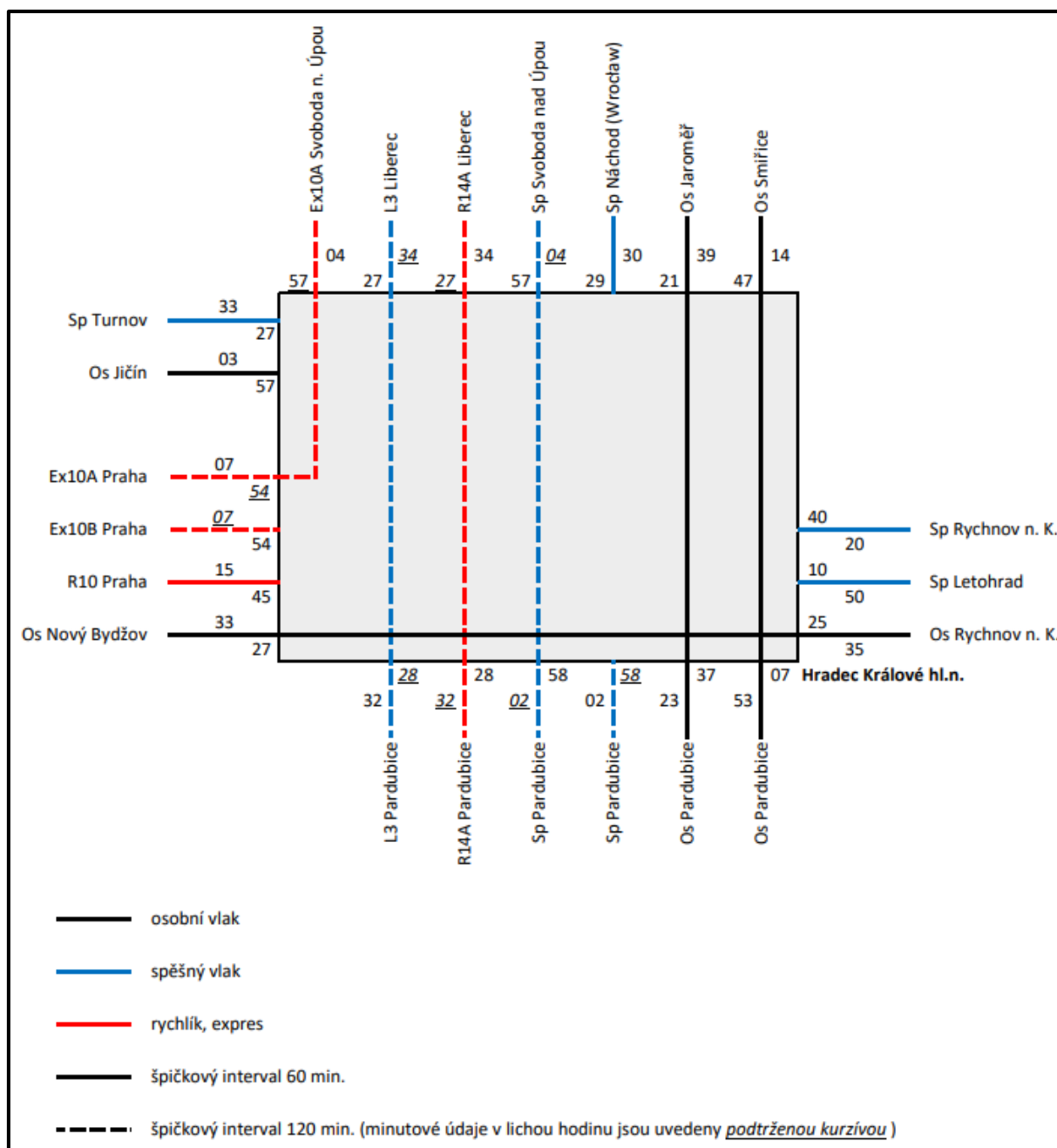
Vysokorychlostní tratě jsou v této době v různé fázi projektových příprav. Jedním z navazujících úseků na „VRT Polabí“ má být trať s názvem „VRT Východní Čechy“. Aktuálně zpracovaná studie proveditelnosti určí konfiguraci celého traťového úseku včetně propojení se současnou železniční sítí. [35]



Obrázek 12: Mapa s plánovaným vedením VRT Východní Čechy [35]

## 5.3 Objednávka osobní dopravy

Veřejnou osobní dopravu regionálního významu objednává Královéhradecký kraj. Krajský úřad Královéhradeckého kraje mi prostřednictvím Oddělení dopravní obslužnosti poskytnul materiál, který popisuje výhledový stav objednávky železniční dopravy v následujících letech.



Obrázek 13: Zobrazení očekávaných návazností linek v uzlu Hradec Králové hl. n. [34]

Spoje linky Sp HK – Náchod (Wrocław) jsou posilové spoje a interval spojů se v průběhu dne mění. V průběhu ranní špičky převažují spoje do Hradce Králové, odpoledne většina spojů

vyjíždí z krajského města do Náchoda. V simulaci se tedy objevují tyto spoje – odjezd z HK: 14:30, 15:30, 16:30, příjezd do HK: 16:30.

### 5.3.1 Vozový park

Požadavky na vozidla v regionální dopravě, jež musí vést k vyžadovanému pohodlí ze strany cestujícího a vyšší výkonnosti regionální dopravy ze strany dopravce, jsou následující:

- minimalizace pobytů v místech zastavení
- minimalizace doby potřebné na obrat vozidel v koncových stanicích
- minimalizace jízdních dob mezi místy zastavení
- vyšší kapacita vozidel
- bezpečnost provozu [19]

Oddělení dopravní obslužnosti Královéhradeckého kraje v poskytnutém materiálu předpokládá nasazení tří typů souprav. Proto byla do simulace vložena vozidla, které svými parametry naplňují výše uvedené požadavky.

Na některé spoje budou nasazeny dvě spojené soupravy, které se v některé železniční stanici rozpojí. Díky tomuto technologickému úkonu je nabízeno přímé spojení krajského města s více místy z regionu. Jedná se např. o linku Pardubice – HK – Svoboda nad Úpou. V žst. Starkoč dochází k rozpojení, resp. spojení jednotek, které pokračují ve směru, resp. ze směru Náchod a Broumov.

*Tabulka 2: Požadavky objednatele na vozidla – regionální spoje [34]*

Zkratka	Popis	Aplikováno v simulaci
EMU 80m	třívozová elektrická jednotka délky cca 80 metrů	640 ČD "Regiopanter"
EMU 50m	dvouvozová elektrická jednotka délky cca 50 metrů	650 ČD "Regiopanter"
DMU 50m	dvouvozová motorová jednotka délky cca 50 metrů	642 DB "Desiro"



Obrázek 14: Motorová jednotka ř. 642 DB "Desiro" [36]

Tabulka 3: Plánované řazení souprav v simulaci – regionální spoje

Zkratka	Linka	Vozidlo
Sp	Pardubice - HK - Svoboda n.Ú. / Broumov	2x 642 DB "Desiro"
Sp	HK - Náchod (-Wroclav)	642 DB "Desiro"
L3	Pardubice - HK - Liberec	642 DB "Desiro"
Sp	Pardubice - HK	640 ČD "Regiopanter"
Os	Pardubice - HK - Jaroměř	650 ČD "Regiopanter"
Os	Pardubice - HK - Smiřice	650 ČD "Regiopanter"
Sp	HK - Týniště n.O. - Letohrad	2x 642 DB "Desiro"
Sp	HK - Týniště n.O. - Rychnov n.K.	640 ČD "Regiopanter"
Os	Nový Bydžov - Chlumec n.C - HK - Týniště n.O. - Rychnov n.K.	640 ČD "Regiopanter"
Sp	HK - Jičín - Turnov	642 DB "Desiro"
Os	HK - Jičín - Turnov	642 DB "Desiro"



Obrázek 15: Elektrická jednotka ř. 640 ČD "RegioPanter" [37]

Na linky R10, Ex10 a R14A, které objednává Ministerstvo dopravy ČR, je pro účely této práce předpokládáno nasazení obdobných moderních vozidel jako u krajské objednávky. Z důvodu nadále neelektrizovaného železničního úseku Jaroměř – Trutnov je nutné u linky Ex 10A v části trasy nasazení lokomotivy nezávislé trakce. Z technologických důvodů se přepřah lokomotivy uskutečňuje ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží.

Tabulka 4: Plánované řazení souprav – dálkové spoje

Linka	Popis	Aplikováno v simulaci
Ex 10A	elektrická a motorová lokomotiva, sedmivozová souprava	1216 ÖBB "Taurus"
Ex 10B	elektrická lokomotiva, sedmivozová souprava	1216 ÖBB "Taurus"
R 10	pětivozová elektrická jednotka	660.1 ČD "Interpanter"
R 14A	dvouvozová motorová jednotka	642 DB "Desiro"





Obrázek 16: Elektrická vícesystémová lokomotiva ř. 1216 ÖBB "Taurus" [38]

## 5.4 Rozsah nákladní přepravy

V České republice, stejně tak i ostatních členských státech Evropské unie, je nákladní železniční doprava plně liberalizovaná, tedy nákladní dopravce je závislý pouze na tržbách od zákazníků. V porovnání s osobní dopravou nedochází k systematické objednávce nákladní dopravy od krajských samospráv nebo státu. Proto je obtížné dlouhodobě predikovat přepravní výkony v nákladní dopravě. V této práci jsou uvedeny dva přístupy, jak lze určit počet nákladních vlaků.

Na základě dat o počtu nákladních vlaků na traťových úsecích v okolí Hradce Králové, poskytnutých z interního informačního systému Správy železnic, byla z těchto dat zpracována statistika dopravních výkonů za jeden kalendářní rok. Z této statistiky byly odborným odhadem stanoveny předpokládané dopravní výkony u vybraných relací. Například přeprava uhlí do elektráren je závislá na provozu těchto elektráren. Proto lze předpokládat, že spotřeba uhlí je v průběhu několika let konstantní. Analogicky můžeme odvodit počet nákladních vlaků převážejících nové osobní automobily, které jsou po železnici exportovány zejména do zahraničí. V následující tabulce je uveden předpokládaný počet nákladních vlaků u vybraných relací.

Tabulka 5: Očekávaný počet nákladních vlaků u vybraných relací [39]

Z	Do	Počet vlaků/ pracovní den	Druh vlaku	Hmotnost [t]	Délka [m]	Poznámka
Praskačka	Opatovice n.L.	3	Pn	2 500	400	uhlí do elektrárny Opatovice
Opatovice n.L.	Praskačka	3	Pn	750	400	
Praskačka	HK - Sl. Předměstí	2	Pn	680	530	
HK - Sl. Předměstí	Praskačka	2	Pn	1 000	530	export automobilů ze Solnice
Praskačka	Předměřice n.L.	1	Pn	2 200	400	uhlí do elektrárny Trutnov-Poříčí
Předměřice n.L.	Praskačka	1	Pn	1 000	400	
HK - Sl. Předměstí	Opatovice n.L.	1	Mn	800	300	
Opatovice n.L.	HK - Sl. Předměstí	1	Mn	450	300	
Hr. Králové hl.n.	Předměřice n.L.	1	Mn	500	200	
Předměřice n.L.	Hr. Králové hl.n.	1	Mn	500	200	
Hr. Králové hl.n.	Všestary	1	Mn	300	100	
Všestary	Hr. Králové hl.n.	1	Mn	300	100	

Další možností k určení počtu nákladních vlaků jsou předpokládané rozsahy dopravy ze zpracované studie k projektu VoChoc. Nákrešný jízdní řád, převzatý z této studie, je uveden jako příloha této práce. V průběhu ranní špičky (6:00-8:00) je v úseku Praskačka – HK – Sl. Předměstí vedeno pět párů nákladních vlaků kategorie Nex.

Odborný odhad, zpracovaný ze statistiky uskutečněných přeprav, vychází ze současného stavu infrastruktury, to je jednokolejné tratě v okolí Hradce Králové. Proto je počet nákladních vlaků převzatých ze studie proveditelnosti vyšší.

K dalšímu zpracování této práce byl převzat počet nákladních vlaků ze studie VoChoc. Při konstrukci jízdního řádu v simulaci bylo snahou vytvořit trasy alespoň pro pět párů vlaků. Bude-li naplněna vize převodu nákladních vlaků z prvního tranzitního koridoru, lze po dobu životnosti stavby očekávat další navýšení tohoto počtu vlaků.

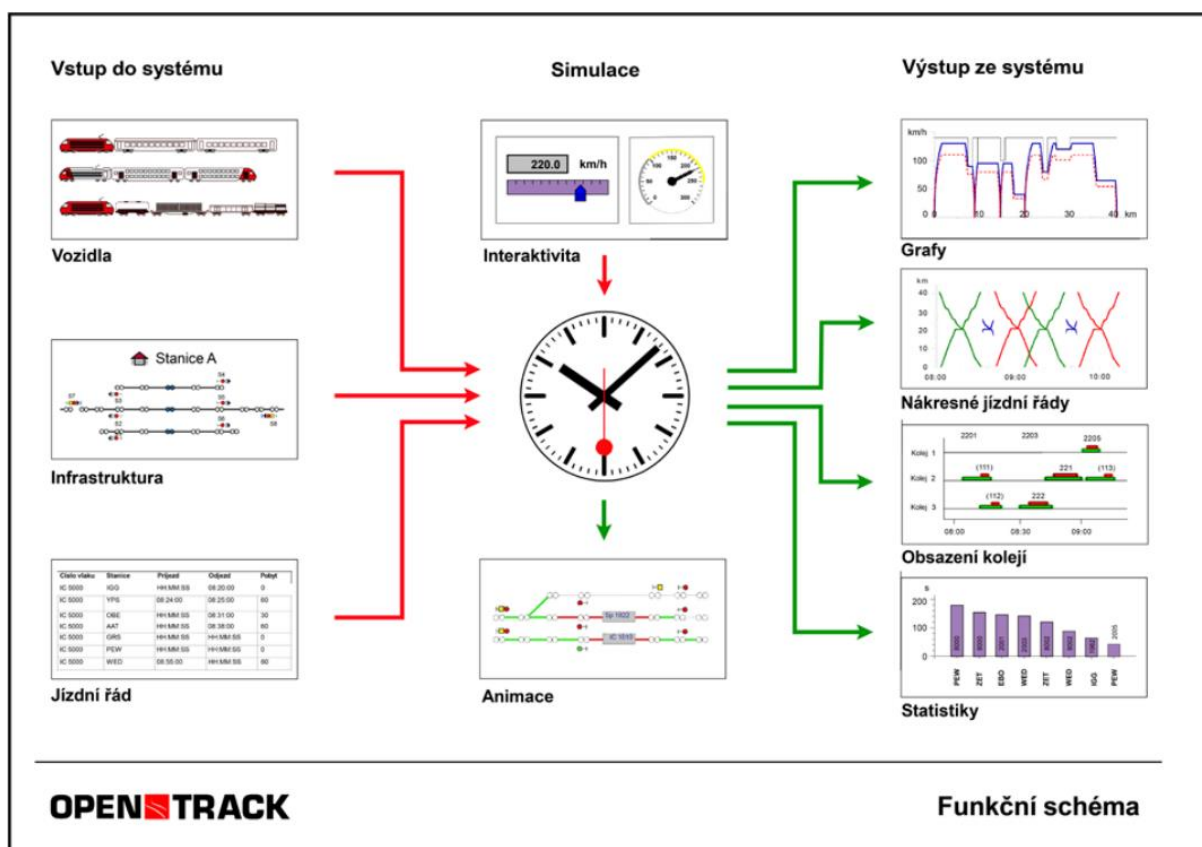
Nákladní manipulační vlaky obsluhují jednotlivá nákladíště a vlečky zejména v období mimo špičku, proto tyto vlaky v simulaci neuvažujeme.

## 6 PROGRAM OPENTRACK

Program OpenTrack je simulační program, zaměřený na simulování železničního provozu. Tento program byl vytvořen jako část výzkumného projektu při ETH IVT Zurich. První verze programu byla zveřejněna v roce 2000 a v průběhu let bylo uvedeno několik nových verzí programu.

Pro účely zpracování této diplomové práce mi byla Fakultou dopravní ČVUT v Praze poskytnuta aktuální licence programu.

Program a práci s ním můžeme rozdělit na tři části: vstupy (údaje o vozidlech, trati), samotný „běh“ simulace a výsledky a jejich interpretace (skutečné jízdní doby vlaků, statistiky). Na následujícím obrázku je znázorněno zjednodušené schéma simulace.



Obrázek 17: Funkční schéma průběhu simulace [41]

### 6.1 Struktura programu

#### 6.1.1 Vstupní data

Vkládaná data do programu můžeme rozdělit do několika skupin:

- údaje o vozidlovém parku (maximální rychlost, trakční vlastnosti hnacích vozidel)

- data o železniční infrastruktuře (vzdálenost mezi významnými body, prvky, maximální traťová rychlost, umístění návěstidel)
- jízdní řád vlaků (příjezdy a odjezdy ze stanice, zastavení na zastávce)

### **6.1.2 Nastavení parametrů simulace**

Při spuštění každé simulace je možnost nastavit nebo upravit mnoho parametrů:

- délka simulovaného časového úseku
- zpoždění vlaků (na vstupu, v průběhu jízdy)
- rychlost zobrazované animace
- požadované protokoly simulace (výstupy)

### **6.1.3 Výstupy**

Výsledky simulace jsou prezentovány pomocí textových výstupů, které lze zpracovat v externích nástrojích nebo přímo v programu reprezentovat připravenými grafy, např.:

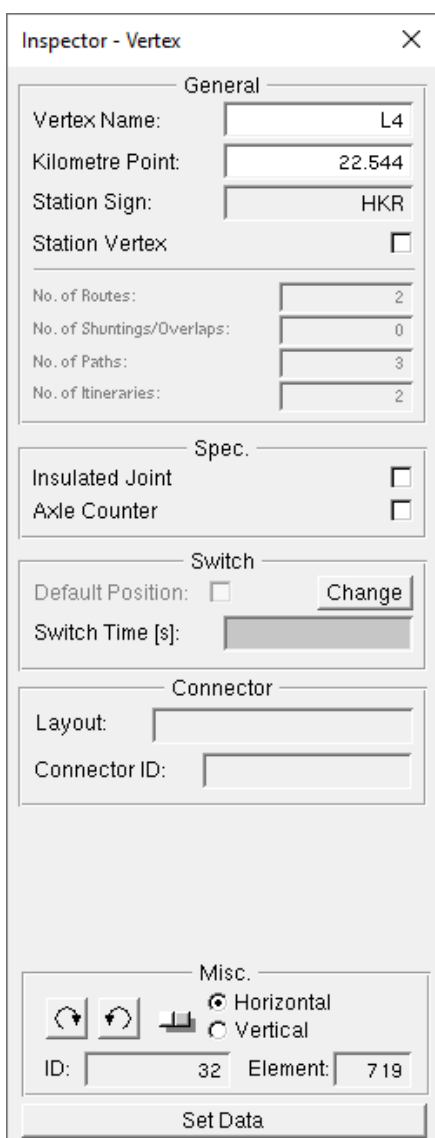
- plánovaný a skutečný jízdní řád vlaku (plnění GVD)
- plán obsazení kolejí (plán a skutečnost, vyhrazení a skutečné obsazení)
- statistika zpoždění jednotlivých spojů, druhů vlaku, stanic atd.

## 7 POSTUP TVORBY MODELU

### 7.1 Data o železniční infrastruktuře

Základní prvky železniční infrastruktury jsou vrcholy (vertex) a hrany (edge). Každá hrana spojuje právě dva vrcholy. Vkládáním vrcholů a jejich spojováním hranami vzniká síť, která se z hlediska topologie shoduje s navrženým schématem kolejíště.

Každému vrcholu je při vytvoření automaticky přiřazeno unikátní označení. Uživatel pak může vrchol pojmenovat (např. podle umístění návěstidla „L4“, viz obrázek 18) a určit jeho kilometrickou polohu.



Inspector - Vertex

General

Vertex Name: L4  
Kilometre Point: 22.544  
Station Sign: HKR  
Station Vertex:

No. of Routes: 2  
No. of Shuntings/Overlaps: 0  
No. of Paths: 3  
No. of Itineraries: 2

Spec.

Insulated Joint:   
Axle Counter:

Switch

Default Position:  Change  
Switch Time [s]:

Connector

Layout:  
Connector ID:

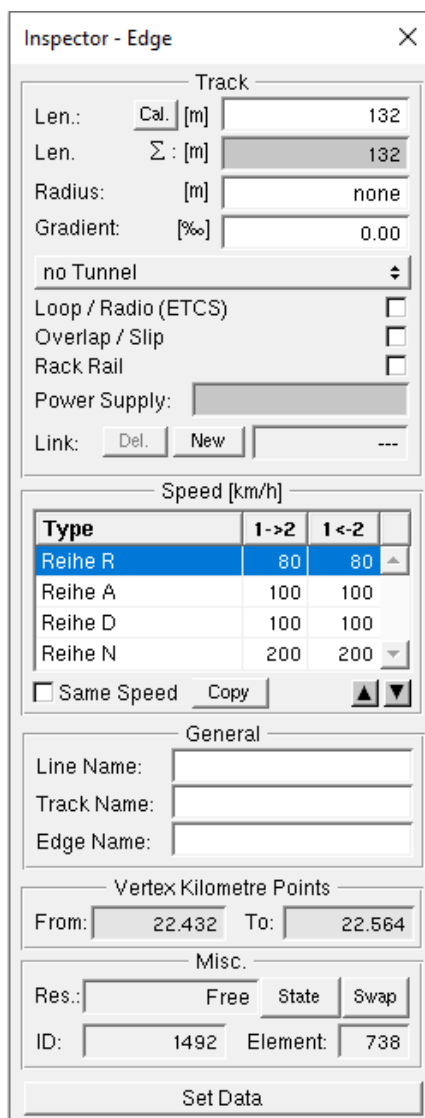
Misc.

Horizontal  
 Vertical

ID: 32 Element: 719

Set Data

Obrázek 18: Editace vrcholu



Inspector - Edge

Track

Len.: Cal. [m] 132  
Len.  $\Sigma$ : [m] 132  
Radius: [m] none  
Gradient: [%] 0.00

no Tunnel

Loop / Radio (ETCS):   
Overlap / Slip:   
Rack Rail:   
Power Supply:

Link: Del. New

Speed [km/h]

Type	1->2	1<-2
Reihe R	80	80
Reihe A	100	100
Reihe D	100	100
Reihe N	200	200

Same Speed Copy

General

Line Name:  
Track Name:  
Edge Name:

Vertex Kilometre Points

From: 22.432 To: 22.564

Misc.

Res.: Free State Swap  
ID: 1492 Element: 738

Set Data

Obrázek 19: Editace hrany

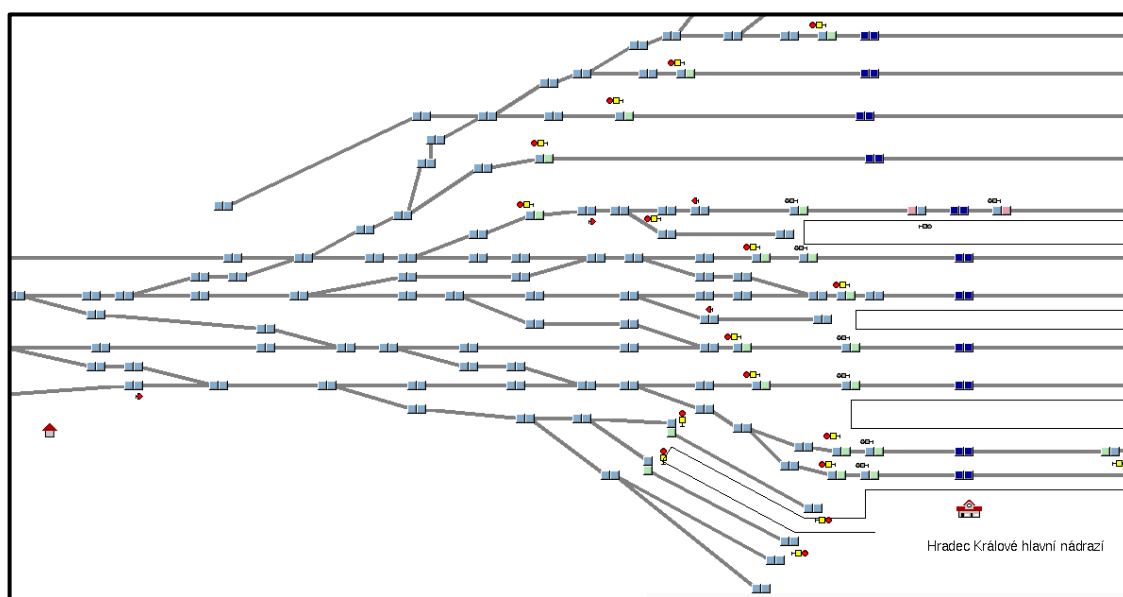
Obdobně jsou jednotlivým hranám přiřazeny výchozí hodnoty, které lze editovat. Délku hrany lze stanovit dvěma způsoby: automatickou kalkulací na základě kilometrické polohy vrcholů nebo uživatel jednoznačně určí délku hrany, kterou zjistil např. z podrobného plánu stanice. Dále lze editovat sklon dané hrany a rychlosti u jednotlivých kategorií (rychlostníků).

Ke vhodným vrcholům se umístí návěstidla, kterým se přiřadí výchozí informace podle typu návěstidla. Za návěstidla se v programu považují světelná návěstidla (hlavní, předvěsti, automatický blok, pro posun) a dále místo zastavení. U světelných návěstidel je nezbytné nastavit, jaké návěsti (rychlosti) bude dané návěstidlo návěstit (zobrazovat) pro jednotlivé vlakové cesty a posunové cesty. Při spuštění simulace ikonka návěstidla mění barvu podle návěsti postavené vlakové /posunové cesty.

Některá návěstidla byla vložena navíc tak, aby samotný průběh simulace co nejvíce odpovídal realitě. Toto návěstidlo je při editaci označeno jako virtuální. Ikonka tohoto návěstidla je pak barvy šedivé.

V prezentované simulaci virtuální návěstidla v žst. Hradec Králové hl. n. dělí kolej č. 11 na dvě části. Díky tomu lze postavit současně vlakové cesty na stejnou kolej z obou směrů a z pohledu zabezpečovacího zařízení je od sebe dělí virtuální návěstidla. Tato a další virtuální návěstidla, umístěná u vrcholů ve stanici Hr. Králové hl. n., pomohou uživateli při vytváření vlakových cest a obrátů vozidel mezi spoji.

Další virtuální návěstidla byla vložena mezi stanicemi Hradec Králové hl.n. a Předměřice n.L. (pro každý směr jedno) tak, aby mohly vlaky jezdit v kratším intervalu než je mezistaniční. Díky tomuto jednoduchému kroku lze přiblížit simulaci vlaků řízených systémem ETSC L3.



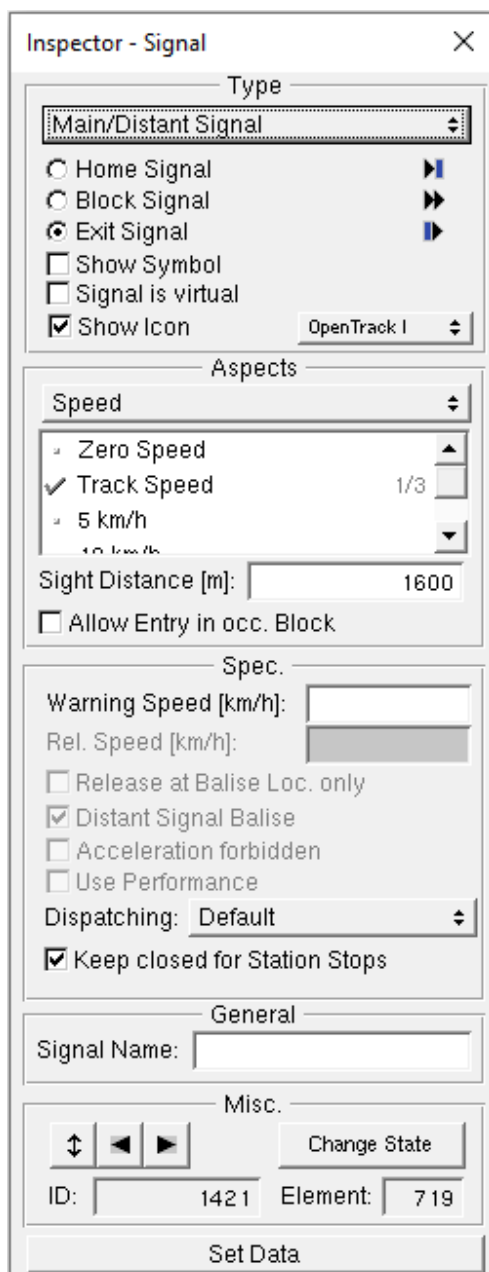
Obrázek 20: Ukázka sítě modelu v programu OpenTrack

## 7.2 Tvorba vlakových cest

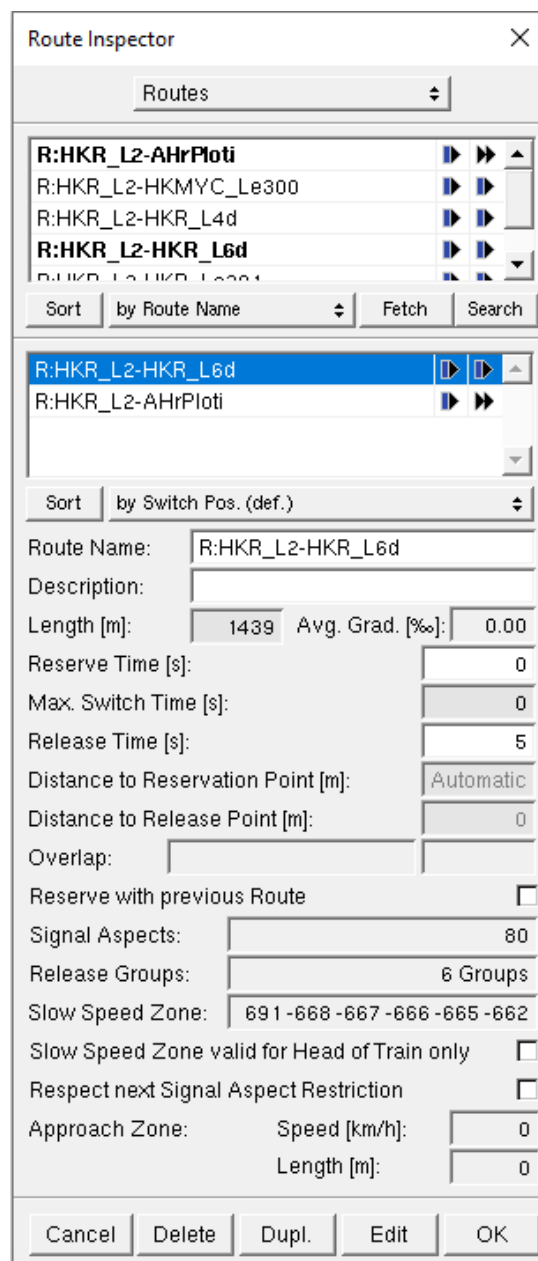
Podle výše uvedeného krátkého postupu je vytvořeno kolejiště simulované oblasti. Dalším krokem je vytvoření tras pro jednotlivé vlaky. „Jízda“ vlaku simulovanou oblastí vychází ze zásady, že každý vlak má přidělenou vlakovou cestu od návěstidla k návěstidlu.

V prvním kroku je nutné vytvořit vlakovou cestu od návěstidla k nejbližšímu návěstidlu, tzv. „Route“. Jednotlivé Routes lze vytvořit pouze u vrcholu, u kterého se nachází hlavní světelné návěstidlo. Program automaticky vyhledá všechny přípustné varianty. Záleží pak na uživateli, které Routes vybere (se kterými bude dále pracovat), které jsou pro danou simulaci nepotřebné a které jsou nelogické (např. vlaková cesta končí ve vrcholu, který označuje odbočku na vlečku, ale v simulaci se tato vlečka nepoužívá). V průběhu simulace bude na dvoukolejných tratích výhradně pravostranný provoz, neuvažuje se simulace mimořádné události, výluk, stavebních postupů nebo využití banalizovaných úseků pro plánovanou jízdu po protisměrné koleji. Z tohoto důvodu jsou jako nepotřebné Routes vybrány všechny, které umožňují levostranný provoz na dvoukolejných tratích. Samotná návěstidla ale modelována jsou a v případě potřeby je tak relativně snadno možné routes pro pravostranný provoz do modelu doplnit.

U námi vybraných Routes můžeme jednotlivě nastavit rychlostní omezení na zhlaví stanice a v jakých skupinách výhybek bude probíhat rozpad vlakové cesty.



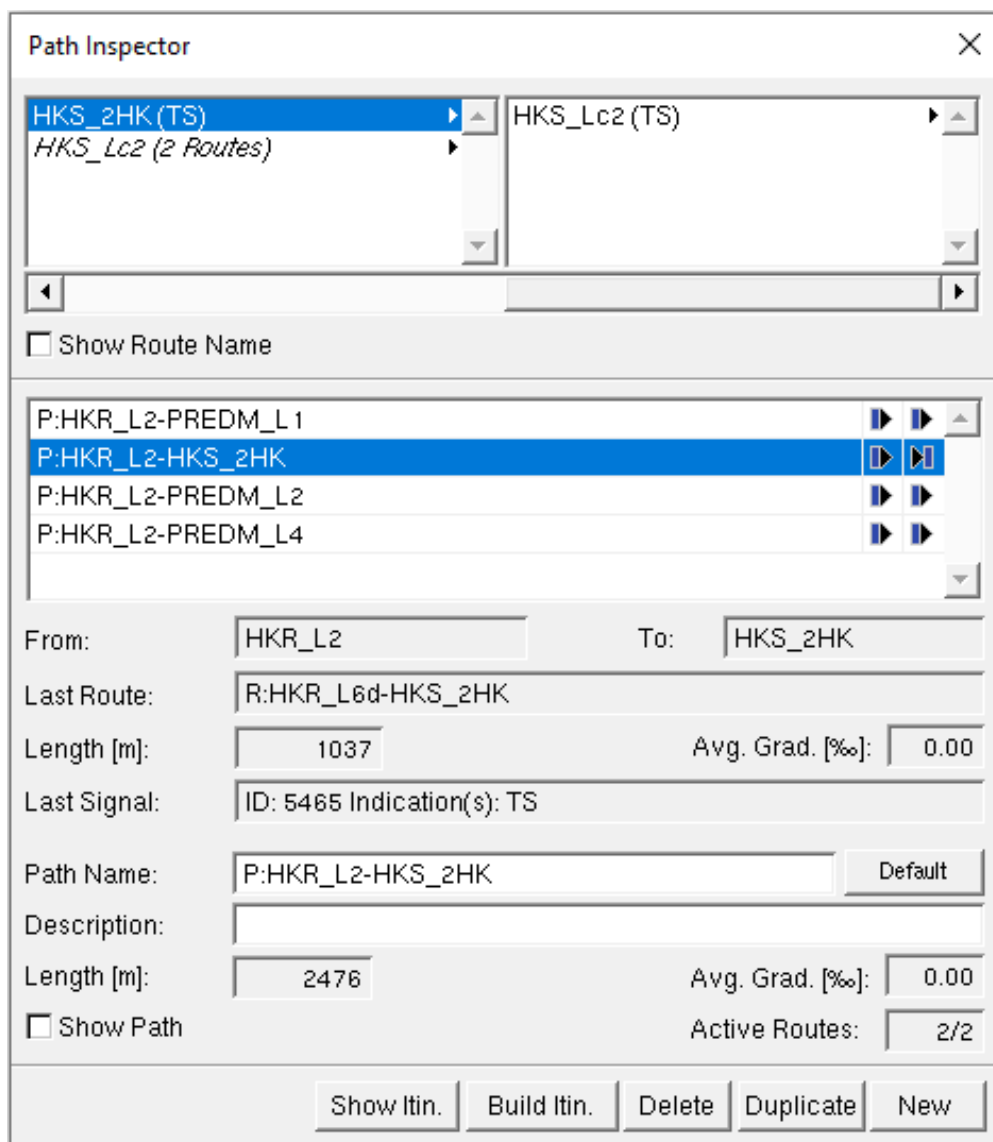
Obrázek 21: Editace návěstidla



Obrázek 22: Editace Route

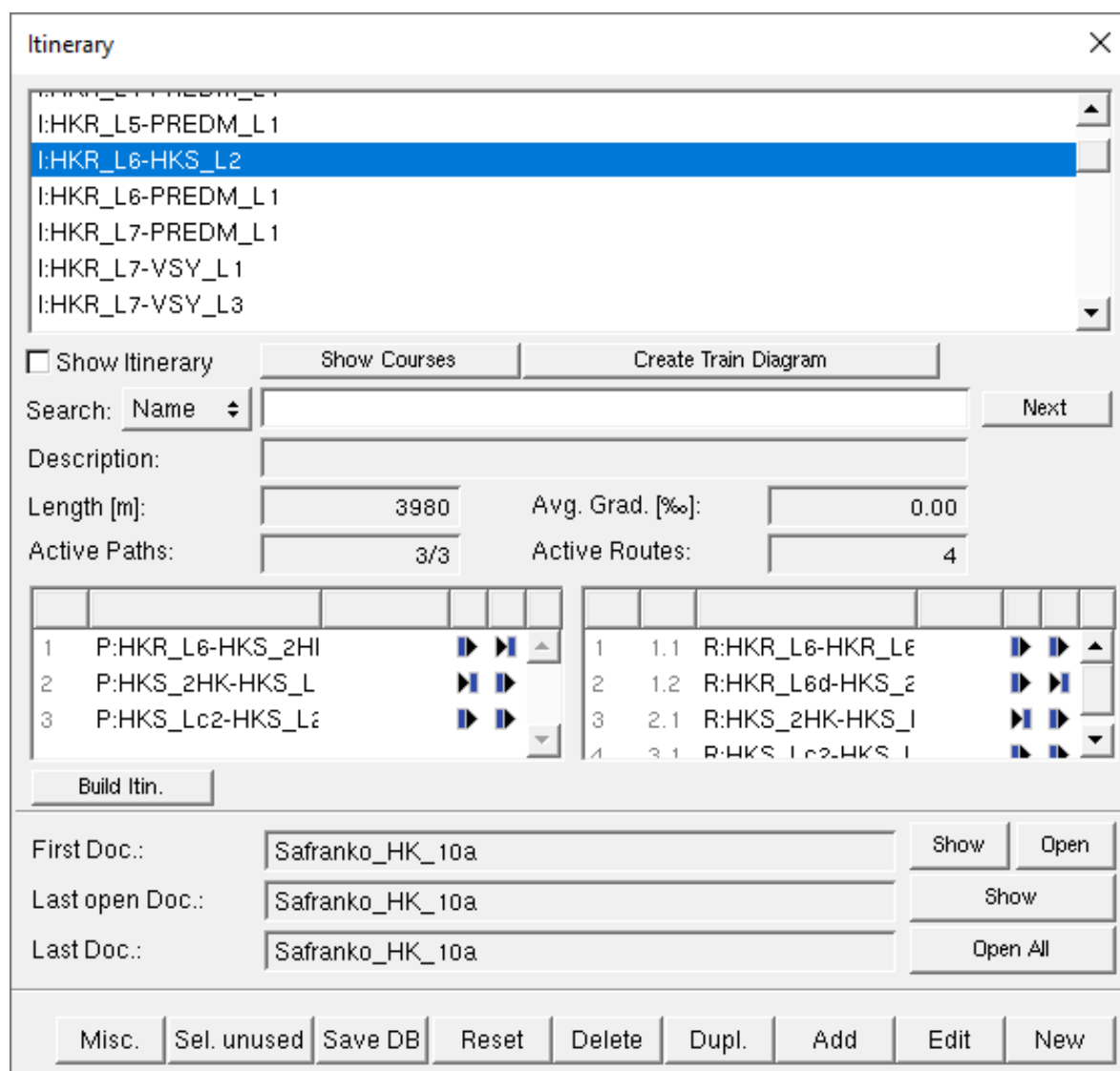
Dalším krokem při tvorbě vlakové cesty je prvek „Path“. Jedna Path se skládá z jedné nebo více Routes. Například mezistaniční úsek, který je rozdělen na jednotlivé Routes (od návěstidla automatického bloku k dalšímu návěstidlu aut. bloku), je tvořen pouze z jedné Path.





Obrázek 23: Editace Path

Posledním krokem k vytvoření vlakové cesty je prvek „Itinerary“. Itinerary tvoří jeden nebo více na sebe navazujících Paths. Pro každou plánovanou linku v simulaci bylo vytvořeno více Itineraries tak, aby při spuštění simulace mohl vlak jet podle jízdního řádu s co nejmenším zpožděním. V této simulaci se Itineraries pro jednotlivé linky liší zejména v dopravní koleji ve stanici Hradec Králové.



Obrázek 24: Editace Itinerary

### 7.3 Data o vozidlech

Data o vozidlech, aplikovaná v simulaci, se shodují s jízdními vlastnostmi skutečných vyráběných vozidel. Přehled vozidel použitých v simulaci je uveden v tabulkách 3 a 4. U spojů, v jejichž čele se nachází lokomotiva, je potřeba upravit parametry v sekci přípojné vozy. Délka a hmotnost nákladních vlaků pro kategorie Nex a Pn jsou shodné (650 m, 1 800 t). Pro osobní vlaky (Ex) sedmivozová souprava odpovídá délce 205 m, hmotnosti 385 t.

U spojů linky Ex10A dochází k dílčímu zjednodušení. V úseku modelu Hradec Králové hl.n. – Předměřice n.L. je použita elektrická lokomotiva, přestože by ve skutečném provozu byla nasazena dieslová lokomotiva. Protože se jedná o krátký úsek (3,5 minuty jízdy, max. rychlost 100 km/h), lepší výkonové parametry elektrické lokomotivy se nestačí projevit.

Přepřah lokomotiv ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží je nahrazen pobytem ve stanici, který by odpovídal délce přepřahu. Související nesimulované posunové cesty neměly na výstupy simulace vliv. Bylo-li by potřeba prověřit i tyto jevy, lze je do simulace doplnit.

Na obrázku 25 vidíme editační okno s jednotlivými parametry pro lokomotivu řady 1216 ÖBB „Taurus“.

## 7.4 Tvorba vlakových spojů

Pro každý vlakový spoj vybíráme, podle jakých Itinerary pojedou. Dále můžeme editovat typ vozidla a druh rychlostního profilu. Spoje linek provozovaných v taktu lze seskupit a jejich parametry a jízdní řád editovat společně.

**Engines**

Engine: ÖBB. 12 16 Taurus 29 / 30

Engine Name: ÖBB. 12 16 Taurus

Engine Description:

Load [t]: 87.000 Resistance Factor: 3.30

Adh. Load [t]: 87.000 Rot. mass Factor: 1.08

Length [m]: 20 Balise Telegram

Speed max. [km/h]: 230 Loop Telegram

Tractive Effort max. [kN]: 300 Radio Telegram

Rack Traction

**ZV-Diagrams** No

Diagram 2 FBS 4

**System**

- AC 10 kV 50 Hz
- AC 25 kV 50 Hz
- AC 50 kV 50 Hz
- DC 600 V

Export Import Dupl. Del. Add Diagram Color:  

Adhesion [%] bad: 80 normal: 125 good: 150

Loss Function:   Edit

Selected Point:

v [km/h]:   Z [kN]:   P [MW]:   linear

Visual Rectangle:

Speed max. [km/h]: 250 Scale

Tractive Effort max. [kN]: 330 Min. [kN]: 0 Autoscale

Del. Engine New Engine

Set Data Save Depot New Depot Open Depot

Obrázek 25: Editace Engine

**Courses / Services - Edit**

Course ID: 5214

Description: Os

Comment: RychNB

Kind:

Itinerary	Priority
I:HKR_Se301-HKR_S7-PSK_Lc2	
<input checked="" type="checkbox"/> I:HKS_Sc1-HKR_11-PSK_Lc2	1
I:HKS_Sc1-HKR_2-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S1.1	
I:HKS_Sc1-HKR_S1.2-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S1.5	
I:HKS_Sc1-HKR_S13-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S15-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S17-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S19-PSK_Lc2	
I:HKS_Sc1-HKR_S2	
I:HKS_Sc1-HKR_S4	
<input checked="" type="checkbox"/> I:HKS_Sc1-HKR_S5-PSK_Lc2	3
I:HKS_Sc1-HKR_S6	
<input checked="" type="checkbox"/> I:HKS_Sc1-HKR_S7-PSK_Lc2	2
I:OPNL_Lc2-HKR_L1	

Search

Train: 640

Speedtype: Reihe R

Route Reservation / Release: Discrete

Route Additional Reservation Time [s]: 0.0

Route Additional Release Time [s]: 0.0

Performance (on Time) [%]: 100

Performance (delayed) [%]: 100

Entry Speed [km/h]: 0

Output Offset [m]: 0

Cancel Reset Itin. OK

Obrázek 26: Editace Course

Vlakový spoj má definován svůj jízdní řád. Jak už bylo výše uvedeno, Krajský úřad Královéhradeckého kraje poskytl pro zpracování této práce výhledový stav dopravy s časovými polohami spojů ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží. Na základě zkušebních spojů byl stanoven jízdní řád pro každou vlakovou linku, která se v simulaci objevuje.

Na obrázku 27 můžeme vidět jízdní řád spoje 5214. U prvního bodu na trase HKS (zkratka: Hradec Králové-Slezské Předměstí) je uveden příjezd (to je chvíle, kdy se vlak objeví v simulované oblasti), odjezd, minimální doba pobytu (v případě zpoždění) a zatržítka, zda-li v daném bodě vlak zastavuje. Ve stanici Hradec Králové hl.n. zastavují všechny spoje osobní dopravy. Spoje nákladní dopravy ve většině případů touto stanicí projíždí, podle provozní situace mohou zastavit z dopravních důvodů nebo z technologických důvodů (střídání strojvedoucích na ose, přepřah lokomotiv).

The screenshot shows the 'Timetable' application window. At the top, there is a table with columns: Course ID, Station, Arrival, Departure, Dwell, Stop, and M. Del. The first row is highlighted in blue, showing Course ID 5214 at station HKS with an arrival of 15:18:00 and a departure of 15:19:00. Below the table are buttons for 'Add Rows', 'Ins. Rows', and 'Del. Rows', along with a 'Function' dropdown set to 'Add Stops' and a 'Dwell [s]:' field set to 60. Below this is another table with columns: Course ID, Station, Type, Min. Wait, Max. Wait, Join, and Split. At the bottom, there are several control panels: 'Show Conn. Course', 'Ins. Connection', 'Del. Connection', and 'Show all Connections'; an 'Interval' section with 'Course ID: +2' and 'Delta Time: 01:00:00'; a 'Course' section with 'Actual Course ID: 5214', 'Ref. Course ID', 'Train: 640', 'Train Speedtype: Reihe R', and 'Train Category: Os\_Panter'; and a 'Show' section with various checkboxes like 'Show Operations', 'Show Stationnames', 'Show Stops only', 'Show Track Name', 'Show Day', 'Show act. Data', 'Show Delay Colors', 'Show Use Departure Time', 'Show Delta Load', 'Show Distribution Name', and 'Show Mean Delay'. At the very bottom, there is a row of buttons: 'Delete', 'Sync.', 'Update', 'Save DB', 'Add', 'Move', 'Start', 'Sort', 'Show All', and 'Show'.

Obrázek 27: Editace Timetable, modelu jízdního řádu

Při vytváření jízdního řádu pro vlaky je potřeba uvažovat v reálném provozu omezené možnosti infrastruktury. Například v některých stanicích není možné realizovat předjíždění, reps. křižování mezi některými vlaky. [42]

Důvodem mohou být zejména:

- stanice s nedostatečnou délkou staničních kolejí (tyto koleje nemohou využít zejména dlouhé nákladní vlaky)
- stanice na dvoukolejné trati, která v jednom směru není vybavena předjízdou kolejí
- stanice s nepříznivými sklonovými poměry (zde není možné zastavení nákladních vlaků s překročeným rozjezdovým normativem)
- stanice s nástupištěm pouze u jedné koleje (zde není možné křižování vlaků osobní dopravy zastavujících pro výstup a nástup cestujících [42])

#### **7.4.1 Oběhy vozidel**

Většina vozidel, která se objevují v simulaci, projíždí celou simulovanou oblastí. Jednotlivé spoje (vozidla) se ve stanovený čas podle jízdního řádu na dané koleji, definované podle Itinerary, zobrazí a v cílové stanici oblast „opustí“. U tohoto typu spojů oběhy vozidel neřešíme.

Naopak pro vozidla spojů vlakových linek, které jsou ukončeny, resp. výchozí z žst. Hradec Králové hl.n., jsou navrženy a simulovány obraty vozidel většinou podle jednotlivých linek. Spoje linky Sp Pardubice – HK mají mezi příjezdem (L:58) a odjezdem (S:02) pouze čtyři minuty na obrat, což je při běžném provozu náchylné na nedodržování jízdního řádu. Proto je tato linka v žst. Hr. Králové hl.n. propojena s linkou Sp HK – Rychnov n. K.. Na obě uvedené linky je navrženo nasazení elektrických jednotek řady 640 ČD.

Pokud má některé vozidlo nebo souprava ve stanici Hradec Králové hl.n. na obratu pobyt více než 40 minut, je přestaveno jako posun do obvodu hradeckého depa. Odstup a přistavení vozidla se děje minimálně 10 minut po příjezdu, resp. před odjezdem spoje. Manipulace a řazení vozů v obvodu depa, které se v reálném provozu děje, není předmětem této simulace. K obvodu hradeckého depa tedy přistupujeme jako „black box“.

Takto zpracovaný model je připraven na podrobení simulacím podle jednotlivých scénářů. Vytvořené schéma simulované oblasti je uvedeno v příloze této práce.

## 8 BĚH SIMULACE

### 8.1 Typy simulačních metod

Metody pro zjišťování kapacity vybraného prvku infrastruktury (koleje, zhlaví apod.) můžeme rozdělit do tří základních kategorií: konstrukční, analytické a simulační.

#### 8.1.1 Konstrukční metody

Tento typ spočívá v sestavě nákrešného jízdního řádu pro zvolený traťový úsek nebo plánu obsazení dopravních kolejí pro stanici. Konstrukční metody prokazují realizovatelnost předpokládaného rozsahu vlakové dopravy a jízdního řádu, avšak pouze za předpokladu, že nedochází ke zpožděním. Rezervy zapracované do jízdního řádu sloužící ke snižování zpoždění jsou ovlivněny subjektivním přístupem tvůrce jízdního řádu. Pro objektivnější posouzení je třeba použít některou z dalších metod. [42]

#### 8.1.2 Analytické metody

Zjišťování kapacity s pomocí analytických metod vychází z teorie pravděpodobnosti nebo teorie hromadné obsluhy. Základním aparátem těchto metod jsou vzorce, pomocí kterých jsou vypočítány ukazatele kapacity. Oproti simulacím představují analytické metody jednodušší způsob zjišťování kapacity. [42]

#### 8.1.3 Simulační metody

Simulace spočívají v opakovaném napodobování relevantních technologických procesů a následným statistickým vyhodnocením výsledků. Pro realizaci simulačních metod je potřebný specializovaný software.

Simulační metody dále dělíme na:

- separátní simulace: obvykle modelují jedno zařízení (traťovou kolej nebo zhlaví)
- extenzivní simulace: současně modelují větší rozsah infrastruktury (např. celou stanici, uzel, trať) [42]

#### 8.1.4 Metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění

Tato metoda se opírá o výsledky ze separátní simulace. Umožňuje učinit komplexní závěry o větším celku infrastruktury (tj. podobně jako extenzivní simulace). [42]

Následující tabulka shrnuje výše uvedené metody, včetně uvedení hodnotících ukazatelů kapacity.

Tabulka 6: Základní přehled metod, včetně hodnotících ukazatelů kapacity [42]

metoda	zařízení	hodnotící ukazatele kapacity se stanovenými limitními hodnotami	ostatní hodnotící ukazatele kapacity (bez stanovených limitních hodnot)
analytická metoda	traťové koleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– stupeň obsazení (<math>S</math>)</li> <li>– propustnost (<math>n</math>)</li> <li>– využití propustnosti (<math>K</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– průměrná doba obsazení (<math>b</math>)</li> <li>– celková doba obsazení (<math>B</math>)</li> </ul>
	zhlaví		koeficient koliznosti ( $\varphi$ )
	kolejové skupiny	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pravděpodobnost plánovaného čekání (<math>P_V</math>)</li> <li>– koeficient pravděpodobnosti plánovaného čekání (<math>q_{PV}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– plánované čekání (<math>v</math>)</li> <li>– stupeň obsazení (<math>S</math>)</li> </ul>
separátní simulace	traťové koleje a zhlaví	<ul style="list-style-type: none"> <li>– čekání v provozu (<math>w</math>)</li> <li>– koeficient čekání v provozu (<math>q_w</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pravděpodobnost čekání v provozu (<math>P_w</math>)</li> <li>– další veličiny související s velikostí čekání v provozu</li> </ul>
metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění	traťové koleje a zhlaví	přírůstek zpoždění ( $\Delta d$ )	
extenzivní simulace	traťové koleje, zhlaví a kolejové skupiny	přírůstek zpoždění ( $\Delta d$ )	v závislosti na možnostech simulačního programu; např.: <ul style="list-style-type: none"> <li>– podíl dodržených přestupních vazeb</li> <li>– podíl odřeknutých vlaků</li> </ul>

## 8.2 Nastavení parametrů simulace

Podle výše uvedeného přehledu je tato práce zpracována extenzivní simulační metodou. Simulace je prováděna pro odpolední špičku pracovního dne, tj od 14:00 do 17:00. První spoje se v simulaci objevují už po 13:00 tak, aby ve sledovaném období byla celá síť simulace věrohodně zatížena. Simulace můžeme rozdělit na dva stavy: 1. bez primárních zpoždění, 2. s primárním zpožděním (vstupní zpoždění a prodloužení komerčních pobytů).

V následujících tabulkách jsou uvedeny parametry, které ovlivňují běh simulace. Nastavení parametrů je převzato z dřívějších prací s obdobným zaměřením podle podkladů SŽ.

Tabulka 7: Minimální pobyty vlaků osobní dopravy ve stanicích a zastávkách [41]

	Druh vlaku	Minimální pobyt [min]
Hradec Králové hl.n.	Ex, R	2
	Sp	1,5
	Os	1
ostatní	Sp	1
	Os	0,5

Minimální pobyty pro nákladní vlaky (Nex, Pn) nebyly stanoveny, protože se ve většině případů očekává průjezd vlaků stanicemi bez nutnosti zastavení z důvodů na straně dopravce (např. střídání strojvedoucích na ose).

Minimální doba na obrat ve stanici Hradec Králové byla nastavena na hodnotu 5 minut.

Tabulka 8: Pravděpodobnostní rozdělení primárního vstupního zpoždění vlaku [41]

Druh vlaku	Pravděpodobnost jevu	Střední hodnota [min]
Ex, R	0,50	7,0
Sp	0,45	5,0
Os	0,33	4,5
Nex, Pn	0,50	30,0

Tabulka 9: Pravděpodobnostní rozdělení primárního zpoždění – prodloužení komerčních pobytů [41]

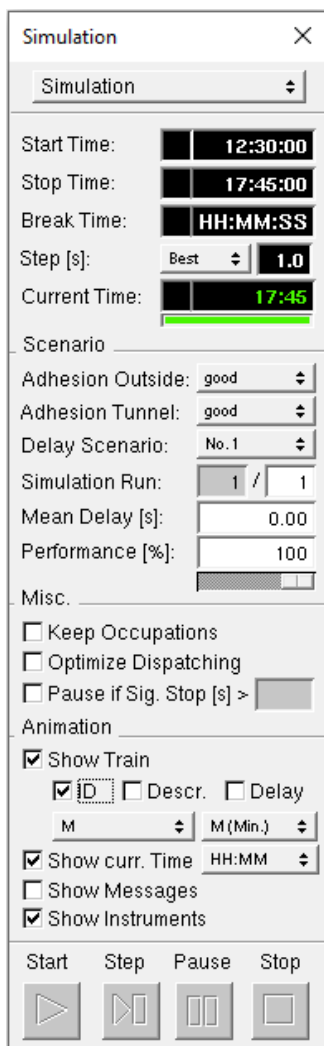
Druh vlaku	Pravděpodobnost prodloužení pobytu	Střední hodnota [min]	Maximální hodnota [min]
Ex, R	0,05	1,0	5,0
Sp, Os	0,05	0,5	5,0
Nex, Pn	0,10	5,0	8,0

Stavění vlakových cest pro jednotlivé vlaky probíhá automaticky bez zásahu zpracovatele. U vlaků, které mají pobyt ve stanici (např. kvůli nástupu a výstupu cestujících), se postavení vlakové cesty uskuteční v čase pravidelného odjezdu. V případě zpoždění spoje se vlaková cesta postaví po uplynutí minimální doby pobytu v dané stanici.

Ve sledovaném období odpolední špičky jsou vlakové spoje vedeny v taktu 1 – 2 hodiny, ale při pohledu na souhrnný jízdní řád pro jednotlivé úseky je interval mezi spoji maximálně 60 minut. Proto při návrhu modelu nebyly navrženy ve stanici Hradec Králové hl.n.



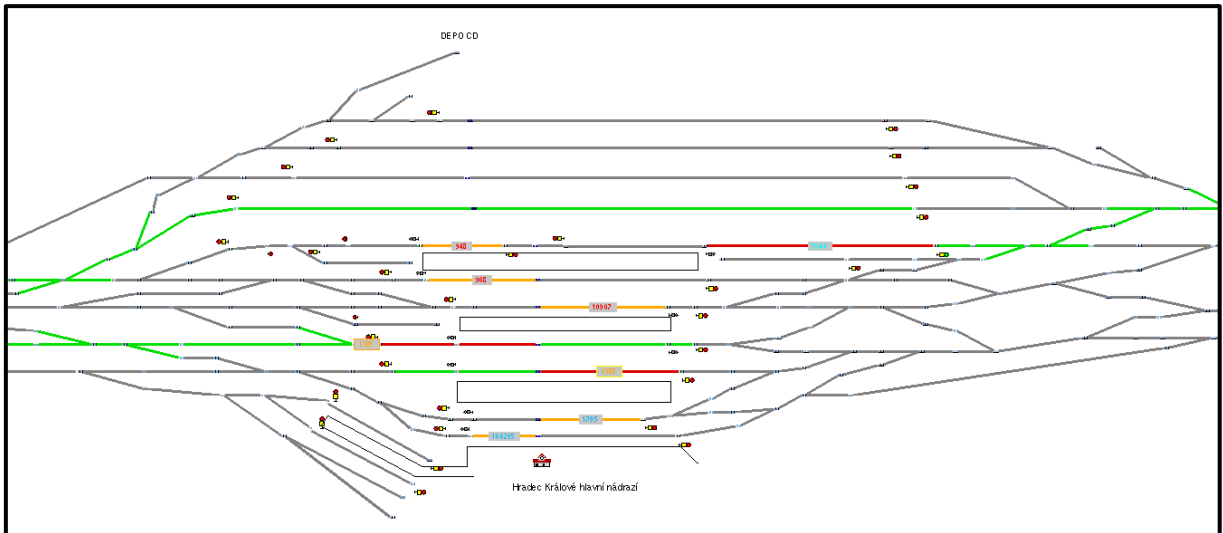
garantované přípoje mezi spoji. V případě nutnosti zajištění specifické přestupní vazby lze tento požadavek do simulace doplnit.



Obrázek 28: Editace Simulace

### 8.3 Simulace bez primárního zpoždění

Simulace bez zpoždění zachycuje ideální stav, kdy vlaky jezdí přesně podle jízdního řádu, který zpracovatel vytvořil. Přesto mohou být spoje ovlivněny tzv. sekundárním zpožděním, a to formou překročení definovaných pobytů jednotlivých vlaků v oblasti simulace jako následek konfliktů v časové a místní alokaci jednotlivých prvků infrastruktury. [41]



Obrázek 29: Ukázka průběhu simulace

Výstupem z této simulace jsou automaticky generované nákresné jízdní řády pro jednotlivé úseky nebo plánek obsazení kolejí ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží, které jsou zařazeny mezi přílohy této práce.

### 8.3.1 Vyhodnocení simulace

Dalším výstupem ze simulace bez zpoždění je propustnost jednotlivých prvků infrastruktury.

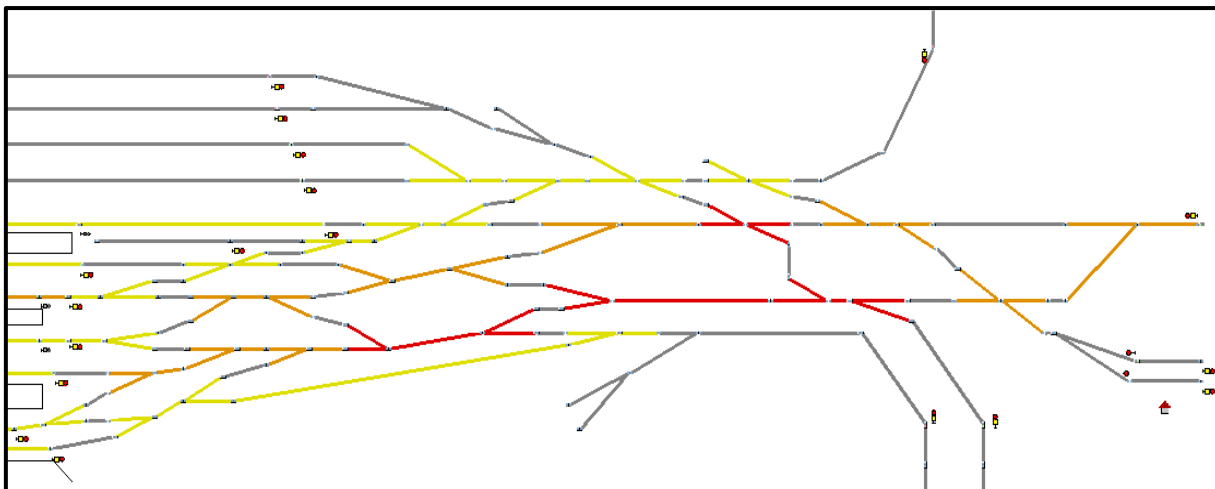
Propustnost (někdy také označena jako propustná výkonnost) je realizovaný počet jízd, tedy konkrétní hodnoty, které mají jednoznačnou vazbu na předpokládanou skladbu dopravy a její kvalitu. [42]

Železniční trať a její využití z hlediska kapacity je v reálném provozu ovlivněna těmito parametry:

- podoba infrastruktury,
- počet a funkce zaměstnanců zúčastněných na řízení provozu,
- rozsah a struktura dopravy, požadavky na časové polohy jednotlivých jízd,
- výše zpoždění (zpoždění na vstupu sledovaného zařízení a zpoždění vznikající uvnitř sledovaného zařízení),
- velikost rezerv (přirážky obsažené v jízdních dobách, rezervy v pobytech, mezery mezi jízdami). [42]

V nastavení parametrů grafických výstupů programu OpenTrack lze definovat skupiny, které se skládají z jednotlivých prvků infrastruktury (výhybky, spojovací koleje apod.).

Na základě definovaných skupin program Opentrack vygeneruje počet vlaků za dané sledované období (pro tuto simulaci od 14:00 do 17:00).

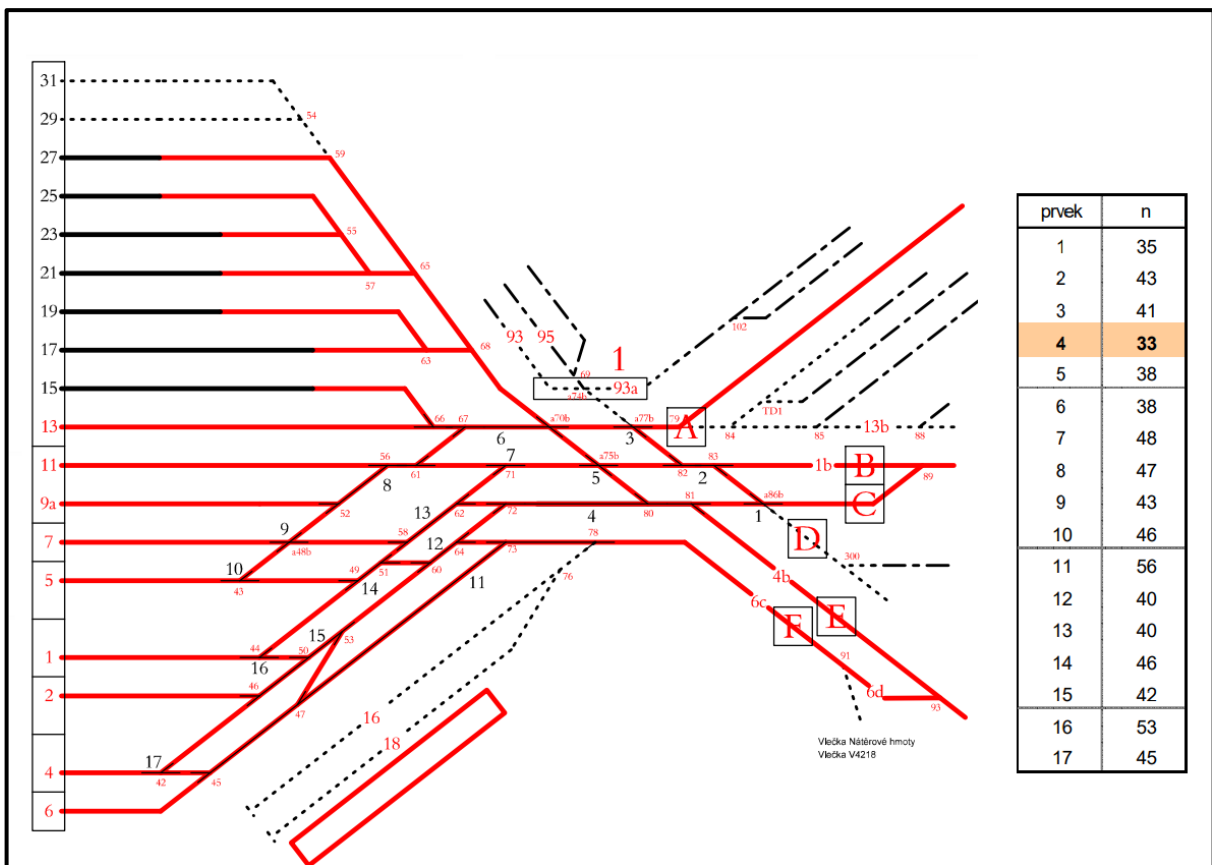


Obrázek 30: Simulace – počet vlaků ŽST Hradec Králové hl. n. – severní zhlaví

Na obrázku vidíme schéma severního zhlaví stanice Hr. Králové hl. nádraží. Slučování výhybek do skupin proběhlo podle zpracované projektové dokumentace, jak můžete vidět na obrázku 31.

Červenou barvou jsou vyznačeny úseky, kde projelo více než 24 vlaků za 120 minut, barva oranžová – více než 16 vlaků, žlutá barva – více než 8 spojů. Toto zobrazení ovšem nereflektuje doby obsazení prvků jízdou těchto vlaků.

Následující obrázek je převzatý z projektové dokumentace, která byla zpracována k rekonstrukci hradecké stanice. Při počtu 32 pravidelných vlaků za 120 minut byla výpočtem určena pro jednotlivé skupiny hodnota  $n$ .

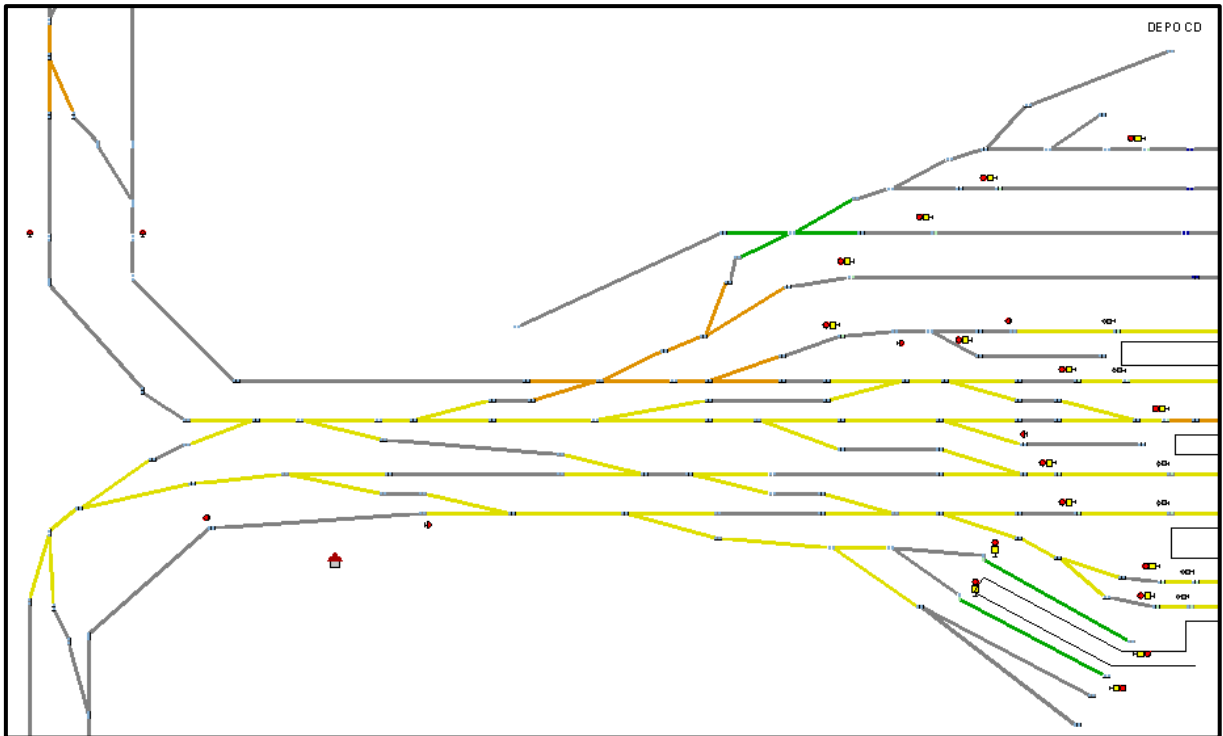


Obrázek 31: Vyprojektované zatížení ŽST Hradec Králové hl. n. – severní zhlaví [11]

Rekonstrukce stanice Hradec Králové hl. n. a zdvoukolejnění tratí Velký Osek – Hradec Králové – Choceň jsou dvě samostatné investiční akce. První uvedená akce je v pokročilejší fázi přípravy, a proto při výpočtu propustnosti severního zhlaví hradecké stanice byla trať směr Týniště n. O. a Choceň plánována jako jednokolejná (na obrázku směry pod písmeny E a F).

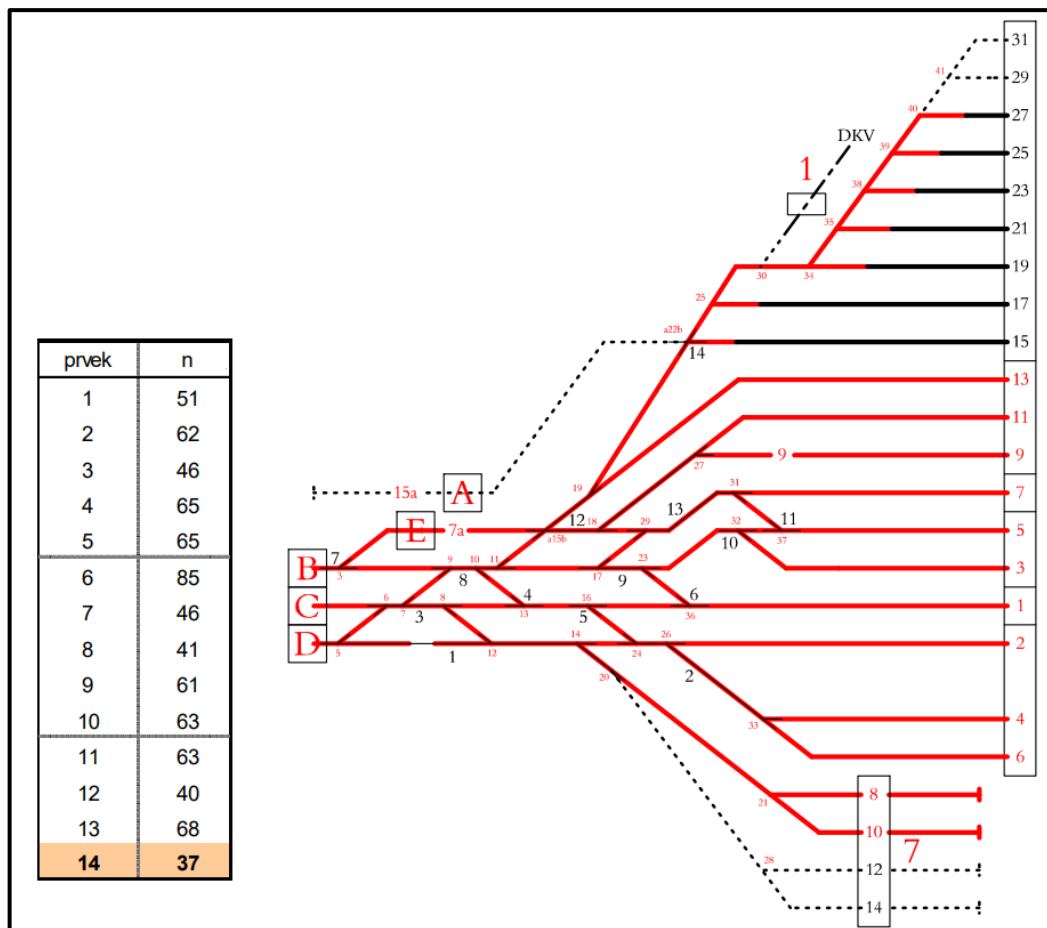
Při porovnání výše uvedených schémat můžeme konstatovat, že skupina 4 bude omezujícím prvkem při jízdě vlaků přes severní zhlaví. Vyprojektované zatížení pravděpodobně předpokládá vysokou frekvenci posunů do depa (skupina výhybek jedna). A také bylo očekáváno zastavování nákladních vlaků z důvodu křížování s ostatními vlaky (skupina výhybek šest).

Stejně jako byla vykreslena severní část kolejíště, následující schéma znázorňuje jižní zhlaví stanice Hr. Králové hl. n. Barevné označení prvků kolejíště vychází ze stejných parametrů jako u předchozího schématu ze simulace.



Obrázek 32: Simulace – počet vlaků ŽST Hradec Králové hl.n. – jižní zhlaví

Skupiny prvků infrastruktury jsou totožné jako u schématu z programu OpenTrack. Projektová dokumentace k rekonstrukci královéhradecké stanice u ukazatele propustnosti uvádí 36 pravidelných vlaků za dvě hodiny. Rekonstrukce stanice Hr. Králové hl. n. je jednou z etap celkové rekonstrukce trati mezi městy Hradec Králové a Pardubice. Proto vyprojektované zatížení jižního zhlaví počítá s dvoukolejným provozem (ve schématu směry pod písmeny C a D).



Obrázek 33: Vyprojektované zatížení ŽST Hr. Králové hl.n. – jižní zhlaví [11]

Projektová dokumentace označuje jako omezující prvek skupinu výhybek číslo čtrnáct. Jedná se o výhybky k nákladním kolejím a do DKV. Dokumentace pravděpodobně předpokládá, že téměř všechny vlaky nákladní dopravy budou zastavovat ve stanici Hradec Králové hl. n. nebo s častým posunem do DKV.

Zatížení prvků infrastruktury na jižním zhlaví jak v simulaci, tak i z projektové dokumentace si navzájem odpovídají. Nejvíce omezujícími prvky infrastruktury jsou skupiny 14 a 12.

## 8.4 Simulace s primárním zpožděním

Ve druhé fázi je vyladěný model ze simulace bez primárního zpoždění podroben vlivu nepravidelností – zatížen primárním zpožděním na vstupu vlaků a prodloužení pobytů. Cílem je zjistit, jak je daný návrh stabilní / robustní. Stabilitou provozu se rozumí odolnost systému proti vlivům zpoždění, tj. schopnost systému časově a místně omezovat nebo odbourávat zpoždění vlaků, vznikající v důsledku interakce s jinými, primárním zpožděním ovlivněnými vlaky. [41]

Pro toto porovnání platí vztah: [41]

$$t_{výstup} \leq t_{vstup}$$

kde:

$t_{vstup}$  je vstupní zpoždění vlaku na vstupu do simulované oblasti

$t_{výstup}$  je výstupní zpoždění vlaku při výstupu ze simulované oblasti

Příklady sekundárního (nebo také následného) zpoždění, které současně představují čekání v provozu:

- prodloužení pobytu při křižování
- prodloužení pobytu (popř. jízdních dob) při předjíždění
- zastavení vlaku u vjezdového návěstidla, protože vhodná staniční kolej je obsazena jiným, zpožděným vlakem (popř. i jen prodloužení jízdní doby z důvodu minutí předvěsti s návěstí výstraha)
- jízda vedlejším směrem, protože hlavní kolej, plánovaná jízdním řádem, je obsazena jiným vlakem [42]

Při tvorbě vlakových spojů bylo vybráno pro každý spoj více vlakových cest (Itineraries), aby v případě zpoždění mohl spoj využít jinou staniční kolej, než kterou používá v simulaci bez primárního zpoždění.

Program OpenTrack má připravený několik desítek sad náhodných čísel, které přiřazuje jednotlivým jevům jako náhodná zpoždění podle výše uvedených parametrů v tzv. scénářích. Při podrobné kontrole konfliktů, které se v průběhu simulace objeví, může uživatel provést opatření ke snížení zpoždění. Při použití stejného scénáře lze provést simulaci znovu se stejnými realizovanými primárními zpožděními a ověřit si, zda-li navržené opatření bylo správné. Vytvořený model oblasti, která zahrnuje stanici Hradec Králové hlavní nádraží a okolní tratě, byl podroben opakované simulaci podle 35 různých scénářů.

#### **8.4.1 Vyhodnocení simulace – metodika**

Výstupem z opakované simulace podle 35 scénářů je textový soubor. V průběhu simulace, kdy vlak odjel nebo přijel z / do dopravny, vytvořil program záznam do tohoto textového souboru. Podle struktury záznamů můžeme tento soubor nazvat jako dopravní deník sledované oblasti. Celkový počet řádků přesahuje číslo 22 tisíc. Z těchto dat jsou pro každý spoj vybrány hodnoty vstupního a výstupního zpoždění.

Vstupní zpoždění  $d_{IN}$  je zpoždění, kterým je vlak zatížen:

- ve své výchozí stanici (pokud tato stanice leží v simulované oblasti)
- v místě, kde vlak vstupuje do simulované oblasti. [42]

Výstupní zpoždění  $d_{OUT}$  je zpoždění, kterým je vlak zatížen:

- ve své cílové stanici (pokud tato stanice leží v simulované oblasti)
- v místě, kde vlak vystupuje ze simulované oblasti. [42]

Přírůstek zpoždění  $\Delta d$  je rozdíl mezi výstupním a vstupním zpožděním, to znamená:

$$\Delta d = d_{OUT} - d_{IN} [s]$$

kde:

$d_{OUT}$  je výstupní zpoždění

$d_{IN}$  je vstupní zpoždění

Přírůstek zpoždění může nabývat nejen kladných hodnot, ale i záporných, popř. nulové hodnoty. [42]

Přírůstek zpoždění byl uspořádán do tabulek. Pro každou linku a směr je uvedena četnost hodnot pro daný interval zpoždění. Počet spojů u linek v jednotlivých směrech není stejný, protože sledované období trvalo 3 hodiny a některé spoje linky, které mají interval 2 hodiny, se objevily pouze jednou. Suma za jednotlivý směr je násobkem čísla 35, tj. počet námi opakovaných simulací.

Na posun souprav v rámci stanice Hradec Králové je z pohledu simulace proveden jako vlak se svým jízdním řádem. Při zpracování výstupních dat nebyly tyto spoje zohledněny. Vlakové spoje, které se vstoupí do simulované oblasti před 14:00, nejsou do výstupních statistik zahrnuty.

#### **8.4.2 Vyhodnocení simulace – osobní doprava**

Většina spojů dálkové dopravy svoje zpoždění ve sledované oblasti snížila, v opačném případě se jednalo o zvýšení zpoždění kolem 60 sekund.



Tabulka 10: Přehled četnosti hodnot zpoždění – dálková doprava

Zkratka	Směr	Interval [s]												Počet spojů
		≤-120	(-120;-90>	(-90;-60>	(-60;-30>	(-30;0>	(0;30>	(30;60>	(60;90>	(90;120>	(120;150>	(150;180>	≥180	
Ex 10A	Svoboda n.Ú. - Praha	14	8	0	1	36	0	3	1	1	0	2	4	70
Ex 10A	Praha - Svoboda n.Ú.	4	13	13	7	17	5	1	3	3	0	1	3	70
Ex 10B	HK - Praha	0	0	0	0	30	0	1	0	2	1	1	0	35
Ex 10B	Praha - HK	1	2	0	0	7	2	40	3	1	0	0	14	70
R 10	HK - Praha	0	0	0	0	107	8	4	4	6	2	0	9	140
R 10	Praha - HK	6	0	0	0	10	49	50	20	1	3	0	1	140
R 14A	Liberec - Pardubice	11	4	2	0	18	0	0	0	0	0	0	0	35
R 14A	Pardubice - Liberec	13	0	0	3	13	16	7	6	4	4	0	4	70

Pozornost si zasluhují spoje, které byly schopné snížit zpoždění o více než 120 sekund. Při pohledu na Obrázek 13 zjistíme, že tyto linky mají pobyt ve stanici Hradec Králové hl. n. delší než minimální (viz Tabulka 7), a proto jsou schopné takto výrazně zkrátit zpoždění. Například linka R 14A má pravidelný pobyt 300 sekund a minimální pobyt činí 120 sekund. Proto spoje této linky mohly zkrátit zpoždění o více než 120 sekund.

Tabulka 11: Přehled četnosti hodnot zpoždění – regionální doprava na trati č. 031

Zkratka	Směr	Interval [s]												Počet spojů
		≤-120	(-120;-90>	(-90;-60>	(-60;-30>	(-30;0>	(0;30>	(30;60>	(60;90>	(90;120>	(120;150>	(150;180>	≥180	
Sp	Svoboda n.Ú. - Pardubice	14	3	2	0	49	2	0	0	0	0	0	0	70
Sp	Pardubice - Svoboda n.Ú.	16	7	2	2	15	20	3	2	1	0	1	1	70
Sp	Náchod - HK	1	0	0	0	9	4	15	1	1	0	0	4	35
Sp	HK - Náchod	2	0	0	1	19	42	28	4	2	1	1	5	105
L3	Liberec - Pardubice	19	6	3	2	18	17	0	1	1	1	0	2	70
L3	Pardubice - Liberec	10	2	1	1	9	8	0	0	3	1	0	0	35
Sp	HK - Pardubice	0	0	0	51	3	3	0	2	1	2	1	7	70
Sp	Pardubice - HK	0	2	0	1	63	0	0	1	1	0	0	2	70
Os	Jaroměř - Pardubice	0	0	17	8	66	5	2	0	3	2	2	0	105
Os	Pardubice - Jaroměř	4	0	1	10	46	10	8	10	7	2	2	5	105
Os	HK - Pardubice	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	140
Os	Pardubice - Smiřice	23	4	0	2	15	40	3	6	1	0	3	8	105

Většina spojů regionální dopravy, stejně jako u dálkové dopravy, svoje zpoždění nenavyšovala, ale spíše ho snížila. Spoje linek, které projíždějí stanicí Hr. Králové hl.n., své zpoždění snižovaly více než linky, které jsou výchozí z žst. Hradec Králové hl. nádraží. Můžeme si také všimnout, že linka Os Jaroměř – Pardubice svoje zpoždění významně nezkrátila. To je pravděpodobně způsobené mimo jiné délkou pobytu ve stanici Hradec Králové hl.n., která činí dvě minuty, což je v porovnání s ostatními linkami nízké číslo.

Tabulka 12: Přehled četnosti hodnot zpoždění – regionální doprava

Zkratka	Směr	Interval [s]												Počet spojů
		≤-120	(-120;-90>	(-90;-60>	(-60;-30>	(-30;0>	(0;30>	(30;60>	(60;90>	(90;120>	(120;150>	(150;180>	≥180	
Sp	Rychnov n.K. - HK	0	0	0	34	23	2	28	7	3	2	0	6	105
Sp	HK - Rychnov n.K.	0	0	10	47	43	3	1	1	0	0	0	0	105
Sp	Letohrad - HK	1	0	0	10	59	3	11	4	0	1	2	14	105
Sp	HK - Letohrad	0	0	26	47	29	1	0	0	1	1	0	0	105
Os	Rychnov n.K. - N.Bydžov	67	1	2	1	26	0	2	0	1	5	0	0	105
Os	N. Bydžov - Rychnov n.K.	86	0	12	0	7	0	0	0	0	0	0	0	105
Os	Jičín - HK	0	0	0	38	100	1	1	0	0	0	0	0	140
Os	HK Jičín	1	0	0	0	138	0	0	0	0	0	0	1	140
Sp	Turnov - HK	0	0	0	41	59	3	0	1	0	0	0	1	105
Sp	HK - Turnov	0	0	0	93	3	1	3	3	1	1	0	0	105

Vlaky spěšných linek z HK směr Rychnov n. K. a Letohrad se v simulované oblasti nacházejí krátce v porovnání s ostatními linkami, proto své zpoždění zkrátily maximálně o 60 sekund. Cestovní doba mezi stanicemi Hr. Králové hl.n. a Hradec Králové-Sl. Předměstí činí pouze 4 minuty. Naopak linka Os Rychnov n.K. – Nový Bydžov projíždí napříč celou simulovanou oblastí, cestovní doba je 21 minut, z toho 8 minut pobyt ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží. Proto se většině spojů této linky dařilo zkrátit zpoždění v obou směrech.

Linky Os HK – Jičín a Sp HK – Turnov mají v žst. Hradec Králové tzv. ostrý obrat. Doba mezi příjezdem a odjezdem soupravy činí 6 minut a pevně stanovená doba obratu vozidla činí 5 minut. Proto se jednotlivým spojům těchto linek podařilo zkrátit zpoždění maximálně o šedesát sekund.

### 8.4.3 Vyhodnocení simulace – nákladní doprava

Spoje nákladní dopravy a jejich zpoždění je více rozptýleno do intervalu v porovnání s osobní dopravou. Podle jízdního řádu měly některé spoje v žst. Hradec Králové hl.n. zastavení z dopravních důvodů kvůli čekání na volnou vlakovou cestu. Proto významná část spojů zkrátila své zpoždění, resp. jela s náskokem, což se v reálném provozu na síti SŽ děje.

Poznámka k tabulce: Označení výchozí a cílové stanice u nákladních linek Nex bylo zvoleno na základě dopravní významnosti uzlů v území České republiky v blízkosti tratí č. 020 a 021. Linka Pn Most – Opatovice n. L. představuje zásobování tepelné elektrárny uhlím z mostecké uhelné pánve.

Tabulka 13: Přehled četnosti hodnot zpoždění - nákladní doprava

Zkratka	Směr	Interval [s]												Počet spojů
		≤-120	(-120;-90>	(-90;-60>	(-60;-30>	(-30;0>	(0;30>	(30;60>	(60;90>	(90;120>	(120;150>	(150;180>	≥180	
Nex	Nymburk - Č. Třebová	54	20	32	3	11	5	2	4	1	3	1	4	140
Nex	Č. Třebová - Nymburk	1	0	7	3	48	4	32	1	1	4	0	4	105
Nex	Nymburk - Č. Třebová	78	26	12	5	21	2	2	3	2	3	3	18	175
Nex	Č. Třebová - Nymburk	91	7	2	4	4	58	3	2	1	1	0	2	175
Nex	Nymburk - Č. Třebová	13	5	66	20	19	4	5	26	7	1	1	8	175
Nex	Č. Třebová - Nymburk	0	0	3	12	21	22	4	2	3	0	2	1	70
Pn	Most - Opatovice n.L.	4	0	0	0	65	0	0	0	1	0	0	0	70
Pn	Opatovice n.L. - Most	0	0	0	50	15	0	0	3	1	0	0	1	70

Dále je potřeba upozornit, že nákladní doprava má střední hodnotu vstupního zpoždění významně vyšší než spoje osobní dopravy.

## 9 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

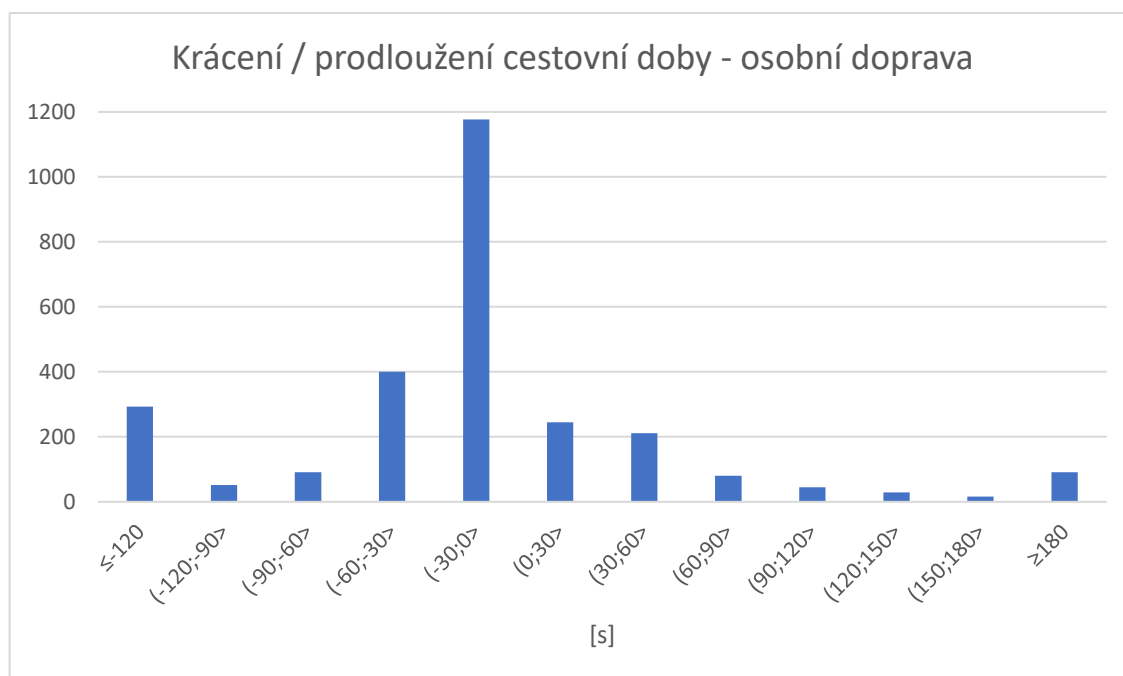
V programu OpenTrack bylo vytvořeno celkem 130 spojů, z toho 99 spojů osobní dopravy, 28 spojů nákladní dopravy, 3 spoje soupravového vlaku, a dále 14 posunů v rámci obvodu stanice Hradec Králové hlavní nádraží. Ve sledovaném období odpolední špičky bylo analyzováno 78 spojů osobní dopravy a 23 spojů nákladní dopravy.

### 9.1 Simulace bez zpoždění

Na základě požadavků od objednatele (krajského úřadu) se podařilo sestavit jízdní řád pro všechny vlaky osobní dopravy. Do vhodných časových slotů mezi osobní vlaky byly vloženy trasy nákladních vlaků. Počet nákladních vlaků, vložených do simulace, je odvozen ze studie proveditelnosti VoChoc. Na základě opakované simulace bez primárního zpoždění se podařilo vyladit časovou polohu pro každou linku tak, aby spoj dané linky svojí jízdou neblokoval ostatní spoje (nevytvářel tzv. sekundární zpoždění).

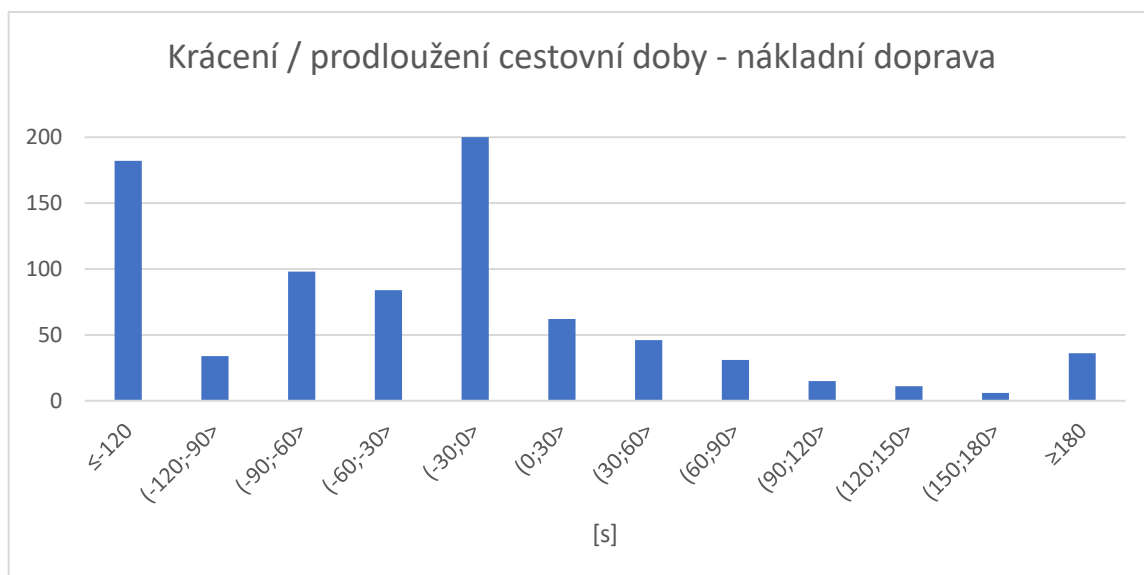
### 9.2 Simulace s primárním zpožděním

Vyladěný model ze simulace bez primárního zpoždění byl opakovaně zatížen primárním zpožděním na vstupu vlaků do simulované oblasti a prodloužení pobytů podle 35 různých scénářů.



Obrázek 34: Graf četnosti změny cestovní doby při primárním zpoždění – osobní doprava

Spoje linky Os Hradec Králové – Jičín a Sp Hradec Králové – Turnov: doba mezi příjezdem a odjezdem činí 6 minut. Doba obratu vozidla je nastavena na hodnotu 5 minut, takže v případě zpoždění spoje na příjezdu se většina zpoždění projeví i na odjezdu.



Obrázek 35: Graf četnosti změny cestovní doby při primárním zpoždění – nákladní doprava

Z celkového počtu spojů 3 535 se podařilo téměř 75 % spojů snížit svoje zpoždění. Podle následující tabulky můžeme konstatovat, že simulovaná oblast za daných vstupních podmínek odbourává zpoždění.

Tabulka 14: Vyhodnocení kvality provozu v závislosti na vztahu vstupního a výstupního zpoždění [41]

Úroveň kvality provozu	Suma zpoždění / změna zpoždění	Zpoždění (poměr vstup/výstup)
Výborná (A)	Suma výstupních zpoždění se oproti sumě vstupních zpoždění znatelně snižuje	Jednoznačně klesá (< 1)
Ekonomicky optimální (B)	Suma výstupních zpoždění je akceptovatelná. Celková suma zpoždění zůstává přibližně stejná	Beze změny (≈ 1)
Potenciálně riziková (C)	Suma vyvolaných zpoždění narůstá. Pokud existují časové rezervy, nedostačují. Suma zpoždění mezi vstupem a výstupem evidentně roste.	Mírný růst
Nedostatečná (D)	Suma zpoždění výrazně a silně roste.	Jednoznačně stoupá

Podobné uspořádání stanice Hradec Králové hlavní nádraží z hlediska kolejí a nástupišť najdeme ve stanici Kolín, případně Lysá nad Labem. U všech hlavních dopravních kolejí se nachází nástupiště, takže v čase taktového uzlu jsou obsazeny všechny hlavní dopravní koleje nebo v případě delšího obratu více souprav najednou je nutný posun na manipulační koleje, aby byl umožněn průjezd nezastavujícího osobního nebo nákladního vlaku.

Při postupném zvyšování objemu nákladu přepraveného po železnici se stanice Hradec Králové hl.n. v navržené konfiguraci může stát úzkým hrdlem celé trasy z Velkého Oseka až do Chocně.

V průběhu simulace bylo potvrzeno správné rozhodnutí při vytváření kolejiště modelu - rozdělit kolej č. 11 ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží návěstidly na dvě části (11; 11a). Díky tomu mohly u jedné nástupní hrany stát dva vlaky. V takový uzel X:00 tyto koleje využívaly spoje linky Os Hradec Králové – Jičín a spoje linky R10. V uzlu X:30 na koleje číslo 11 a 11a přijížděly spoje linky Os Rychnov n.K. – Nový Bydžov a spoje linky Sp Hradec Králové – Turnov.

## 10 ZÁVĚR

Současný stav železniční infrastruktury v okolí Hradec Králové neumožňuje významné zvýšení objemu přepravy v osobní i nákladní dopravě.

Navrhovaný koncept provozu osobní a nákladní dopravy počítá s modernizací stanice Hradec Králové hlavní nádraží a zdvoukolejnění železničních tratí Opatovice nad Labem – Hradec Králové a Velký Osek – Hradec Králové – Choceň, jejichž realizace je v této době v různých fázích projektové přípravy. V osobní dopravě se počítá se zavedením nové expresní linky Ex 10, která spojí města Hradec Králové a Prahu bez zastavení. V regionální dopravě bude posíleno spojení severní části Královéhradeckého kraje s krajským městem.

V programu OpenTrack byl vytvořen model stanice Hradec Králové hl.n. a přilehlých traťových úseků. Tento model zohledňuje parametry plánovaných investic do železniční infrastruktury. Vytvořený model byl ověřen simulací pro období odpolední špičky ve dvou variantách: simulace bez primárního zpoždění a simulace s primárním zpožděním. První uvedená varianta počítá s jízdou vlaků přesně podle jízdního řádu bez zpoždění na vstupu do simulované oblasti.

Varianta simulace s primárním zpožděním byla opakována podle 35 scénářů, přičemž jednotlivé scénáře přiřadily každému spoji náhodné zpoždění. Na základě průběhu simulace byla pro každý spoj vypočítána změna zpoždění ve sledované oblasti. Změna zpoždění byla vypočítána jako rozdíl výstupního zpoždění daného spoje a zpoždění spoje na vstupu do oblasti. Značná část spojů své zpoždění v průběhu jízdy simulovanou oblastí snížila. K tomu také přispěly relativně dlouhé pobyty ve stanici Hradec Králové hlavní nádraží, které byly v případě zpoždění kráceny na minimum.

Pro snadnější průjezd vlaků nákladní dopravy stanicí Hradec Králové hlavní nádraží doporučuji zřízení hlavní dopravní koleje bez nástupiště. V časech taktových uzlů jsou obsazeny všechny hlavní dopravní koleje a nákladní vlak musí projíždět sníženou rychlostí stanicí po předjízdových kolejkách s konflikty na obou zhlavích.

Simulace neprokázala nedostatečnost navržené infrastruktury při navýšeném rozsahu osobní dopravy, ale tím nevyklučuje výše uvedené při dalším uvažovaném zatížení nákladní dopravou.

## POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Srovnání krajů v České republice, Územní srovnání. Český statistický úřad [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/27-uzemni-srovnani-w73robk3mx>
- [2] Šafranko, Vojtěch. Návrh koncepce osobní dopravy na železniční trati Hradec Králové – Častolovice. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu. Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Michl.
- [3] Mapy.cz, výřez. Upraveno. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [4] Elektrobuses SOR NS 12 electric v Hradci Králové. *Dopravní podnik města Hradce Králové [online]*. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/177/Elektrobuses\\_SOR\\_NS\\_12\\_electric\\_v\\_Hradci\\_Kralove/](https://www.dpmhk.cz/177/Elektrobuses_SOR_NS_12_electric_v_Hradci_Kralove/)
- [5] Slavnostní předání nových parciálních trolejbusů dopravnímu podniku. *Dopravní podnik města Hradce Králové [online]*. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/articles/year/2018/339/Slavnostni\\_predani\\_novych\\_parcialnich\\_trolejbusu\\_dopravnimu\\_podniku/](https://www.dpmhk.cz/articles/year/2018/339/Slavnostni_predani_novych_parcialnich_trolejbusu_dopravnimu_podniku/)
- [6] Portál provozování dráhy SŽ – Mapy pro širokou veřejnost. *Provoz.spravazeleznic.cz* [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z:
- [7] Výpravní budova železniční stanice Hradec Králové hlavní nádraží. *Památkový katalog [online]*. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/vypravni-budova-zeleznicni-stanice-hlavni-nadrazi-12605366>
- [8] Oprava budovy hradeckého nádraží pokračuje druhou etapou. *Hradec Králové [online]*. [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://www.hradeckralove.org/oprava-budovy-hradeckeho-hlavniho-nadrazi-pokracuje-druhou-etapou/d-65132>
- [9] Nádraží v Hradci Králové. *STAVBY STOLETÍ [online]*. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://www.stavbystoleti.cz/hlasov%C3%A1n%C3%AD/stavba?i=1583>  
<https://provoz.spravazeleznic.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=594598>
- [10] Správa železnic. *Staniční řád žel. stanice Hradec Králové hl.n.* Správa železnic [interní dokument]. 2022.



- [11] Veřejná zakázka: Modernizace trati Hradec Králové – Pardubice – Chrudim, 2. stavba, zdvoukolejnění Opatovice nad Labem – Hradec Králové, 1. etapa, ŽST Hradec Králové. *Přehled – EZAK Správa železnic [online]*. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: [https://zakazky.spravazeleznice.cz/contract\\_display\\_4592.html](https://zakazky.spravazeleznice.cz/contract_display_4592.html)
- [12] GAŠPAŘÍK, J., J. Kolář. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafiky a dalších 100 zajímavostí*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- [13] Správa železnic. *Plánky stanic na síti Správy železnic*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [14] NAVRÁTIL, M. Okolo Hradce Králové přes Chlumecko a Lysou na Prahu. *Železničář [online]*. 2013. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/historie/okolo-hradce-kralove-pres-chlumecko-a-lysou-na-prahu/-/3493/24,0,./>
- [15] Jízdní řády (platné od 12.12.2021). *Správa železnic [online]*. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/cestujici/jizdni-rad>
- [16] Dražní osobní dopravu v kraji v dalších deseti letech zajistí České dráhy. *Dopravakhk.cz [online]*. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.dopravakhk.cz/clanky-drazni-osobni-dopravu-v-kraji-v-dalsich-deseti-letech-zajisti-ceske-drahy.html>
- [17] České dráhy, a.s. – Smlouva o veřejných službách v přepravě cestujících veřejnou drážní osobní dopravou k zajištění dopravní obslužnosti vlaky celostátní dopravy na lince R10 Praha – Hradec Králové – Trutnov. *Registr smluv [online]*. Ministerstvo vnitra ČR [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/18297079>
- [18] Ministerstvo dopravy – smlouva o veřejných službách v přepravě cestujících. *Registr smluv [online]*. Ministerstvo vnitra ČR [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/16069903>
- [19] DRDLA, P. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu*. Druhé upravené vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-189-6.
- [20] Koncepce nákladní dopravy pro období 2017 – 2023 s výhledem do roku 2030. *Ministerstvo dopravy České republiky*. Praha, 2017.
- [21] Studie proveditelnosti trati Velký osek – Hradec Králové – Choceň, A4 – Přepravní prognóza. *Správa železnic [online]*. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z:

- [https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract\\_display\\_10698.html](https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract_display_10698.html)
- [22] Veřejná zakázka: Modernizace trati Hradec Králové – Pardubice – Chrudim, 2. stavba, zdvoukolejnění Opatovice nad Labem – Hradec Králové, 2. etapa Opatovice nad Labem – Hradec Králové (mimo). *Přehled – EZAK Správa železnic [online]*. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z:  
[https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract\\_display\\_10698.html](https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract_display_10698.html)
- [23] OpenStreetMap. *OpenStreetMap [online]*. Dostupné z:  
<https://www.openstreetmap.org/>
- [24] Správa železnic. *Nákresný přehled železničního svršku trati Hradec Králové hlavní nádraží – Jaroměř*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [25] Správa železnic. *Nákresný přehled železničního svršku trati Choceň – Velký Osek*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [26] Správa železnic. *Nákresný přehled železničního svršku trati Hradec Králové hlavní nádraží – Turnov*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [27] Správa železnic. *Nákresný přehled železničního svršku trati Pardubice hlavní nádraží – Hradec Králové hlavní nádraží*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [28] Správa železnic. *Nákresný přehled železničního svršku trati Opatovice nad Labem-Pohřebačka – Plačice odbočka*. Správa železnic [interní dokument]. 2022.
- [29] Veřejná zakázka: Elektrizace trati Týniště n.O. – Častolovice – Solnice. *Přehled – EZAK Správa železnic [online]*. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z:  
[https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract\\_display\\_5565.html](https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract_display_5565.html)
- [30] SŮRA, J. Pro Cedop vyhrál zakázku na studii pro rychlejší vlaky v Královéhradeckém kraji. *Zdopravy.cz [online]*. 2018 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z:  
<https://zdopravy.cz/pro-cedop-vyhral-zakazku-na-studii-pro-rychlejsi-vlaky-v-kralovehradeckem-kraji-16237/>
- [31] Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu na české železniční síti. *Ministerstvo dopavy ČR [online]*. 2017-01-20 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z:  
<https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Koncepce-prechodu-na-jednotnou-napajeci-soustavu-n>

- [32] Veřejná zakázka: Studie proveditelnosti změny trakce z DC 3 kV na AC 25 kV, 50 Hz v oblasti „Nymbursko, Královéhradecko a Pardubicko“. *Přehled – EZAK Správa železnic [online]*. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: [https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract\\_display\\_6374.html](https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract_display_6374.html)
- [33] Plán dopravní obslužnosti Prdubického kraj na období 2021 – 2026. *Pardubický kraj [online]*. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.pardubickykraj.cz/dopravni-obslužnost/87491/plan-dopravni-obslužnosti-pardubickeho-kraje>
- [34] Oddělení dopravní obslužnosti krajského úřadu Královéhradeckého kraje. *Výhledový stav objednávky železniční osobní dopravy*. [interní dokument]. 2022.
- [35] VRT Východní Čechy. *Správa železnic [online]*. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/vrt/vychodni-cechy>
- [36] CHÝLA, K. *Desira schválena pro pravidlený provoz v ČR*. Želpage [online]. 2005 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/zpravy/1009?lang=cs>
- [37] HOLEK, J. *Do provozu vyjel první dualizovaný RegioPanter*. Železničář [online]. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/zpravodajstvi/do-provozu-vyjel-prvni-dualizovany-regiopanter/-28516/>
- [38] HOLEK, J. *ČD chtějí pořídit další Taurusy*. Železničář [online]. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/provoz-a-technika/cd-chteji-poridit-dalsi-aurusy/-28306/>
- [39] Správa železnic. *Statistika o počtu vlaků na síti Správy železnic*. Správa železnic [interní informační systém]. 2022.
- [40] Hasen, I., J. Pachel. *Railway timetable & traffic*. 1.edition. Hamburk: Eurailpress, 2008. ISBN 978-3-7771-0371-6.
- [41] Studie proveditelnosti železničního uzlu Brno, B2 – Dopravně-technologické řešení železniční dopravy. *Europoint Brno, Projekt přestavby železničního uzlu Brno*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://europointbrno.cz/ke-stazeni/>
- [42] Správa železnic. *Směrnice SŽDC č. 104 – Provozní intervaly a následná mezidobí*. Správa železnic [interní dokument]. 2013.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1: Česká republika s vyznačením Královéhradeckého kraje [3, úprava autor]
- Obrázek 2: Kategorie drah v Královéhradeckém kraji [10]
- Obrázek 3: Mapa s vyznačeným územím města Hradec Králové [3, úprava autor]
- Obrázek 4: Železniční mapa – tratě v okolí Hradce Králové [6, úprava autor]
- Obrázek 5: Výpravní budova stanice Hradec Králové hlavní nádraží [9]
- Obrázek 6: Schéma stávajícího stavu kolejiště stanice Hradec Králové hlavní nádraží [11]
- Obrázek 7: Zobrazení návazností linek ve stanici Hradec Králové hl. n. [15, úprava autor]
- Obrázek 8: Plánované schéma modernizované stanice Hradec Králové hl. n. [11]
- Obrázek 9: Železniční síť v okolí tratě Velký Osek - Hr. Králové – Choceň [22]
- Obrázek 10: Vymezení zkoumané oblasti [23]
- Obrázek 11: Mapka s plánovaným vedením Vysokovské spojky [3, úprava autor]
- Obrázek 12: Mapa s plánovaným vedením VRT Východní Čechy [35]
- Obrázek 13: Zobrazení očekávaných návazností linek v uzlu Hradec Králové hl. n. [34]
- Obrázek 14: Motorová jednotka ř. 642 DB "Desiro" [36]
- Obrázek 15: Elektrická jednotka ř. 640 ČD "RegioPanter" [37]
- Obrázek 16: Elektrická vícesystémová lokomotiva ř. 1216 ÖBB "Taurus" [38]
- Obrázek 17: Funkční schéma průběhu simulace [41]
- Obrázek 18: Editace vrcholu
- Obrázek 19: Editace hrany
- Obrázek 20: Ukázka sítě modelu v programu OpenTrack
- Obrázek 21: Editace návěstidla
- Obrázek 22: Editace Route
- Obrázek 23: Editace Path
- Obrázek 24: Editace Itinerary
- Obrázek 25: Editace Engine
- Obrázek 26: Editace Course
- Obrázek 27: Editace Timetable, modelu jízdního řádu
- Obrázek 28: Editace Simulace
- Obrázek 29: Ukázka průběhu simulace
- Obrázek 30: Simulace – počet vlaků ŽST Hradec Králové hl. n. – severní zhlaví
- Obrázek 31: Vyprojektované zatížení ŽST Hradec Králové hl. n. – severní zhlaví [11]
- Obrázek 32: Simulace – počet vlaků ŽST Hradec Králové hl.n. – jižní zhlaví
- Obrázek 33: Vyprojektované zatížení ŽST Hr. Králové hl.n. – jižní zhlaví [11]
- Obrázek 34: Graf četnosti změny cestovní doby při primárním zpoždění – osobní doprava
- Obrázek 35: Graf četnosti změny cestovní doby při primárním zpoždění – nákladní doprava

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti železničních tratí v okolí Hradce Králové [6]

Tabulka 2: Požadavky objednatele na vozidla – regionální spoje [34]

Tabulka 3: Plánované řazení souprav v simulaci – regionální spoje

Tabulka 4: Plánované řazení souprav – dálkové spoje

Tabulka 5: Očekávaný počet nákladních vlaků u vybraných relací [39]

Tabulka 6: Základní přehled metod, včetně hodnotících ukazatelů kapacity [42]

Tabulka 7: Minimální pobyty vlaků osobní dopravy ve stanicích a zastávkách [41]

Tabulka 8: Pravděpodobnostní rozdělení primárního vstupního zpoždění vlaku [41]

Tabulka 9: Pravděpodobnostní rozdělení primárního zpoždění – prodloužení komerčních pobytů [41]

Tabulka 10: Přehled četnosti hodnot zpoždění – dálková doprava

Tabulka 11: Přehled četnosti hodnot zpoždění – regionální doprava na trati č. 031

Tabulka 12: Přehled četnosti hodnot zpoždění – regionální doprava

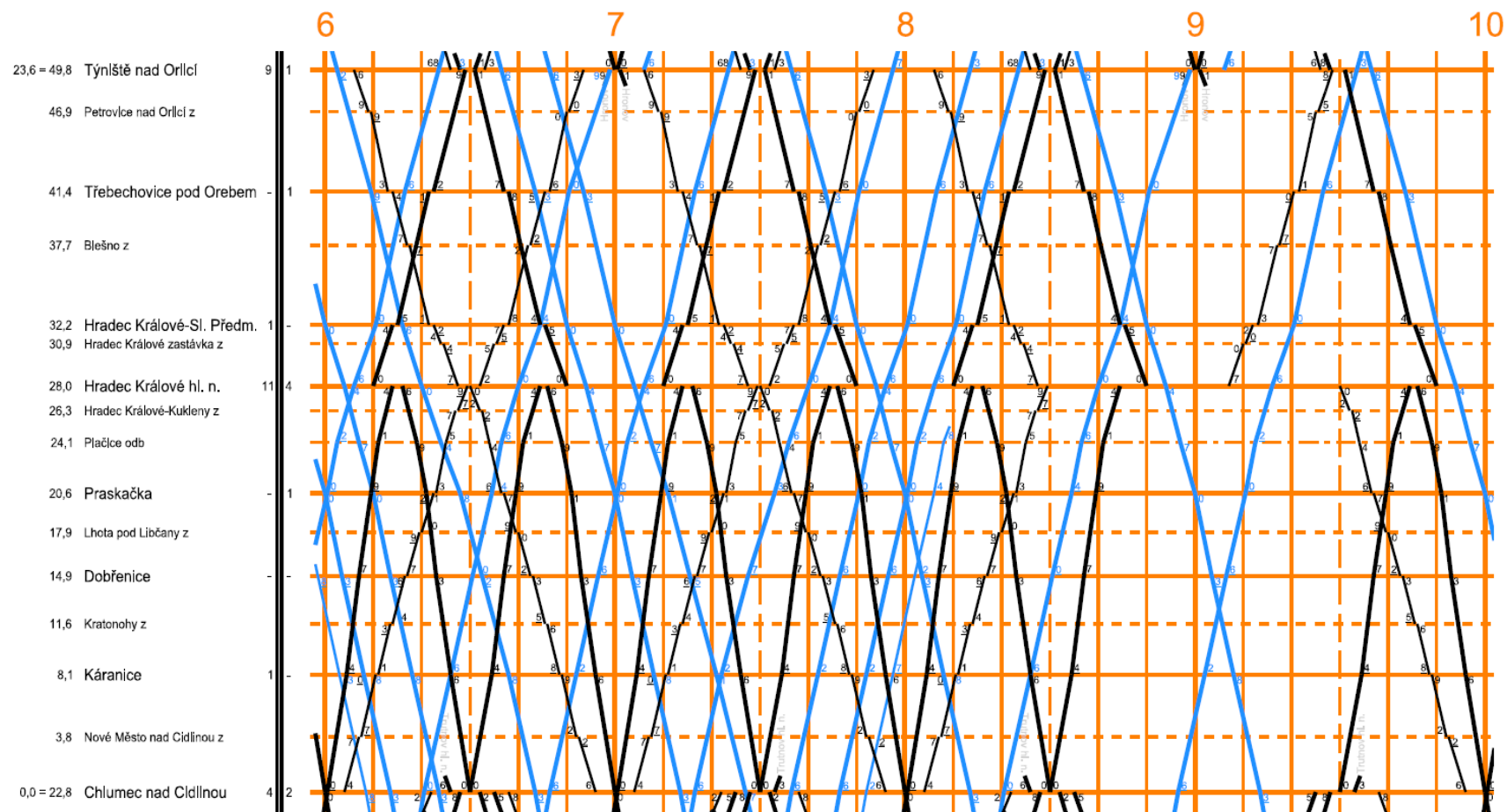
Tabulka 13: Přehled četnosti hodnot zpoždění - nákladní doprava

Tabulka 14: Vyhodnocení kvality provozu v závislosti na vztahu vstupního a výstupního zpoždění [41]

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- A**     **Nákresný jízdní řád, studie VoChoc, varianta zdvoukolejnění [22]**
- B**     **Plánované rychlostní schéma stanice Hradec Králové hl.n. po rekonstrukci [11]**
- C**     **Plánované obsazení kolejí ve stanici Hradec Králové hl.n. [11]**
- D**     **Schéma simulované oblasti modelu**
- E**     **Nákresné jízdní řády**
  - E1:     Návrh nákresného jízdního řádu pro úsek Praskačka – Hradec  
            Králové-Sl. Předměstí
  - E2:     Návrh nákresného jízdního řádu pro úsek Předměřice n. L. – Opatovice n. L.
  - E3:     Návrh nákresného jízdního řádu pro úsek Všestary – Hradec Králové hl.n.
- F**     **Návrh plánu obsazení kolejí ve stanici Hradec Králové hl.n.**

## A: Nákrešný jízdní řád, studie VoChoc, varianta zdvoukolejnění [22]

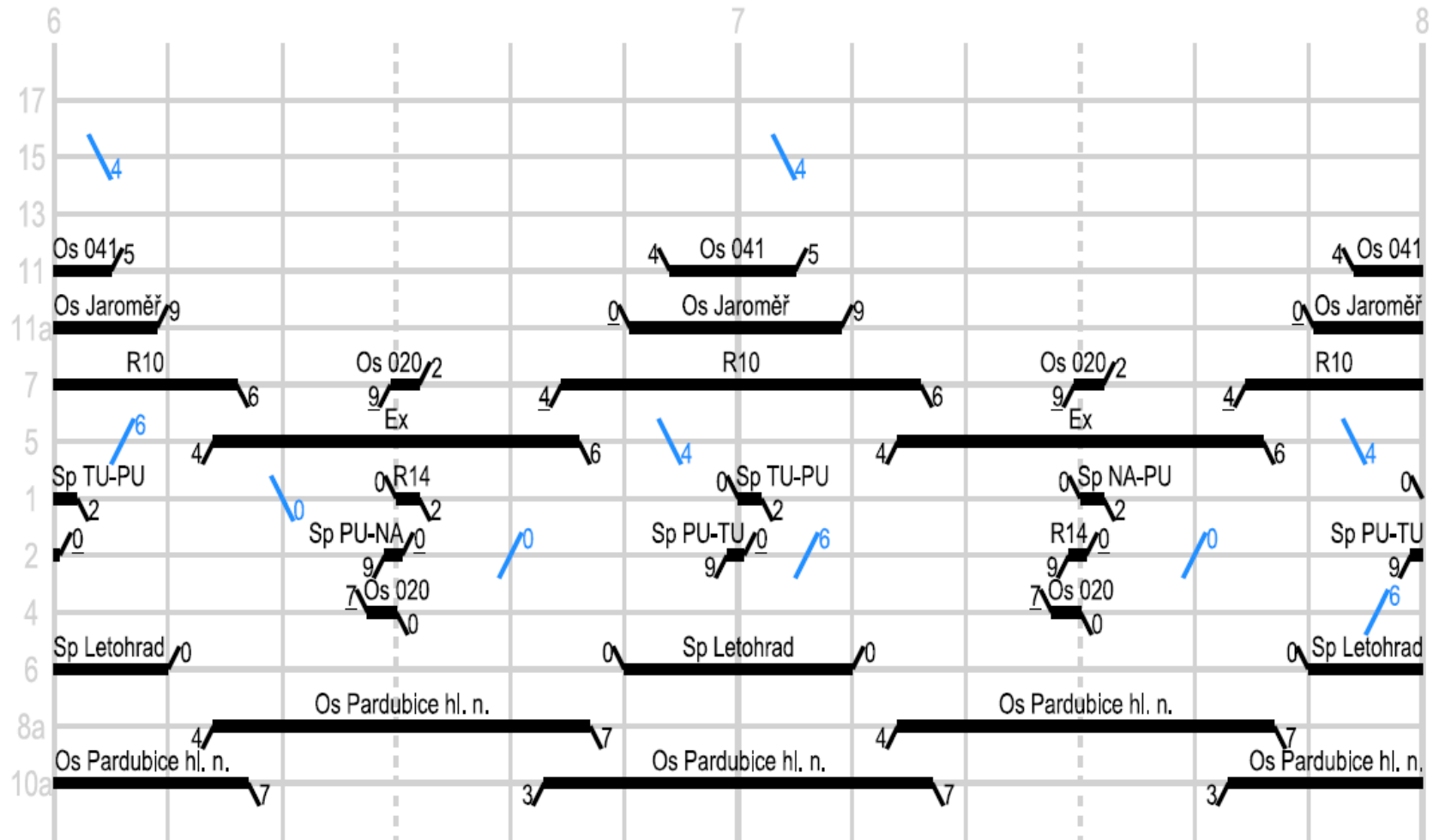


Legenda:			
	trasa vlaku osobní dopravy Ex, R, Sp		trasa vlaku nákladní dopravy Nex
	trasa vlaku osobní dopravy Os		vlak podle potřeby
			rušící vlak (alternativní trasa)

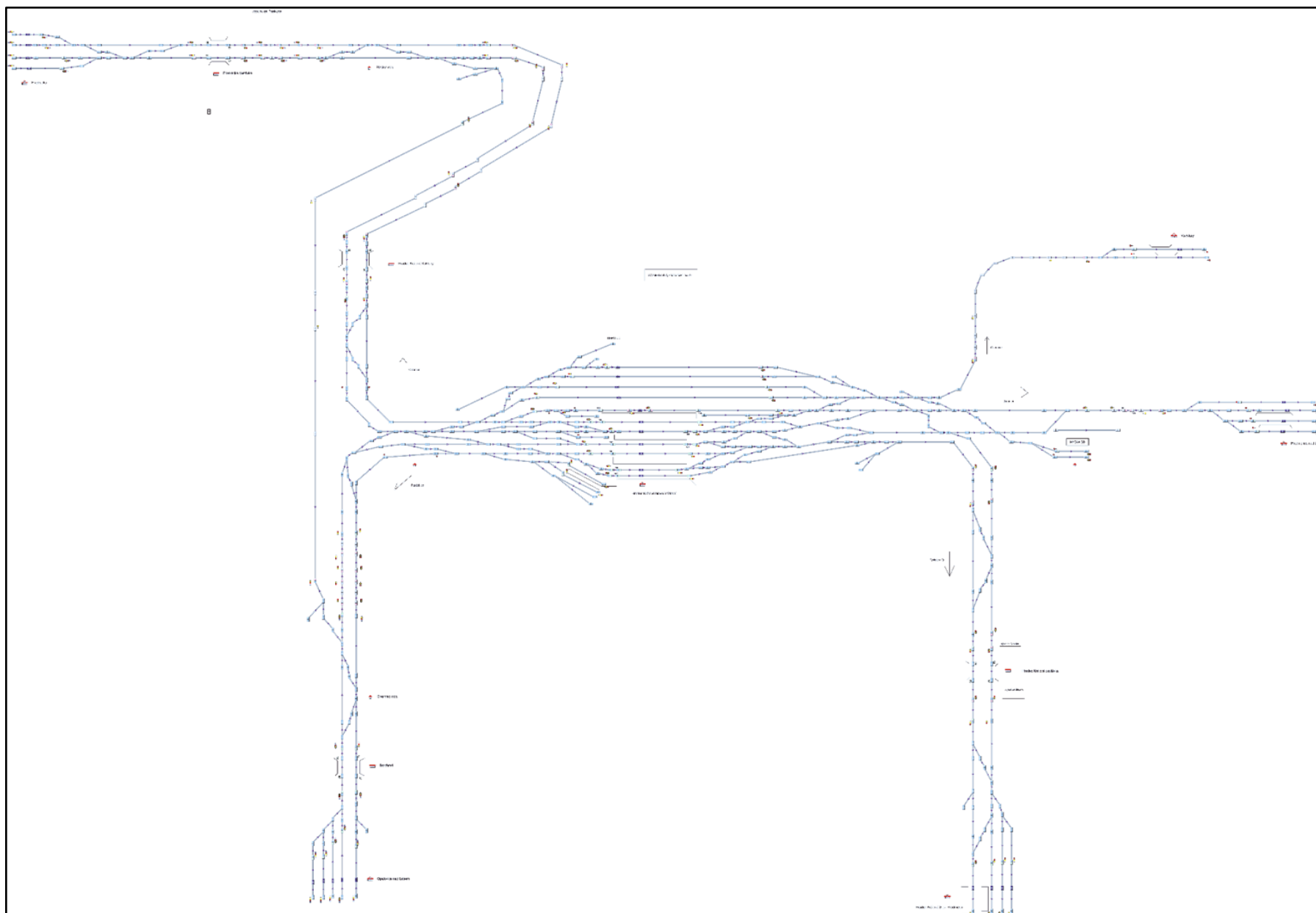




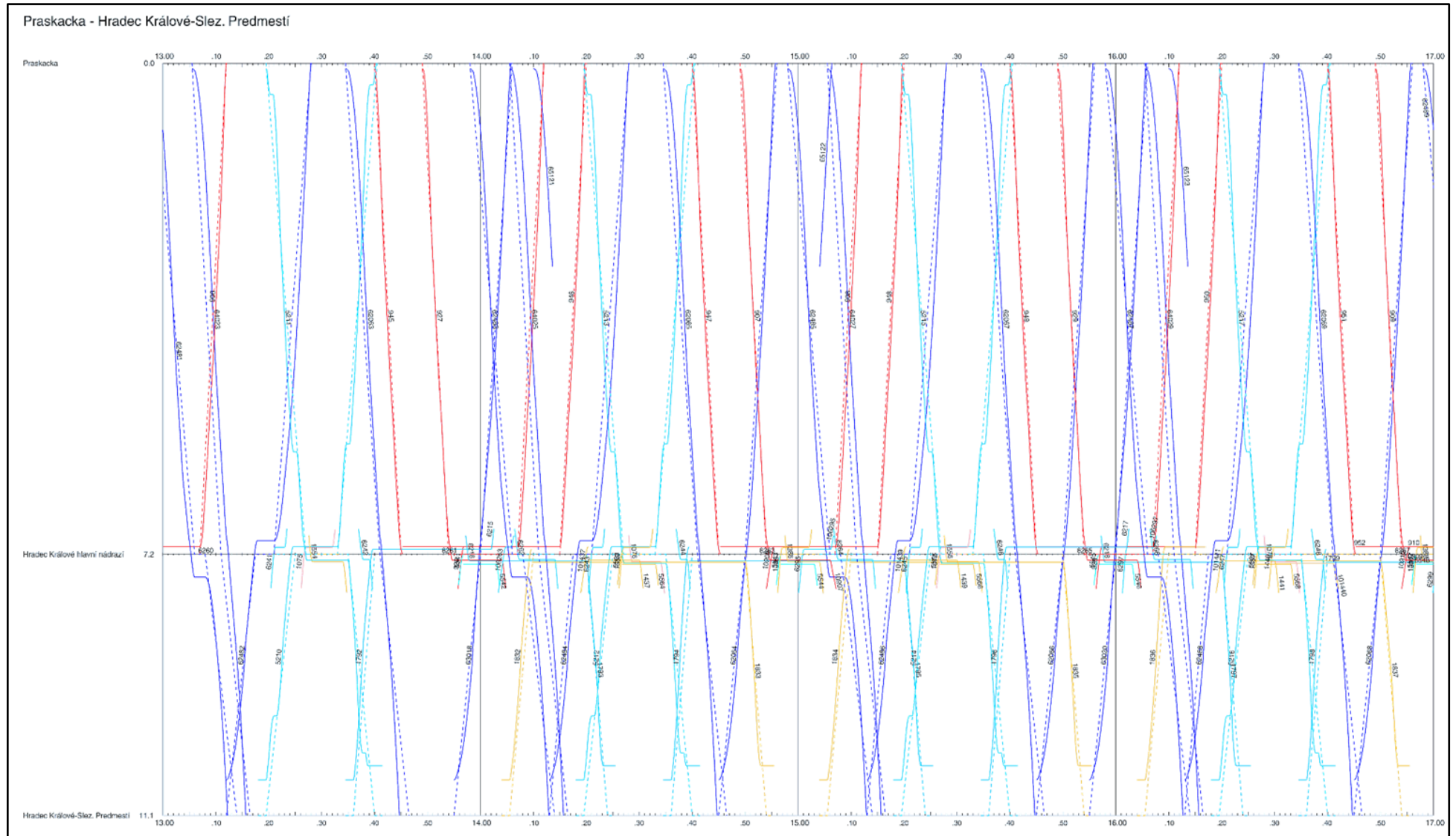
C: Plánované obsazení kolejí ve stanici Hradec Králové hl.n. [11]



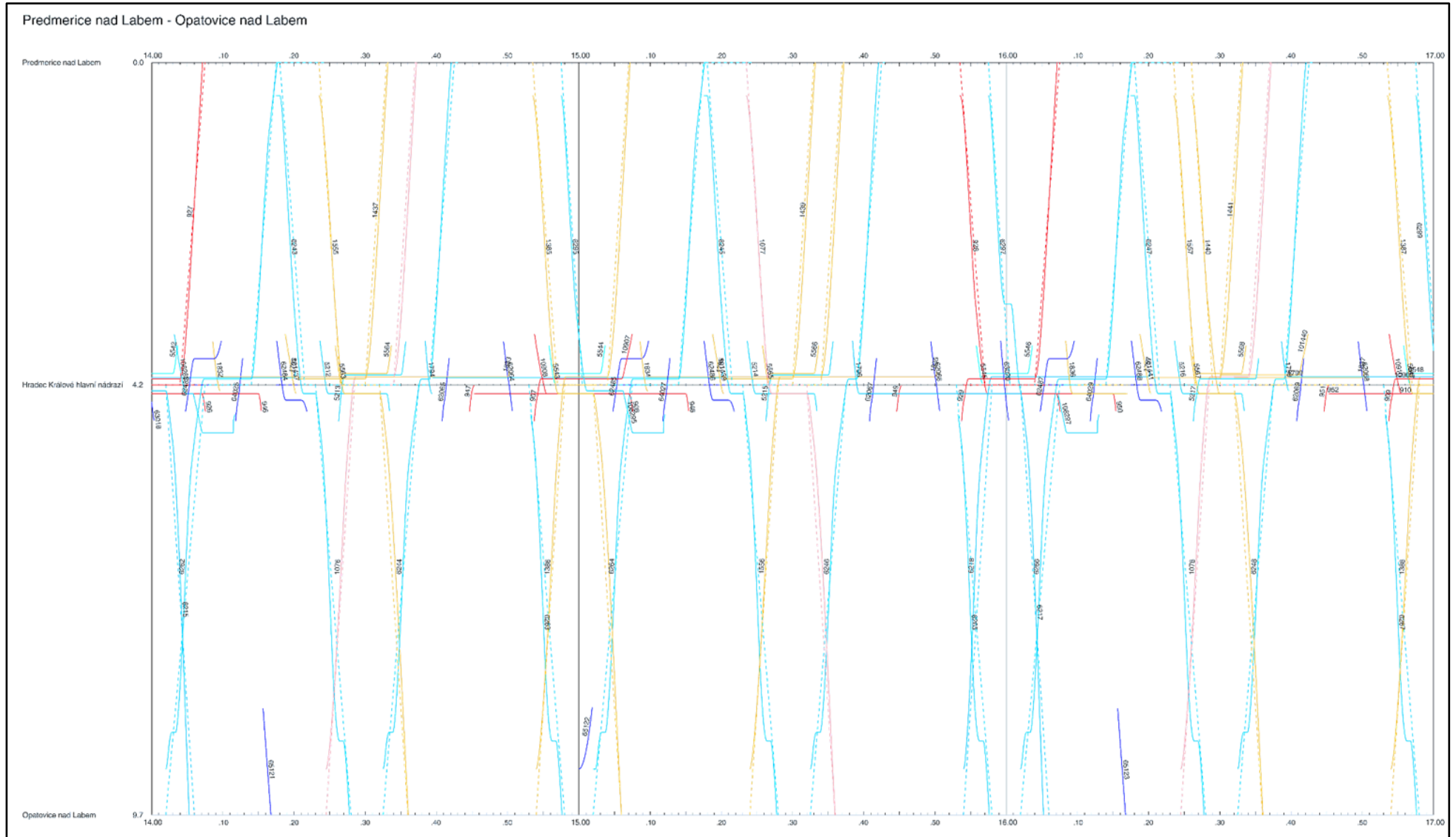
## D: Schéma simulované oblasti modelu



# E1: Návrh nákrešného jízdního řádu pro úsek Praskačka – Hradec Králové-Sl. Předměstí



## E2: Návrh nákrešného jízdního řádu pro úsek Předměřice n. L. – Opatovice n. L.





## F: Návrh plánu obsazení kolejí ve stanici Hradec Králové hl.n.

