



**FAKULTA
DOPRAVNÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav dopravních systémů**

Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty

Disertační práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích (N 3710)

Studijní obor: Dopravní systémy a technika (3708T009)

Školitel: doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Martin Jacura, Ph.D.

2023

Ing. David Vodák

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci, zpracovanou na závěr doktorského 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 metodické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Radeníně dne 31. 1. 2023

.....
Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali během tvorby mé disertační práce, obzvláště doc. Ing. Lukášovi Týfovi, Ph.D. a Ing. Martinovi Jacurovi, Ph.D., jakožto školiteli a školiteli specialistovi za vedení po celou dobu studia. Poděkování patří i všem kolegům z Ústavu dopravních systémů z železniční sekce i paní sekretářce za jejich obětavou pomoc a součinnost po celou dobu studia. Speciální poděkování věnuji mé manželce Kateřině, na kterou, zejména v závěru tvorby této práce, připadla většina povinností souvisejících s péčí o domácnost a naše děti.

V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat rodičům za morální a materiální podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

Věnováno mým synům Jakobovi a Matějovi.

Anotace

Nastavení parametrů stavební úpravy železniční trati je velmi složitý a komplexní proces, neboť v jeho průběhu je zpravidla nutné utřídit a prioritizovat velké množství variant a podvariant. Tyto jsou následně ohodnoceny na základě přepravní prognózy a hodnocení ekonomické efektivity a v závěru celého procesu je vybrána vítězná varianta. Celý proces je velkou měrou ovlivněn budoucím využitím stavebně upravené infrastruktury cestujícími, které je predikováno zmíněnou přepravní prognózou. Tato práce si klade za cíl revizi stávajícího přístupu k nastavování parametrů železničních infrastrukturních staveb s důrazem na vztah mezi úpravou a budoucím využitím tratě cestujícími.

Summary

Setting the parameters of the reconstruction of a railway line is a very complicated process, as during it it is usually necessary to sort and prioritize a large number of variants and sub-variants, which are subsequently evaluated on the basis of the transport demand forecast and economic efficiency assessment. At the end of the whole process the winning variant is selected. The entire process is largely influenced by the future use of the reconstructed infrastructure by passengers, which is predicted by the aforementioned transport demand forecast. This work aims to revise the current approach to setting the parameters of railway infrastructure reconstructions with an emphasis on the relationship between the reconstruction and the future use of the railway line by passengers.

Obsah

1	Seznam použitých zkratk	8
2	Úvod	9
3	Hlavní parametry železniční dopravní cesty	14
3.1	Trasování	14
3.1.1	Novostavba	15
3.1.2	Kombinace přeložek a úseků ve stávající stopě	16
3.1.3	Trasování ve stávající stopě	17
3.2	Počet traťových kolejí/četnost dopraven	17
3.3	Konstrukce železniční trati	19
3.4	Technologické a řídicí systémy	19
4	Stávající systém kategorizace drah a určení parametrů stavebních úprav	20
4.1	Legislativní rámec Studií proveditelnosti	20
4.1.1	Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů	20
4.1.2	Směrnice 11 Správy železnic, státní organizace	23
4.2	Další legislativa	24
4.3	Evropský legislativní rámec	24
4.3.1	Směrnice EU 2016/797	24
4.4	Rozdělení	25
4.5	Popis úprav	25
4.5.1	Celostátní dráhy zařazené do systému TEN-T	25
4.5.2	Celostátní dráhy nezařazené do systému TEN-T	28
4.5.3	Regionální dráhy	28
5	Dopravní modelování	29
5.1	LOGIT model	29
5.1.1	Hierarchický (hnízdový) LOGIT model	30
5.2	Čtyřstupňový dopravní model	31

5.2.1	Určení zdrojových a cílových proudů (Trip generation).....	31
5.2.2	Určení přepravních proudů (Trip distribution).....	33
5.2.3	Dělba přepravní práce (Modal-split)	34
5.2.4	Přidělení přepravních proudů na konkrétní úseky sítě (Traffic Assignment)	35
6	Expertní dotazník ke stávající metodice nastavování parametrů infrastrukturních staveb na železnici v ČR	38
6.1	Otázka 14.....	39
6.1.1	Komentář autora k výsledkům otázky 14.....	42
6.2	Otázka 15.....	44
6.2.1	Komentář autora k výsledkům otázky 15.....	45
6.3	Otázka 16.....	47
6.3.1	Komentář autora k výsledkům otázky 16.....	49
7	Zahraniční přístupy k nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury.....	51
7.1	Železniční koridor New York City – Montreal	51
7.1.1	Předběžná studie proveditelnosti vysokorychlostní železniční tratě Albany – Rouses point	52
7.1.2	Předběžná studie proveditelnosti vysokorychlostní železniční tratě Rouses Point - Montreal.....	55
7.1.3	Shrnutí	57
7.2	Stanovení parametrů nové VRT infrastruktury v UK	57
7.2.1	Vliv snížení návrhové rychlosti trati na její trasu.....	59
7.2.2	Zvýšení nebo snížení rychlosti na vítězné trase 3	62
7.2.3	Snížení rychlosti.....	62
7.3	Studie proveditelnosti vysokorychlostního železničního koridoru Mumbai – Ahmedabad v Indii	64
7.4	Další zahraniční přístupy	66
7.5	Shrnutí zahraničních přístupů.....	68
8	Návrh modelu	69

8.1	Charakteristika jednotlivých aspektů stavebních úprav železničních tratí vedoucích ke zvýšení atraktivity pro cestující.....	69
8.1.1	Snížení cestovních dob.....	69
8.1.2	Zlepšení jízdního komfortu.....	70
8.1.3	Zlepšení spolehlivosti systému.....	70
8.1.4	Zvýšení úrovně kvality zařízení pro osobní dopravu.....	71
8.2	Negativní vlivy stavebních úprav na cestující.....	71
8.3	Technická část modelu.....	72
8.3.1	Kategorie tratí z hlediska jejich významu a potenciálu.....	73
8.3.2	Kategorie tratí z hlediska jejich technické vyspělosti.....	73
8.3.3	Kategorie úprav tratí.....	74
8.3.4	Kódové označení scénáře.....	74
8.4	Matematická část modelu.....	75
8.4.1	Spojité model.....	75
8.4.2	Princip stochastického modelu.....	76
8.4.3	Lineární regresní model s normálním šumem.....	76
8.4.4	Odhad spojitého modelu.....	78
8.4.5	Intervaly spolehlivosti.....	80
8.5	Konstrukce modelu.....	82
9	Aplikace modelu.....	87
9.1	Příkladový výpočetní scénář 1.....	89
9.2	Příkladový výpočetní scénář 2.....	90
9.3	Příkladový výpočetní scénář 3.....	91
9.4	Shrnutí.....	92
10	Verifikace modelu.....	96
11	Závěr.....	99
12	Seznam příloh.....	101

13	Seznam obrázků	102
14	Seznam tabulek	104
15	Zdroje	105

1 Seznam použitých zkratk

VRT	vysokorychlostní trať
SMP	studie možností a příležitostí
PSP	předběžná studie proveditelnosti
SP	studie proveditelnosti
TES	technicko-ekonomická studie
ÚTS	územně-technické studie
EIA	hodnocení vlivu na životní prostředí
ZP	záměr projektu
DÚR	dokumentace pro územní rozhodnutí
SŽ	Správa železnic, státní organizace
TEN-T	transevropská dopravní síť
EH	hodnocení ekonomické efektivity
CIN	celkové investiční náklady
ŽP	životní prostředí
CBA	cost-benefit analýza
CÚ	cenová úroveň
ERTMS	Evropský systém řízení železniční dopravy
RFC	železniční nákladní koridor
MKA	multikriteriální analýza
NYC	New York City
USD	Americký dolar
CZK	Koruna česká
HS2	High Speed Two
ČR	Česká republika
AONB	chráněná krajinná oblast
BCR	poměr přínosů a nákladů
HP	hustota pravděpodobnosti

2 Úvod

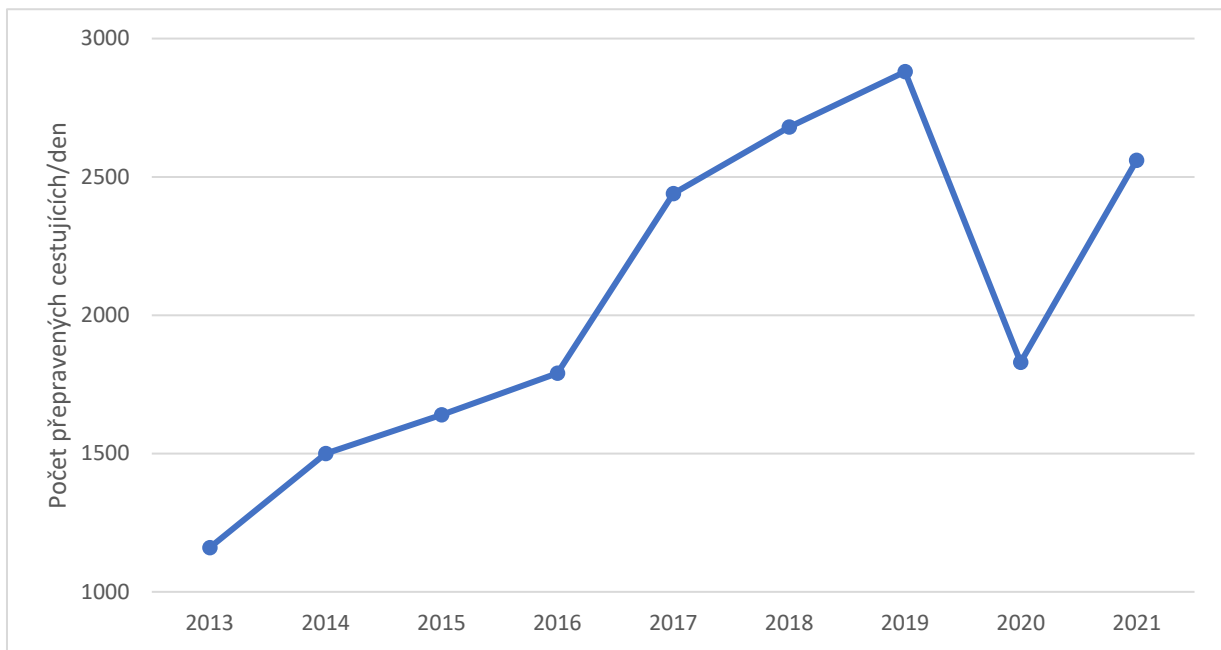
Předmětem disertační práce „Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty“ je nalezení vhodného přístupu pro stanovení optimálních parametrů železniční tratě mezi dvěma zadanými místy. Tím je myšleno nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu předmětné spojnice a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny.

Tuto velmi komplexní problematiku lze vědecky zkoumat z několika různých pohledů. Samostatným odvětvím je otázka nalezení vhodné míry vložených investičních prostředků do zkoumaného spojení, aby se dosáhlo požadovaných parametrů z hlediska kvality (jízdní doba vlaků) a kvantity (kapacita – propustnost).

V současné době je nejvíce využívaným nástrojem pro stanovení optimálních parametrů železničních tratí studie proveditelnosti. V rámci tohoto stupně projektové dokumentace pro přípravu stavby železniční infrastruktury je zpracován návrh dopravní technologie, technického řešení a je provedena přepravní prognóza. Návrh je vždy řešen v několika variantách. Vějíř variant je následně posuzován ekonomickým hodnocením. Základním principem je nalezení varianty, jejíž investiční náklady jsou dostatečně vyváženy přínosy. Varianta s nejlepším poměrem nákladů a přínosů bývá pak zpravidla variantou vítěznou.

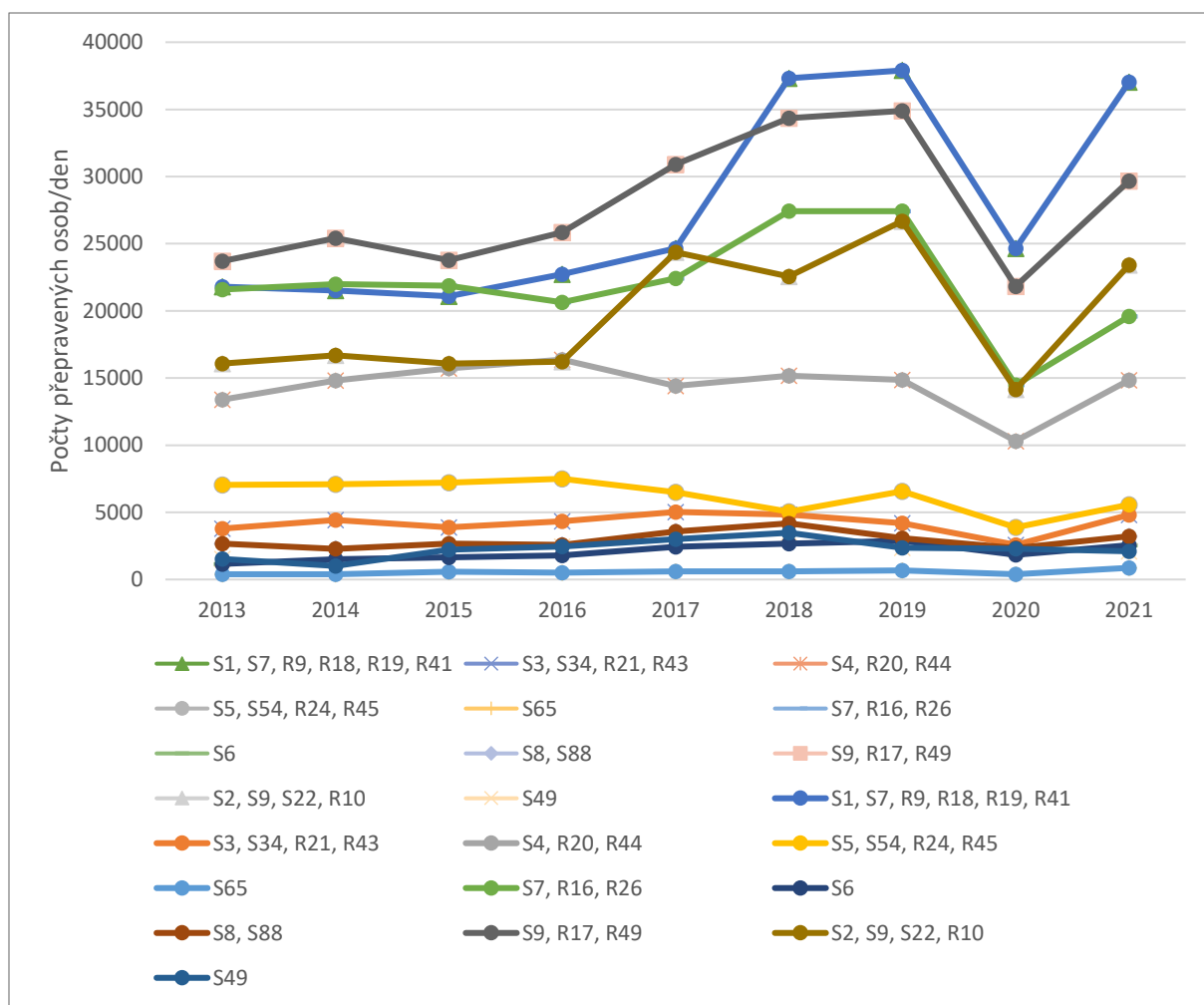
Důležitou součástí celého procesu je již zmíněná přepravní prognóza. Jedním z jejích hlavních výstupů jsou výhledové počty cestujících, včetně tzv. převedených cestujících, tedy cestujících, kteří železniční dopravu dříve nevyužívali, ale na základě zatraktivnění železnice v důsledku navrhovaných úprav se rozhodnou pro změnu dopravního prostředku. Jádrem přepravní prognózy je dopravní model, který v sobě zahrnuje výpočtový aparát, jehož pomocí je ze zadaných vstupů simulován vývoj počtu cestujících. Je tedy předpokládán vztah mezi infrastrukturními úpravami, respektive výslednými parametry tratí po úpravách, a trendem v počtech cestujících. Existence tohoto trendu je velmi silně indikována počty cestujících na již upravené infrastruktuře. Ukázkovým příkladem může být například trať č. 173¹ Praha-Smíchov – Rudná u Prahy – Beroun, která byla v minulých letech zrekonstruována. Z obrázku 1 zcela jasně vyplývá rostoucí trend v počtu cestujících.

¹ dle Knižního jízdního řádu 2023



Obrázek 1: Denní počet přepravených cestujících na trati č. 173 dle KJŘ [35]

Podobný trend lze však vysledovat v celé železniční síti v okolí hlavního města Prahy, jak lze vidět v grafu na obrázku 2.



Obrázek 2: Počet přepravených osob po železnici v okolí hlavního města Prahy [35]

V obou případech je výrazný nárůst cestujících zcela jistě způsoben nejen úpravami infrastruktury, ale i rostoucí kvalitou nabídky veřejné hromadné dopravy a nárůstem počtu obyvatel v okolí hlavního města Prahy. Nicméně kladná korelace mezi počtem cestujících a úpravou infrastruktury zcela jistě figuruje jako jedna z příčin rostoucího trendu. Tyto trendy nejsou izolovaným úkazem v okolí hlavního města, ale propisují se, jak lze vidět v tabulce 1, i do celostátní úrovně. Což je s ohledem na velmi intenzivní činnost na železnici v posledních letech dalším argumentem pro existenci spojitosti mezi kvalitou infrastruktury a počtem cestujících.

Tabulka 1: Přeprava cestujících po železnici [36]

	2015	2017	2018	2019	2020	2021
Přeprava cestujících celkem (tis.)	176 623,7	183 024,1	189 535,8	193 841,5	129 453,5	135 317,8
<i>podle typu přepravy</i>						
vnitrostátní přeprava	171 976,1	176 932,5	182 512,9	186 150,4	126 678,4	132 043,7
z toho: v rámci IDS	60 323,0	68 107,0	73 066,3	77 166,1	67 247,0	73 152,4
mezinárodní přeprava	4 647,6	6 091,7	7 022,8	7 691,2	2 775,0	3 274,2
<i>podle vozových tříd</i>						
1. třída	2 016,1	2 001,0	2 205,1	2 487,2	1 763,5	1 856,6
2. třída	174 607,6	181 023,2	187 330,7	191 354,4	127 690,0	133 461,3
Přepravní výkon celkem (mil. oskm)						
	8 298,1	9 497,6	10 286,0	10 930,6	6 665,1	6 820,2
<i>podle typu přepravy</i>						
vnitrostátní přeprava	7 211,9	7 966,8	8 514,6	8 972,1	6 085,0	6 148,9
z toho: v rámci IDS	1 058,5	1 234,6	1 353,4	1 428,7	1 342,4	1 629,0
mezinárodní přeprava	1 086,3	1 530,8	1 771,4	1 958,5	580,2	671,3
<i>podle vozových tříd</i>						
1. třída	411,7	340,6	365,0	416,8	308,5	304,6
2. třída	7 886,4	9 156,9	9 921,0	10 513,9	6 356,6	6 515,6

Izolování a popsání vztahu mezi počtem cestujících a úpravou infrastruktury, tak může být klasifikováno jako klíčový prvek rozhodování o parametrech stavebních úprav železničních tratí a je hlavním úkolem této disertační práce.

Ve všech třech příkladech lze vyjma popisovaného růstu spatřit ještě jeden společný trend, a to velký meziroční pokles mezi léty 2019 a 2020, který je zpravidla následován opětovným nárůstem. Tento pokles, který na celostátní úrovni dosáhl úrovně 49,7 % (viz data v tabulce 1), byl zapříčiněn onemocněním COVID-19 a způsobuje výrazné zkreslení dat, ale nepopírá popsany trend růstu v důsledku stavební činnosti.

Pro úplnost je nezbytné uvést i fakt, že osobní doprava není jediným druhem dopravy, který je na naší síti provozován a který ovlivňuje zmíněný proces nastavování parametrů, neboť i nákladní doprava je velmi důležitým segmentem železniční dopravy. Nákladní doprava a infrastruktura pro nákladní dopravu tvoří samostatnou problematiku, která nebude, s ohledem na výše definovaný záměr práce popsat vztah mezi počtem cestujících a úpravami infrastruktury, v rámci této práce řešena.

Dále je nutné zmínit, že stávající rozvoj železniční sítě probíhá ve dvou rovinách – konvenční (max 200 km/h) a vysokorychlostní (250 a více km/h). S ohledem na to, že v této práci budeme popisovat vztah mezi počtem cestujících a úpravou infrastruktury na základě dat z již dokončených stavebních úprav, bude tato práce primárně zaměřena na konvenční železnici, neboť na naší železniční síti zatím stále neexistuje dokončená vysokorychlostní trať, na které by bylo možné zkoumat trendy ve vývoji počtu cestujících.

Cíle disertační práce lze shrnout do 6 bodů:

- identifikace klíčových parametrů staveb železniční infrastruktury,
- analýza stávajícího procesu nastavování projektovaných parametrů staveb železniční infrastruktury,
- oslovení expertů za účelem získání odborných názorů na danou problematiku,
- vytvoření modelu pro predikci vývoje počtu cestujících na základě dat z již stavebně upravených tratí,
- aplikace modelu na konkrétní data,
- verifikace modelu na základě dat z již stavebně upravené trati.

3 Hlavní parametry železniční dopravní cesty

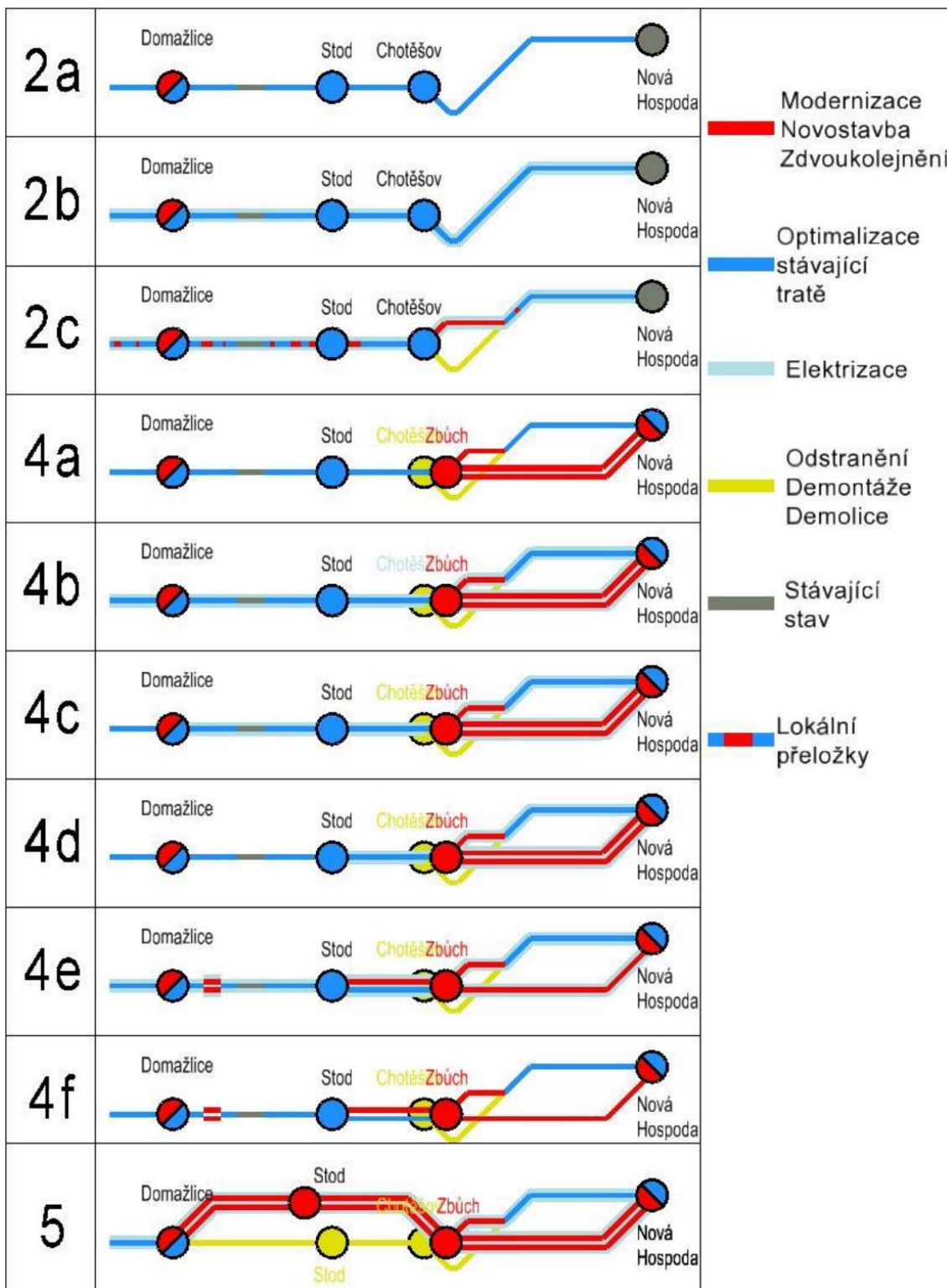
Hlavní parametry staveb železniční dopravní cesty můžeme rozdělit do následujících skupin:

- trasování,
- počet traťových kolejí/četnost dopraven,
- konstrukce železniční trati,
- technologické a řídicí systémy.

3.1 Trasování

Trasování železniční trati je zásadním parametrem všech větších úprav železniční infrastruktury. Tento parametr má rozhodující vliv na výslednou traťovou rychlost a následně i na jízdní dobu a zároveň ovlivňuje i výslednou kapacitu infrastruktury. Z hlediska již zmíněných SP se zpravidla jedná o jeden ze základních rozlišovacích prvků jednotlivých variant, a to jak z hlediska výsledné vyspělosti infrastruktury, tak i celkových investičních nákladů jednotlivých variant (viz Obrázek 3). Rozlišujeme tři základní druhy úprav tratí: novostavba², kombinace přeložek a stávající stopy, vedení čistě ve stávající stopě.

² Pojem „novostavba“ lze v obecné rovině chápat dvěma způsoby. Může se jednat o formu zlepšení parametrů stávajícího železničního spojení, tedy nahrazení stávající nevyhovující infrastruktury, případně vybudování paralelního spojení (výstavba VRT, segregace regionální a dálkové dopravy nebo osobní a nákladní dopravy). Druhým výkladem je výstavba zcela nové infrastruktury na relaci, kde doposud neexistovalo železniční spojení. S ohledem na problematiku řešenou v této práci bude pojem „novostavba“ používán z hlediska prvního uvedeného výkladu.



Obrázek 3: Variantní řešení trasování projektované železniční infrastruktury [18 – s. 51]

3.1.1 Novostavba

V rámci novostavby lze rozlišit novostavbu vysokorychlostní trati (zpravidla na rychlost 250 km/h a více) a konvenční trati (zpravidla pro rychlost maximálně 200 km/h). Do první kategorie lze zařadit například aktuálně uvažovanou vysokorychlostní trať Praha – Brno. Mezi příklady

novostaveb konvenčních tratí patří například stavby „Modernizace trati Brno – Přerov“ (viz Obrázek 4) a „Modernizace trati Sudoměřice u Tábora – Votice“.



Obrázek 4: Varianta trasování novostavba [20 – s. 38]

3.1.2 Kombinace přeložek a úseků ve stávající stopě

Kombinace trasování v nové a stávající stopě zpravidla představuje kompromis, který vede ke snížení investičních nákladů, ale zpravidla i přínosů. Výsledný poměr mezi náklady a přínosy je zpravidla odrazem podílu přeložek na celkové délce trasy, ale i volbou překládaných úseků³. Příkladem stavby s touto variantou trasování je stavba „Modernizace trati Votice – Benešov“ (viz Obrázek 5).

³ V případě, kdy je v nové stopě trasována pouze určitá část řešeného spojení, je nezbytné velmi dobře vytipovat úseky vhodné k přeložení. Z hlediska přínosů je vhodné překládat úseky, které způsobují nejvyšší celkové snížení traťové rychlosti, případně podúseky, které tvoří tzv. lokální propady traťové rychlosti v rámci úseku s uspokojivou hodnotou traťové rychlosti. Z hlediska nákladů je třeba zohlednit zejména konfiguraci okolního terénu, která se může velmi výrazně promítnout do celkové finanční náročnosti. Velmi důležité je zohlednit i celkovou dopravní koncepci a překládat prioritně taková místa, která povedou k dosažení potřebných systémových jízdních dob mezi taktovými uzly, neboť v překládaných úsecích zpravidla dochází k nejrazantnějšímu poklesu jízdních dob.



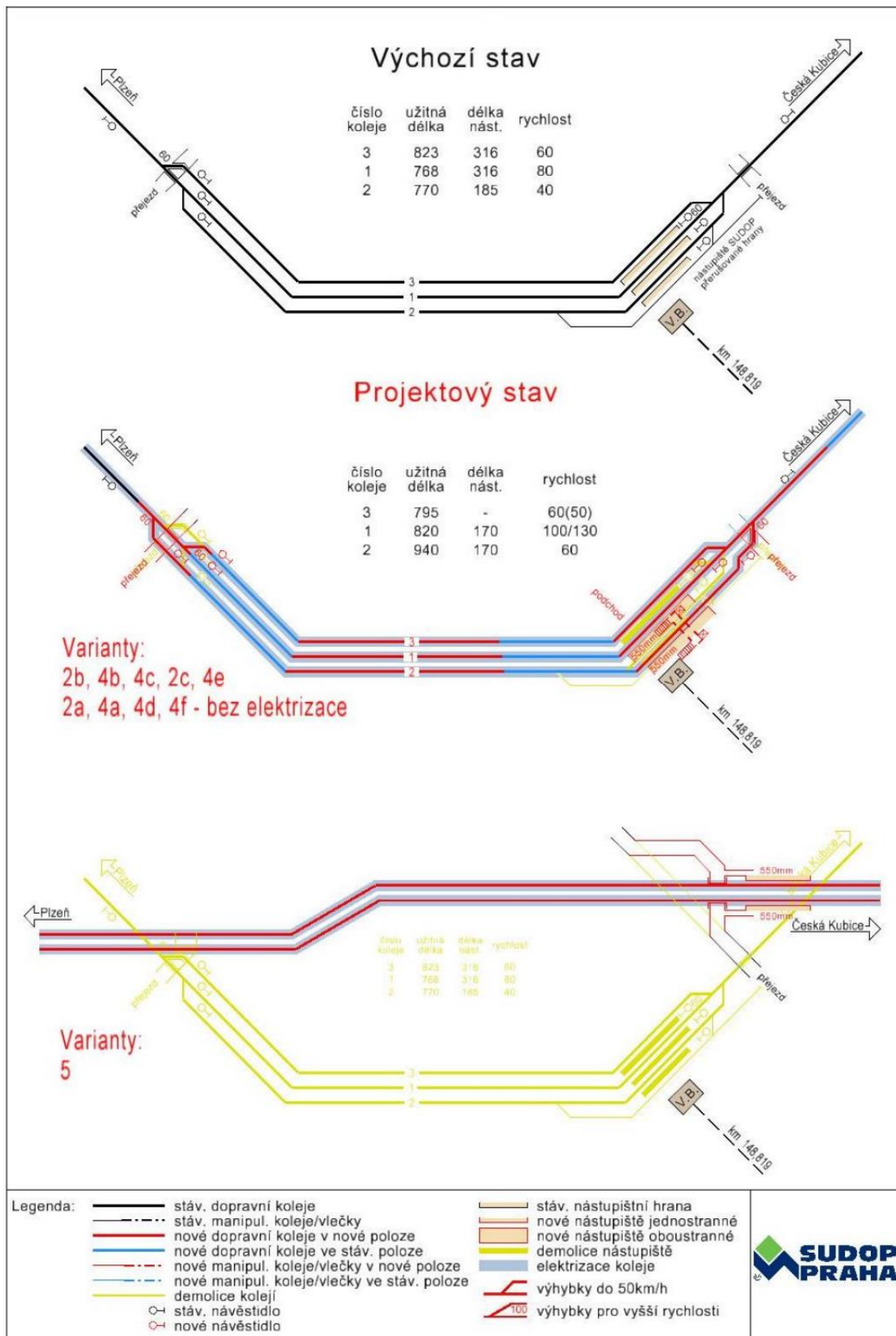
Obrázek 5: Varianta trasování kombinace přeložek (zeleně) a úseků ve stávající stopě (červeně) [21 – s. 13]

3.1.3 Trasování ve stávající stopě.

Tato varianta představuje z hlediska investičních nákladů nejúspornější řešení. Přestože zpravidla neumožňuje razantní zvýšení traťové rychlosti, neznamená to, že tato varianta nemůže být přínosná z hlediska snižování jízdních dob. Přepočítání GPK s využitím mezních, případně maximálních/minimálních hladin hodnot veličin GPK může i zde zajistit citelné zlepšení výsledných parametrů.

3.2 Počet traťových kolejí/četnost dopraven

Počet traťových kolejí a četnost dopraven mají významný vliv na výslednou kapacitu železniční dopravní cesty, a tím na kvalitu budoucí nabídky přepravy. Nepřímo také ovlivňují výslednou cestovní dobu, a to jak z hlediska pravidelného provozu, tak i eliminace následků potencionálních mimořádností. Z hlediska dimenzování parametrů nové infrastruktury se tak může jednat například o soubor variant ponechání stávajícího počtu kolejí a dopraven vs. vybudování dodatečných dopraven vs. zřízení vícekolejné vložky/plné zvíce kolejnění (např. viz Obrázek 6).



Obrázek 6: Variantní řešení parametrů projektované železniční infrastruktury z hlediska projektovaného počtu kolejí/četnosti dopraven [18 – s. 88]

3.3 Konstrukce železniční trati

Konstrukce železniční trati v sobě zahrnuje zejména železniční svršek a spodek. V případě úprav se rozlišuje jak míra obnovy/výměny (sanace/výměna nejkritičtějších míst, sanace/výměna ucelených úseků, komplexní obnova), tak parametry výsledné konstrukce (zejména s vazbou na výslednou traťovou rychlost). Míra obnovy/výměny konstrukce ovlivňuje délku úseku tratě, na kterém dojde vlivem úpravy ke zlepšení parametrů. Parametry výsledné konstrukce určují míru zlepšení parametrů železniční tratě.

Modernější konstrukce železničního svršku jsou nezbytnou podmínkou nejen pro využívání mezních a maximálních hodnot hladin veličin GPK, ale i pro zavádění rychlostních profilů s vyššími nedostatky převýšení. Příkladem může být už samotná volba tvaru kolejnic (49E1 vs. 60E2), kdy dražší a těžší kolejnice 60E2 jsou nezbytnou podmínkou pro zavádění rychlosti vyšší než 120 km/h.

3.4 Technologické a řídicí systémy

Mezi řídicí systémy řadíme zejména sdělovací a zabezpečovací zařízení, která mají vazbu na výslednou kapacitu a bezpečnost. U zabezpečovacího zařízení je důležitá vazba na traťovou rychlost. Zásadní vliv má i stupeň zabezpečení přejezdů (přes přejezd zabezpečený pouze výstražným křížem je traťová rychlost limitována hodnou 60 km/h) a vlakové zabezpečovací zařízení, které musí umožňovat komunikaci vozidla s infrastrukturou, aby bylo možné dosahovat rychlosti vyšší než 100 km/h.

4 Stávající systém kategorizace drah a určení parametrů stavebních úprav

Základním nástrojem pro stanovení výhledových parametrů infrastruktury je již zmíněná studie proveditelnosti, nicméně tento nástroj se do značné míry opírá o širší rámec legislativy (zákony, vyhlášky, interní předpisy Správy železnic) a systém kategorizace tratí a jejich úprav. Pro samotnou studii proveditelnosti tvoří základní legislativní rámec Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů, příloha č. 1: Metodika pro zpracování koncepčních studií [13] a Směrnice 11 Správy železnic – Dokumentace staveb Správy železnic, státní organizace [14].

4.1 Legislativní rámec Studií proveditelnosti

4.1.1 Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů

V rámci přílohy č. 1 Metodika pro zpracování koncepčních studií je studie proveditelnosti ještě dále rozdělena na Předběžnou studii proveditelnosti a studii proveditelnosti. Tyto stupně jsou v praxi zpravidla sloučeny do jednoho. Případně může být před zpracování studie proveditelnosti předraženo zpracování technicko-ekonomické studie, územně-technické studie nebo provozně-ekonomická studie. V příloze č. 1 je rovněž uvedena základní osnova, která je společná pro všechny koncepční studie. Z hlediska studie proveditelnosti je hlavním úkolem tohoto dokumentu stanovení obsahu předmětného stupně dokumentace. [13]

4.1.1.1 Předběžná studie proveditelnosti

„V závislosti na kontextu daného projektu, se mohou vyskytovat různé názory na rozsah projektu s různými cíli a časovými harmonogramy, které mohou být nezbytné či užitečné. Pro daný projekt tak vznikne potřeba další úrovně koncepční studie (předběžná studie proveditelnosti), jež umožní přijetí klíčových rozhodnutí o:

- *potřebě investice, o základních přínosech a cílech,*
- *rozsahu stavby (souboru staveb),*
- *směrování koridoru a jeho parametrech (možné varianty),*
- *celkové provozní koncepci (dopravní scénáře),*
- *průchodnosti územím,*
- *investiční náročnosti,*
- *vlivů na ŽP,*
- *ekonomické efektivity.*

Předběžná studie proveditelnosti je mezistupněm mezi koncepční SMP a rozhodující dokumentací předloženou ke schválení – studií proveditelnosti. Strukturou uvedených informací ani svým obsahem se neliší od studie proveditelnosti, ale rozdíl spočívá především v podrobnosti, přesnosti a hloubce zpracování. Na základě této studie by měl investor rozhodnout, zda bude projekt realizovat v předpokládaném rozsahu, zda uvolní další finanční prostředky na jeho dopracování v detailní studii proveditelnosti, nebo změni rozsah stavby (pro menší, avšak stále ucelené úseky koridoru) či jestli přípravné práce na projektu zastaví. Tento stupeň studie je smysluplné zpracovávat zejména v situaci, kdy je k dispozici více investičních variant a samotné zpracování studie proveditelnosti pro každou z variant je finančně nákladné a časově zdlouhavé. Předvýběr variant k dalšímu podrobnějšímu zpracování (v tomto stupni studie), může vést k výrazně efektivnějšímu řešení. Pro větší a komplexní investiční projekty, jako jsou koridorové stavby všech druhů dopravy, velké železniční uzly a stanice, finančně náročné stavby vodní cesty či řešení pozemní komunikační sítě ve velkých aglomeracích, musí být tento stupeň dokumentace vždy zpracován.

Na druhé straně, pokud je projekt jednoduchý, transparentní, invariantní, případně lze vycházet z již dříve zpracovaných studií, lze stupeň PSP vynechat. PSP v současné praxi jsou zadávané především jako tzv. TES, ÚTS či PES.“ [13 – příloha 1, s. 6]

4.1.1.2 Studie proveditelnosti

„Vlastní studie proveditelnosti (SP) je dokumentace, která souhrnně ze všech významných hledisek popisuje v dostatečné podrobnosti daný projekt stavby (souboru staveb). Jejím účelem je zhodnotit projektové varianty, posoudit je ve vztahu k variantě Bez projektu a poskytnout veškeré informace pro investiční rozhodnutí.

Tvoří jeden z podkladů pro dokumentaci posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), pro rozhodnutí o invariantním řešení v rámci zpracování záměru projektu (ZP) a pro další stupeň plánování a projektování staveb – projektové dokumentaci k územnímu rozhodnutí (DÚR).

Pozn. Projektové varianty z SP mohou být následně v procesu EIA modifikovány nebo nemusí být v rámci tohoto procesu všechny hodnoceny.

Neexistuje žádný obecný závazný vzor studie proveditelnosti. SP by měla vycházet ze struktury popsané dále v části 3.3. Základní obsah⁴, který je pro všechny druhy SP společný, by měl být následující:

- *celková analýza projektu, stanovení důvodů a cílů řešení,*
- *socio-ekonomické souvislosti (přínosy), vztah k územnímu plánu (výhled další infrastruktury apod.),*
- *technická analýza projektu, návrh řešení ve variantách,*
- *dopravní analýza projektu, návrh řešení – dopravní scénáře,*
- *analýza přepravního využití, přepravní prognóza,*
- *dopad projektu na životní prostředí,*
- *hodnocení ekonomické efektivity projektu,*
- *hodnocení rizik,*
- *další srovnávací a hodnotící analýzy (SWOT, CEA, MKA, DETR atd.),*
- *shrnutí a prezentace výsledků.*

Podrobně jsou jednotlivé kapitoly řešeny a popsány v rámci hlavního textu metodiky. K problematice předpokládaných vlivů na životní prostředí je vhodné dodat, že ve vlastní studii proveditelnosti je třeba identifikovat nejzávažnější environmentální charakteristiky dotčeného území: vlivy na živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima a krajinu, přírodní zdroje, hmotný majetek a kulturní památky, zvláště chráněná území a lokality NATURA 2000. V další kroku je třeba charakterizovat předpokládané vlivy na jednotlivé složky životního prostředí. Podrobněji je řešena problematika hlukové zátěže. V rámci SP se provádí základní výpočet hluku pro stanovení rozsahu předpokládaných protihlukových opatření a stanovení hlukových limitů. Dále se podrobněji řeší imisní pozadí zájmového území z důvodu vyhodnocení kvality životního prostředí a jeho únosného zatížení. V dokumentaci se popíše předpokládaný postup při posuzování záměru dle zákona č. 100/2001 Sb.

Studie proveditelnosti by měla být zpracována po jednotlivých oblastech (částech) řešení a členěna v kapitolách. Součástí studie by měla být i souhrnná zpráva v souladu s výše uvedenou logickou strukturou studie. Některé části mohou být zpracovávány současně, některé budou na sebe navazovat, některé se musí upřesňovat, měnit na základě výsledků a nových

⁴ Viz 4.1.1.3 (pozn. autor)

skutečností. Případně budou mít různý termín postupného dokončení. Lze očekávat iterační kroky na základě potřeb, možností, efektivity a dalších posouzení.“ [13 – příloha 1, s. 6 – 7]

4.1.1.3 Základní osnova

„Jak již bylo uvedeno, neexistuje žádný obecný závazný vzor koncepční studie, avšak každá studie má základní strukturu – postup zpracování:

Analýza výchozího stavu, specifické problémy / potenciály projektu – široké základy projektu pokrývající všechny tematické okruhy s otázkami relevantními pro projekt (např. legislativa / politika / plány / institucionální analýza / socioekonomický základ a trendy, financování, současná/budoucí velikost dopravní poptávky, stávající nabídka a omezení dopravy, současná infrastruktura a omezení, životní prostředí, bezpečnost apod.).

- *Definice cílů projektu – vycházející z analýzy výchozího stavu (sociálně-ekonomický kontext apod.).*
- *Návrh variant řešení (včetně provozního a technického řešení) – cílených na plnění definovaných cílů projektu resp. identifikované problémy / potenciály projektu z analýzy výchozího stavu.*
- *Hodnocení / výběr variant, včetně předvýběru variant a podrobného zhodnocení předvybraných variant s cílem identifikovat preferované varianty.*
- *Závěry a doporučení studie*

Výsledky studie jsou pak prezentovány prostřednictvím rozhodujících profesních okruhů:

- *Přepravní analýza a prognóza,*
- *Technické řešení a provozní technologie,*
- *Životní prostředí a změna klimatu,*
- *Ekonomické hodnocení,*
- *Analýza citlivosti a rizik.*

Podrobně jsou tyto okruhy popsány v hlavní části metodiky hodnocení efektivnosti projektů dopravních staveb.“ [13 – příloha 1, s. 15]

4.1.2 Směrnice 11 Správy železnic, státní organizace

Směrnice 11 – Dokumentace staveb Správy železnic, státní organizace [13] je interním dokumentem Správy železnic, státní organizace, která stanovuje minimální rozsah a obsah zhotovení dokumentace pro přípravu a realizaci staveb. V případě studie proveditelnosti (ve

směrnici pozn. pouze jako „studie“) se jedná zejména o nastavení formální podoby dokumentace a jejích náležitostí, definice procesu tvorby, projednávání a schvalování a upřesnění obsahu ve větší podrobnosti než je tomu u Rezortní metodiky pro hodnocení ekonomické efektivity projektů, příloha č. 1: Metodika pro zpracování koncepčních studií. [14]

4.2 Další legislativa

Předchozí dokumenty měly za úkol nastavení parametrů železničních tratí z koncepčního hlediska. Následující legislativní skupina toto nastavení parametrů dále zpřesňuje a definuje základní legislativně-technický rámec pro návrh bezpečné a provozně spolehlivé infrastruktury. Jedná se hlavně o následující dokumenty:

- zákon č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah,
- Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky (směrnice generálního ředitele č. 16/2005), SŽDC, 2006,
- Zásady rekonstrukce celostátních drah České republiky nezařazených do evropského železničního systému (směrnice č. 30), SŽDC, 2008,
- Zásady rekonstrukce regionálních drah (směrnice č. 32), SŽDC, 2008,
- české technické normy,
- technické normy železnic,
- další předpisy SŽ a vzorové listy.

4.3 Evropský legislativní rámec

V rámci Evropské unie je nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury řešeno zejména z hlediska dosažení interoperability, která je definována jako schopnost železničního systému umožnit bezpečný a nepřerušovaný provoz vlaků dosahujících stanovených úrovní výkonnosti. V praxi to přináší možnost provozovat jedno drážní vozidlo s jedním strojvůdcem napříč celým železničním systémem evropské unie. [37]

4.3.1 Směrnice EU 2016/797

Tento dokument stanovuje podmínky, které musí být splněny pro dosažení interoperability. Tyto podmínky se týkají navrhování, výroby, výstavby, uvedení do provozu, modernizace, obnovy, provozování a údržby součástí železničního systému. Dokument dále rozděluje problematiku do strukturálních a funkčních částí – tzv. subsystémů. [37]

Strukturální subsystém se dále dělí do oblastí:

- infrastruktura,
- energie,
- traťové řízení a zabezpečení,
- palubní řízení a zabezpečení,
- kolejová vozidla.

Funkční subsystém se dělí do oblastí:

- provoz a řízení dopravy,
- údržba,
- využití telematiky v osobní a nákladní dopravě.

Pro jednotlivé subsystémy, případně skupiny subsystémů jsou zpracovány tzv. Technické specifikace interoperability, které obsahují podrobnou technickou specifikaci pro daný subsystém. [37]

4.4 Rozdělení

Ve smyslu výše uvedených dokumentů lze železniční infrastrukturu rozdělit do následujících skupin:

- celostátní dráha zařazená do systému TEN-T,
- celostátní dráha nezařazená do systému TEN-T,
- regionální dráhy.

4.5 Popis úprav

V souladu s příslušným dokumentem je každé skupině přiřazen postup při určování rozsahu a úrovně rekonstrukčních úprav.

4.5.1 Celostátní dráhy zařazené do systému TEN-T

Rekonstrukci železničních tratí patřících do této skupiny lze provádět dvěma způsoby: modernizací tratě a uvedením tratě do optimalizovaného stavu (dále jen „optimalizace“).

„Modernizace je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zvýšení největší traťové rychlosti do 200 km/h, dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti a provoz jednotek s naklápěcími skříněmi. [1 – s. 5]

Modernizace tratě zahrnuje termínově provázaná stavební opatření typu rekonstrukcí, přeložek a novostaveb na souvislém úseku tratě. [1 – s. 5]

Modernizace tratě se navrhuje v případech, kdy je potvrzena její opodstatněnost studií proveditelnosti v rámci technicko-ekonomického posouzení.“ [1 – s. 5]

*„**Optimalizace** je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zpravidla na stávajícím zemním tělese dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti, odstranění lokálních omezení traťové rychlosti a případně též provoz jednotek s naklápěcími skříněmi.“ [1 – s. 5]*

Mapa tratí pro osobní dopravu, které jsou zařazeny do systému TEN-T⁵ – viz Obrázek 7.

⁵ V praxi se nejedná o tratě pouze pro osobní dopravu, v rámci TEN-T je definována síť pro nákladní a osobní dopravu separátně, ale ve výsledku se obě sítě z velké části překrývají.



Comprehensive		Core		Comprehensive		Core		Comprehensive		Core	
										Airports	
Conventional rail / Completed	Conventional rail / To be upgraded	Conventional rail / Planned		High speed rail / Completed	To be upgraded to high speed rail	High speed rail / Planned					

Obrázek 7: Síť TEN-T [22 – s. 8]

Nutno však podotknout, že v praxi často dochází k prolínání obou možností. Mnohdy se v rámci některých optimalizací provádí razantnější úpravy než u některých modernizací. Obecně však lze říci, že výše uvedené dělení ve většině případů platí.

4.5.2 Celostátní dráhy nezařazené do systému TEN-T

U tratí této skupiny nenalezneme tak striktní rozdělení a popis úprav jako u předchozí skupiny. Míra úprav infrastruktury je vždy dána místními podmínkami, pozicí daného úseku v širším koncepčním rámci a dopravně-technologickým posouzením.

„Rekonstrukce je souhrn opatření, které je nezbytně nutné provést na dané trati zpravidla v rozsahu stávajícího zemního tělesa pro dosažení takových technických parametrů, aby bylo možné tyto tratě plnohodnotně využívat z hlediska určené třídy zatížení, požadované prostorové průchodnosti, odstranění lokálních omezení traťové rychlosti, technologického vybavení zabezpečovacím, sdělovacím, trakčním a napájecím zařízením“. [2 – příloha č. 1, s. 1]

4.5.3 Regionální dráhy

Obdobně jako u předchozí skupiny nejsou možné úpravy striktně kategorizovány. Mezi základní cíle rekonstrukcí regionálních drah patří zejména:

- „zvýšení bezpečnosti provozu,
- zvýšení bezpečnosti pohybu cestujících v kolejištích,
- zajištění technického stavu infrastruktury podle požadavků platných zákonů, vyhlášek a norem,
- minimalizace nákladů na zajištění provozuschopnosti železniční dopravní cesty,
- minimalizace nákladů na provozování železniční dopravní cesty,
- zvýšení cestovní rychlosti.“ [3 – s. 7]

Rekonstrukce regionálních drah často probíhá formou tzv. **revitalizací**. Jedná se o souhrn úprav, které zpravidla zahrnují:

- výměnu ucelených úseků železničního svršku,
- lokální sanaci železničního spodku s úpravou dotčených staveb železničního spodku,
- rekonstrukci dopravních a přepravních stanišť (s důrazem na zřízení bezbariérového přístupu),
- modernizaci řídicích systémů s důrazem na aplikaci dálkového řízení.

Přesný obsah těchto rekonstrukcí nelze stanovit, neboť vždy vychází z místních podmínek.

5 Dopravní modelování

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole – nedílnou součástí návrhu úprav železniční infrastruktury je přepravní prognóza, která v sobě skrývá dopravní model. Pomocí dopravního modelu je modelován výhledový rozsah poptávky po přepravě a další veličiny, které souhrnně popisují budoucí přepravní vztahy ve zkoumané oblasti, zejména ve vztahu k předmětné infrastruktuře, respektive zamýšleným úpravám předmětné infrastruktury.

Mezi nejrozšířenější modely patří LOGIT model a čtyřfázový dopravní model.

5.1 LOGIT model

LOGIT model je velmi častou metodou využívanou v teorii volby. V podmínkách ČR bývá rovněž označován jako logistický model. [4] [5]

Výstupem toho modelu je pravděpodobnost volby dané varianty z konečné množiny variant. Podmínkou pro použití tohoto modelu je vyčíslení nákladů (užitku) na každou variantu. Rovněž je nezbytné zjistit parametr φ , který vyjadřuje ochotu uživatelů modelovaného systému volit nákladnější varianty. [4]

LOGIT model je definován následujícím vztahem (jako vstupní parametr jsou ve vztahu uvedeny náklady; převod nákladů na užitek je zajištěn násobením -1 v exponentech): [4]

$$P_A = \frac{e^{-\varphi \cdot C_A}}{\sum_{i \in N} e^{-\varphi \cdot C_i}}$$

P_A je pravděpodobnost volby varianty A [-],

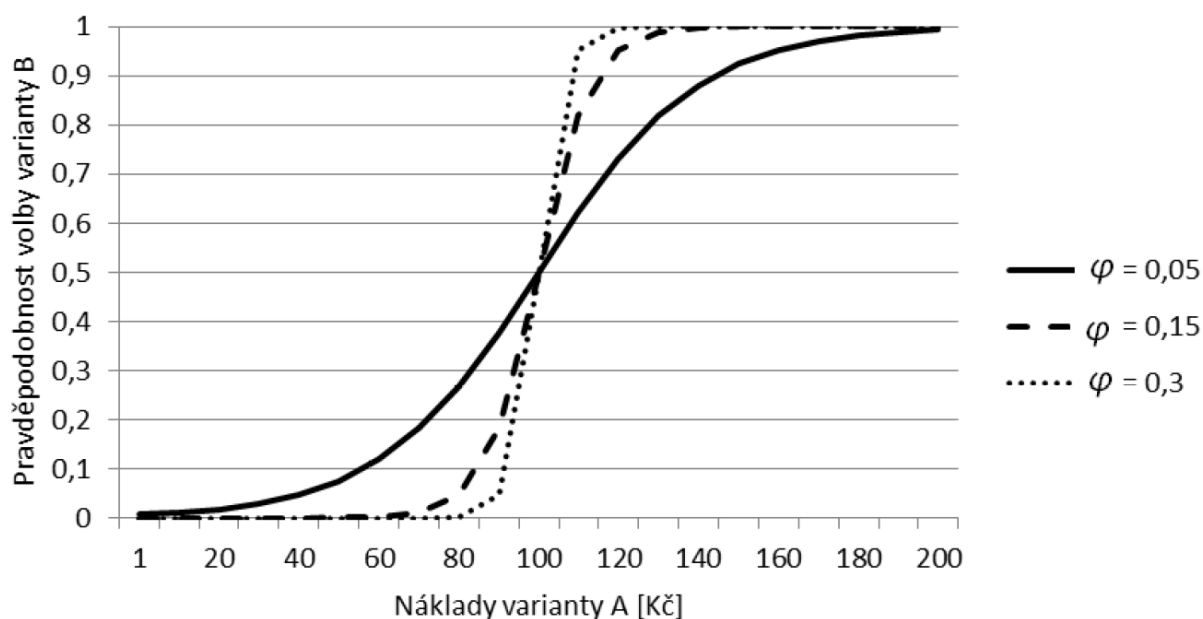
C_A je vyjádření nákladů varianty A [např. Kč],

C_i je vyjádření nákladů varianty i [např. Kč],

φ je ochota volit nákladnější varianty [-],

N je množina možných variant.

Pro lepší představu o významu parametru φ nám může posloužit grafické znázornění – viz Obrázek 8 . „Je zde zobrazen příklad alternativy dvou variant A a B. Varianta B má dané náklady 100 Kč. Na obrázku je zkoumán průběh pravděpodobnosti volby varianty B (vůči variantě A) v závislosti na nákladech varianty A, které byly kalkulovány v rozmezí 1–200 Kč. Výpočet byl proveden při třech různých hodnotách parametru φ (0,05; 0,15 a 0,3), kterým odpovídají jednotlivé křivky (někdy označované jako tzv. logistické nebo také jako S-křivky.)“ [4 – s. 36]



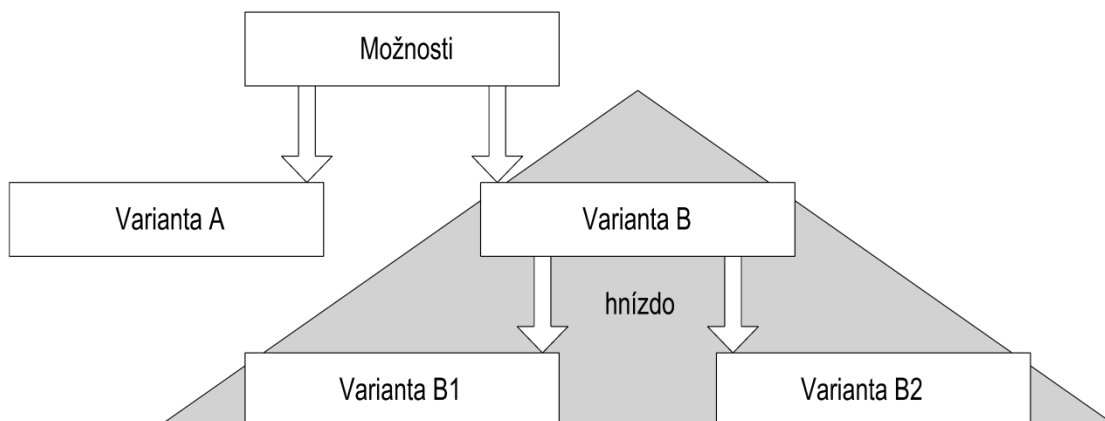
Obrázek 8: Grafické znázornění LOGIT modelu [4 – s. 37]

Hodnota parametru φ se zjišťuje pomocí průzkumů v reálných podmínkách, které odpovídají modelovým podmínkám. [4]

Mezi nevýhody základního pojetí LOGIT modelu patří možnost zahrnout pouze nepřímý užitek stejný pro všechny uživatele. Nedochozí tak k zohlednění individuálních preferencí jednotlivých uživatelů dopravního systému. [4]

5.1.1 Hierarchický (hnízdový) LOGIT model

V praxi často narazíme na situaci, že rozhodování není možné vyjádřit konečnou množinou rovnocenných variant. Rozhodovací varianty navazují jedna na druhou. Z hlediska matematiky jsou tak některé varianty závislé. Typicky se jedná o situace, kdy např. vykonáváme cestu kombinací způsobů dopravy (cesta na nádraží individuální automobilovou dopravou nebo pěšky, na kterou navazuje cesta vlakem), neboť naproti tomu stojí varianta vykonání celé cesty jedním prostředkem (např. individuální automobilová doprava). Podvarianty, které mají společné prvky, vytváří tzv. hnízda (viz Obrázek 9). Volba mezi podvariantami v rámci hnízda je samostatným rozhodovacím problémem. [4]



Obrázek 9: Hnízdový LOGIT model [4 – s. 39]

5.2 Čtyřstupňový dopravní model

Čtyřstupňový dopravní model je základním nástrojem pro modelování dopravních proudů. V některých případech lze model modifikovat přidáním nebo ubráním některých stupňů, například pokud v rámci modelované oblasti zohledňujeme pouze jeden dopravní mód. [4]

5.2.1 Určení zdrojových a cílových proudů (Trip generation)

Výstupem prvního stupně modelu jsou zdrojové (disponibilita) a cílové (atraktivita) proudy jednotlivých přepravních okrsků v rámci řešeného časového období. Jedná se pouze o intenzity bez směrování. [4]

Mezi metody zjišťování disponibility a atraktivity jednotlivých okrsků můžeme zařadit metodu růstového faktoru, využití vícenásobné lineární regrese, využití teorie volby, směrové dopravní průzkumy a využití dat ze sčítání obyvatelstva. [4]

5.2.1.1 Metoda růstového faktoru

Tato metoda je založena na transformaci již známých hodnot disponibility a atraktivity z dřívějších období. Základním vztahem je:

$$D_i = F_i \cdot D_i^*$$

D_i je výsledná disponibilita nebo atraktivita [dopravních elementů],

F_i je růstový faktor [-],

D_i^* je původní disponibilita nebo atraktivita [dopravních elementů].

Růstový faktor můžeme určit jako podíl hodnot určité společensko-ekonomické veličiny (aktuální vs. minulý stav). Lze použít například počet obyvatel, průměrný příjem nebo počet automobilů v domácnosti. [4]

Tato metoda je bohužel spojena s řadou nepřesností, proto se příliš nevyužívá. [4]

5.2.1.2 Využití vícenásobné regresní analýzy

Nutným předpokladem této metody je přepravní průzkum v řešené oblasti. V rámci průzkumu je zjišťována závislost počtu realizovaných cest statistické jednotky (např. domácnost) na vybraných ukazatelích. Výběr ukazatelů je závislý na charakteru zkoumané oblasti. Například pro okrsky s převažující výrobní nebo obchodní funkcí můžeme využít počet pracovních míst nebo velikost průmyslových ploch. [4]

Z hlediska matematiky se jedná o nalezení lineární regresní funkce, která charakterizuje závislost počtu cest za časovou jednotku na vybraných společensko-ekonomických ukazatelích okrsku. Obecně lze tuto funkci vyjádřit: [4]

$$N_{cest} = k_1 \cdot X_1 + k_2 \cdot X_2 + \dots + k_n \cdot X_n + q$$

N_{cest} je výsledný počet uskutečněných cest za jednotku času [počet cest/čas],

k_i jsou koeficienty vyjadřující váhu veličin na celkovém počtu uskutečněných cest,

X_i jsou hodnoty jednotlivých veličin,

q je absolutní člen regresní funkce.

Výslednou funkci je nezbytné podrobit statistickému testování ve třech rovinách (t-test, F-test, test těsnosti reálných hodnot zjištěných průzkumem a hodnot vypočtených regresí). [4]

5.2.1.3 Využití teorie volby

Tato metoda je postavena na stanovení pravděpodobnosti, s jakou bude realizována cesta. Nejčastěji využívanou statistickou jednotkou jsou zde jednotlivci. Pravděpodobnost cesty vychází z užitku U , který bude jednotlivci poskytnut realizací cesty. Pravděpodobnost lze vyjádřit vztahem, který je odvozen od obecného LOGIT modelu: [4]

$$P_c = \frac{1}{1 + e^{-U}}$$

P_c je pravděpodobnost realizace cesty,

U je užitek plynoucí z realizace cesty [např. Kč].

Důležitým faktem je skutečnost, že alternativa necestovat je považována za alternativu s nulovým užitekem. [4]

5.2.2 Určení přepravních proudů (Trip distribution)

V tomto stupni probíhá určení směrovosti přepravních proudů mezi jednotlivými okrsky. Výsledky z tohoto stupně se prezentují ve formě matice přepravních vztahů (OD⁶ matice). Používané metody lze rozdělit do dvou skupin: analogické (máme k dispozici OD matici z předchozího období, kterou modifikujeme pro aktuální období) a syntetické (tvoríme zcela novou matici).

5.2.2.1 Syntetické metody

Častým nástrojem pro tvorbu nové matice je tzv. **gravitační model**. Tento postup vychází z analogie s fyzikálním principem vzájemného působení hmotných těles gravitační silou – silové působení je nahrazeno intenzitou přepravního proudu v závislosti na disponibilitě zdrojového a atraktivitě cílového okrsku. [4]

Atraktivitu a disponibilitu lze nahradit počty obyvatel. V takovém případě je výsledkem symetrická OD matice – stejné intenzity v obou směrech. Při použití toho způsobu je nezbytné výsledek dále zpřesnit vložení dalších koeficientů. Příkladem tohoto modelu může být například **Lillův model**, který je definován následujícím vztahem: [4]

$$D_{ij} = \frac{A_i \cdot A_j}{d^n} \cdot K$$

D_{ij} je intenzita přepravního proudu mezi dvěma místy za stanovené časové období,

A_{ij} jsou počty obyvatel (v tisících) sídel,

d je vzdálenost sídel [km],

K je koeficient (velikost závisí na charakteru sídel),

n je mocnina blízká hodnotě 2.

5.2.2.2 Analogické metody

Základním předpokladem úspěšného použití analogických metod je absence větších změn ve zkoumaném území (např. větší změny ve výrobních kapacitách průmyslových zařízení). [4]

⁶ z anglického Origin – výchozí místo, Destination – cílové místo

Typickým příkladem analogické metody je tzv. **Detroidsý model**, který lze vyjádřit následujícím vztahem: [6]

$$d_{ij} = \frac{(k'_i \cdot k''_j) \cdot d'_{ij}}{k} \text{ [dopravních elementů/čas]}$$

d_{ij} je intenzita přepravního proudu na relaci mezi okrsky i a j pro zjišťované období,

k'_i je podíl disponibilit okrsku i pro zjišťované a základní (předchozí) období,

k''_j je podíl atraktivit okrsku j pro zjišťované a základní období,

k je podíl celkových disponibilit za všechny okrsky pro zjišťované a základní období,

d'_{ij} je intenzita přepravního proudu na relaci ij v základním období.

Mezi další často používané metody patří **Fratarova** [7] nebo **Furnessova metoda** [8].

5.2.3 Dělbá přepravní práce (Modal-split)

Tento stupeň se zabývá rozdělením intenzit z OD matice mezi jednotlivé druhy dopravy. Pojem druh dopravy je ovšem nutné brát s rezervou, neboť členění je závislé na architektuře systému a eventuálním dalším členěním (silniční doprava se může dále dělit na osobní a nákladní vozidla, ale i jízdní kola). [4]

5.2.3.1 Použití teorie volby

Velmi vhodným nástrojem je využití matematické teorie volby, resp. LOGIT modelu, který je popsán v kapitole 3.1. Podmínkou pro použití je vyčíslení nákladů na jednotlivé dopravní obory a zjištění hodnoty parametru φ , který vyjadřuje ochotu uživatelů modelovaného systému volit nákladnější varianty. [4]

$$P_A = \frac{e^{-\varphi \cdot C_A}}{\sum_{i \in N} e^{-\varphi \cdot C_i}}$$

P_a je pravděpodobnost volby dopravního oboru A [-],

C_A je vyjádření nákladů při použití dopravního oboru A [např. Kč],

C_i je vyjádření nákladů při použití dopravního oboru i [např. Kč],

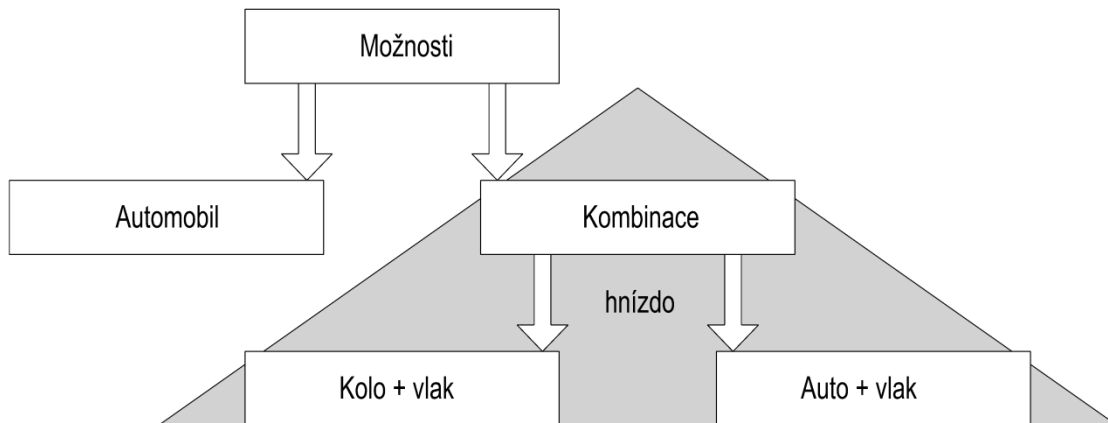
φ je ochota uživatelů volit nákladnější dopravní obor [-],

N množina možných dopravních oborů.

5.2.3.2 Modal split a kombinace dopravních oborů

Velmi často je pro vykonání cesty využita určitá kombinace různých druhů dopravy. Existuje například možnost vykonat určitou cestu buď osobním automobilem, anebo vlakem. Pokud se

uživatel rozhodne pro vlak, musí řešit ještě přepravu do železniční stanice, kterou může vykonat buď na kole, nebo osobním automobilem. Vhodným aparátem pro řešení těchto situací je hnízdový LOGIT model, který je popsán v kapitole 3.1.1. Varianty, které jsou pro určitou část cesty společné, potom tvoří tzv. hnízda. [4]



Obrázek 10: Použití hnízdového LOGIT modelu [4 – s. 71]

5.2.3.3 Další metody

Mezi některé z dalších možností patří například tzv. **sektorová úvaha**, která se snaží zohlednit charakteristiky jednotlivých okrsků, například stupeň automobilizace ve zdrojovém okrsku. [4]

5.2.4 Přidělení přepravních proudů na konkrétní úseky sítě (Traffic Assignment)

V posledním stupni modelu dochází k přiřazení přepravních proudů na konkrétní infrastrukturu. Metody využívané v tomto stupni lze obecně rozdělit do dvou skupin – deterministické a stochastické. [4]

5.2.4.1 Metoda All-or-Nothing

Jedná se o základní metodu přidělení přepravních proudů na konkrétní úseky sítě. Principem je přiřazení každé přepravy z OD matice na nejkratší (nejlevnější) cestu. Ohodnocení cesty může být provedeno pomocí vzdálenosti, cestovního času nebo v penězích. [4]

Matematicky se tedy jedná o úlohu nalezení nejkratší cesty, pro kterou můžeme použít Dijkstrův nebo Floydův algoritmus.

Tato metoda je limitována především faktem, že zdaleka ne všichni uživatelé dopravního systému volí nejkratší cestu. Přibližně 30 % cest je z nejrůznějších důvodů vedeno po jiné než nejkratší cestě. Mimo město toto procento klesá, protože rostoucí vzdálenost motivuje uživatele k volbě nejkratší vzdálenosti. [4]

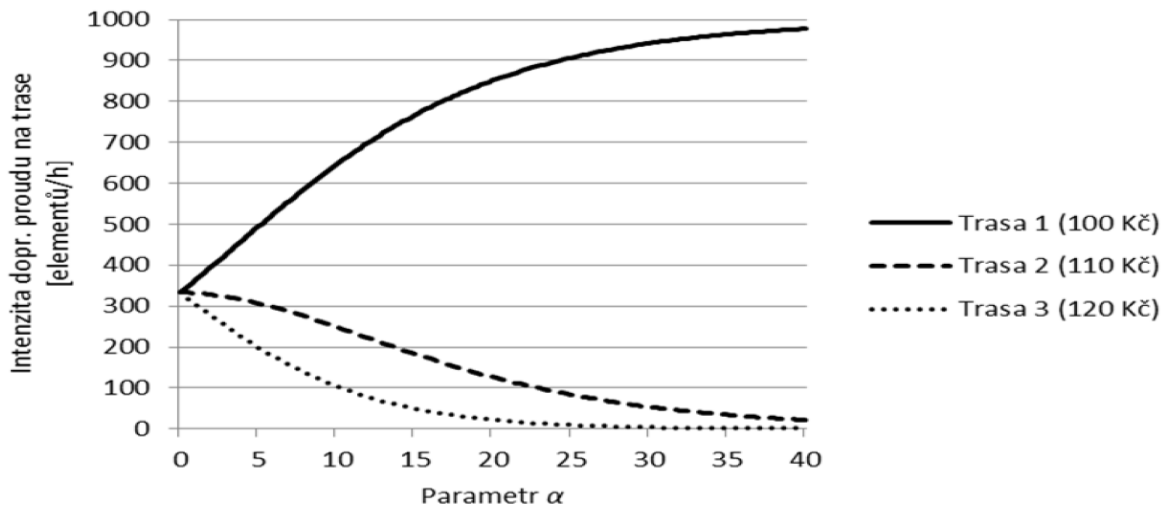
5.2.4.2 Metoda přidělení zatížení na více tras

Základním předpokladem této metody je sestavení konečné množiny variant trasy a nákladového n ohodnocení (vzdálenost, čas, peníze). Tato metoda je modifikací modelu LOGIT. Výpočet probíhá podle následujícího vztahu [4]:

$$D_r = D_{ij} \cdot \frac{1}{\sum_{n=\{r\}} \left(\frac{C_r}{C_n}\right)^\alpha} \text{ [počet cest]}$$

- D_r je počet cest připadajících na variantu trasy r ,
- D_{ij} je celkový počet cest na relaci mezi okrsky i a j ,
- C_r jsou cestovní náklady připadající na variantu trasy r ,
- C_n jsou cestovní náklady připadající na ostatní varianty trasy,
- n je pořadový index jednotlivých tras,
- α vyjadřuje ochotu uživatelů volit náročnější trasy.

„Význam parametru α graficky ilustruje následující příklad (viz Obrázek 11) (1000 cest, 3 varianty trasy s uvedenými náklady). Je patrné, že při volbě $\alpha = 0$ je rozdělení na tyto cesty rovnoměrné (bez ohledu na náklady). Naopak s rostoucím parametrem α roste i citlivost uživatelů dopravního systému na náklady. Při $\alpha = 40$ (a daných nákladech), dosahuje pravděpodobnost volby nejlevnější varianty hodnoty 97,8 %.“ [4 – s. 74]



Obrázek 11: Parametr α [4 – s. 74]

5.2.4.3 Metody přiřazení dopravních proudů zohledňující kongesce

Mezi hlavní nevýhody předchozích dvou metod patří nezohlednění možných kongescí na dopravní síti, respektive reakcí uživatelů na kongesce. Pokud má uživatel základní přehled

o dopravní situaci, lze předpokládat, že se bude snažit volit cestu s co nejmenším rizikem výskytu kongescí. Modelování toho jevu je popsáno tzv. **Wardropovými větami**. [4]

„První Wardropova věta říká, že na všech využívaných trasách mezi dvěma místy je dosahováno stejného času, který je nižší než cestovní čas, kterého by dosáhl kterýkoliv uživatel na některé z nevyužívaných tras. Jinými slovy, výběrem jiné, dosud nevyužívané, trasy nelze cestovní čas dále snížit. Tento rovnovážný stav se často označuje také jako uživatelské ekvilibrium (anglicky User Equilibrium – UE). [4 – s. 75]

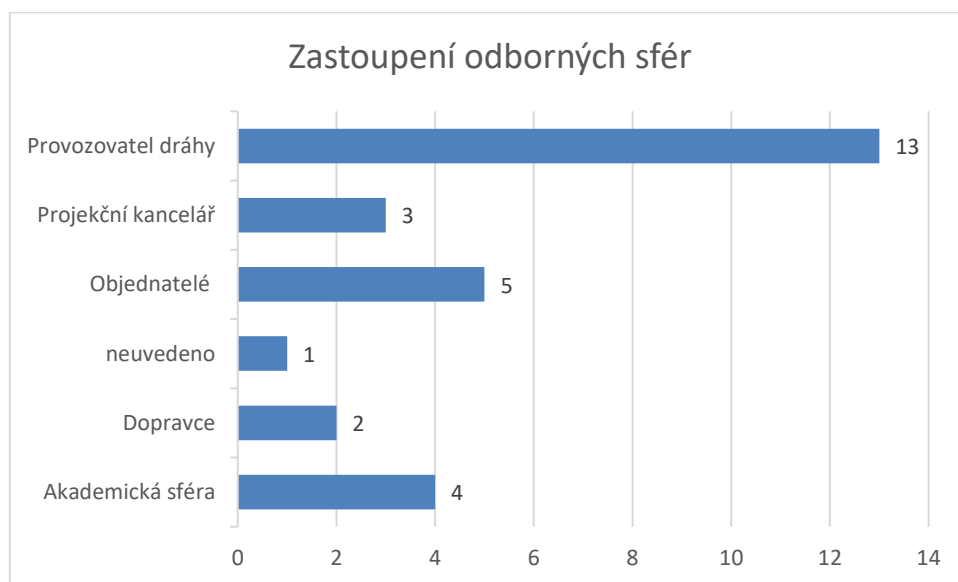
***Druhá Wardropova věta** popisuje stav, kdy je minimalizován průměrný cestovní čas uživatelů dopravní sítě. Vzniká tak systémové ekvilibrium (Systém Equilibrium – SE).“ [4 – s. 75]*

Systémovou rovnováhu lze najít zejména v systémech s centralizovaným řízením (železnice, logistické systémy). V individuální automobilové dopravě se každý uživatel snaží minimalizovat pouze svůj vlastní cestovní čas, což směřuje k uživatelskému ekvilibriu. [4]

6 Expertní dotazník ke stávající metodice nastavování parametrů infrastrukturních staveb na železnici v ČR

Za účelem zjištění odborného názoru na stávající systém nastavování parametrů železničních infrastrukturních staveb byl v roce 2021 v rámci grantu SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty sestaven a distribuován rozsáhlý expertní dotazník s názvem „Kapacita železniční dopravní cesty, parametry železničních tratí a hodnocení staveb na železnici“, jedním z tvůrců dotazníku byl i autor této disertační práce. Následuje vyhodnocení části dotazníku týkající se systému nastavování parametrů železničních infrastrukturních staveb.

Dotazníkové šetření probíhalo na platformě Google formuláře. Celkem se jedná o soubor 28 dotazovaných expertů, přičemž jejich příslušnost k odborným organizacím shrnuje graf níže (viz Obrázek 12).

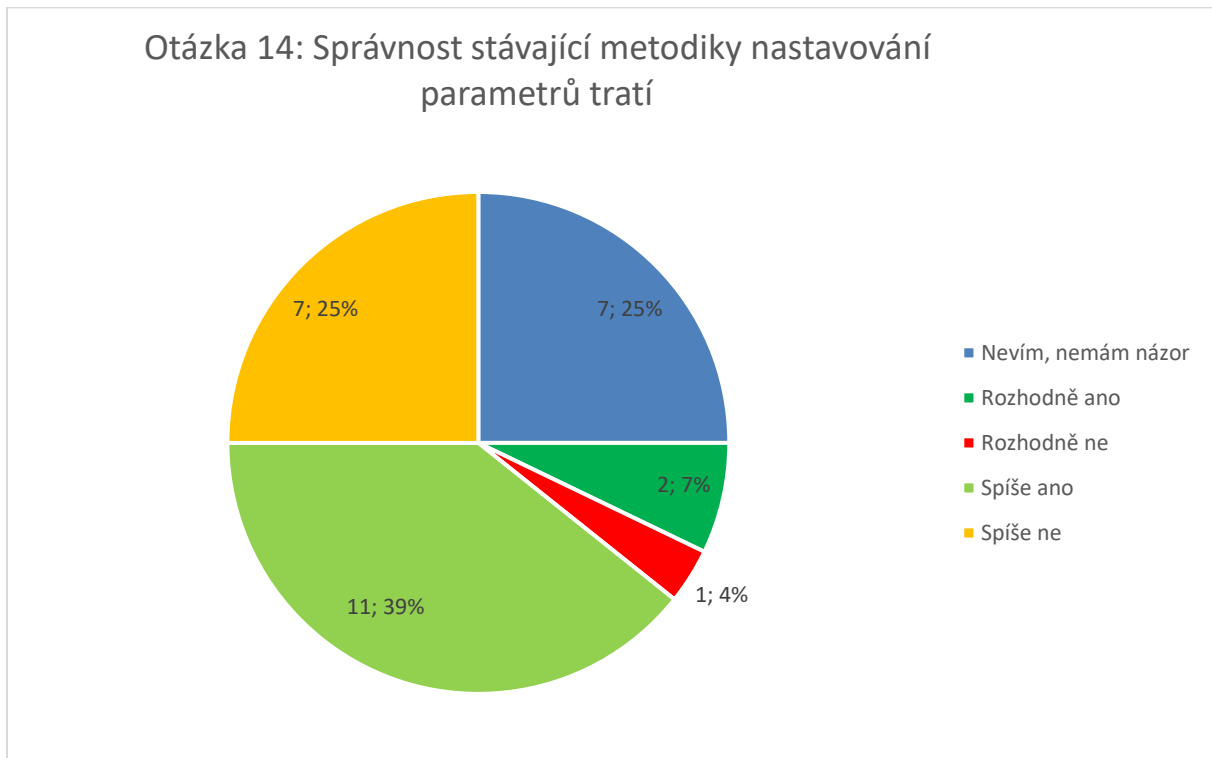


Obrázek 12: Zastoupení odborných sfér v rámci dotazníku [10 – s. 4]

V zastoupení odborných sfér zcela jednoznačně převažují zaměstnanci provozovatele dráhy s 13 dotazovanými (zde všichni z různých odborů Správy železnic). Následuje skupina objednatelů či jim příbuzných profesí s 5 respondenty (konkrétně POVED, JIKORD, Ústecký kraj či IPR Praha). Dále dotazník vyplnili 4 zástupci akademické sféry (ČVUT v Praze, Univerzita Pardubice) a 3 zaměstnanci projekčních kanceláří (SUDOP Praha, Metroprojekt Praha). Nejmenší zájem o reakci na dotazník projeví zástupci dopravců (ČD, GW Train Regio) v počtu dvou respondentů. Jeden dotazovaný si pak nepřál uvést původ svého pracoviště. [10]

6.1 Otázka 14

Považujete současnou metodiku nastavování parametrů (zejména trasování, rozhodování novostavba x rekonstrukce stávající infrastruktury, podíl přeložek, počet traťových kolejí/četnost dopraven, atp.) nové železniční infrastruktury v ČR (studie proveditelnosti) za správnou?



Obrázek 13: Odpovědi respondentů na otázku 14 [10 – s. 40]

Obrázek 13 vyjadřuje poměrné zastoupení jednotlivých odpovědí. Tabulka 2 obsahuje výčet komentářů k odpovědím (u respondentů, kteří tuto možnost využili).

Tabulka 2: Komentáře respondentů k otázce 14 [10]

Odpověď	Komentář
Rozhodně ano	Problémem je neustálá snaha o obcházení pravidel stanovených metodikou, způsobená zejména politickými tlaky.
Spíše ano	Metodika je v zásadě správná, problém je v uchopení a schopnosti vyčíslení konkrétních přínosů (často velmi časově náročné a pracné, nesnadné získání konkrétních relevantních dat) a obecně schopnostech zpracovatelů, potažmo i hodnotitelů. Jiná metodika nedá lepší výsledky, zůstane-li zpracovatel neschopný / hodnotitelé roztříštění.

Odpověď	Komentář
Spíše ano	Občas postrádám: 1) úvahu nad přínosem investice pro koncového uživatele, 2) koordinace stavebních činností, resp. finančních prostředků (1. rok trať, 2. rok zabezpečovací zařízení, 3. rok tunel, 4. rok most a všichni potenciální cestující jsou „v pr**li“) ⁷
Spíše ano	Své případné výhrady jakožto zaměstnanec XY nebudu sdělovat touto cestou.
Spíše ano	Mám za to, že se rozhoduje hlavně podle potřeb a smysluplnosti dopravního konceptu, přeložky nejsou jen tak z plezíru, což považuji za správné. Ideální stav často naruší výsledek ekonomického hodnocení a smysluplnost pak někdy dostává na fraš. V některých případech by kromě ekonomické efektivity bylo dobré mít možnost obhajovat investice např. státním zájmem (nesmělo by se tím ale plýtvat). Také bych rozšířil možnost používání MKA, tam kde CBA selhává.
Spíše ano	V zásadě se domnívám, že již dlouhodobě je snaha adaptovat infrastrukturu na rozsah provozu, takže obecně ano. U nás je však problém, že požadavky uživatelů infrastruktury se mění v čase a nejsou prověřené (modely, predikcemi, výpočty) a následně zafixované, takže se velmi často stává, že investice do infrastruktury vlastně ve finále neřeší problémy spojené s kapacitou. Další problém je chronologie jednotlivých projektových stupňů, která se u nás z různých důvodů nerespektuje, čímž opět vznikají nedostatečnosti či naopak přebytečnosti v síti (to ale není problém studií proveditelnosti jako takových).
Spíše ano	V naprosté většině případů není problémem vlastní metodika, ale vstupy! Dlouhodobě výsledky především z výrazněji sledovaných SP křiví neřízená cenotvorba staveb podléhající kvantitativní přípravě (blíže bez komentáře) a stavu na trhu. I ve SP lze navrhnout kapacitně prakticky dokonalé řešení, se kterým by byli všichni spokojeni, ale řešení musí být ekonomicky efektivní – krom jiného. Více nelze rozepisovat! Pokud je EH na obtíž, nemusíme ztrácet čas se studii, ale na druhé straně by stejně musel "nějak" vzniknout pořadník staveb bez blíže specifikovaných priorit, které by zřejmě neodpovídaly koncepčním cílům a odborné selekci. SP i další

⁷ Jedná se o autentickou citaci odpovědi jednoho z respondentů

Odpověď	Komentář
	dokumentace v počátku přípravy jsou primárně strategickým dokumentem, který má ověřovat průchodnost šetřené situace, případně dávat vodítka k řazení v prioritizaci. Je však křiveno úpravami vstupů bez adekvátního průkazu jejich pořízení – někde kontrolovanými, jinde bez komentáře.
Nevím, nemám názor	Není mi známá metodika nastavování parametrů nové železniční infrastruktury v ČR.
Nevím, nemám názor	Nemyslím, že by v ČR nebo jinde existovala "metodika nastavování parametrů". Existují minimální parametry v TSI INF, ale k těm zřejmě dotaz nesměřuje. Obecný postup "shromáždit požadavky/přání – vyhodnotit jejich podloženost a relevanci – vytvoření rejstříku možných variant s nejrůznějšími parametry – jejich posouzení CBA – rozhodnutí o variantě" považuji za relevantní a správný.
Spíše ne	Kvalita provozu zajištěná dopravní technologií by měla vstupovat do ekonomického posouzení, které zohlední navýšení nákladů v důsledku následných zpoždění.
Spíše ne	Jsou podceňovány kapacity stanic (počet, délka kolejí). Pro osobní dopravu často dle předpokládaného dopravního modelu bez rezerv, pro nákladní dopravu bez zohlednění případného velkého nárůstu tohoto segmentu. Počty traťových kolejí jsou na řadě tratí dlouhodobě podceněné, a přestože ve studiích proveditelnosti často vycházela jako ekonomicky efektivní i varianta s vyšší kapacitou, zvolena byla úspornější varianta. Na rozdíl od přístupu v jiných odvětví nebo i v silniční dopravě (zcela jiný přístup ŘSD ve věci stanovení kapacity komunikací než u SŽ) převládá na železnici výrazně defenzivní přístup. Nikoliv nabídka nové kapacity, ale pouze částečné uspokojení existující poptávky.
Spíše ne	Na jednu stranu je časové období pro hodnocení ekonom. efektivity stavby vzhledem k jejich životnosti krátké (v současnosti tuším u nás 30 let), na druhou stranu počítat jakékoli údaje o přepravních prouděch v horizontu delším pěti let je stejně relevantní jako věštění z křišťálové koule. Proto se domnívám, že by měl být dán prostor expertnímu pohledu více odborníků a že by se zejm. žel. stavby měly navrhovat s rezervou (např. koleje v žst. navíc, délky nástupišť, více výhyben) - nemusí se např. v dané stavbě hned

Odpověď	Komentář
	takováto rezerva využít, ale musí být možná její snadná realizace v budoucnu (zůstane prostor pro přidání koleje v žst.).
Spíše ne	To je opět stavba od stavby.
Spíše ne	Jsem si ale vědom závislosti na množství finančních prostředků na investice i majetkoprávních problémů při plánování novostaveb (NIMBY).
Spíše ne	V případě novostaveb či rekonstrukcí bych se klonila k větší velkorysosti s výhledem do budoucna. Kolejiště jsou co do počtu kolejí ve stanicích zbytečně redukována, jejich potřebnost se může ukázat až časem. Snaha ušetřit v jednom okamžiku za dvě výhybky s sebou pak často nese omezení možností infrastruktury na mnoho dalších let dopředu.
Rozhodně ne	Ne. V rámci metodiky nejsou mnohdy hledaná optima, ale maxima. Hezkým příkladem je např. momentální móda zavádění rychlosti 200 km/h, z které neplyne, zda tuto rychlost potřebujeme pro dosažení systémové cestovní doby mezi A a B, kolik vlaků tuto rychlost využije, jaké budou dopady na kapacitu atd. Nicméně víme, že rychlost 200 km/h chceme. Dalším příkladem je studie Plzeň – České Budějovice, kde se našlo řešení, které je ekonomicky akceptovatelné, nicméně není ním dosaženo systémových cestovních dob mezi Plzní a Českými Budějovicemi. Další fenomén jsou zcela měnící se vstupy zejména z pohledu osobní dopravy, kdy mnohdy provozní koncept má menší životnost než příprava stavby. Obecně chybí trvalý a jasný cíl, co chceme od připravované, resp. stávající infrastruktury v roce 2030 atd.

6.1.1 Komentář autora k výsledkům otázky 14

V případě ohodnocení odpovědí:

- Rozhodně ano = 1,
- Spíše ano = 2,
- Nevím, nemám názor = 3,
- Spíše ne = 4,
- Rozhodně ne = 5,

činí průměr 2,79 a směrodatná odchylka je 1,01. Je patrný velmi mírný příklon k názoru, že současná metodiku nastavování parametrů (zejména trasování, rozhodování novostavba

x rekonstrukce stávající infrastruktury, podíl přeložek, počet trat'ových kolejí/četnost dopraven, atp.) nové železniční infrastruktury v ČR (studie proveditelnosti) je správná.

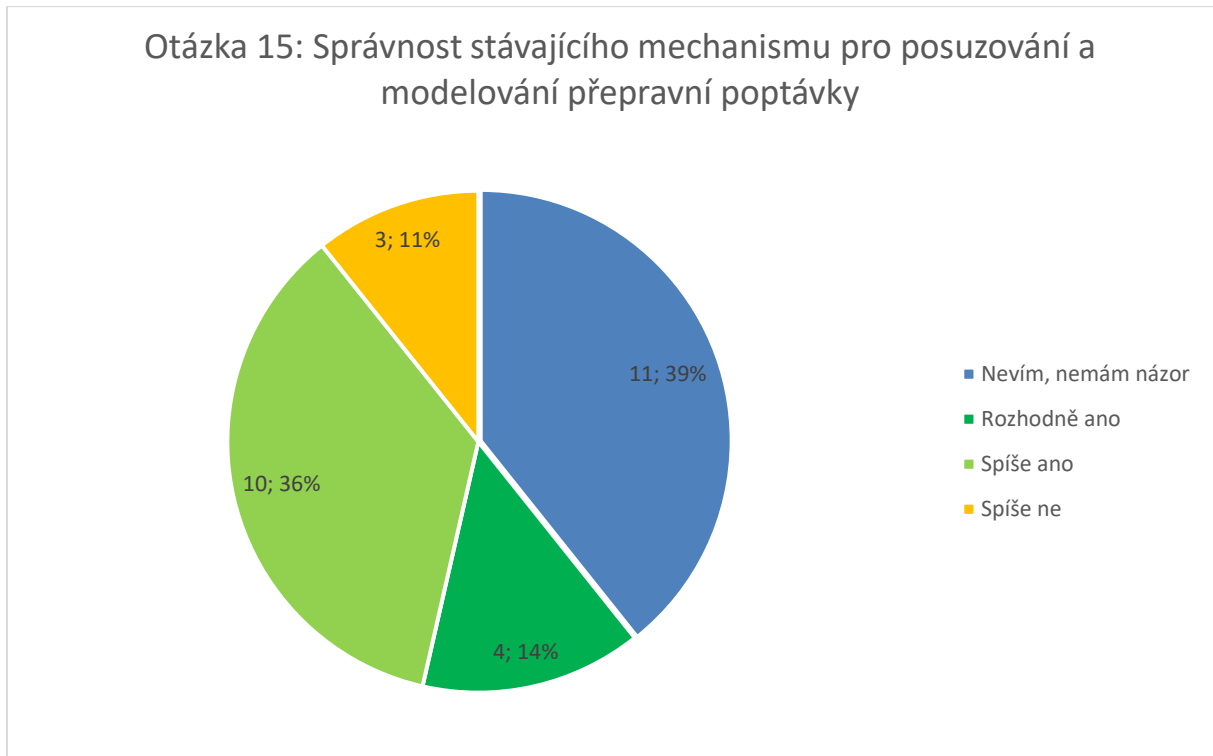
V komentářích je poukazováno na následující skutečnosti:

- dochází k deformacím, např. politickým tlaky,
- stavba od stavby jsou rozdílné zkušenosti,
- záleží velmi na schopnostech hodnotitelů a zpracovatelů,
- problémem je často základna dat; některá data jsou s těžší dostupná, jinde se pracuje s nepřesnými odhady,
- stávající stav do určité míry popírá „zdravou“ velkorysost a neumožňuje dimenzování infrastruktury tak, aby byla dostatečně robustní v případě potřeby během horizontu jejího užívání.

V případě této otázky se jedná o otázku s poměrně značnou rozporuplností názorů. Jak u pozitivních, tak negativních názorů jsou uváděny náměty na zlepšení metody, byť skutečně velmi mírně převažuje pozitivní názor. Je však jasně vidět, že metodu jako „všespásnou“ nevnímá téměř nikdo. Negativní či spíše negativní názory jsou patrné ve všech profesních skupinách, nelze tedy ani generalizovat, že by se negativy případně významněji vymezovala některá z těchto skupin. Ukazuje se tak, že tato problematika rozhodně zasluhuje pozornost a další rozvoj. [10]

6.2 Otázka 15

Považujete současný mechanismus používaný pro modelování poptávky po přepravě v rámci studií proveditelnosti (přepravní prognóza – čtyřstupňový přepravní model, logit model) za správný?



Obrázek 14: Odpovědi respondentů na otázku 15 [10 – s. 44]

Obrázek 14 vyjadřuje poměrné zastoupení jednotlivých odpovědí. Tabulka 3 obsahuje výčet komentářů k odpovědím (u respondentů, kteří tuto možnost využili).

Tabulka 3: Komentáře respondentů k otázce 15 [10]

Odpověď	Komentář
Rozhodně ano	Metodicky je čtyřstupňový model vhodný prostředek. Je ale potřeba se stále věnovat rozsahu jeho aplikace, způsobu jeho kalibrace i požadavkům na jeho verifikaci.
Spíše ano	Výsledky modelů se ale velmi přeceňují. Větší váha by měla být dáována také společenským trendům (očekávané změny mobility vzhledem ke splnění klimatických cílů).
Spíše ano	Asi by měl být větší důraz na kontrolu správné kalibrace modelu.

Odpověď	Komentář
Spíše ano	Principiálně není lepší přístup. Jde spíše o to, aby byl model zkonstruován co nejpečlivěji ještě před tím, než začne výpočet, a zároveň aby byl dobře zmapován zpětný vývoj pro delší časové období.
Spíše ano	Není bezchybný, jsou to pouze nástroje, které jsou schopny přesně pracovat s více či méně predikovanými vstupy. Vždy vše může ovlivnit zpracovatel, případně hodnotitel svými zkušenostmi, ale mnohdy i buď pochybením či záměrem. V prostředí SP se jedná o jednu z nejpodstatnějších částí dokumentace. Vzhledem ke složitosti, vazbám v přepravních tocích si mnohdy lze těžko představit manuální nástřel a SW spíše omezuje šíření chybovosti nad rámec vstupů.
Nevím, nemám názor	S uvedenou problematikou nepracuji.
Nevím, nemám názor	Nejsem dostatečně obeznámen.
Spíše ne	Jak jsem již mínil, nejsou zohledněna zpoždění.
Spíše ne	Částečně viz odpověď výše. Zvláště pro dlouhodobý horizont se jedná o přesnou, náročnou a drahou práci s nepřesnými čísly...

6.2.1 Komentář autora k výsledkům otázky 15

V případě ohodnocení odpovědí:

- Rozhodně ano = 1,
- Spíše ano = 2,
- Nevím, nemám názor = 3,
- Spíše ne = 4,
- Rozhodně ne = 5,

činí průměr 2,46 a směrodatná odchylka je 0,87. Je patrný mírný příklon k názoru, že současný mechanismus používaný pro modelování poptávky po přepravě v rámci studií proveditelnosti (přepravní prognóza – čtyřstupňový přepravní model, LOGIT model) je správný.

V komentářích je poukazováno na následující skutečnosti:

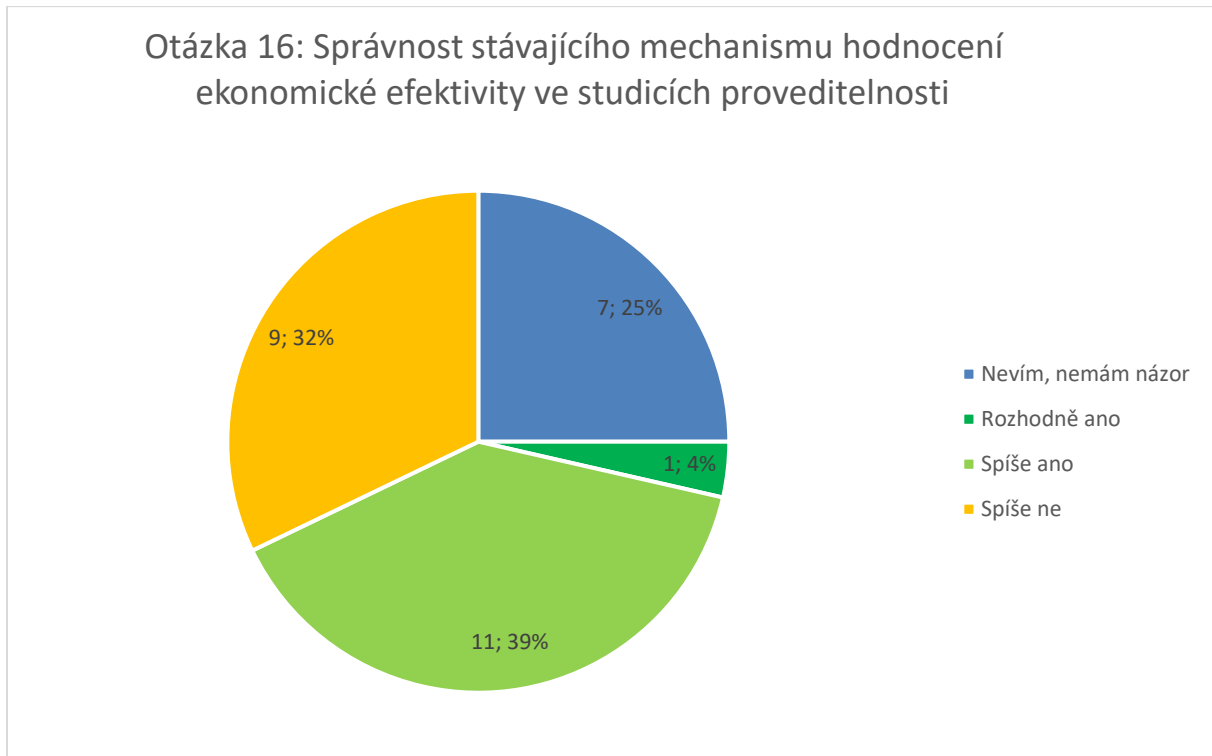
- nutnost provést pečlivou kalibraci a verifikaci modelu,
- nutnost pracovat s delšími historickými časovými řadami,

- zohledňovat též lépe celospolečenské trendy,
- může se jednat o práci s nepřesnými čísly.

Spíše negativní odpovědi na tuto otázku – celkem 3 – byly identifikovány v případě zástupce provozovatele dráhy, objednatele a akademické sféry. Není tedy opět větší počet negativních odpovědí v některé ze skupin. [10]

6.3 Otázka 16

Považujete současný mechanismus používaný pro hodnocení ekonomické efektivity (jakožto součást procesu rozhodování o výsledné podobě infrastruktury) v rámci studií proveditelnosti za správný?



Obrázek 15: Odpovědi respondentů na otázku 16 [10 – s. 47]

Obrázek 15 vyjadřuje poměrné zastoupení jednotlivých odpovědí. Tabulka 4 obsahuje výčet komentářů k odpovědím (u respondentů, kteří tuto možnost využili).

Tabulka 4: Komentáře respondentů k otázce 16 [10]

Odpověď	Komentář
Spíše ano	Bohužel jsme ale leckdy svědky různého "ohýbání" výsledků. Tato oblast by si zasloužila podrobit rozsáhlé revizi.
Spíše ano	Viz výše – problém je v uchopení a schopnosti vyčíslení konkrétních přínosů (často velmi časově náročné a pracné, nesnadné získání konkrétních relevantních dat) a obecně schopnostech zpracovatelů, potažmo i hodnotitelů.
Spíše ano	CBA jako základní princip posuzování variant považují za správný a významný mechanismus, byť jeho uplatnitelnost (nejlepší výsledek =

Odpověď	Komentář
	doporučená varianta) nemůže být absolutní. Problém vidím v jeho deformacích.
Spíše ano	Nejsem ekonom, ale myslím si, že u liniových dopravních staveb se ekonomická efektivita stanovuje velice obtížně a za pomoci dat, které lze pouze odhadovat (zejména pokud se jedná o nějakou vzdálenější budoucnost).
Spíše ano	Nic lepšího zatím nemáme. Rozšířil bych možnost využívat MKA tam, kde CBA selhává (podobně jako je u náhrad přejezdů apod.).
Spíše ano	Principiálně opět ano. Jsou však záležitosti, které ohodnotit neumíme (stabilita provozu). Zároveň máme evropské CINy (na výdajové straně), ale nemáme evropské ceny času (na benefiční straně), dále podhodnocujeme například přínosy ŽP a neumíme zafixovat výsledek EH k jednomu okamžiku (SP má svůj význam, DUR a DSP zase svůj, časově by se prolínat neměly, protože na sebe ty procesy prostě navazují, a analogicky se ale mění CÚ a rozsah znalosti, smířme se s tím). Když zúžím pojem EH na CBA, což není univerzálně dobře, tak i tak platí, že zároveň ne vždy dává úplně smysl klasické CBA na velké projekty aplikovat (v případech, kdy je záměr dán národní či nadnárodní politikou – ERTMS, TEN-T, RFC apod., tak by se již hodnotit neměl, respektive měl se hodnotit ještě předtím, než se do politiky ERTMS, TEN-T, RFC apod. dostal, což se u nás vesměs nedělo). Obecně se smířme s tím, že metodika EH jsou prostě nějaká smluvená pravidla, která tu celospolečenskost prostě odráží. Byl dostatek času je projednávat a ladit, teď není moc prostor na nářky a totální přetváření. Dopravní plánování je jeden z mála oborů, do značné míry „menežovaných“ státem, který průřezově pro stanovování priorit nějaký takový nástroj vlastně má, to je v podstatě zázrak. A že se s tím celospolečenským pohledem neumíme smířit a máme tendenci většinu záměrů tlačit a ohýbat? To je spíš chyba naše. Případně uplatňujme jiné měřítko, ale financujme jej z takového zdroje, který toto měřítko bude akceptovat (máme v ČR takový?).
Spíše ano	V platných podmínkách musí být investice ekonomicky efektivní, nicméně v případě vícero ekonomicky efektivních variant rozhodně nemusí být vždy

Odpověď	Komentář
	schvalována varianta s nejlepšími výsledky ukazatelů EH – jen je potřebné doporučení řádně zdůvodnit v oblasti např. obtížně monetizovatelných skutečností. Skutečně se tak děje, ale velmi záleží na znalostech a schopnostech předkladatele.
Nevím, nemám názor	S uvedenou problematikou nepracuji.
Spíše ne	CBA je nutno pořád vylepšovat – zohlednění širších benefitů (výnosy) a zároveň zohlednění zpoždění (náklady).
Spíše ne	Chybí stále schopnost nacenit zvýšení komfortu, bezpečnosti, ... (i když už je to, myslím, lepší, než to bývalo).
Spíše ne	Setkal jsem se s tím, že se některá možná kritéria nepromítnou do zhodnocení stavby.
Spíše ne	Vhodný by byl nástroj umožňující dynamičtější rozvoj železniční sítě, resp. kolejové dopravy jako takové, v případech, se jedná o rizikovější počín z hlediska veřejných financí (horší průkaznost, evidentní potřeba vysokých investic) při prokázání potenciálu takové investice (např. chybějící části sítě apod.).

6.3.1 Komentář autora k výsledkům otázky 16

V případě ohodnocení odpovědí:

- Rozhodně ano = 1,
- Spíše ano = 2,
- Nevím, nemám názor = 3,
- Spíše ne = 4,
- Rozhodně ne = 5,

činí průměr 2,86 a směrodatná odchylka je 0,91. Je patrný velmi mírný příklon k názoru, že současný mechanismus používaný pro hodnocení ekonomické efektivity (jakožto součást procesu rozhodování o výsledné podobě infrastruktury) v rámci studií proveditelnosti je správný.

V komentářích je poukazováno na následující skutečnosti:

- ekonomické hodnocení by mělo být rozšířeno o další aspekty, některé nejsou postihnuty vůbec, některé jsou naopak přeceňovány; metodiku je potřeba neustále vylepšovat,
- jedná se o složitý proces, kdy může být spatřován problém v jeho deformacích a obtížné využitelnosti na určité situace,
- velmi záleží na schopnostech předkladatele,
- možná by prospěl v hodnocení nástroj umožňující dynamičtější rozvoj sítě.

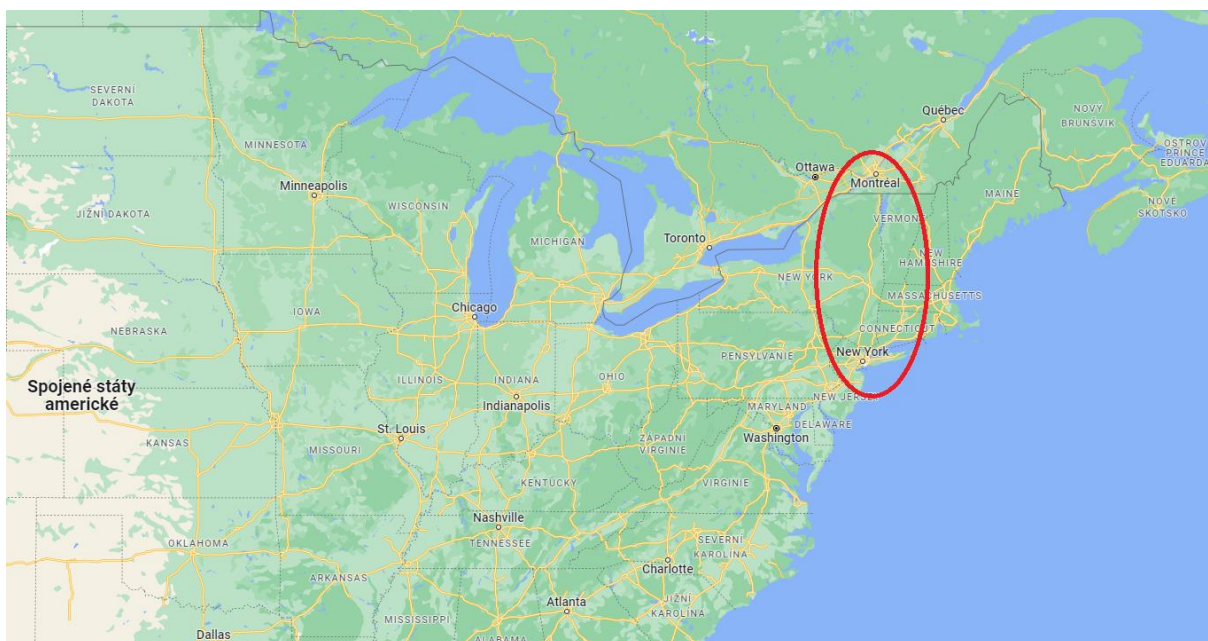
Spíše negativní odpovědi na tuto otázku se objevily prakticky u všech dotazovaných skupin, nicméně největší nesouhlas se stávajícím postupem je patrný u zástupců akademické sféry. [10]

7 Zahraniční přístupy k nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury

Pro získání komplexního pohledu na problematiku nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury je nezbytné analyzovat i zahraniční zkušenosti s touto problematikou. Následující kapitoly se zabývají shrnutím vybraných zahraničních zkušeností a přístupů k nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury.

7.1 Železniční koridor New York City – Montreal

Železniční koridor New York City – Montreal (The New York City-to-Montreal Rail Corridor) tvoří významné mezinárodní spojení USA a Kanady (viz Obrázek 16: Vymezení koridoru). Stávající stav železniční infrastruktury je velmi neuspokojivý. Cestovní doba vlaku mezi oběma městy je přes 10 h (vzdálenost mezi městy je 533 km). V současné době je vypravován pouze jeden pár vlaků. [15]



Obrázek 16: Vymezení koridoru [zdroj: <https://www.google.cz/maps>]

Vysokorychlostní železnice mezi NYC a Montrealem je společným projektem Ministerstev dopravy států New York a Quebec. V rámci přípravy byla zpracována koordinovaná předběžná studie proveditelnosti. Hlavními cílem projektu je zavedení plnohodnotné vysokorychlostní⁸ železniční dopravy v rámci koridoru. Z pohledu přípravy lze koridor rozdělit na tři úseky:

⁸ Rychlostní hranice, od které je v USA na železniční trať pohlížena jako na vysokorychlostní, je 110 mil/h (cca 180 km/h).

- V úseku NYC – Albany je koridor v souběhu s koridorem NYC – Niagarské vodopády (Empire Corridor) a technické řešení toho úseku je tak připravováno separátně.
- Úsek Albany – Rouses Point (st. hranice) o délce 191 mil (cca 305 km) je součástí Předběžné studie proveditelnosti ministerstva dopravy státu New York.
- V úseku Rouses Point (st. hranice) – Montreal jsou v současné době vedeny dvě paralelní železniční tratě (Canadian Pacific a Canadian National) s délkami 41 a 48 mil (cca 77 a 66 km), obě tratě jsou součástí Předběžné studie proveditelnosti ministerstva dopravy státu Quebec. [15]

7.1.1 Předběžná studie proveditelnosti vysokorychlostní železniční tratě Albany – Rouses point

V rámci této studie byly zvažovány dvě základní varianty:

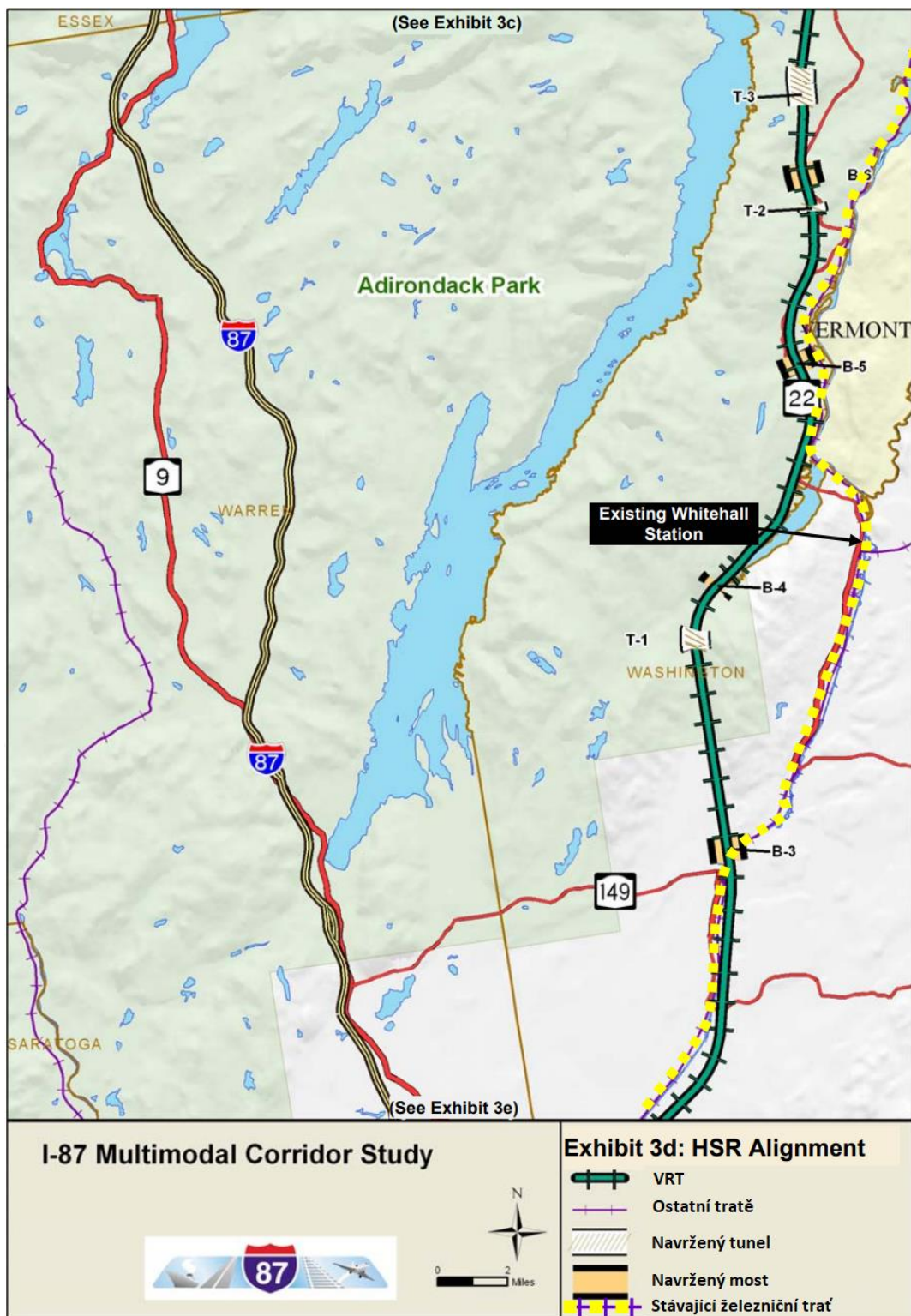
- novostavba vysokorychlostní tratě s návrhovou rychlostí 150 mil/h (cca 240 km/h) pouze pro osobní dopravu
- částečná rekonstrukce stávající infrastruktury na rychlost až 125 mil/h (cca 200 km/h)

7.1.1.1 Varianta novostavba

V rámci této varianty byla navržena novostavba vysokorychlostní tratě s návrhovou rychlostí 150⁹ mil/h (cca 240 km/h) pouze pro osobní dopravu (viz Obrázek 17). Rychlostní limit 150 mil/h byl dán i faktem, že se v důsledku snahy o úspory neuvažovalo s elektrizací tratě a provozem vozidel závislé trakce. V rámci varianty bylo pro dosažení požadovaných parametrů navrženo velké množství dlouhých mostů a několik tunelů, což značně zvýšilo její investiční náročnost (4 miliardy USD = cca 90 mld. Kč¹⁰), zároveň tato varianta přinesla dramatické zkrácení jízdních dob v řešeném úseku – stávající jízdní doba 4 h 35 min byla zkrácena o téměř 3 hodiny. [15]

⁹ Tento rychlostní profil by však byl určen pouze pro jednotky s naklápěcí vozovou skříní.

¹⁰ V závislosti na aktuálním kurzu



Obrázek 17: Příklad trasování varianty Novostavba [částečně přeloženo z 17 – s. 61]

7.1.1.2 Varianta částečné rekonstrukce

V rámci této varianty vzniklo více podvariant, které cestou dílčích zlepšení zvyšují traťovou rychlost¹¹ na stávající jednokolejné trati, tyto podvarianty jsou charakterizovány hodnotou

¹¹ 70 mil/h (cca 110 km/h) s velkým množstvím propadů

navržené rychlosti následovně: 79 mil/h (cca 130 km/h), 90 mil/h (cca 145 km/h), 110 mil/h (cca 180 km/h) a 125 mil/h (cca 200 km/h). Tyto podvarianty byly dále rozpracovány do 19 scénářů. Mezi hlavní uvažované úpravy patří:

- úpravy pro provoz jednotek s naklápěcí vozovou skříní,
- zavedení vyšších hodnot převýšení a nedostatku převýšení,
- nové zabezpečovací zařízení,
- zvýšení počtu dopraven, pro zvýšení propustnosti,
- úprava dopravní koncepce – snížení počtu obsluhovaných tarifních bodů,
- rekonstrukce úseků koleje, které jsou svým stavem zdrojem omezení rychlosti. [15]

V rámci této varianty bylo dosaženo zkrácení jízdní doby 14 minut až 2 hodiny – v závislosti na vybrané podvariantě s různou investiční náročností jednotlivých podvariant (podrobněji viz Tabulka 5). [15]

Tabulka 5: Dosažené zkrácení jízdních dob [15]

podvarianty	zkrácení jízdních dob	náklady
úsporné podvarianty – práce zejména údržbového charakteru	cca 14 minut	cca 20 mil. USD (cca 450 mil. CZK)
střední podvarianty – kontinuální úpravy GPK	40 až 60 minut	cca 40 mil. USD (cca 900 mil. CZK)
velkorysé podvarianty – úpravy pro provoz jednotek s naklápěcí vozovou skříní, úpravy dopravní koncepce, nové zabezpečovací zařízení	cca 2 hodiny	130 – 270 mil. USD (cca 3 – 6 mld. CZK)

7.1.1.3 Přepravní prognóza

V rámci studie byl využit model poptávky po přepravě, který vznikl v rámci studie proveditelnosti tratě Montreal – Boston. Tento model se skládá ze čtyř základních kroků:

1. definice stávajících přepravních proudů v modelované relaci,
2. dělba přepravní práce (byl definován „model volby“, který popisuje chování cestujících při výběru přepravního módu – na základě provedení ankety a přepravních průzkumů) – výstupem jsou zejména tzv. převedení cestujících (cestující, kteří nově využijí vlak místo jiného módu),

3. modelování tzv. indukovaných cestujících (cestující, kteří by bez existence nové infrastruktury žádnou cestu nekonali),
4. přidělení převedených a indukovaných cestujících na novou infrastrukturu.

Výstupy modelu jsou shrnuty v následující tabulce (viz Tabulka 6). [15] [16]

Tabulka 6: Počty přepravených cestujících [15]

varianta	podvarianty	přepravení cestující za rok ¹²
částečná rekonstrukce	úsporné podvarianty – práce zejména údržbového charakteru	25 000
	střední podvarianty – kontinuální úpravy GPK	75 000 – 100 000
	velkorysé podvarianty – úpravy pro provoz jednotek s naklápěcí vozovou skříní, úpravy dopravní koncepce, nové zabezpečovací zařízení	100 000 – 175 000
novostavba	-	500 000 – 700 000

7.1.2 Předběžná studie proveditelnosti vysokorychlostní železniční tratě Rouses Point - Montreal

Podobně jako předchozí PSP i v této bylo provedeno porovnání variant zlepšení stávajícího stavu infrastruktury se zohledněním obou existujících železničních tratí. Navrženy byly následující varianty a podvarianty:

- plnohodnotný vysokorychlostní provoz:
 - podvarianta s návrhovou rychlostí 125 mil/h (cca 200 km/h),
 - podvarianta s návrhovou rychlostí 150 mil/h (cca 240 km/h),
 - podvarianta s návrhovou rychlostí 186 mil/h (cca 300 km/h),

¹² U varianty částečné rekonstrukce se jedná o nárůst ke stávajícím 90 000 cestujících ročně

- částečná rekonstrukce stávající infrastruktury na rychlost až 125 mil/h (cca 200 km/h). [15]

Na rozdíl od předchozího úseku je stávající směrové vedení v úseku Rouses Point – Montreal podstatně přímější a zvyšování rychlosti nepřináší vždy nutnost kompletně nového směrového vedení (viz Obrázek 18). [15]



Obrázek 18: Úpravy směrového vedení u varianty VRT [15 – s. 3]

Stávající cestovní doba z hranic do Montrealu je 2 h + 1 h pobyt během překročení hranic. Porovnání jízdních dob a nákladů variant je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka 7: Porovnání variant [15]

varianta	jízdní doba	náklady
vysokorychlostní varianty	cca 30 minut	cca 80 – 110 mil. USD (cca 1,8 – 2,5 mld. CZK)
částečná rekonstrukce	cca 35 minut	cca 25 – 35 mil. USD (cca 550 - 800 mil. CZK)

Oproti předchozímu úseku je zde patrný mnohem menší rozdíl mezi variantami, který je dán mnohem větší přímostí stávajícího směrového vedení. [15]

7.1.2.1 Přepravní prognóza

K predikci vývoje počtu cestujících byl i zde použit model, který byl popsán v kapitole 7.1.1.3 s následujícími výsledky, který shodně předpověděl 25 000 – 550 000 přepravených cestujících za rok v závislosti na variantě (viz Tabulka 6). [15]

7.1.3 Shrnutí

Na základě výsledků obou PSP vzniklo rozhodnutí obou ministerstev dopravy pokračovat v další přípravě ve variantě částečná rekonstrukce a provést další zhodnocení a výběr konkrétní podvarianty. [15]

7.2 Stanovení parametrů nové VRT infrastruktury v UK

Nejvýznamnější dopravní stavbou, která je právě v UK budována, je bezpochyby vysokorychlostní trať Londýn – Birmingham. Připravovaná vysokorychlostní trať HS2 (číslovka dva v názvu, resp. zkratce, odkazuje na již provozovanou VRT v Británii HS1, která propojuje Londýn s podmořským tunelem pod kanálem La Manche) má především za úkol navýšit kapacitu pro osobní vlaky a zrychlit jejich jízdu v relaci z hlavního města Londýna na severozápad do oblasti tzv. West Midlands, v další fázi se má pak VRT rozvětvit na sever (viz Obrázek 19). [25] [26]



Obrázek 19: Situace plánované vysokorychlostní sítě projektu HS2 [30]

Cílem zprovoznění VRT „High Speed Two“ je takové zlepšení železničního spojení z Londýna na severozápad, aby železnice (v osobní dopravě) nejen dokázala zvládnout rostoucí poptávku po přepravě po železnici, ale také obstála v konkurenci automobilové i letecké dopravy. Výběr vítězné varianty byl v tomto případě velmi robustní a komplexní proces, který se snažil zahrnout co největší množství souvisejících okolností a vlivů. Přehled výběru trasy a návrhové rychlosti nové vysokorychlostní trati HS2 v 1. etapě, tj. v relaci Londýn – West Midlands je popsán v dokumentu společnosti HS2 Limited „Review of HS2 London to West Midlands Route Selection and Speed: A report to Government by HS2 Ltd“ [27], který je zpracován jako doporučení pro vládu Spojeného království, která rozhodla o definitivní podobě nové vysokorychlostní železniční trati.

Principiálně je proces výběru varianty velmi podobný tomu z prostředí ČR. V úvodu byly definovány požadované přínosy a vlastnosti technického řešení, následně byl zpracován vějíř variant s různou investiční náročností a mírou přínosů. Dále byla zpracována přepravní prognóza, jejímž jádrem je model „PLANET Framework Model“, který je do jisté míry

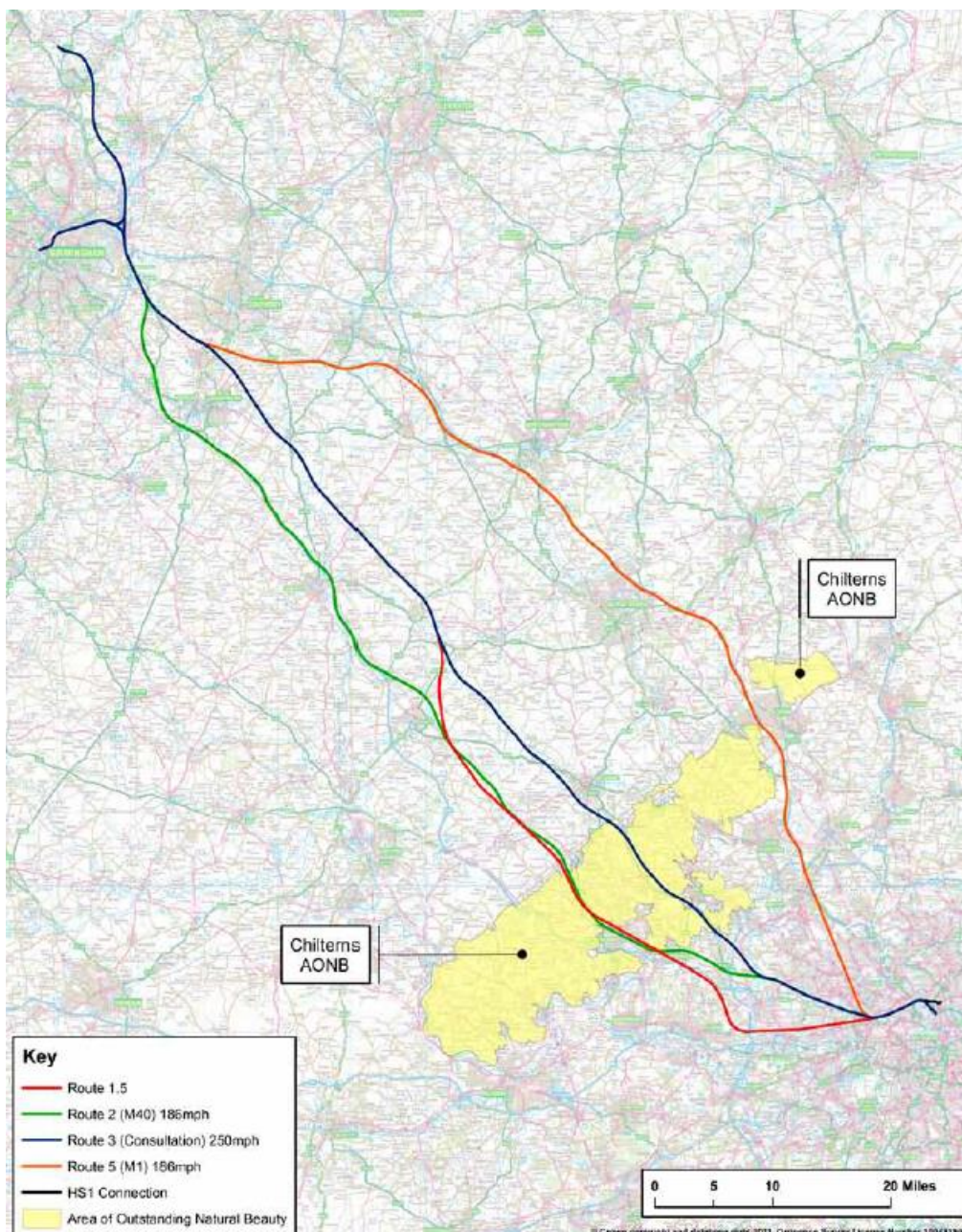
v podstatě více komplexní obdobou čtyřstupňového dopravního modelu. Výstupem procesu je varianta s nejlepším poměrem přínosů a nákladů.

Proces výběru trasy pro 1. etapu HS2 probíhal ve třech fázích, přičemž s klesajícím počtem variant narůstala detailnost rozpracování těchto variant. Výsledkem procesu je Trasa 3, která umožňuje dosáhnout maximální rychlosti 250 mil/h (400 km/h) a zároveň obsluhuje všechny čtyři stanice, jejichž existence byla předem stanovena (viz výše). V následujících odstavcích jsou popsány vybrané pasáže rozhodovacího procesu, které dobře ilustrují přístup k nastavování parametrů nové infrastruktury. [27]

7.2.1 Vliv snížení návrhové rychlosti trati na její trasu

Předmětem posuzování při výběru optimální trasy HS2 byl rovněž dopad snížení základní návrhové rychlosti 250 mil/h (400 km/h) na trase 2 (koridor Chiltern line a M40) a na trase 5 (koridor M1) a porovnání s trasou 3. V tomto případě byla uvažována rychlost, na kterou je navržena stávající HS1, tj. 186 mil/h (300 km/h). [27]

V důsledku snížení rychlosti bylo možno také navrhnout trasu, která přímo obsluhuje letiště Heathrow a která je označena jako 1.5. Dále bylo posuzováno lokální snížení rychlosti na 225 mil/h (360 km/h), 186 mil/h (300 km/h) a také návrh na rychlost 125 mil/h (200 km/h). Jednotlivé trasy s vyznačením oblasti AONB Chiltern (Area of Outstanding Nature Beauty – území významné přírodní hodnoty) jsou znázorněny na následující mapě (viz Obrázek 20). [27]



Obrázek 20: Hlavní varianty trati HS 2, 1. etapa [27 – s. 16]

7.2.1.1 Trasa 2 se sníženou návrhovou rychlostí

Předmětem posouzení byla trasa 2 s návrhovou rychlostí 186 mil/h (300 km/h), s drobnými lokálními propady. V důsledku směrového vedení a nižší návrhové rychlosti má trasa 2 cestovní dobu Euston – Birmingham 56 minut oproti 49 minutám u trasy 3. [27]

Velkým problémem této trasy je vedení mnoha velkými obytnými celky, které mají dohromady přes 110 000 obyvatel, což by znamenalo rozsáhlé zábory obytných ploch, demolice a do budoucna i větší hlukovou zátěž. Pro zamezení těchto negativních vlivů by musela být velká část trasy vedena v tunelu. Další komplikací je těsný souběh trasy s dálnicí M40, neboť trasa

by na šesti místech musela překonat dálnici mimoúrovňově, což by vedlo k výstavbě dalších mostů a tunelů, a navíc i k výrazným omezením provozu na dálniční síti v průběhu výstavby VRT. [27]

Celkově by tato trasa navýšila cenu na 19,5 miliardy liber, což je o 3 miliardy více než 16,5 miliardy liber za trasu 3. V důsledku vyšší ceny a o 7 minut delší cestovní doby by došlo ke zhoršení BCR¹³ o 25 %. Navýšení cestovní doby by se přeneslo i dále směrem na sever – zpočátku pro vlaky jedoucí i po konvenční síti a do budoucna i pro vlaky, které budou využívat dobudovanou vysokorychlostní síť. Navržení trasy pouze na 186 mil/h (300 km/h) i v dál budované síti by přineslo další prodloužení jízdních dob. Trasa 2 se jeví výhodněji z hlediska průchodnosti oblastí AONB Chiltern, neboť ji překračuje v užším místě, a vede tak touto oblastí pouze 3,5 míle, oproti 8,5 mílím u trasy 3. [27]

Z celkového hlediska má trasa 2 výhodu v menším dopadu na obytné oblasti, a to hlavně kvůli hlukové zátěži. Tento fakt plyne především z nižší návrhové rychlosti a také z větší variability směrového řešení v důsledku nižší návrhové rychlosti. Nevýhodou trasy 2 je separace většího počtu obyvatel v důsledku „sevření“ některých sídel liniovou dopravní infrastrukturou. Trasa 2 se sníženou rychlostí tedy vede k navýšení cestovní doby a nákladů za cenu pouze marginálního zmenšení dopadů na životní prostředí, proto trasa 3 i nadále zůstává silně preferovanou. [27]

7.2.1.2 Trasa 5 se sníženou návrhovou rychlostí

Předmětem posouzení byla trasa 5 (koridor M1) s návrhovou rychlostí 186 mil/h (300 km/h) s drobnými lokálními propady. V důsledku směrového vedení a nižší návrhové rychlosti má trasa 5 cestovní dobu Euston – Birmingham 55 minut oproti 49 minutám u trasy 3. [27]

Podobně jako tomu bylo u koridoru M40, vede trasa 5 mnoha velkými obytnými celky, které čítají dohromady přes 480 000 obyvatel, což by opět znamenalo rozsáhlé zábory obytných ploch, demolice a do budoucna i větší hlukovou zátěž. Trasa 5 by patrně vyústila v nutnost demolice zhruba 150 obytných objektů, což je zhruba dvojnásobek oproti trase 3. Tunely trasy 5 by procházely zhruba pod 6400 obytnými objekty oproti 350 podtunelovanými objekty u trasy 3. [27]

Celkově by tato trasa navýšila cenu na 18,7 miliardy liber, což je o 2,2 miliardy více než 16,5 miliardy liber za trasu 3. V důsledku vyšší ceny a o 6 minut delší cestovní doby by došlo ke zhoršení BCR i v tomto případě o 25 %. Ve srovnání s trasou 3 je vliv na životní prostředí mírně

¹³ BCR (benefit cost ratio) – v zásadě v ČR používaná analýza CBA (cost benefit analysis)

menší, ovšem za cenu navýšení nákladů a prodloužení cestovních dob, proto trasa 3 i nadále zůstává silně preferovanou. [27]

7.2.1.3 Výstavba konvenční tratě v trase 3 vysokorychlostní tratě

Pro toto posouzení je uvažováno s výstavbou konvenční tratě v návrhovou rychlostí 125 mil/h (200 km/h). Trať má stejné směrové vedení, stejný počet zastávek a umožňuje stejnou provozní koncepci jako VRT. Výstavba konvenční tratě by přinesla úsporu pouze 9 % nákladů. V důsledku prodloužení cestovní doby o 15 minut by počet cestujících klesl o 19 %, celkové přínosy nové tratě by se snížily o 33 % a příjmy z jízdného by se zredukovaly o 24 %. Při simulaci hlukové zátěže bylo v případě rychlosti 125 mil/h (200 km/h) zasaženo nepřipustnou hlukovou zátěží zhruba 1 100 objektů, pro rychlost 225 mil/h (360 km/h) to činí 1 400 objektů. [27]

Celkově vychází z ekonomického hlediska konvenční trať výrazně hůře, a proto je i nadále sledována varianta VRT. [27]

7.2.2 Zvýšení nebo snížení rychlosti na vítězné trase 3

Základní návrhovou rychlostí trasy 3 je rychlost 250 mil/h (400 km/h), pro provoz se počítá s maximální rychlostí 225 mil/h (360 km/h). [27]

7.2.2.1 Zvýšení rychlosti

Trasa teoreticky umožňuje ještě vyšší rychlosti než 250 mil/h (400 km/h), ale jedná se spíše o rezervu, která umožní reflektovat případné technické pokroky v železničním průmyslu. V současnosti by zvýšení rychlosti nepřineslo úsporu v jízdních dobách, protože samotná akcelerace vlaku na tuto rychlost zabere tolik času, že doba, po kterou by vlak touto rychlostí jel, by byla velmi krátká. Navíc akcelerace na tuto rychlost zvyšuje energetickou náročnost jízdy, a tím i zhoršuje vliv na životní prostředí. Rychlost 250 mil/h (400 km/h) je považována za rozumné maximum pro následující desetiletí. [27]

7.2.3 Snížení rychlosti

Přestože je stanovena jako základní návrhová rychlost 250 mil/h (400 km/h) a předpokládaná provozní rychlost činí 225 mil/h (360 km/h), ne všechny úseky tuto rychlost umožňují. Jedná se o úseky v silně zastavěném území a v okolí stanic. Trasa 3 dosahuje v úseku Oak Common – West Ruislip (výjezd z Londýna) maximální rychlost 155 mil/h (250 km/h). Rychlost 250 mil/h (400 km/h) je navržena zhruba na 68 mílích trati. Předmětem posouzení bylo snížení rychlosti na 225 mil/h (360 km/h) a 186 mil/h (300 km/h). [27]

Snížení rychlosti na 225 mil/h (360 km/h) nemá žádný vliv na cestovní dobu a nevede tedy ke ztrátě benefitů nebo snížení BCR, nicméně do budoucna brání dalšímu potenciálnímu snižování jízdních dob, zejména v kontextu širší sítě VRT. [27]

Snížení rychlosti na 186 mil/h (300 km/h) prodlužuje cestovní dobu ze 49 minut na 53,5 min, a snižuje tak BCR o 15 %. Použití této nižší návrhové rychlosti pro celý projekt HS2 ve tvaru písmene „Y“ by vedlo k dalším nárůstům cestovních dob například z lokalit Manchester (o 9 minut), Leeds (o 10 minut) nebo Skotsko. Další rozvoj pomalejší sítě by do budoucna způsobil ještě další prodlužování jízdních dob – o 20 minut z Edinburgu nebo Glasgow. [27]

Vzhledem k velkým ztrátám v přínosech a k minimálním přínosům v environmentální oblasti je i nadále sledována rychlost 250 mil/h (400 km/h). Plošné snížení rychlosti na celé trase je tedy považováno za nevhodné, nicméně lze uvažovat o posouzení lokálního snížení rychlosti. [27]

7.2.3.1 Lokální snížení rychlosti

Pro posouzení lokálního snížení rychlosti z 250 mil/h (400 km/h) na 225 mil/h (360 km/h) až 186 mil/h (300 km/h) byl vytipován úsek mezi Amershamem a stanicí Interchange. Jeho délka je 68 mil (110 km). Vzhledem k tomu, že se tento úsek nachází ve střední části trasy, tak se v něm předpokládá pohyb vlaků maximální možnou rychlostí, proto každý propad rychlosti bude znamenat prodloužení jízdních dob, zvýšení energetické náročnosti jízdy a tím i zhoršení dopadů na životní prostředí. Proto by každé snížení rychlosti mělo být podloženo výrazným přínosem. [27]

Pro posouzení bylo vybráno celkem šest lokalit, v nichž je snížení rychlosti opodstatněno přínosem pro životní prostředí a kde snížení rychlosti umožní změnu směrového vedení. V jiných oblastech by snížení rychlosti nevedlo ke změně směrového vedení. Ve třech úsecích bylo uvažováno snížení pouze na 225 mil/h (360 km/h), protože další redukce max. rychlosti by nepřinesla žádné další přínosy. [27]

Dokument „Review of HS2 London to West Midlands Route Selection and Speed: A report to Government by HS2 Ltd“ [27] nakonec nedoporučuje snížení rychlosti v žádné z oblastí, neboť minimalizace hlukové a environmentální zátěže je zanedbatelná nebo jí lze dosáhnout i se zachováním rychlosti. V jednom případě je navržen „zelený tunel“ a v jednom cíleně vytvořený zářez. [27]

7.3 Studie proveditelnosti vysokorychlostního železničního koridoru Mumbai – Ahmedabad v Indii

Železniční spojnice Mumbai (12,5 mil. obyvatel) – Ahmedabad (5,5 mil. obyvatel) představuje významnou dopravní trasu, která je zařazena do systému národních VRT koridorů. [31]

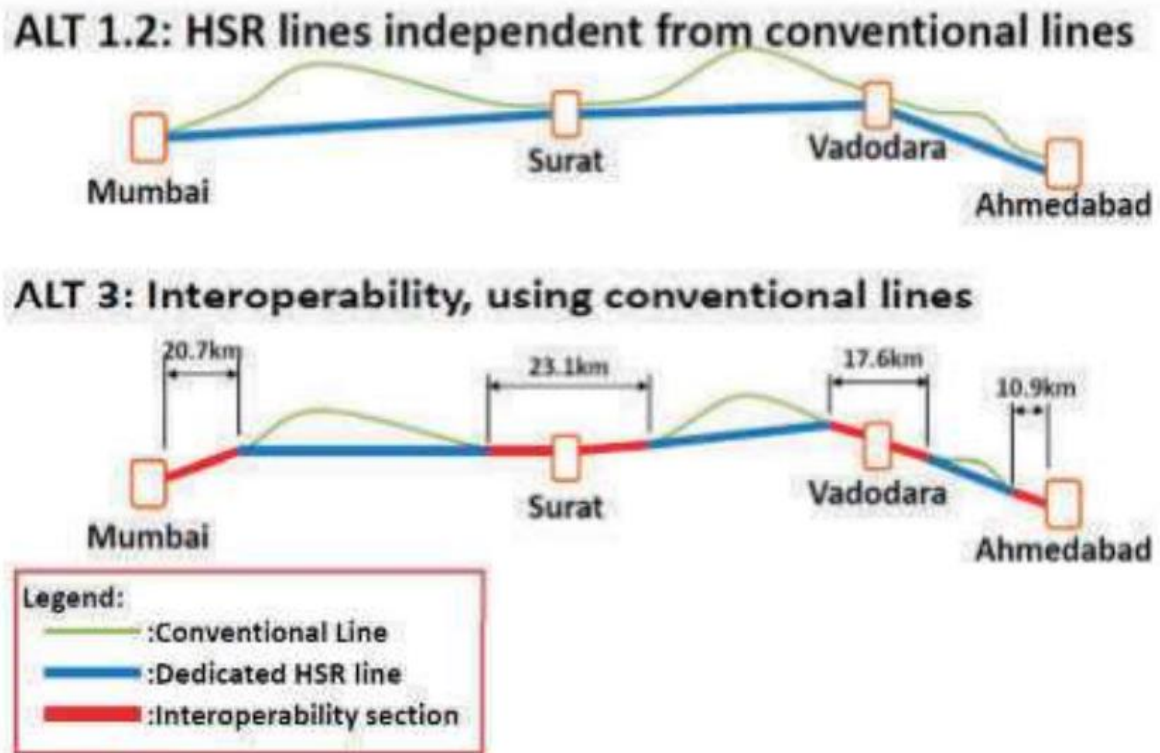


Obrázek 21: Železniční koridor Mumbai – Ahmedabad [31]

V rámci SP tohoto spojení byly zvažovány celkem 3 varianty:

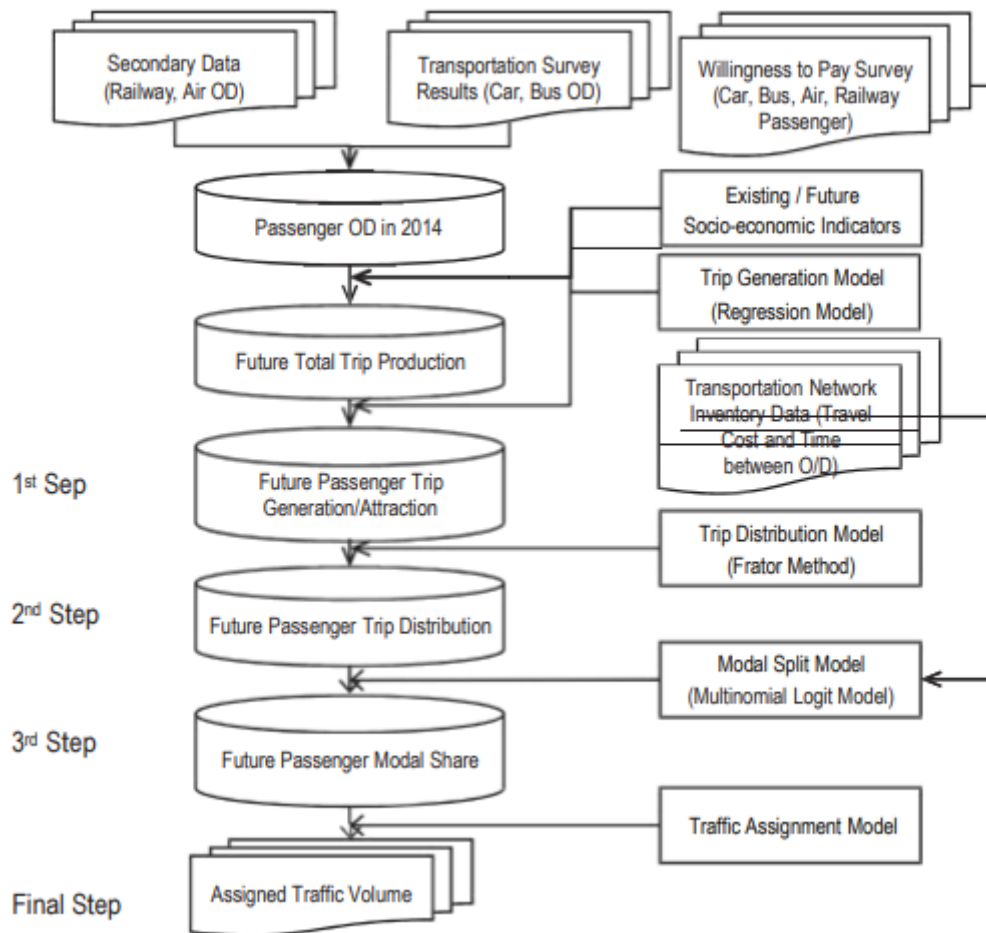
- varianta 1 – novostavba VRT pro zcela segregovaný vysokorychlostní provoz, body zastavení umístěné co nejbližší centřům sídel,
- varianta 2 – novostavba VRT pro zcela segregovaný vysokorychlostní provoz, body zastavení budovány dále od center sídel – zmenšení celkové délky tunelů, ale nutnost přestupu pro dojezd do centra sídla,
- varianta 3 – kombinace segregovaného vedení a využití stávající infrastruktury v různých úsecích trasy. [31]

Na následujícím obrázku je schématické zobrazení rozdílů mezi variantou 1+2 a variantou 3. Zelená čára představuje stávající infrastrukturu, modrá čára představuje segregovaně vedenou VRT a červené úseky představují společné vedení VRT a konvenční tratě (viz Obrázek 22).



Obrázek 22: Schéma variant [31]

V rámci posuzování variant byla zpracována přepravní prognóza formou čtyřstupňového dopravního modelu. Schéma použitého modelu je zobrazeno na následujícím obrázku. [31]



Obrázek 23: Přepravní prognóza [31]

Na základě hodnocení ekonomické efektivity (CBA) byla vybrána varianta 1, tedy novostavba VRT se zcela segregovaným vedením. Návrhová rychlost je 350 km/h, maximální provozní rychlost je 320 km/h, trať bude dvojkolejná a elektrizovaná střídavou trakční soustavou 25 kV/50 Hz. Výsledky ekonomického hodnocení vítězné varianty jsou zobrazeny v následující tabulce. [31]

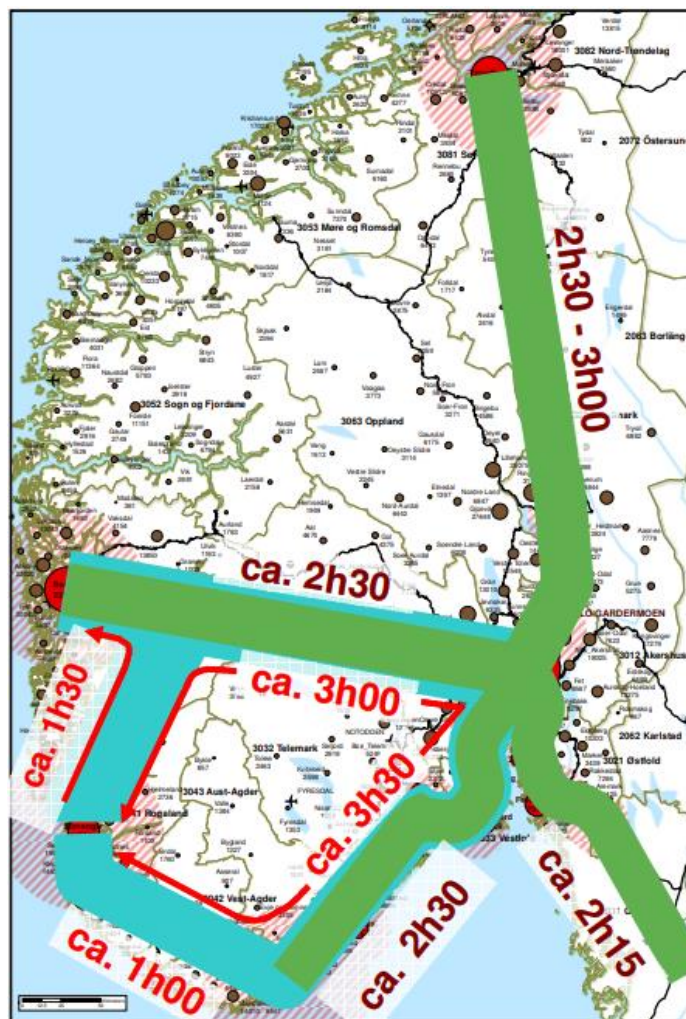
Tabulka 8: Vítězná varianta [31]

	EIRR	NPV	CBR
Route 1	18.7%	Rs. 360,250 million	1.98

7.4 Další zahraniční přístupy

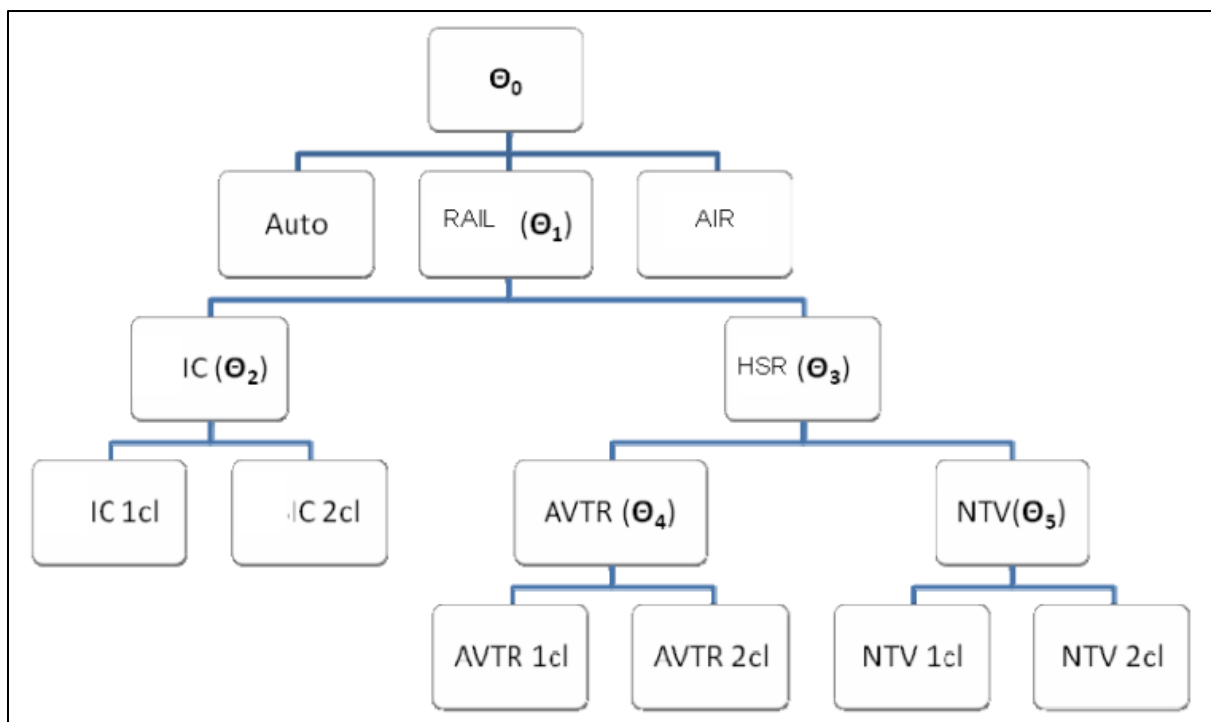
V rámci studie proveditelnosti vysokorychlostní sítě v Norsku byla pomocí čtyřstupňového přepravního modelu vytvořena pomyslná kostra systému VRT, která se skládá ze směrů s největším přepravním potenciálem. Studie definovala jednak hlavní, ale i vedlejší síť, včetně

časů, kterých je na jednotlivých ramenech nezbytné dosáhnout, aby bylo dosaženo zmíněného potenciálu (viz Obrázek 24). [32]



Obrázek 24: Navržená síť VRT [32]

Italská Případová studie predikce poptávky na vysokorychlostní síti (cca 900 km VRT na rychlost 250–350 km/h), předpovídá budoucí vývoj na stávající vysokorychlostní síti v Itálii. Součástí studie je i model výběru přepravního módu, který je založen na principu hnízdového LOGIT modelu (viz Obrázek 25). [33]



Obrázek 25: Model výběru dopravního módu [33]

7.5 Shrnutí zahraničních přístupů

Na základě poznatků z kapitol 7.1, 7.2, 7.3 a 7.4 lze konstatovat, že přístup ke stanovení parametrů staveb železniční infrastruktury je ve světě veskrze konzistentní. V úvodu samotného procesu jsou zpravidla definovány požadované přínosy a vlastnosti technického řešení, následně je zpracován vějíř variant s různou investiční náročností a mírou přínosů. Dalším krokem je zpracována přepravní prognóza, jejímž jádrem je teoretický model (nejčastěji LOGIT model nebo čtyřstupňový dopravní model). Výstupem procesu je zpravidla varianta s nejlepším poměrem přínosů a nákladů.

Popsané procesy jsou principiálně téměř totožné s těmi, které jsou využívány v prostředí ČR a byly popsány v předchozích kapitolách.

8 Návrh modelu

Na základě předchozích kapitol je zřejmé, že reakce cestujících na stavební úpravy infrastruktury je posuzována zejména na základě teoretických matematických modelů, a to nejen v prostředí ČR, ale i v zahraničí (viz kapitola 7). V důsledku toho je vhodné uvažovat o návrhu modelu, který bude schopen predikovat využití stavebně upravené infrastruktury cestujícími na základě dat z již upravených tratí. Hned v úvodu je nezbytné identifikovat základní parametry stavebních úprav, které vedou ke zvýšení počtů cestujících. Základním cílem modelu by měla být predikce vývoje počtů cestujících na vybrané trati, která je určena ke stavební úpravě. Jako vstupní data by měla posloužit data o cestujících z tratí, které již byly stavebně upraveny. Trate, které poskytnou vstupní data, by měly být vhodně rozřizeny a kategorizovány podle systému, který umožní ke kategorizované modelované trati přiřadit množinu již stavebně upravených tratí. V dalším kroku je nezbytné navrhnout vhodný matematický aparát, kterým bude predikce provedena. V poslední řadě je důležité model zkalibrovat a verifikovat.

8.1 Charakteristika jednotlivých aspektů stavebních úprav železničních tratí vedoucích ke zvýšení atraktivity pro cestující

Snaha činit železniční dopravu atraktivnější pro cestující je jedním z hlavních pomyslných hnacích motorů železničního stavitelství. V rámci stavebních úprav železničních tratí zpravidla dochází k zásadnímu zlepšení parametrů infrastruktury, což vede k výraznému navýšení uživatelského komfortu pro cestující. Mezi hlavní přínosy vnímané cestujícími patří zejména ty, které jsou popsány v následujících kapitolách.

8.1.1 Snížení cestovních dob

Snížení času, který potřebuje cestující pro vykonání své cesty je jeden z klíčových způsobů, jak učinit osobní železniční dopravu pro cestující atraktivnější. Už i malé snížení v řádu jednotek minut může každodenně dojíždějícím přinést nezanedbatelnou úsporu času stráveného na cestě, a ovlivnit tak volbu vybraného dopravního prostředku ve prospěch železnice. Existují dva základní způsoby snižování cestovních dob – prosté zkrácení jízdních dob a zkrácení jízdních dob s dosažením systémových jízdních dob.

8.1.1.1 Snížení jízdních dob

Snížení jízdních dob je důsledkem zejména zvyšování traťové rychlosti, toho lze dosáhnout několika způsoby. Nejméně náročnou cestou je zpravidla úprava technologie pro zabezpečení železničního provozu. Patří sem například úpravy staničních a traťových zabezpečení, úpravy

navěštění a doplnění nebo zlepšení přejezdových zabezpečovacích zařízení. Investičně náročnější variantou je stavební úprava železničního svršku a spodku, kterou lze odstranit limity rychlosti stávajícího materiálu svršku, umožnit návrh limitních a maximálních hodnot parametrů GPK a zavést nové rychlostní profily. Nejdražší variantou je změna směrového vedení trati, která může být provedena drobnými posuny osy, částečnými přeložkami tratě nebo novostavbou tratě. Tato varianta přináší největší zlepšení, ale zejména v posledním zmíněném případě s sebou nese extrémní investiční náročnost (výstavba nového tělesa, mosty, tunely, estakády).

8.1.1.2 Dosažení systémových jízdních dob

Železniční provoz je zpravidla organizován v souladu s koncepcí integrálního taktového jízdního řádu. Základní myšlenou této koncepce je provozování sítě taktových uzlů, mezi kterými je dosahováno jízdních dob, které jsou menší nebo rovné celočíselnému násobku doby taktu. Pokud k této době přičteme čas nezbytný pro přestup ve výchozím a cílovém uzlu a časovou rezervu, vznikne nám tzv. systémová jízdní doba. Dosažení těchto jízdních dob je nezbytné pro správné a logické fungování nejen železniční sítě jako celku.

V rámci investiční akce tak snížení jízdní doby o 5 minut může přinést dosažení systémové jízdní doby, což cestujícímu umožní v přestupním uzlu přestoupit do dřívějšího návazného spoje a uspořit tak více než 60 minut z celkové cestovní doby (budeme-li uvažovat 60-ti minutový takt).

8.1.2 Zlepšení jízdního komfortu

Drtivá většina investičních akcí s sebou nese výměnu materiálu železničního svršku za lepší a novější konstrukci. Téměř vždy je tak umožněno i zřízení bezstykové koleje. Tyto úpravy vedou ke zlepšení a harmonizaci kontaktu kolo x kolejnice. V důsledku toho dojde ke snížení dynamických rázů a celkovému zklidnění jízdy. Cestujícím je tak umožněno lepší využití času stráveného na cestě (odpočinek, práce, občerstvení).

8.1.3 Zlepšení spolehlivosti systému

Rekonstrukce konstrukce železniční koleje snižuje pravděpodobnost vzniku závad, které si vynutí omezení nebo úplné zastavení provozu.

Zlepšování řídicí technologie a snižování jízdních dob vede jednak ke snížení pravděpodobnosti omezení provozu vlivem poruchy technologie a zároveň umožňuje snazší eliminaci jakýchkoliv mimořádných událostí.

Výše uvedené přináší větší důvěru cestujících v železniční dopravní systém a ovlivňuje volbu dopravního prostředku.

8.1.4 Zvýšení úrovně kvality zařízení pro osobní dopravu

Další oblastí, která je dotčena stavební činností v rámci železniční infrastruktury, jsou nástupiště, přístupy na nástupiště a vyčkávací prostory. V této oblasti dochází ke zřizování nástupišť s výškou 550 mm nad temenem kolejnice, což v kombinaci s nasazením moderních vozidel umožňuje bezbariérový nástup a výstup v jedné výškové úrovni. (viz Obrázek 26) Upravovány bývají i samotné přístupy na nástupiště – velmi často formou zřizování bezbariérových mimoúrovňových přístupů. V neposlední řadě se stavební činnost dotýká i samotných nádražních budov, ve kterých cestující tráví čas do příjezdu jejich spoje. To zpravidla obnáší rekonstrukce vnitřních prostor, sociálních zařízení a zlepšení nabídky doplňkových služeb. Všechny tyto úpravy přispívají k celkovému zlepšení komfortu cestujících a zvýšení úrovně kultury cestování.



Obrázek 26: Příklad přínosů rekonstrukce nástupišť [19]

8.2 Negativní vlivy stavebních úprav na cestující

Jak je uvedeno v předchozí kapitole – stavební úpravy mají zpravidla ovlivnit cestující veskrze pozitivně. Pro úplnost je však nutné uvést i odvrácenou stranu této problematiky. V rámci

stavebních úprav železničních tratí zpravidla dochází k dočasnému zhoršení kvality přepravy. Jedná se hlavně o zhoršení stability provozu v důsledku omezení rychlosti v upravovaných úsecích, zhoršení podmínek pro přístup k vlakům v důsledku stavebních úprav tarifních bodů (viz Obrázek 27) a v nejhorším případě o nutnost přestupu cestujících do náhradní autobusové dopravy. Míra těchto omezení je dána mnoha faktory, ale závisí na charakteristice upravované trati a charakteristice konkrétní stavební úpravy. Tyto negativní faktory mohou vyústit až v situaci, kdy stavební úprava trati přinese dočasné (v nejhorších případech i trvalé) snížení počtu cestujících.



Obrázek 27: Ukázka provizorního přístupu na nástupiště v rámci stavby [34]

8.3 Technická část modelu

Návrh modelu lze rozdělit do dvou pomyslných částí. První část je „technická“ a zahrnuje definici kategorií tratí, jejich úprav a dalších technických aspektů, které budou mít zásadní vliv na výslednou podobu modelu. Druhá část je „matematická“ a obsahuje zejména výběr a návrh vhodných metod stochastického modelování pro provedení predikce počtů cestujících.

Před tím, než bude přistoupeno k detailnějšímu návrhu technické části modelu, je vhodné provést užší definici pojmu trať. Tento pojem může být vnímán v mnoha souvislostech, ze kterých plyne mnoho definic (trať dle číslování v knižním jízdním řádu, trať dle číslování v prohlášení o dráze atp.). V rámci navrhovaného modelu bude tímto pojmem myšlen zvolený úsek železniční sítě, jehož volba je podřízena potřebám modelu za účelem toho, aby bylo

dosaženo co nejrelevantnějších výsledků. Může tak nastat situace, kdy v prostředí modelu bude definována trať, která je dle některého z v praxi zavedených rozdělení pouze částí tratě nebo naopak souborem několika tratí.

8.3.1 Kategorie tratí z hlediska jejich významu a potenciálu

Pro účely modelování je v první řadě nezbytně nutné rozdělit tratě do kategorií, které budou charakterizovat jejich význam a potenciál pro fungování v rámci dopravní obsluhy území. Pro tyto účely není vhodné využívat „standardní“ dělení na dráhy celostátní v rámci TEN-T, celostátní mimo TEN-T a regionální, protože toto dělení neodpovídá vždy významu dané tratě pro dopravní obsluhu území (regionální dráha může spojovat významnější sídla než dráha celostátní). Pro potřeby modelu je navržena kategorizace tratí z hlediska typologie dopravní sítě a hierarchizace sídel. Uvažovány jsou následující kategorie:

1. spojnice hlavního města s krajským městem,
2. spojnice hlavního města s regionálním spádovým centrem¹⁴ (nebo jiným sídlem s nižším významem),
3. spojnice krajského města s krajským městem,
4. spojnice krajského města s regionálním spádovým centrem (nebo jiným sídlem s nižším významem),
5. spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem),

8.3.2 Kategorie tratí z hlediska jejich technické vyspělosti

Pro správnou identifikaci přínosů úprav zkoumané tratě je nezbytné správně zhodnotit stávající stav tratě z hlediska trasování a stávajících cestovních dob. Pro zhodnocení těchto parametrů a kategorizaci tratí nejlépe poslouží rozdělení do rychlostních pásem.

- I. Traťová rychlost do 60 km/h – do této kategorie spadá většina tratí regionálního charakteru před provedením významných investičních úprav.
- II. Traťová rychlost 61–80 km/h – v tomto pásmu lze najít zejména tratě regionálního charakteru s velkorysejším trasováním a naopak tratě nadregionálního významu s úspornějším trasováním.
- III. Traťová rychlost 81–100 km/h – sem spadá většina tratí s národním/nadnárodním významem před provedením investičních úprav.

¹⁴ bývalé okresní město, město se statutem obce s rozšířenou působností, atp.

8.3.3 Kategorie úprav tratí

Pro kategorizaci úprav tratí bude částečně převzata terminologie, která je využívána v praxi, ovšem s přísnějším a jasnějším vymezením náplně jednotlivých úprav (název úpravy v praxi vždy neodpovídá skutečně provedeným úpravám – např. některé optimalizace jsou svým rozsahem spíše modernizacemi atp.).

8.3.3.1 Novostavba (N)

Tato kategorie úprav zahrnuje výstavbu zcela nové trati a opuštění stávající stopy. Jedná se o nejnáročnější úpravu (z hlediska nákladů, projektové přípravy a výstavby), která by však měla přinést nejrazantnější zlepšení parametrů.

8.3.3.2 Modernizace (M)

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou kombinace přeložek stávajících úseků do nové stopy a rekonstrukcí úseků vedených ve stávající stopě. Pro zařazení úpravy tratě do této kategorie by mělo dojít ke zvýšení průměrné traťové rychlosti¹⁵ alespoň o 25 %.

8.3.3.3 Optimalizace (O)

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou rekonstrukce tratí ve stávající stopě. Pro zařazení do této kategorie by mělo dojít ke zvýšení průměrné traťové rychlosti alespoň o 15 %.

8.3.3.4 Revitalizace (R)

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou rekonstrukce vybraných úseků a systémů řízení železniční dopravy.

8.3.4 Kódové označení scénáře

Pro usnadnění orientace v jednotlivých situacích (scénářích), které mohou nastat, tím je myšleno označení dvojice kategorie tratě a kategorie úpravy, je zavedeno třímístné kódové značení. Arabská číslice na prvním místě označuje kategorii tratě z hlediska jejího významu a potenciálu, římská číslice na druhé pozici popisuje trať z hlediska stávajícího trasování a cestovní doby a písmeno na třetím místě označuje kategorii zamýšlené nebo provedené úpravy.

¹⁵ Vážený aritmetický průměr rychlostí na jednotlivých úsecích, přičemž váhou jsou délky jednotlivých úseků.

Je důležité si uvědomit, že v modelu budou tyto scénáře figurovat ve dvou zásadních rolích – pro vzorové a modelované tratě. V prvním případě se bude jednat o tratě, na kterých již došlo k provedení úprav a na základě kterých se nastavuje model. V takovém případě druhý symbol kódu tratě popisuje trasování a cestovní doby před provedením úprav a třetí symbol popisuje úpravu, která již byla provedena. Ve druhém případě se jedná o trať, která ještě nebyla upravena a u které chceme modelovat počty cestujících po provedení úprav, v tom případě třetí symbol kódu označuje zamýšlenou kategorii úprav.

Pro větší názornost navržené kostry modelu může sloužit následující příklad.

Chceme stavebně upravit trať L_0 stavební úpravou typu R. Z hlediska kategorizace tratí dle významu se jedná o trať kategorie 5. Aktuální technická vyspělost tratě ji zařazuje do kategorie I. Kódový znak tohoto scénáře tak bude 5IR. Pro správné fungování modelu nyní musíme nalézt trať L_1 respektive množinu tratí $L = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}$ se stejným kódovým označením, která již byla upravena a ze které jsou k dispozici data o přepravních proudech před a po provedení úpravy. Tento modelový scénář je přehledně zobrazen níže (viz Tabulka 9).

Tabulka 9: Příkladový scénář

scénář 5IR			
	vzorová trať: L_1	modelovaná trať: L_0	
kategorie dle významu a potenciálu	spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem)	spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem)	5
kategorie dle technické vyspělosti	Traťová rychlost do 60 km/h	Traťová rychlost do 60 km/h	I
typ úpravy	revitalizace	revitalizace	R

8.4 Matematická část modelu

Pro sestavení modelu schopného predikovat vývoj počtu cestujících je využito poznatků teorie stochastického modelování, konkrétně se bude jednat o lineární regresní model.

8.4.1 Spojitý model

Téměř všechny veličiny v dopravním systému lze považovat za náhodné posloupnosti indexované diskrétním časem t . V každém časovém okamžiku se jedná o náhodnou veličinu, změřením její hodnoty se získá realizace náhodné veličiny. Tyto náhodné veličiny mohou být

buď spojitě, nebo diskrétní. Tato práce se bude zabývat případem, kdy je výstupem spojitá náhodná veličina indexovaná diskrétním časem (náhodná posloupnost se spojitými hodnotami). [9]

8.4.2 Princip stochastického modelu

Model je obrazem systému. Jedná se o matematický popis závislosti modelované veličiny na jiných, vhodně vybraných, veličinách. Ve značné části praktických případů funkční závislost přímo neznáme, a tak je nutné vztahy mezi veličinami popisovat parametry. Hodnoty parametrů se určí pomocí odhadu z naměřených dat. Tato neznalost parametru a poruchy ve veličinách (vzniklé generováním nebo měřením) způsobují, že je takový model prakticky vždy pod vlivem neurčitosti. Matematicky lze takový model popsat například následující rovnicí:

$$y_t = ay_{t-1} + bu_t + e_t.$$

Takový model obsahuje deterministickou¹⁶ (lineární) funkci počítající modelovanou veličinu y_t v závislosti na nezávislé veličině u_t , jakýchsi parametrech a, b , které vyjadřují konkrétní míru souvislosti mezi y_t a u_t . Stochastická část modelu je šum e_t , který (podobně jako v regresní analýze) “dorovná” modelovanou veličinu i s poruchami proti jejím ideálním hodnotám (predikci). [9]

Na tuto rovnici lze také pohlížet jako na transformaci náhodné veličiny e_t s rozdělením $f(e_t)$ na náhodnou veličinu y_t s podmíněným rozdělením $f(y_t|y_{t-1}, u_t, \theta)$. Abychom transformační rovnici mohli použít, musí být veličiny y_{t-1}, u_t, θ známé, tj. musí se vyskytnout v podmínce rozdělení modelované veličiny. Transformace představuje pouhé posunutí z nulové střední hodnoty šumu, na střední hodnotu modelované veličiny y_t , která je:

$$E[y_t|y_{t-1}, u_t, a, b] = E[ay_{t-1} + bu_t + e_t] = ay_{t-1} + bu_t.$$

Rozptyl y_t je stejný jako rozptyl e_t . [9]

8.4.3 Lineární regresní model s normálním šumem

Nejčastěji používaným spojitým modelem je lineární regresní model s normálním rozdělením náhodné složky – šumu. Tento model má obecně rovnicí:

¹⁶ Deterministickým modelem (s deterministickými veličinami) rozumíme model, ve kterém popisované veličiny spontánně nemění svůj stav a jsou vázány pevně danými vztahy. Stav tedy není náhodná veličina, ale veličina deterministicky určená vztahy, počátečními podmínkami, okrajovými podmínkami apod.

$$y_t = \psi_t' \Theta + e_t, \quad (1.1)$$

kde

y_t je modelovaná veličina,

ψ_t je regresní vektor (vektor veličin, které vysvětlují y_t),

Θ je parametr modelu (zahrnuje regresní koeficienty θ a rozptyl šumu r),

e_t je šum s normálním rozdělením s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem r . [9]

Statický regresní model obsahuje v regresním vektoru pouze vstupní veličiny (většinou měřené v současném časovém okamžiku), nikoli zpožděné hodnoty modelované veličiny. Jeho rovnici je tedy možné psát ve tvaru

$$y_t = c_1 v_{1;t} + c_2 v_{2;t} + \dots + c_m v_{m;t} + k + e_t,$$

kde $\psi_t' = [v_{1;t}, v_{2;t}, \dots, v_{m;t}, 1]$ je regresní vektor a $\theta = [c_1, c_2, \dots, c_m, k]$ je vektor regresních koeficientů. Některé z veličin regresního vektoru mohou představovat řízení. [9]

Typický dynamický regresní model popisující vstup a výstup systému je dán regresním vektorem ve tvaru:

$$\psi_t' = [u_t, y_{t-1}, u_{t-1}, \dots, y_{t-n}, u_{t-n}, 1]$$

a jemu odpovídajícímu vektoru parametrů:

$$\theta' = [b_0, a_1, b_1, \dots, a_n, b_n, k].$$

Dosadí-li se do (1.1), získáme **model ve tvaru rovnice**:

$$y_t = b_0 u_t + a_1 y_{t-1} + b_1 u_{t-1} + \dots + a_n y_{t-n} + b_n u_{t-n} + k + e_t. \quad (1.2)$$

V případě normálního rozdělení šumu:

$$f(e_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \exp\left\{-\frac{1}{2r} e_t^2\right\},$$

podle transformační rovnice (1.2)

$$e_t = y_t - \psi'_t \theta,$$

kteřá má Jakobián¹⁷ roven jedné, platí

$$f(y_t | \psi_t \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \exp \left\{ -\frac{1}{2r} (y_t - \psi'_t \theta)^2 \right\}, \quad (1.3)$$

což je hledaná podmíněná HP modelované veličiny – model systému ve tvaru hustoty. [9]

Řádem regresního vektoru nazveme největší zpoždění modelované veličiny v regresním vektoru. Statický model je model nultého řádu. V modelu 1. řádu závisí modelovaná veličina na své minulé hodnotě. Zpoždění jiných veličin (řízení, externího vstupu) řád modelu neovlivní. [9]

8.4.4 Odhad spojitého modelu

Model je matematickým popisem vybraných veličin sledovaného procesu. Tyto veličiny popisujeme stochasticky (pomocí hustot pravděpodobnosti) v závislosti na jiných vybraných veličinách zpravidla jako lineární vazby pomocí diferenčních rovnic. [9]

Při návrhu modelu řešíme dva kroky:

1. návrh struktury modelu, tj. výběr veličin a počtu kroků jejich zpoždění, na kterých modelovaná veličina závisí.
2. určení parametrů modelu, které vyjadřují konkrétní závislosti ve sledovaném procesu. [9]

8.4.4.1 Bayesovské odhadování

V klasické statistice se odhadované parametry, ale i jiné odhadované veličiny, považují za náhodné veličiny. Jejich popisem je hustota pravděpodobnosti. Jestliže je pro konstrukci této HP použita jen předběžná (expertní) znalost, hovoříme o apriorním popisu, jsou-li dále využita i měřená data, dostáváme aposteriorní popis. [9]

V případě popisu parametrů se jedná o HP $f(\Theta)$, která se nazývá apriorní HP a která odráží prvotní znalosti o parametrech. V průběhu odhadování se měří data d_t v časech $t = 1, 2, \dots, T$, kde T je horizont intervalu odhadování. Informace z měřených dat se postupně využívá pro zpřesnění popisu parametrů a původní apriorní HP se vyvíjí na aposteriorní HP

¹⁷ Mnoharozměrová derivace

$$f(\Theta) \xrightarrow{d_1} f(\Theta|d(1)) \xrightarrow{d_2} f(\Theta|d(2)) \xrightarrow{d_3} \dots \xrightarrow{d_T} f(\Theta|d(T)).$$

Střední hodnota aposteriorní HP vypovídá o bodových odhadech parametrů kovariační matice a také o nepřesnosti odhadů. Přepočty HP popisující parametry se provádějí na základě Bayesova vztahu. [9]

8.4.4.2 Bayesův vztah

Vývoj HP parametrů, tj. postupné upřesňování HP parametrů podle informace přicházející z měřených dat d_1, d_2, \dots, d_t se provádí dle Bayesova vzorce

$$f(\Theta|d(t)) \propto f(y_t|\psi_t\Theta)f(\Theta|d(t-1)), \quad (3.1)$$

který se počítá pro $t = 1, 2, \dots, T$ a startuje s tzv. apriorní HP $f(\Theta|d(0)) = f(\Theta)$, která odráží apriorní, expertní znalost. [9]

Vztah (3.1) je možno zapsat také rovnou pro koncový čas T

$$f(\Theta|d(T)) = \prod_{t=1}^T f(y_t|\psi_t\Theta)f(\Theta|d(0)) = L_T(\Theta)f(\Theta|d(0)),$$

kde

$$L_T(\Theta) = \prod_{t=1}^T f(y_t|\psi_t\Theta), \quad (3.2)$$

je věrohodnostní funkce.

Z uvedeného je zřejmé, že bayesovský odhad je vlastně klasický odhad maximální věrohodnosti korigovaný apriorní HP. [9]

8.4.4.3 Reprodukovatelné parametrické vyjádření aposteriorní HP

Vztah (3.1) je rekurze pro funkce. Ta je prakticky nerealizovatelná, proto je třeba jednotlivé HP vyjádřit v konkrétním tvaru, který je závislý na konečném počtu číselných charakteristik a tuto funkcionální rekurzi převést na rekurzi algebraickou pro charakteristiky rozdělení.¹⁸ [9]

Parametrické vyjádření je třeba volit tak, aby při postupném odhadu v čase nevznikaly nové a nové charakteristiky, tj. aby se formální tvar HP parametrů reprodukoval. Jinak se tato HP velmi rychle stane tak složitou, že ji prakticky není možno počítat v rozumném čase. [9]

¹⁸ Např. přepočítat funkci $f(x)$ na $g(x)$ lze jenom tak, že přepočítáme $f(x) \rightarrow g(x)$ pro každý bod $x \in R$. Jestliže ale je $f(x) = \exp\{ax\}$ a $g(x) = \exp\{bx\}$, pak stačí přepočítat $a \rightarrow b$. Celá funkce už je dána svým předpisem.

Například bude-li mít model normální rozdělení, zvolíme apriorní HP také jako normální. Násobení normálních HP vede opět na normální rozdělení, které je určené svou střední hodnotou a rozptylem. Ty lze počítat přímo ze středních hodnot a rozptylů modelu soustavy a apriorní HP. Dostáváme tak rekurzi na číslech, nikoli na funkcích. Pokud má model tuto vlastnost, řekneme, že při odhadu dostáváme reprodukovající se aposteriorní HP. [9]

Tento problém obecně vyřešit nelze, ale pro regresní spojitý model s normálním rozdělením, takové tzv. konjungované apriorní distribuce na parametrech existují ve formě inverzního Gauss-Wishartova a Dirichletova rozdělení. [9]

8.4.4.4 Výsledek odhadování

Výsledkem procedury odhadu je aposteriorní HP

$$f(\Theta|d(t)),$$

kteřá dává úplný stochastický popis parametrů – tedy výčet všech možných hodnot a jejich pravděpodobnosti výskytu. Je-li to možné (většinou z důvodů spočitatelnosti), mělo by se tam, kde máme neznámé parametry, počítat s touto celou distribucí. [9]

Pokud nelze využít v dalších výpočtech celou aposteriorní HP nebo potřebujeme-li jako odhady čísla, můžeme přejít k bodovým odhadům [9]

$$\hat{\Theta}_t = E[\Theta|d(t)].$$

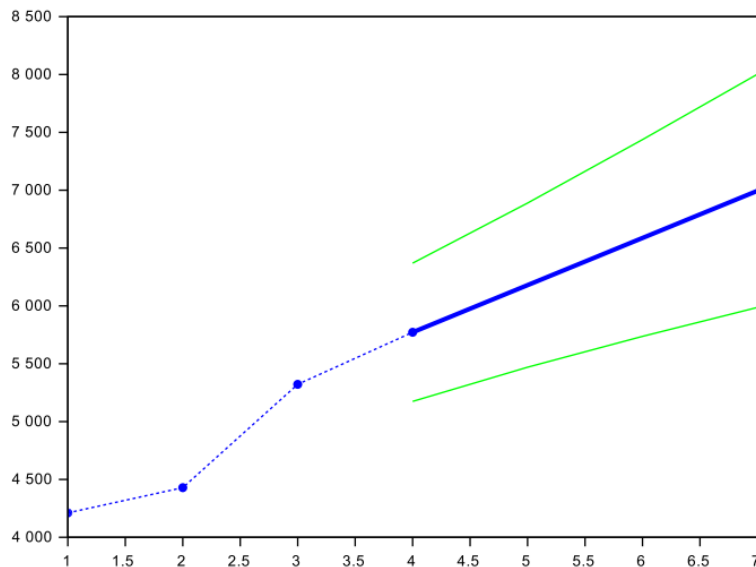
8.4.5 Intervaly spolehlivosti

Intervaly spolehlivosti představují rozsahy odhadů pro neznámý parametr, přičemž zahrnují asociovanou úroveň spolehlivosti. Nejběžněji se využívají 95% úrovně spolehlivosti (viz Obrázek 28), to je takový interval spolehlivosti, do kterého spadne 95 % všech provedených bodových odhadů. Tyto úrovně představují dlouhodobou frekvenci intervalů spolehlivosti obsahujících skutečnou hodnotu parametru neznámé populace. [11]

Interval spolehlivosti je matematicky definován jako $100 \cdot (1 - \alpha)\%$, kde α je tzv. koeficient spolehlivosti, typicky nabývající hodnoty $\alpha = 0,05$ (95% interval spolehlivosti). [11]

Výsledný rozsah samotného intervalu spolehlivosti ovlivňuje několik faktorů. Za prvé se jedná o úroveň spolehlivosti, dále je to velikost sledované populace (vzorku) a mimo jiné i její variabilita. S rostoucí variabilitou sledovaných dat klesá spolehlivost, která bude intervalem

indikována. Naopak čím větší bude homogenita dat, tím bude konfidenční interval vytvářet spolehlivější, a celkově tak i lepší odhad zkoumaného parametru. [11]



Obrázek 28: Grafické vyjádření intervalů spolehlivosti $\alpha = 0,05$ [vlastní]

8.4.5.1 Sestavení intervalu spolehlivosti

Předpoklady pro sestavení¹⁹:

- Existuje přímka $y = \beta_0 + \beta_1 x$ taková, že pro každou hodnotu x veličiny X , střední hodnota veličiny Y leží na přímce $y = \beta_0 + \beta_1 x$. Tuto přímku nazýváme teoretickou regresní přímku a její rovnici teoretickou regresní rovnicí.
- Směrodatná odchylka rozdělení veličiny Y odpovídající určité hodnotě x veličiny X je stejná bez ohledu na hodnotu x .
- Pro každou hodnotu x je příslušné rozdělení veličiny Y normální. [12 – s. 131]

Nechť x_p označuje určitou hodnotu veličiny X , a necht' $\widehat{y}_p = b_0 + b_1 x_p$. Pak náhodná veličina

$$T = \frac{\widehat{y}_p - (\beta_0 + \beta_1 x_p)}{S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{S_{xx}}}}$$

kde

S_e reziduální rozptyl,

¹⁹ Platí obecně pro lineární regresní modelování

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n},$$

má t -rozdělení s $(n - 2)$ stupni volnosti [12].

Pomocí předchozího tvrzení můžeme odvodit následující postup sestavení intervalu spolehlivosti pro veličinu Y odpovídající určité hodnotě veličiny X [12]:

1. Pro koeficient spolehlivosti $(1 - \alpha)$ použijeme tabulkovou hodnotu $t_{\frac{\alpha}{2}}$ s $\nu = n - 2$.
2. Vypočteme predikovanou hodnotu $\widehat{y}_p = b_0 + b_1 x_p$ náhodné veličiny Y .
3. Krajní body intervalu spolehlivosti pro hodnotu y veličiny Y jsou:

$$\widehat{y}_p \pm t_{\frac{\alpha}{2}} \cdot S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{S_{xx}}}$$

S_e reziduální rozptyl

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$$

8.5 Konstrukce modelu

Chceme stavebně vylepšit trať L_0 , která je zařazena do kategorií k a l . Uvažujeme s úpravou s . V následujících tabulkách (Tabulka 10, Tabulka 11 a Tabulka 12) je shrnutí systému kategorizace tratí a jejich úprav z kapitoly 8.3.

Tabulka 10: Kategorizace tratí z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel

k – kategorizace tratí z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel	
1	spojnice hlavního města s krajským městem
2	spojnice hlavního města s regionálním spádovým centrem
3	spojnice krajského města s krajským městem
4	spojnice krajského města s regionálním spádovým centrem
5	spojnice dvou regionálních spádových center

Tabulka 11: kategorizace tratí z hlediska stávající technické vyspělosti

<i>l</i> – kategorizace tratí z hlediska jejich stávající technické vyspělosti	
I.	traťová rychlost do 60 km/h
II.	traťová rychlost 61–80 km/h
III.	traťová rychlost 81–100 km/h

Tabulka 12: Kategorizace úprav tratí

<i>s</i> – kategorizace úprav tratí	
N	novostavba
M	modernizace
O	optimalizace
R	revitalizace

Nechť $L_{kls} = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}$ je množina tratí, které jsou zařazeny do kategorií k a l , a které již byly stavebně upraveny úpravou s .

Nechť $y_{L_j} = \{y_0, y_1, y_2, \dots, y_j\}$ je množina průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech²⁰ v jednotlivých letech, kdy y_0 je rokem ukončení stavební akce, na trati L_j .

Potom uvažujeme model pro predikci průměrných obrátů v tarifních bodech na trati L_0 ve tvaru:

$$y_i = ax_i + b + e_i,$$

y_i je průměrný obrát cestujících v tarifních bodech na řešeném úseku v roce i ,

x_i představuje diskrétní čas měření,

e_i je normální šum s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem.

Následně provedeme odhad modelu podle Bayesova vzorce:

1. Sestavíme rozšířený regresní vektor Ψ_i

$$\Psi_i = [y_i, x_i, 1]',$$

y_i představuje data z tratě L_j v roce i ,

²⁰ Obrát cestujících v tarifních bodech = součet nástupu a výstupu

x_i představuje diskrétní čas měření,

1 představuje konstantu modelu.

2. Provedeme přepočítání informační matice V pro každou změřenou hodnotu dat

$$V_i = V_{i-1} + \Psi\Psi'$$

3. Následně matici V rozdělíme

$$V = \begin{bmatrix} V_y & V'_{yp} \\ V_{yp} & V_p \end{bmatrix},$$

V_y je skalár,

V_{yp} je sloupcový vektor,

V_p je čtvercová matice.

4. Odhadneme parametry

$$\hat{\theta} = V_p^{-1}V_{yp} = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}.$$

Odhadnutá regresní přímka určuje predikci vývoje průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech po dokončení stavební úpravy, která byla uskutečněna v čase $i = 0$ a bude dále použita pro predikci tohoto vývoje pro trať L_0 , na které zamýšlíme provést stavební úpravy a u které se tak stane ve vztažném roce nula.

Podstatná část modelu je směrnice regresní přímky, která ukazuje obecný efekt stavební úpravy, kterým je nárůst obrátů cestujících. Přitom regresní přímka, platí pro nějakou trať s průměrným obrátem cestujících v tarifních bodech. Je to dáno tím, že jsme pro odhad použili tratě s různými obraty cestujících (dle významu tratě se mohou lišit i řádově).

Chceme-li nyní použít model tak, abychom předpověděli vývoj obsazenosti tratě L_0 , na které hodláme provést stavební úpravu, musíme přímku přizpůsobit její obsazenosti v bodě kdy proběhla stavební úprava – přímka musí spojitě navazovat na předchozí vývoj obrátů cestujících. Její směrnice pak ukazuje předpovídaný vývoj.

Regresní přímku, která je výstupem modelu lze obecně vyjádřit:

$$y = ax + b,$$

kde y představuje obrat cestujících a x je čas. Přitom y je již zmíněný obrat cestujících v tarifních bodech plynoucí z provedené regrese. Pro směrnici této regresní přímky platí:

$$a \cong \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

kde Δy a Δx jsou přírůstky y a x v nějakém krátkém intervalu. Pokud nyní aktuální \tilde{y} bude k -krát větší, bude, při stejném Δx platit:

$$\tilde{a} = \frac{\Delta \tilde{y}}{\Delta x} = \frac{\Delta ky}{\Delta x} = k \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

a tím pádem bude platit i:

$$\tilde{a} = ka.$$

Tedy s vyšší obsazeností tratě se bude úměrně zvyšovat i směrnice regresní přímky. Proto nestačí průměrnou přímku prostě posunout tak, aby navazovala na předchozí vývoj obrátů modelované tratě, ale je třeba přímku násobit a to tak, aby správně navazovala.

Bude-li tedy poslední hodnota nové tratě y_r a první hodnota regresní přímky y_0 , pak hledaná konstanta k je:

$$k = \frac{y_r}{y_0},$$

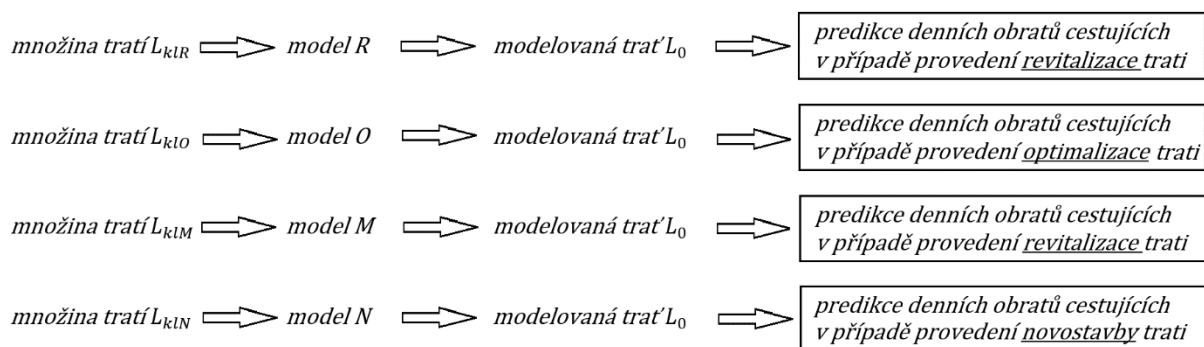
a odpovídající regresní přímka (jestliže odhadnutá je $y = ax + b$) bude:

$$y = k(ax + b),$$

tato přímka bude navazovat a má odpovídající trend.

Jedná se o predikci založenou na historických datech tratí z množiny L_{kls} . Proto lze očekávat jistou neurčitost předpovědi, která je vyjádřena uvedeným pásem neurčitosti pro predikci. Jedná se o pás určený intervaly spolehlivosti predikce pro jednotlivé časové okamžiky po provedení stavebních úprav.

V případě opakování predikce množinou L_{kls} tratí, které byly upraveny jiným druhem úpravy s lze postupně porovnat budoucí vývoj počtu cestujících na trati L_0 v závislosti na druhu provedené stavební úpravy, což nám umožní posouzení a porovnání více různě náročných variant stavebních úprav tratě L_0 podobně jako je tomu v rámci procesu studie proveditelnosti. Popsaný postup je přehledně shrnut v následujícím obrázku.



Obrázek 29: Modelování různých druhů stavebních úprav

Důležitým elementem představeného modelu jsou vstupní data, která mají zcela zásadní vliv na rozsah možného uplatnění modelu, ale i na jeho přesnost. Data o počtech přepravených cestujících jsou získávána pravidelně v průběhu roku v rámci kampaní sčítání cestujících. Jednotliví dopravci/objednatelé bohužel zpravidla nejsou ochotni nasbíraná data poskytnout. Velmi obtížné je potom získávání dat z dálkové dopravy, která je z velké části v gesci národního dopravce České dráhy, a.s. V rámci využití získaných dat v modelu je nezbytné provést vhodné vyřídění a porovnání dat. Pro použití v modelu je vhodné využít data ze stejných období jednotlivých let, která nejsou zatížena sezónní variací dopravy (červenec, srpen, druhá polovina prosince). Za velmi vhodná lze považovat například data z pracovních dní měsíců říjen a listopad.

9 Aplikace modelu

Pro ověření funkčnosti modelu bude nyní přistoupeno k jeho aplikaci na skutečná data a tratě.

V rámci tohoto příkladu byl predikován vývoj cestujících na trati L_0 po provedení stavební úpravy kategorie R, která se nachází v železniční síti ČR. Trať je zařazena do kategorií 5 a I, z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel a stávající technické vyspělosti.

Na trati L_0 byla v předchozích letech změřena následující data (průměrné denní obraty v tarifních bodech trati L_0 v měsících říjen nebo listopad).

Tabulka 13: Vstupní data z modelované tratě

Roky před navrhovaným provedením úprav	Průměrné obraty cestujících v tarifních bodech
10	1571
9	1545
8	1618
7	1554
6	1453
5	1310
4	1282
3	1199
2	1317
1	1346

V návaznosti na problémy se získáváním dat zmíněné v kapitole 8.5 se pro prvotní aplikaci navrženého modelu podařilo získat datovou sadu s omezeným rozsahem – jedná se o šest tratí, které již byly upraveny stavební úpravou kategorie R a spadají do kategorie I z hlediska technické vyspělosti před provedením úprav. Tratě však spadají do kategorií 2 a 5 z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel – nejedná se tak o zcela ideální množinu vstupních dat. Výpočet bude proveden nejen s množinou L_{kls} všech šesti tratí, ale také pro množinu L_{kls} s tratěmi pouze kategorie 2 nebo 5 – celkem se tak bude jednat o 3 příkladové výpočtové

scénáře. Dále byla poskytovateli dat požadována jejich anonymizace. Obdržená data ze sčítání cestujících po linkách a tratích (ve smyslu národní sítě železničních drah) tak byla převedena na průměrné denní obraty za jednotlivé tratě (ve smyslu této práce – viz úvodní část kapitoly 8.3) a pro jejich označování nebylo použito pojmenování počátečního a koncového bodu, ale pouze kategorizace dle kapitoly 8.3 a příslušná indexace v rámci množiny L_{kls} .

Pro příkladové výpočtové scénáře budou použity následující vzorové tratě, které již byly podrobeny stavebním úpravám (viz Tabulka 14).

Tabulka 14: Kategorizace tratí a úprav v rámci množiny L_{kls}

trať	Kategorie z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel	Kategorie z hlediska stávající technické vyspělosti	Kategorie provedené úpravy
L_1	5	I	R
L_2	5	I	R
L_3	5	I	R
L_4	2	I	R
L_5	2	I	R
L_6	2	I	R

Na vzorových tratích množiny byla po provedení stavební úpravy ve čtyřech po sobě jdoucích letech změřena následující data²¹ (průměrné denní obraty v tarifních bodech v měsících říjen nebo listopad – viz Tabulka 15).

²¹ S ohledem na velké zkeslení dat z let 2019 a 2020 pandemií onemocnění COVID-19 byla tato data zcela vynechána a do modelu v žádné podobě nevstupují.

Tabulka 15: Vstupní data ze vzorových tratí

trať	Průměrné denní obraty v tarifních bodech v roce provedení stavební úpravy	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 1 rok po provedení úprav	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 2 roky po provedení úprav	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 3 roky po provedení úprav
L_1	669	935	1089	1312
L_2	2867	3026	3064	3334
L_3	895	922	1035	1033
L_4	4211	4429	5322	5772
L_5	1691	1126	1896	1896
L_6	5646	6293	7585	6697

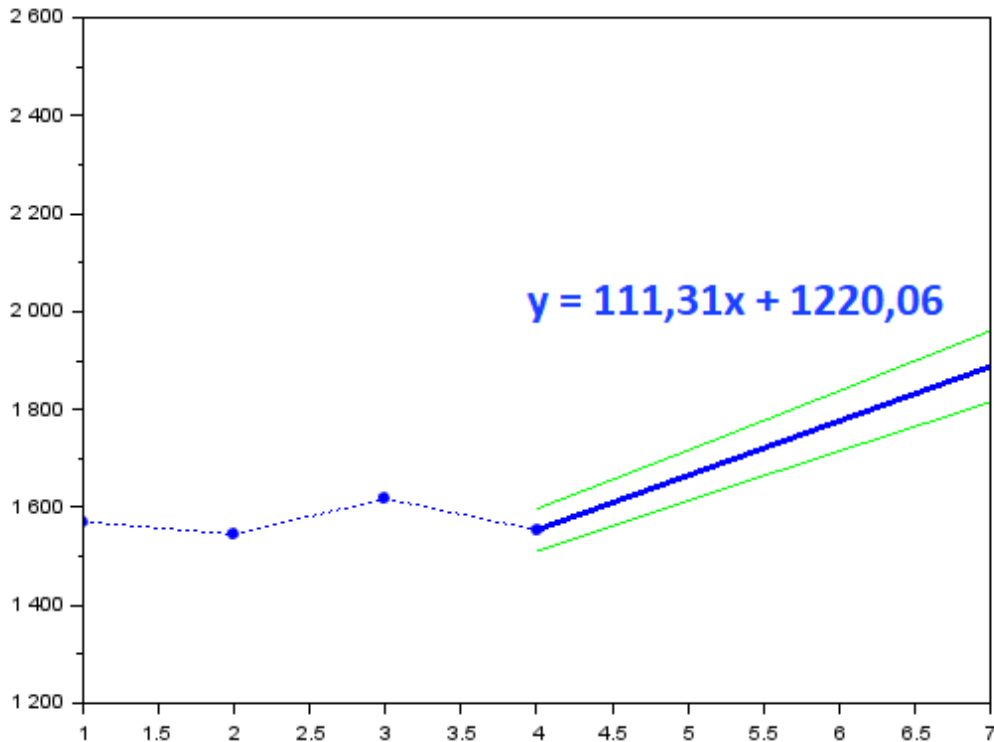
9.1 Příkladový výpočetní scénář 1

V tomto výpočtu bude na vzorové trati L_0 predikován vývoj průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech n a základě vstupní množiny vzorových tratí $L_{5IR} = \{L_1, L_2, L_3\}$.

Ze zadaných dat byl dle kapitoly 8.5 vytvořen model, pro jehož výpočet byl použit software Scilab.²² Výpis zdrojového kódu z výpočetního software je součástí přílohy č. 1.

Na následujícím obrázku (Obrázek 30) je zobrazen graf s výslednými daty. Na ose y jsou průměrné obraty cestujících v tarifních bodech, na ose x jsou roky, kdy rok 4 v grafu představuje rok dokončení stavební úpravy (rok 0 z hlediska modelu). Přerušovaná modrá čára představuje měřená data před stavební úpravou, plná modrá je predikce modelu. Zeleně jsou vyneseny hranice intervalů spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (více viz kapitola 8.4.5). Zobrazena je zde rovněž rovnice regresní přímky.

²² volně šiřitelný program pro numerické výpočty



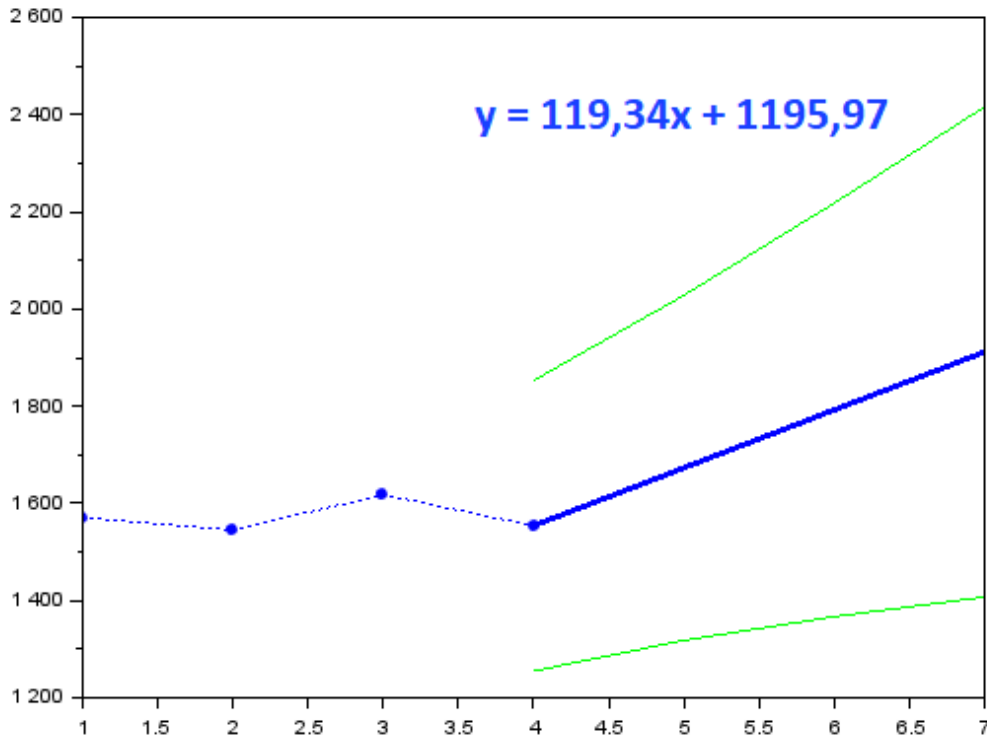
Obrázek 30: Výpočetní scénář 1

9.2 Příkladový výpočetní scénář 2

V tomto výpočtu bude na vzorové trati L_0 predikován vývoj průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech na základě vstupní množiny vzorových tratí $L_{2IR} = \{L_4, L_5, L_6\}$.

Ze zadaných dat byl dle kapitoly 8.5 vytvořen model, pro jehož výpočet byl použit software Scilab. Výpis zdrojového kódu z výpočetního software je součástí přílohy č. 2.

Na následujícím obrázku (Obrázek 31) je zobrazen graf s výslednými daty. Na ose y jsou průměrné obraty cestujících v tarifních bodech, na ose x jsou roky, kdy rok 4 v grafu představuje rok dokončení stavební úpravy (rok 0 z hlediska modelu). Přerušovaná modrá čára představuje měřená data před stavební úpravou, plná modrá je predikce modelu. Zeleně jsou vyneseny hranice intervalů spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (více viz kapitola 8.4.5). Zobrazena je zde rovněž rovnice regresní přímky.



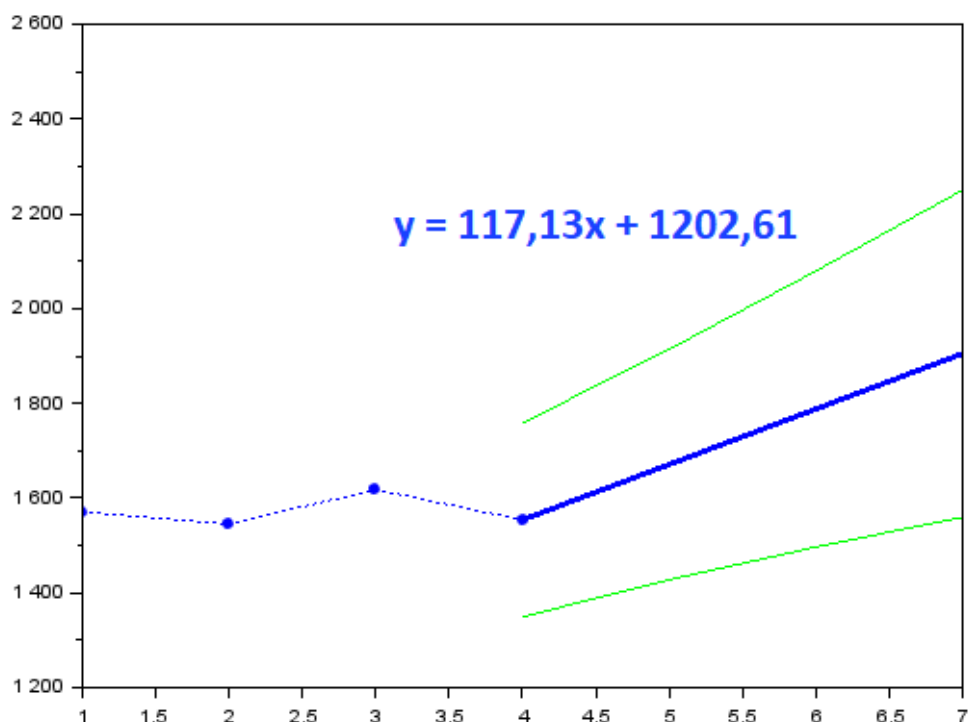
Obrázek 31: Výpočetní scénář 2

9.3 Příkladový výpočetní scénář 3

V tomto výpočtu bude na vzorové trati L_0 predikován vývoj průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech na základě vstupní množiny vzorových tratí $L_{2+5IR} = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$.

Ze zadaných dat byl dle kapitoly 8.5 vytvořen model, pro jehož výpočet byl použit software Scilab. Výpis zdrojového kódu z výpočetního software je součástí přílohy č. 3.

Na následujícím obrázku (Obrázek 32) je zobrazen graf s výslednými daty. Na ose y jsou průměrné obraty cestujících v tarifních bodech, na ose x jsou roky, kdy rok 4 v grafu představuje rok dokončení stavební úpravy (rok 0 z hlediska modelu). Přerušovaná modrá čára představuje měřená data před stavební úpravou, plná modrá je predikce modelu. Zeleně jsou vyneseny hranice intervalů spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (více viz kapitola 8.4.5). Zobrazena je zde rovněž rovnice regresní přímky.



Obrázek 32: Výpočetní scénář 3

9.4 Shrnutí

Přechozí výpočty jasně dokazují schopnost modelu predikovat vývoj obrátů cestujících. Výsledky jednotlivých výpočtů však nejsou zcela totožné, neboť všechny výpočty se liší vstupní množinou dat.

Z hlediska predikovaného trendu předpovídají všechny sestavené modely podobný nárůst. Nejvyššího predikovaného nárůstu je dosaženo ve výpočtu 2, na druhém místě je výpočet 3 a nejmenší predikovaný nárůst je ve výpočtu 1.

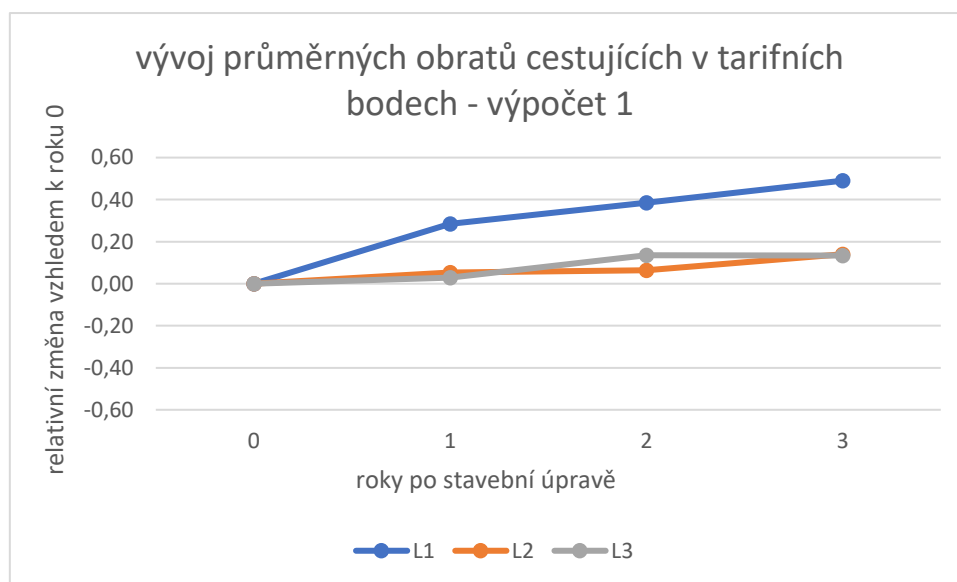
Velmi důležitá je i míra neurčitosti predikce, která vychází ze skutečnosti, že se jedná o stochastický model (viz kapitoly 8.4.1 a 8.4.2), a která je ve výstupech modelu vyjádřena intervaly spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (viz kapitola 8.4.5). Nejmenší míry neurčitosti predikce je dosaženo ve výpočtu 1, na druhém místě je výpočet 3 a největší míra neurčitosti je ve výpočtu 2.

Zmíněná mírná variace výsledků jednotlivých výpočtů je dána variací vstupních dat a zcela koresponduje s obecnou charakteristikou modelu – kvalita predikce je založena na kvalitě vstupních dat. V následující tabulce (Tabulka 16) jsou zobrazena vstupní data, která jsou přepočtená na relativní nárůsty vzhledem k roku 0 z dat z tabulky v úvodu této kapitoly

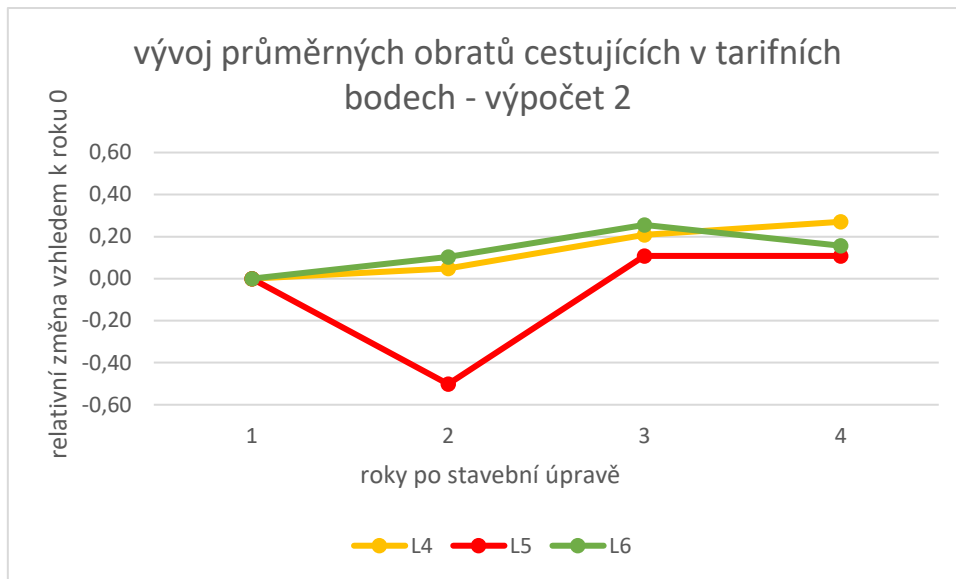
(Tabulka 15). Všechny tři množiny vstupních dat jsou graficky zobrazeny v následujících obrázcích (Obrázek 33, Obrázek 34 a Obrázek 35).

Tabulka 16: Vstupní data přepočtená na relativní hodnoty

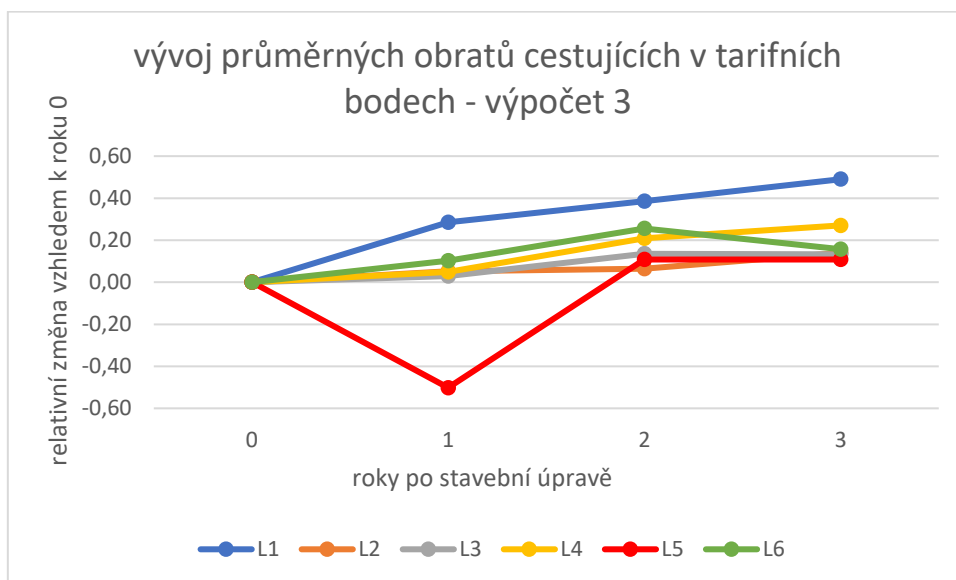
trať	Průměrné denní obraty v tarifních bodech v roce provedení stavební úpravy	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 1 rok po provedení úprav	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 2 roky po provedení úprav	Průměrné denní obraty v tarifních bodech 3 roky po provedení úprav
L_1	0,00	0,28	0,39	0,49
L_2	0,00	0,05	0,06	0,14
L_3	0,00	0,03	0,14	0,13
L_4	0,00	0,05	0,21	0,27
L_5	0,00	-0,50	0,11	0,11
L_6	0,00	0,10	0,26	0,16



Obrázek 33: Vstupní datová množina pro výpočet 1



Obrázek 34: Vstupní datová množina pro výpočet 2



Obrázek 35: Vstupní datová množina pro výpočet 3

Vstupní data ovlivňují výslednou podobu predikce dvojím způsobem. V první řadě se jedná o příslušnost vstupních tratí do stejných kategorií, jako je tomu u modelované (predikované) trati. Z tohoto pohledu by měla být nejpřesnější predikce trendu, která je výstupem z výpočtu 1, neboť ten predikuje vývoj na základě vstupních dat s identickou kategorizací, jako u modelované (predikované) trati.

Neméně důležitá je i „informace“, kterou vstupní data nesou – v případě výpočtu 1 nastal na všech tratích z množiny vstupních dat po provedení stavební úpravy zcela jasný nárůst obrátů cestujících. Naproti tomu vstupní množina z výpočtu 2 sice jako celek vykazuje po provedení stavebních úprav nárůst, ale dochází zde k lokálním propadům, či stagnacím. Tato skutečnost

vnáší do výpočtu více neurčitosti, ale velmi přesně odráží reálné trendy z praxe, kdy se stavební činnost může na počtech cestujících odrazit i negativně (více viz kapitola 8.2). Tyto skutečnosti se ve výpočtech jednotlivých modelů projevují jako zvýšená míra neurčitosti modelu, která vede k širším intervalům spolehlivosti predikce a tím i zmenšení její spolehlivosti.

Budoucímu uživateli modelu se tak naskýtá příležitost velmi přesně modelovat konkrétní situaci vhodným výběrem množiny vstupních dat (například budu-li chtít predikovat na trati, kde předpokládám rozsáhlá omezení cestujících v rámci stavební úpravy, musím pro model opatřit data z tratí, kde v rámci stavební činnosti docházelo k podobné míře omezení). Tato vlastnost modelu má však i svoji druhou stranu – špatná vstupní data mohou predikci velmi snadno znehodnotit.

V návaznosti na tyto tři různé odezvy modelu na tři různé množiny vstupních dat můžeme konstatovat, že model dovede velmi věrohodně (ve srovnání s praxí) reagovat na různá vstupní data a poskytnout predikci, která tato data zohledňuje i s vyjádřením míry neurčitosti této predikce.

10 Verifikace modelu

V předchozí kapitole byla úspěšně otestována schopnost modelu predikovat data o obratech cestujících. Nyní je však na místě ještě ověřit věrohodnost predikovaných dat. Za tímto účelem bude zvolena trať, která již byla v minulosti stavebně upravena. V prvním kroku bude podobně jako v kapitole 9 provedena predikce na základě modelu. Ve druhém kroku dojde k porovnání predikovaných dat se skutečným vývojem obrátů cestujících po provedení stavební úpravy.

Pro verifikaci modelu byla vybrána trať L_0 , která se nachází v železniční síti ČR. Trať je zařazena do kategorií 3 a I, z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel a stávající technické vyspělosti. Tato trať byla v minulosti stavebně upravena, stavební úpravou typu R.

Na trati L_0 byla v předchozích letech změřena následující data (průměrné denní obraty v tarifních bodech v měsících říjen nebo listopad – viz Tabulka 17). Červená čísla představují data před a zelená po provedení stavební úpravy.

Tabulka 17: Vstupní data z modelované tratě pro verifikaci modelu

Roky vzhledem k okamžiku provedení úpravy ²³	Průměrné obraty cestujících v tarifních bodech
-6	4371
-5	4916
-4	4991
-3	5110
-2	5223
-1	5436
0	5086
1	5484
2	5828
3	6086

²³ Za takový okamžik je v rámci této práce považován první rok, ve kterém po většinu roku platí grafikon vlakové dopravy, který není omezen stavební činností, a naopak obsahuje benefity z provedené stavební úpravy.

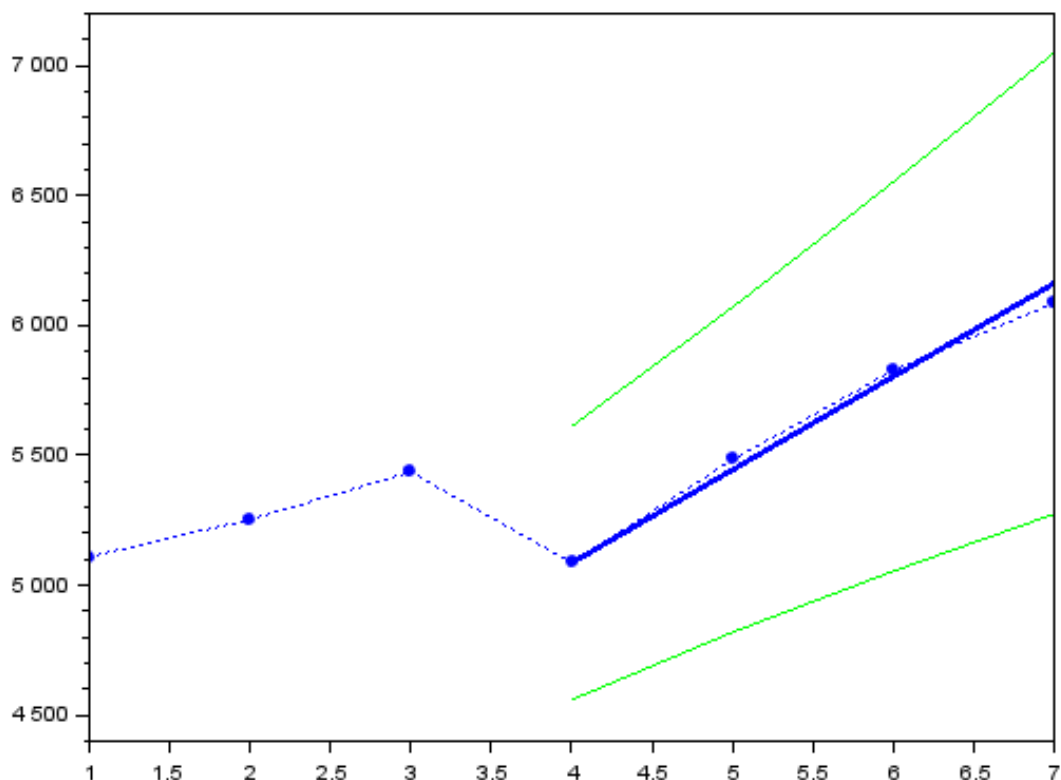
V prvním kroku verifikace modelu provedeme predikci pro roky 0 – 3 podobně jako v kapitole 9. S ohledem na problémy s nedostatkem dat (viz kapitoly 8.4 a 9) bude predikce provedena na základě vstupní množiny dat z kapitoly 9.3. Tato množina obsahuje tratě kategorie I dle stávající technické vyspělosti, upravené úpravou kategorie R podobně jako nyní predikovaná trať. Vstupní množina je od tratě L_0 odlišná v kategorii dle hierarchizace a topologie dopravní sítě – obsahuje tratě kategorie 2 a 5, přičemž trať L_0 je zařazena do kategorie 3, tato odlišnost by v rámci predikce měla být do jisté míry kompenzována širším intervalem spolehlivosti, který bude vyjadřovat neurčitost predikce.

V tomto výpočtu bude tedy na vzorové trati L_0 predikován vývoj průměrných obrátů cestujících v tarifních bodech na základě vstupní množiny vzorových tratí $L_{2+5IR} = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$.

Ze zadaných dat byl dle kapitoly 8.5 vytvořen model, pro jehož výpočet byl použit software Scilab. Výpis zdrojového kódu z výpočetního software je součástí přílohy č. 4.

Výstup výpočtu následně porovnáme s se skutečným vývojem počtu cestujících po provedení úpravy na předmětné trati.

Na následujícím obrázku (viz Obrázek 36) je zobrazen graf s výslednými daty. Na ose y jsou průměrné obraty cestujících v tarifních bodech, na ose x jsou roky, kdy rok 4 v grafu představuje rok dokončení stavební úpravy (rok 0 z hlediska modelu). Přerušovaná modrá čára představuje měřená data před a po stavební úpravě, plná modrá je predikce modelu. Zeleně jsou vyneseny intervaly spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (více viz kapitola 8.4.5). V následující tabulce (viz Tabulka 18) je vyjádřen rozdíl mezi skutečnými a predikovanými daty.



Obrázek 36: Porovnání predikce a skutečných dat

Tabulka 18: Porovnání skutečných a predikovaných dat

rok po provedení úprav	rozdíl mezi predikovanou a skutečnou hodnotou [%]
1	0,71
2	0,41
3	1,25

Maximální odchylka predikovaných dat od skutečných je 1,25 %, na základě toho můžeme konstatovat, že navržený model dovede predikovat s velkou přesností. Je však nutné uvést i fakt, že v modelu stále zůstává značná míra neurčitosti, která je vyjádřena poměrně širokými intervaly spolehlivosti. Pro snížení této neurčitosti by bylo nezbytné rozšířit a upravit množinu vstupních dat. Stále však platí, že model poskytuje velmi kvalitní odezvu na vstupní data a kvalita predikce je přímo úměrná kvalitě vstupních dat.

11 Závěr

Disertační práce „Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty“ přináší zcela nový přístup k posuzování parametrů staveb železniční infrastruktury.

V úvodních kapitolách práce je velmi detailně shrnut stávající přístup k navrhování parametrů staveb železniční infrastruktury. Jedná se zejména o souhrn a popis hlavních parametrů staveb železniční infrastruktury. Dále jsou shrnuty a popsány základní koncepční materiály a jejich legislativní rámec, stávající systém kategorizace drah a souvisejících infrastrukturních stavebních akcí.

Další část práce je věnována problematice dopravního modelování. Jsou představeny různé v praxi užívané přístupy k modelování poptávky po přepravě.

Následující část práce obsahuje expertní dotazník, který přináší ucelený pohled téměř třiceti expertů z oblasti dopravy na stávající systém nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury. Tato část je potvrzením důležitosti problematiky řešené v rámci této práce a zároveň i potřebnosti této práce.

Součástí další kapitoly je rešerše vybraných zahraničních přístupů k nastavování parametrů staveb železniční infrastruktury.

Návrh modelu pro predikci využití železniční infrastruktury po provedení stavebních úprav je jádrem celé práce. Nejprve je navržen zcela nový systém kategorizace tratí a jejich stavebních úprav. Následně je představena teorie stochastického modelování, na základě jejíchž poznatků je vytvořen zcela nový model pro predikci využití železniční infrastruktury po provedení stavebních úprav. Verifikace funkčnosti navrženého modelu je následně úspěšně provedena na reálných datech, kdy je porovnán skutečný a predikovaný nárůst obrátů cestujících.

Největší předností navrženého modelu je predikce, která je založena na reálných datech, které nám přinesla rozsáhlá stavební činnost na železnici v posledních letech. Model tak umožňuje posouzení navržených parametrů na základě skutečného chování cestujících ovlivněného již zmíněnou stavební činností.

Jak již bylo naznačeno v kapitole 8 navržený model se může stát jednou ze základních součástí rozhodovacího nástroje pro nastavení výhledových parametrů železniční infrastruktury, ve kterém figurují nárůsty počtů cestujících v závislosti na provedenou stavební úpravu. V případě výběru varianty stavební úpravy pomocí hodnocení ekonomické efektivity může model

poskytnou vstupní data. Pokud bude zadavatele stavební úpravy zajímat pouze maximalizace počtů cestujících po provedení úprav, tak může navržený model fungovat i zcela samostatně.

Pro další rozvoj navrženého modelu je důležité zejména rozšíření základny vstupních dat, neboť ta jsou pro kvalitní predikci nezbytná.

Zde je vhodné zhodnotit dosažení cílů, které byly stanoveny v úvodu disertační práce:

- identifikace klíčových parametrů staveb železniční infrastruktury – splněno; součástí práce je rozsáhlá analýza hlavních parametrů, které zásadně ovlivňují podobu nové infrastruktury v rámci procesu přípravy staveb železniční infrastruktury,
- analýza stávajícího procesu nastavování projektovaných parametrů staveb železniční infrastruktury – splněno; součástí práce je rešerše stávajícího systému a související legislativy,
- oslovení expertů za účelem získání odborných názorů na danou problematiku – splněno; v rámci práce byl vytvořen expertní dotazník, který přináší ucelený pohled vybraných odborníků z praxe na předmětnou problematiku,
- vytvoření modelu pro predikci vývoje počtu cestujících na základě dat z již stavebně upravených tratí – splněno; byl vytvořen model, který umožňuje predikovat využití železniční infrastruktury v závislosti na parametrech provedených staveb železniční infrastruktury,
- aplikace modelu na konkrétní data – splněno; model byl úspěšně otestován na datech z praxe,
- verifikace modelu na základě dat z již stavebně upravené trati – splněno; přesnost predikce modelu byla úspěšně testována na datech z revitalizované trati.

Výzkum provedený v disertační práci mohl vzniknout díky podpoře dvou grantů ve Studentské grantové soutěži ČVUT v Praze, a to konkrétně:

1. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci (2018–2019),
2. SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty (2020–2021).

Vybrané části této disertační práce byly publikovány již v rámci více odborných konferencí či periodik. Autor práce pevně doufá, že závěry této práce využije ve svém dalším výzkumu.

12 Seznam příloh

- Příloha č. 1 Vzorový kód příkladového výpočtového scénáře 1
- Příloha č. 2 Vzorový kód příkladového výpočtového scénáře 2
- Příloha č. 3 Vzorový kód příkladového výpočtového scénáře 3
- Příloha č. 4 Vzorový kód výpočtu pro verifikaci modelu

13 Seznam obrázků

Obrázek 1: Denní počet přepravených cestujících na trati č. 173 dle KJŘ [35]	10
Obrázek 2: Počet přepravených osob po železnici v okolí hlavního města Prahy [35]	11
Obrázek 3: Variantní řešení trasování projektované železniční infrastruktury [18 – s. 51].....	15
Obrázek 4: Varianta trasování novostavba [20 – s. 38]	16
Obrázek 5: Varianta trasování kombinace přeložek (zeleně) a úseků ve stávající stopě (červeně) [21 – s. 13].....	17
Obrázek 6: Variantní řešení parametrů projektované železniční infrastruktury z hlediska projektovaného počtu kolejí/četnosti dopraven [18 – s. 88]	18
Obrázek 7: Síť TEN-T [22 – s. 8]	27
Obrázek 8: Grafické znázornění LOGIT modelu [4 – s. 37].....	30
Obrázek 9: Hnízdový LOGIT model [4 – s. 39]	31
Obrázek 10: Použití hnízdového LOGIT modelu [4 – s. 71]	35
Obrázek 11: Parametr α [4 – s. 74].....	36
Obrázek 12: Zastoupení odborných sfér v rámci dotazníku [10 – s. 4]	38
Obrázek 13: Odpovědi respondentů na otázku 14 [10 – s. 40]	39
Obrázek 14: Odpovědi respondentů na otázku 15 [10 – s. 44]	44
Obrázek 15: Odpovědi respondentů na otázku 16 [10 – s. 47]	47
Obrázek 16: Vymezení koridoru [zdroj: https://www.google.cz/maps]	51
Obrázek 17: Příklad trasování varianty Novostavba [17 – s. 61].....	53
Obrázek 18: Úpravy směrového vedení u varianty VRT [15 – s. 3].....	56
Obrázek 19: Situace plánované vysokorychlostní sítě projektu HS2 [30].....	58
Obrázek 22: Hlavní varianty trati HS 2, 1. etapa [27 – s. 16]	60
Obrázek 23: Železniční koridor Mumbai – Ahmedabad [31]	64
Obrázek 24: Schéma variant [31].....	65
Obrázek 25: Přepavní prognóza [31]	66
Obrázek 26: Navržená síť VRT [32].....	67
Obrázek 27: Model výběru dopravního módu [33].....	68
Obrázek 28: Příklad přínosů rekonstrukce nástupišť [19].....	71
Obrázek 29: Ukázka provizorního přístupu na nástupiště v rámci stavby [34]	72
Obrázek 30: Grafické vyjádření intervalů spolehlivosti $\alpha = 0,05$ [vlastní].....	81
Obrázek 31: Modelování různých druhů stavebních úprav	86
Obrázek 32: Výpočetní scénář 1	90

Obrázek 33: Výpočetní scénář 2	91
Obrázek 34: Výpočetní scénář 3	92
Obrázek 35: Vstupní datová množina pro výpočet 1	93
Obrázek 36: Vstupní datová množina pro výpočet 2	94
Obrázek 37: Vstupní datová množina pro výpočet 3	94
Obrázek 38: Porovnání predikce a skutečných dat	98

14 Seznam tabulek

Tabulka 1: Přeprava cestujících po železnici [36].....	12
Tabulka 2: Komentáře respondentů k otázce 14 [10].....	39
Tabulka 3: Komentáře respondentů k otázce 15 [10].....	44
Tabulka 4: Komentáře respondentů k otázce 16 [10].....	47
Tabulka 5: Dosažené zkrácení jízdních dob [15]	54
Tabulka 6: Počty přepravených cestujících [15]	55
Tabulka 7: Porovnání variant [15]	57
Tabulka 8: Vítězná varianta [31].....	66
Tabulka 9: Příkladový scénář	75
Tabulka 10: Kategorizace tratí z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel.....	82
Tabulka 11: kategorizace tratí z hlediska stávající technické vyspělosti	83
Tabulka 12: Kategorizace úprav tratí	83
Tabulka 13: Vstupní data z modelované tratě	87
Tabulka 14: Kategorizace tratí a úprav v rámci množiny Lkls	88
Tabulka 15: Vstupní data ze vzorových tratí	89
Tabulka 16: Vstupní data přepočtená na relativní hodnoty.....	93
Tabulka 18: Vstupní data z modelované tratě pro verifikaci modelu	96
Tabulka 17: Porovnání skutečných a predikovaných dat.....	98

15 Zdroje

- [1] Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky (směrnice generálního ředitele č. 16/2005), SŽDC, 2006.
- [2] Zásady rekonstrukce celostátních drah České republiky nezařazených do evropského železničního systému (směrnice č. 30), SŽDC, 2008.
- [3] Zásady rekonstrukce regionálních drah (směrnice č. 32), SŽDC, 2008.
- [4] BULÍČEK, J. a kol. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopavní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [5] SUROVEC, P. *Hromadná osobná doprava*. V Žiline: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2007. ISBN 978-80-8070-686-9.
- [6] KOČÁRKOVÁ, D., KOCOUREK, J. a JACURA, M. *Základy dopravního inženýrství*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04233-5.
- [7] ORTÚZAR, J., WILLUMSEN, L. *Modelling Transport*. vyd. 3. Chichester: Wiley, 2001. 499 s. ISBN 13: 978-0-471-861110-2 (H/B).
- [8] KUŠNIEROVÁ, J., HOLLAREK, T. *Metódy modelovania a prognózovania prepravného a dopravného procesu*. vyd. 1. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline (EDIS), 2000. 166 s. ISBN 80-7100-673-4.
- [9] NAGY, I. *Stochastické systémy* (učební text k přednáškám).
- [10] PURKART, P., VODÁK D. Výsledky expertního dotazníku – kapacita železniční dopravní cesty, parametry železničních tratí a hodnocení staveb na železnici. ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů. Praha, 2021.
- [11] Konfidenční intervaly. In: Wikiskripta [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Konfiden%C4%8Dn%C3%AD_intervaly
- [12] NOVOVIČOVÁ, J. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2006, 154 s.
- [13] *Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů dopravních staveb*. Praha. Státní fond dopravní infrastruktury, 2018. ISBN 978-80-907177-6-3.

- [14] Dokumentace staveb Správy železnic, státní organizace: SŽ SM011. Správa železnic, státní organizace, 2022.
- [15] High-Speed Rail Pre-Feasibility Study. In: New York State: Department of Transportation [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.dot.ny.gov/programs/i-87-multimodal-corridor-tudy/repository/draftfinal-highspeedrailsummary-may04.pdf>
- [16] Boston to Montreal HighSpeed Rail Planning and Feasibility Study Phase I. In: New Hampshire Goverment Website [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.nh.gov/dot/org/aerorailtransit/railandtransit/documents/BostonMontrealHSR.pdf>
- [17] High Speed Rail Prefeasibility Study: New York City to Montreal. In: New York State: Department of Transportation [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.dot.ny.gov/programs/i-87-multimodal-corridor-study/repository/finalhighspeedrailfeasibilitystudyreport05-18-04.pdf>
- [18] Modernizace trati Plzeň – Domažlice st. hranice, aktualizace SP a CBA. In: Portál pro vhodné uveřejnění [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uvarejneni.cz/index.php?m=xenorders&h=order&a=detaildocumentsandimages&rwr=modernizace-trati-plzen-domazlice-st-hranice-srn-4-stavba-usek-domazlice-mimo-statni-hranice-srn>
- [19] Nízkopodlažní nástup ocení nejen cestující s kočárky, ale také občané na invalidním vozíku. In: Facebook [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/ceskedrahy/photos/a.1080012275356798/1080012468690112>
- [20] Významné investiční akce. In: Správa železnic [online]. 2021 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/146660057/V%C3%BDznamn%C3%A9+investi%C4%8Dn%C3%AD+akce+2021/ca894b77-4e27-41ff-ac8e-5ccd47883dff>

- [21] Projekty pro IV. železniční koridor. In: Správa železnic [online]. 2012 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50157246/b04-krames-sudop-pha.pdf>
- [22] Prezentace o TEN-T. In: Ministerstvo dopravy [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: [https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/TEN-T-a-dalsi-doprava/Transevropske-dopravni-site-\(TEN-T\)/Prezentace-o-TEN-T.doc.aspx](https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/TEN-T-a-dalsi-doprava/Transevropske-dopravni-site-(TEN-T)/Prezentace-o-TEN-T.doc.aspx)
- [23] History of rail transport in Great Britain. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport_in_Great_Britain
- [24] Route 18 West Coast Main Line. In: *Network Rail: We run, look after and improve Britain's railway* [online]. London: Network Rail, 2007 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <http://archive.nr.co.uk/browse%20documents/strategicbusinessplan/routeplans/2007/r18%20-%20wcml.pdf>
- [25] What do we know about HS2? *BBC* [online]. Spojené Království: BBC, 2017 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/uk-16473296>
- [26] HS2: High-speed rail network gets go-ahead. *BBC* [online]. Spojené království: BBC, 2012 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/uk-16478954>
- [27] Review of HS2 London to West Midlands Route Selection and Speed: A report to Government by HS2 Ltd. In: *GOV.UK: The best place to find government services and information Simpler, clearer, faster* [online]. Birmingham: High Speed Two (HS2), 2012 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/review-of-hs2-london-to-west-midlands-route-selection-and-speed>
- [28] Securing the future: Delivering UK sustainable development strategy [online]. 1. Norwich: The Stationery Office, 2005 [cit. 2017-09-10]. ISBN 0-10-164672-0. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/securing-the-future-delivering-uk-sustainable-development-strategy>
- [29] Rail transport in Great Britain. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport_in_Great_Britain

- [30] HS2: What is the route, when will it be finished and what will it cost? *BBC* [online]. Spojené Království: BBC, 2017 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-16473296>
- [31] Joint Feasibility Study for Mumbai-Ahmedabad High Speed Railway Corridor - Final report. In: NATIONAL HIGH SPEED RAIL CORPORATION LIMITED [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.nhsrcl.in/en/project/feasibility-study-report>
- [32] Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway [online]. In: . [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: https://www.banenor.no/contentassets/a9064eefc51443e187dfd1fa01a24f8f/phase_1_chapter3_1620901a.pdf
- [33] BEN-AKIVA, Moshe, Ennio CASCETTA, Andrea PAPOLA a Vito VELARDI. High Speed Rail Demand Forecasting: Italian Case Study. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/265234887_HIGH_SPEED_RAIL_DEMAND_FORECASTING_ITALIAN_CASE_STUDY
- [34] Přístup na ostrovní nástupiště po dobu výstavby šachty kabelovodu. In: K-REPORT český dopravní server [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.k-report.net/ukazobrazek.php?soubor=1258181.jpg&stranka=1>
- [35] Ročenka dopravy 2021: Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s. [online]. Praha: TSK hl. m. Prahy, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2021-cz.pdf>
- [36] Ročenka dopravy České republiky 2021. Praha: Ministerstvo dopravy, 2021. ISSN 1801-3090.
- [37] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2016/797: O interoperabilitě železničního systému v Evropské unii. In: Úřední věstník Evropské unie. ročník 2016. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.138.01.0044.01.CES&toc=OJ:L:2016:138:TOC