



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**VYUŽITÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY V OBLASTI
ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ**

RAIL TRANSPORT IN PRACTICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Poul

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Bc. David Poul**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Procesní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Gregor, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití železniční dopravy v oblasti odpadového hospodářství

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V oblasti odpadového hospodářství je železniční doprava využívána především v Rakousku a Německu, kde je jedním z hlavních závazků, v rámci vybudování zařízení EVO, řešit logistiku odpadů za pomoci železnice. V České republice má železniční nákladní doprava vzrůstající tendenci, avšak v kontextu odpadového hospodářství je stále preferována doprava silniční. Z toho důvodu je velmi zajímavé se zabývat železniční dopravou, jak z pohledu využitelnosti dopravních cest, tak ekonomických aspektů a poukázat na hlavní odlišnosti mezi silniční a železniční nákladní dopravou.

Cíle diplomové práce:

Seznámení se sěžejními parametry železniční nákladní dopravy.

Srovnání klíčových aspektů v oblasti silniční a železniční nákladní dopravy.

Příprava a využití T-E modelů pro potřeby železniční dopravy.

Ekonomické vyhodnocení dopravních cest a celkového systému na vybraném území.

Seznam literatury:

MALIN, S., GUIJUN, Z., WUXIONG, Z., JIANHUA, L., KUANGAN, F., Railway transportation and environmental efficiency in China, In Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 48, 2016, Pages 488-498, ISSN 1361-9209, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000954>

Prohlášení o dráze celostátní a regionální, platné pro přípravu jízdního řádu 2018 a pro jízdní řád 2018, ve znění změny č. 1/2017 účinné od 1. 4. 2017, dostupné z <http://www.szdc.cz/soubory/prohlaseni-o-draze/2018/05-04-17-prohlaseni-o-draze-2018-1zmena.pdf>

BOŽEJKO, W., GRYMIN, R., PEMPERA, J., Scheduling and Routing Algorithms for Rail Freight Transportation, In Procedia Engineering, Volume 178, 2017, Pages 206-212, ISSN, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581730098X>

HYLAND, F. M., MAHMASSANI, H.S., MJAHEDE, L. B., Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: Deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service, In Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 93, 2016, Pages 294-315, ISSN 1366-5545, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554516300709>

PENG, Y. T., LI, Z. Ch., CHOI, K., Transit-oriented development in an urban rail transportation corridor, In Transportation Research Part B: Methodological, Volume 103, 2017, Pages 269-290, ISSN 0191-2615, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261516304490>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20.

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c..
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

POUL David: Využití železniční dopravy v oblasti odpadového hospodářství

Diplomová práce se zabývá železniční dopravou, popisuje její roli v kombinované dopravě a srovnává klíčové aspekty se silniční dopravou. V rámci diplomové práce byla vytvořena podrobná databáze železničních tratí v České republice, na které byl postaven plánovač dopravní cesty s možností nastavení průjezdných bodů. Součástí plánovače je také implementace výlukové činnosti. Byl vytvořen ucelený technicko-ekonomický model pro železniční dopravu se čtyřmi výpočtovými modely a podrobným investičním plánováním, díky kterému lze posoudit, zda je výhodnější nákup či pronájem železničních souprav při investičním rozhodování. Dále byl vytvořen technicko-ekonomický model pro vlečku. Poslední část se zabývá vytvořeným přepravním modelem pro spádovou oblast pro 8 lokalit a 5 druhů přepravovaných odpadů/komodit. Přepravní model byl použit pro vyhodnocení dvou vytyčených oblastí – Jihomoravský kraj a Kolín.

Klíčová slova: *železniční doprava, kombinovaná doprava, technicko-ekonomický model, odpadové hospodářství, logistika, vlečka, přepravní model, spádová oblast*

ABSTRACT

POUL David: Rail transport in practice

The diploma thesis deals with railway transport describes its role in combined transport and compare key aspects with road transport. As part of the diploma thesis, a detailed database of railway tracks in the Czech Republic was created, on which the route planner was built with the possibility of setting waypoints. The route planner also includes the implementation of exclusion activities. A comprehensive technical-economic model of railway transport was created with four calculation models and detailed investment planning, thanks to which is possible to assess whether the purchase or lease of train sets is more advantageous when making investment decisions. Furthermore, a technical-economic model for the branch line was created. The last section deals with the created transport model for the catchment area for 8 localities and 5 types of transported waste/commodities. The transport model was used to evaluate two selected areas – the South Moravian Region and Kolín.

Keywords: *railway transport, combined transport, technical-economic model, waste management, logistics, branch line, transport model, catchment area*

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POUL, David. Využití železniční dopravy v oblasti odpadového hospodářství. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125755>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Gregor.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 24. 6. 2020

David Poul

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Jiřímu Gregorovi, Ph.D. za odborné vedení, důležité rady a především za rychlost a dostupnost konzultací, která mi umožnila bezproblémové dokončení mé diplomové práce. Chtěl bych také poděkovat rodině za podporu ve studiu.

OBSAH

Úvod	9
1 Silniční doprava se zaměřením na odpadové hospodářství.....	11
2 Železniční doprava se zaměřením na odpadové hospodářství	13
2.1 Železniční síť v České republice.....	13
2.2 Organizace železničního sektoru	15
2.3 Legislativa v železniční dopravě.....	17
2.4 Prohlášení o dráze	18
2.4.1 Seznam tratí ve správě Správy železnic	18
2.4.2 Minimální přístupový balíček	19
2.4.3 Cena za použití dráhy	21
2.4.4 Sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu dráhy	26
2.4.5 Bonus za vozy modernizované za účelem snižování emisí hluku	28
3 Multimodální přeprava.....	29
3.1 Způsoby kombinované dopravy	30
3.1.1 Kontejnery	30
3.1.2 Využití silničních návěsů	31
3.1.3 Výměnné nástavby	32
3.1.4 Systém ACTS.....	32
3.1.5 Systém Innofreight	32
3.2 Železniční souprava v kombinované dopravě.....	34
4 Vlečka	36
4.1 Železniční těleso	36
4.1.1 Železniční spodek.....	37
4.1.2 Železniční svršek.....	39
4.2 Technicko-ekonomický model vlečky	40
5 Plánovač dopravní cesty.....	44
5.1 Databáze železničních tratí	44
5.1.1 Výluky	46
5.2 Vstupní parametry plánovače.....	47
5.3 Výstup z plánovače	47
5.4 Nepřesnosti plánovače	51
6 Technicko-ekonomický model železnice.....	52
6.1 Výpočtové modely	57
6.2 Vyhodnocení s využitím výpočtových modelů.....	59

7	Přepravní model pro spádovou oblast	68
7.1	Vstupní parametry	68
7.2	Sestavení svozového plánu	69
7.3	Ekonomické zhodnocení	72
8	Přepravní model – Kolín	75
8.1	Požadavky	75
8.2	Stanovení množství odpadu	77
8.3	Svozový plán.....	80
8.4	Ekonomické zhodnocení	83
9	Závěry	86
10	Diskuze a možnosti zpřesnění.....	88
	Seznam použité literatury.....	89
	Seznam použitých symbolů.....	94
	Seznam použitých zkratek.....	96
	Seznam obrázků	97
	Seznam tabulek	98
	Seznam grafů.....	99

ÚVOD

Dnešní moderní doba je založena na snadné dopravě napříč celým světem. Ať už se jedná o dopravu osobní, tak zejména dopravu zboží, která je silně rozvinutá na různé úrovni od mezikontinentální až po regionální. Z dlouhodobého hlediska klesá cena dopravy ve vztahu ke kupní síle a je tak relativně levné dopravit zboží z jednoho kontinentu na druhý. Děje se tak převážně za pomoci lodní dopravy. Tam, kde je kladen důraz na čas či se jedná o drahé zboží, je doprava nejčastěji provedena letecky. Co se týče přepravy na jednom kontinentu, ať už mezistátní či regionální, nejrozšířenějším typem dopravy je doprava silniční a železniční. Lze říct, že oba typy dopravy si do jisté míry konkurují, kdy hlavním faktorem je cena. Tlak na cenu je stále aktuální, v posledních letech ale narůstá také tlak na ekologické faktory dopravy, primárně ve formě snižování emisí z výfukových plynů především u silniční dopravy. Naopak železniční doprava je obecně brána jako ekologický způsob dopravy zboží, kdy v porovnání s ostatními druhy dopravy jako je silniční, letecká a lodní doprava, má železniční doprava nejnižší emise CO₂ [1]. Začíná tak být atraktivní i v případech, kdy nabízí lehce vyšší cenu oproti ostatním druhům dopravy, především v porovnání se silniční dopravou. U řady nových projektů se také často stává, že železniční doprava je preferována již od počátku jako hlavní způsob dopravy např. právě díky snaze o ekologickou formu dopravy [2].

Zaměření železniční dopravy je široké, od dopravy sypkých materiálů jako je uhlí, kamenivo, obilí, štěpku, přes dopravu dřeva nebo kapalných látek až po dopravu hotových produktů s využitím specifických podvozků. Ve své podstatě je doprava zboží na železnici omezena pouze rozměry objektů, které mohou být přepravovány. Jednou z výrazných a aktivně se rozrůstajících oblastí v Evropě se zaměřením na železniční dopravu je doprava odpadů, respektive komplexní využití železniční dopravy v odpadovém hospodářství. Děje se tak díky celkovému přístupu jednotlivých států a jejich koncepci odpadového hospodářství, kdy je snaha směřovat k cirkulární ekonomice a minimální tvorbě odpadů, viz obr. 1. To vede k potřebě nastavit udržitelný systém celého odpadového hospodářství, kdy výraznou složkou je právě logistika, a železniční doprava zde tak uplatňuje svoji pozici udržitelné, stabilní a ekologické dopravy [3].



Obr. 1 Schéma cirkulární ekonomiky [54]

Využití železnice k přepravě odpadů je rozvinuté v okolních státech, jako je Německo, Rakousko či případně Švýcarsko. Zejména v těchto státech je v řadě nových projektů např. pro výstavbu zařízení EVO, již od počátku vyžadován vysoký podíl návozu odpadu po železnici. Doprava odpadu po železnici je také využívána např. v USA, kdy řada měst vyváží odpad z města na skládky odpadu, které jsou vzdálené až stovky kilometrů. V těchto případech má železnice nezastupitelnou roli a jen těžko se hledá dopravní konkurence. Je ale nutno

podotknout, že konkrétně v USA by celkový přínos železnice mohl být vyšší a to z důvodu, že většina místní železniční sítě je neelektrifikovaná a velmi často je železniční vozový park značně zastaralý, především v případě lokomotiv, což vede k vyšší spotřebě paliva a hlavně výrazně vyšší produkci emisí, než by mohlo být za použití moderních dieselových, v případě elektrifikovaných tratí, elektrických lokomotiv [2], [4].

V České republice není systém dopravy odpadu po železnici výrazně rozvinutý. Lze najít několik provedených pilotních projektů, jako např. doprava směsného komunálního odpadu ze Svitav do Brna a následně do zařízení EVO společnosti SAKO v Brně. To následně vyústilo v dopravu odpadu ze Zábřehu na Moravě v podobě několika vozů týdně v rámci pravidelných nákladních vlaků. Podobných případů, kdy je odpad dopravován po železnici, lze najít více, jedná se ale zpravidla pouze několik vozů týdně – marginální zastoupení. V ostatních případech je ale doprava odpadu v České republice realizována primárně po silnici [5].

Tato práce se zabývá problematikou železniční dopravy ve vztahu k odpadovému hospodářství, kdy je uvažováno primárně využití železniční dopravy a krátkých návozu do překladišť využitím silniční dopravy. Nebude řešena letecká, vodní či potrubní doprava.

Cíle práce jsou:

- Seznámení se stěžejními parametry **železniční nákladní dopravy**.
- **Srovnání klíčových aspektů v oblasti silniční a železniční nákladní dopravy** a jejich efektivní využití v rámci multimodální přepravy.
- **Příprava a využití technicko-ekonomických modelů** pro potřeby železniční dopravy, kdy dojde k zanalyzování železniční sítě v České republice a vytvoření plánovače dopravních cest, který bude postaven na vytvořené databázi železničních tratí. Budou vytvořeny detailní technicko-ekonomické modely pro vlečku a pro železniční nákladní dopravu.
- **Ekonomické vyhodnocení dopravních cest a celkového systému na vybraném území** za využití výše uvedených technicko-ekonomických modelů. Bude vytvořen přepravní model pro spádovou oblast pro svoz odpadu/komodit z několika svozových lokalit.

Všechny modely budou vytvořeny v programu Microsoft Excel.

1 SILNIČNÍ DOPRAVA SE ZAMĚŘENÍM NA ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Silniční doprava má svoje nezastupitelné postavení na dopravním trhu a aktuálně se jedná o celosvětově stěžejní druh dopravy. V roce 1970 byl přepravní podíl silniční dopravy 49 %, v roce 2006 se již jednalo o 74 % [6]. Hlavní výhodou je schopnost převážet naprostou většinu zboží za pomoci k tomu vhodných systémů. Jedná se především o návěsy a jejich modifikace pro široké spektrum produktů či unifikovaných kontejnerů, které usnadňují nakládku, manipulaci a skladování.

Další nespornou výhodou silniční dopravy je její časová flexibilita a schopnost fungovat v režimu „door to door“, tedy „od dveří ke dveřím“. Toho lze docílit díky husté silniční síti, především ve vyspělých státech, kdy je možné dopravit zboží z pravidla na všechna relevantní místa. V České republice lze využít 55 770 km silnic (údaj k 1. 7. 2017), z čehož 1 232 km tvoří dálnice a 5 832 km silnice I. třídy [7]. Silniční infrastruktura je přístupná bez nutnosti zohledňovat např. jízdní řády díky čemuž silniční doprava umožňuje uskutečnit dopravu velmi rychle od vzniku požadavku, čehož ostatní způsoby dopravy zpravidla nejsou schopny [6].

Silniční síť je přístupná pro kohokoliv, ve své podstatě pouze na základě řidičského oprávnění, což vede k velmi jednoduché možnosti dopravy zboží a libovolného nákladu po silniční síti. Vede to ale k tomu, že v blízkosti hustě osídlených oblastí je silniční síť značně přetížená a dochází tak k pravidelným zácpám, kolonám, což má negativní vliv ať už na časové hledisko silniční dopravy, tak také na ekonomické a ekologické hledisko, které je aktuálně jedním z nejvíce skloňovaných negativních parametrů silniční dopravy. Jedná se obecně o negativní vliv na životní prostředí díky emisní zátěži (EU klade důraz zejména na CO₂), hluku a vibrací, což se projevuje jak ve volné krajině, tak především v sídlištních útvarech. Snahou je toto eliminovat a rozvíjet tzv. transit-oriented development (dále jen „*TOD*“), tedy rozvíjet městské části tak, aby co nejvíce oblastí bylo v pěší vzdálenosti od městské hromadné dopravy. Toho lze využít jak pro osobní, tak také pro nákladní dopravu a snížit tak počet aut ve městech [6], [8].

Silniční doprava je realizována převážně pomocí kamionů, tedy nákladní automobil a přípojně vozidlo, nejčastěji se jedná o tahač a návěs, viz obr. 2, nebo nákladní automobil a přívěs. V porovnání s např. železniční dopravou, která je nejvýraznějším konkurentem, je dopravovaný objem na jednom kamionu značně malý, je tedy snaha k jeho nárůstu, což vede ke zvýšení hmotnosti celé soupravy. Aktuálně je hmotnostní limit soupravy ve většině států 48 t, ale např. ve Švýcarsku je limit pouze 28 t za účelem podpory železniční, respektive kombinované dopravy. V opačném měřítku lze uvést např. severské státy, kde limit dosahuje až 60 t. Díky výrazné hmotnosti soupravy a neustálému nárůstu přepravních objemů silniční dopravy, dochází k výrazně rychlejšímu opotřebení silniční infrastruktury v oblastech, kde je nákladní silniční doprava aktivně provozována [9].

Přepřevu v rámci silniční dopravy se zaměřením na odpadovou problematiku lze rozdělit na dvě klíčové části:

- svozová část.
- odvozová část.

Svozová část je nejčastěji realizována pomocí popelářských vozů, od těch nejmenších jako jsou multikáry, přes dodávky se speciální nástavbou případně jako kontejnerový valník až po podvozky určené pro přepravu kontejnerů, podvozky s hydraulickým ramenem pro obsluhu např. kontejnerů na separovaný odpad či podvozky se speciální nástavbou, tzv. KUKA vozy. Ty lze rozlišovat dle typu lisovací nástavby na lineární nebo rotační lisovací nástavbu. Svozová

část je řešena především na kratší vzdálenosti, tedy např. sběr odpadu na vesnici či ve městě a jeho následná přeprava k nejbližšímu zpracování nebo překládací stanici [10].

Pokud je odpad potřeba dopravovat na delší vzdálenosti a není k tomu využito železniční dopravy, následuje tzv. odvozová část. Ta je řešena pomocí kapacitnějších vozů, především tahačů s návěsem či pomocí velkokapacitních kontejnerů, které odvázejí odpad do energetických koncovek [10].



Obr. 2 Tahač s návěsem a loženým kontejnerem [55]

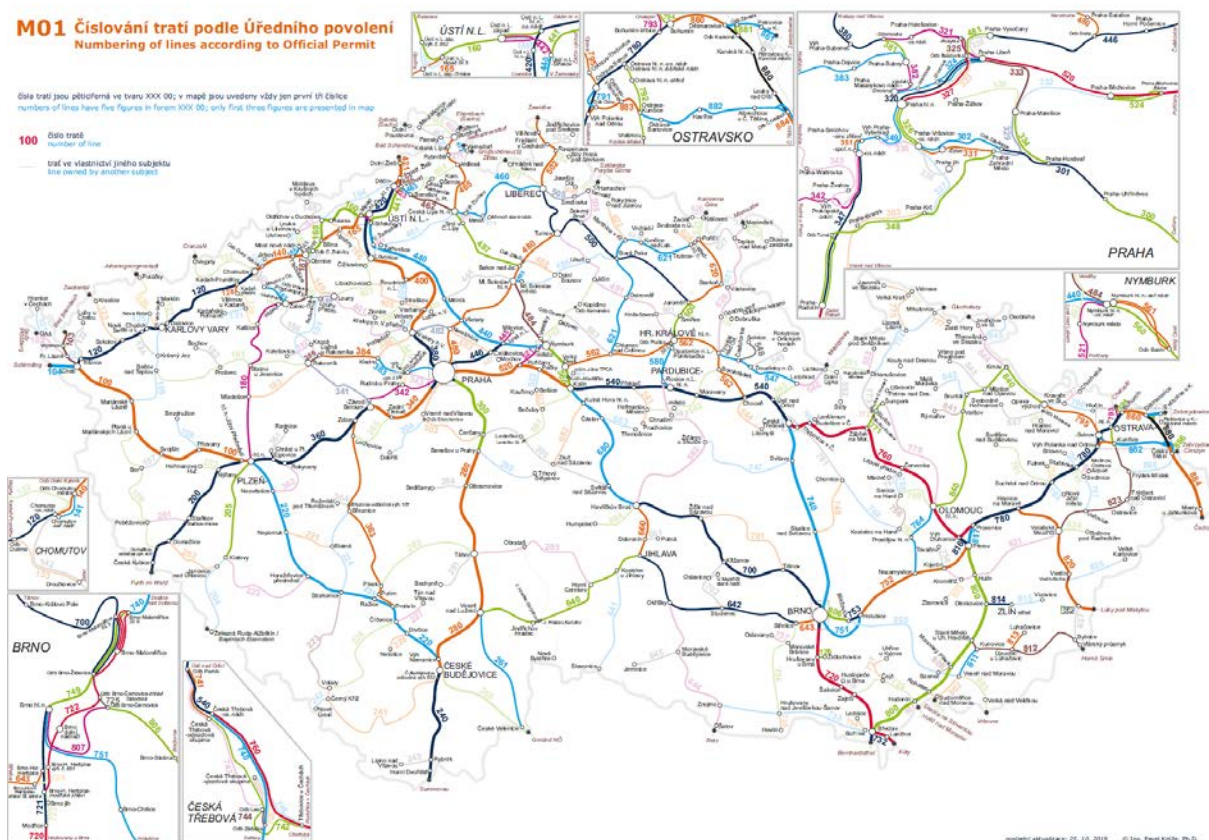
2 ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA SE ZAMĚŘENÍM NA ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Nejvýznamnějším konkurentem silniční dopravy je doprava železniční. Železniční doprava se využívá především pro dopravu většího množství nákladů na delší vzdálenosti, což vede k rozložení vyšších nákladů na provoz a pořízení železničních souprav. Přestože železniční síť je v řadě vyspělých zemí relativně hustá, nemůže železniční doprava konkurovat té silniční ve smyslu dopravy v režimu „door to door“. Je tedy limitována výchozí a koncovou stanicí případně terminálem/překladištěm. Oproti silniční dopravě je doprava železniční považována za výrazně ekologičtější, zejména při využití elektrických lokomotiv, kdy zároveň elektrická energie může být produkována pomocí obnovitelných zdrojů [6], [11].

Výraznou nevýhodou je však vázanost na jízdní řády, které se plánují na půlroku až rok dopředu. Lze využít i tzv. ad hoc přepravy, ta je ale limitována již obsazenou kapacitou tratě. Kapacita a propustnost tratí je v dnešní době, kdy přepravní výkony na železnici opět rostou, nejvíce problematickým tématem. Zejména v hustě osídlených oblastech je výrazná osobní doprava, která má přednost před tou nákladní. Často se tak stává, že nákladní vlaky musí čekat na přidělení slotu (volné kapacity) pro vstup na trať a přepravní čas díky tomu aspektu roste [6].

2.1 Železniční síť v České republice

Česká republika se řadí mezi státy, které mají poměrně hustou železniční síť, viz obr. 3. Naprostá většina tratí je v majetku státu, některé regionální tratě jsou ale v soukromém vlastnictví.



Obr. 3 Mapa železniční sítě České republiky [12]

Železniční infrastrukturu, která patří do majetku České republiky spravuje Správa železnic, státní organizace (uváděna také jako Správa železnic). Jak už vyplývá z názvu, jedná se o státní

organizaci, která je zodpovědná za organizaci a zabezpečení železniční dopravy na státem vlastněných tratích (drahách) a zároveň také na státem vlastněných tratích, které jsou pronajaty dalším subjektům. Konkrétně se jedná o následující regionální dráhy [12]:

- Trutnov – Svoboda na Úpou,
- Sokolov – Kraslice,
- Milotice nad Opavou – Vrbno pod Pradědem.

První dvě zmíněné jsou pronajaty společnosti PDV Railway a.s.¹, třetí zmíněná je pronajata společnosti PKP CARGO INTERNATIONAL a.s.² Správa železnic vykonává funkci přidělece kapacity také na drahách [12]:

- Sedlnice – Mošnov, Ostrava Aéroport,
- Kraslice státní hranice – Kraslice.

V České republice se také nachází několik tratí, které jsou v soukromém vlastnictví. Jedná se např. o trať ve vlastnictví AŽD Praha s.r.o.³, konkrétně trať [13]:

- Čížkovice – Obrnice,
- Kopidlno – Dolní Bousov.

Dvě úzkorozchodné tratě spravují Jindřichohradecké místní dráhy, a.s. [13]:

- Jindřichův Hradec – Obrataň,
- Jindřichův Hradec – Nová Bystřice.

KŽC Doprava, s.r.o. vlastní dráhu [14]:

- Česká Kamenice – Kamenický Šenov.

SART-stavby a rekonstrukce a.s. má ve svém vlastnictví regionální dráhu [14]:

- Šumperk – Kouty nad Desnou.

Zajímavostí je, že České dráhy, a.s. jakožto dopravce, vlastní několik manipulačních kolejí v různých stanicích po celé České republice [14]. V soukromém vlastnictví je poté naprostá většina vleček.

Základní přehled charakteristik železniční sítě ve správě Správy železnic je uveden v tab. 1. Jedná se o stav k 30. 6. 2019.

Tab. 1 Základní charakteristiky železniční sítě (stav k 30. 6. 2019) [12]

Parametr	Hodnota
Délka tratí celkem [km]	9 459
Jednokolejné [km]	7 534
Dvoukolejné a vícekolejné [km]	1 925
Délka tratí TEN-T ⁴ [km]	2 393
Délka elektrifikovaných tratí [km]	3 216
AC 25 kV/50 Hz [km]	1 382
DC 3 kV [km]	1 774
DC 1,5 kV [km]	24
AC 15 kV/16,7 Hz [km]	14

¹ <http://pdvr.cz/>

² <https://www.pkpcargointernational.com/>

³ <https://www.azd.cz/cs>

⁴ Trans-European Transport Networks (Transevropské dopravní sítě)

Parametr	Hodnota
Délka úzkorozchodných tratí [km]	23
Stavební délka kolejí celkem [km]	15 493
Délka tratí s rychlostí do 80 km/h [km]	7 098
Délka tratí s rychlostí od 81 do 120 km/h [km]	1 821
Délka tratí s rychlostí od 121 do 159 km/h [km]	181
Délka tratí s rychlostí od 160 km/h a více [km]	360
Počet úrovnových přejezdů [ks]	8 041

Jak je vidět z rozdělení elektrifikovaných tratí (tab. 1), v České republice se jedná celkem o 4 systémy elektrifikace. Trakční systém DC 1,5 kV je využíván na trati Tábor – Bechyně a jedná se o první elektrifikovanou dráhu na území České republiky (v provozu od roku 1903) [15]. Aktuálně probíhají debaty o její konverzi na systém AC 25 kV/50 Hz, jelikož je problém sehnat adekvátní moderní vozidla pro současný trakční systém a zároveň udržovat ojedinělý systém je nákladnější. Trať byla ale vyjmuta pro svoji jedinečnost z procesu konverze české železniční sítě na střídavou trakci, tedy systém AC 25 kV/50 Hz, viz níže [16].

Systém AC 15 kV/16,7 Hz je v České republice pouze na trati Znojmo – Retz (Rakousko) a to z důvodu, že tento trakční systém je využíván v Rakousku a dovoluje tak vést přeshraniční vlaky z Rakouska bez nutnosti využívat motorovou trakci či přepřahat lokomotivu. Trať byla elektrifikována v roce 2009.

Zbytek elektrifikované české železniční sítě je rozdělen na stejnosměrnou trakci DC 3 kV (severní část České republiky) a střídavou trakci AC 25 kV/50 Hz (jižní část České republiky), což zvyšuje provozní náklady a pro dopravce vede k nutnosti využívat více systémové lokomotivy a jednotky nebo k omezení využití jedno systémových lokomotiv a jednotek pouze na daném trakčním systému. Na konci roku 2016 bylo proto rozhodnuto o konverzi stejnosměrné trakce na trakci střídavou, jelikož stejnosměrná do budoucna nepostačuje nárokům provozu. Střídavá trakce je také výhodnější z pohledu zvýšení výkonnosti železniční dopravy, zvýšení účinnosti snížením ztrát ve vedení a možnosti vyšší rekuperace energie [17].

Předpokládané investiční náklady na konverzi systému jsou vyčísleny na 79,3 mld. Kč v rámci 30letého období, které je naplánováno od roku 2019 do roku 2037 [17].

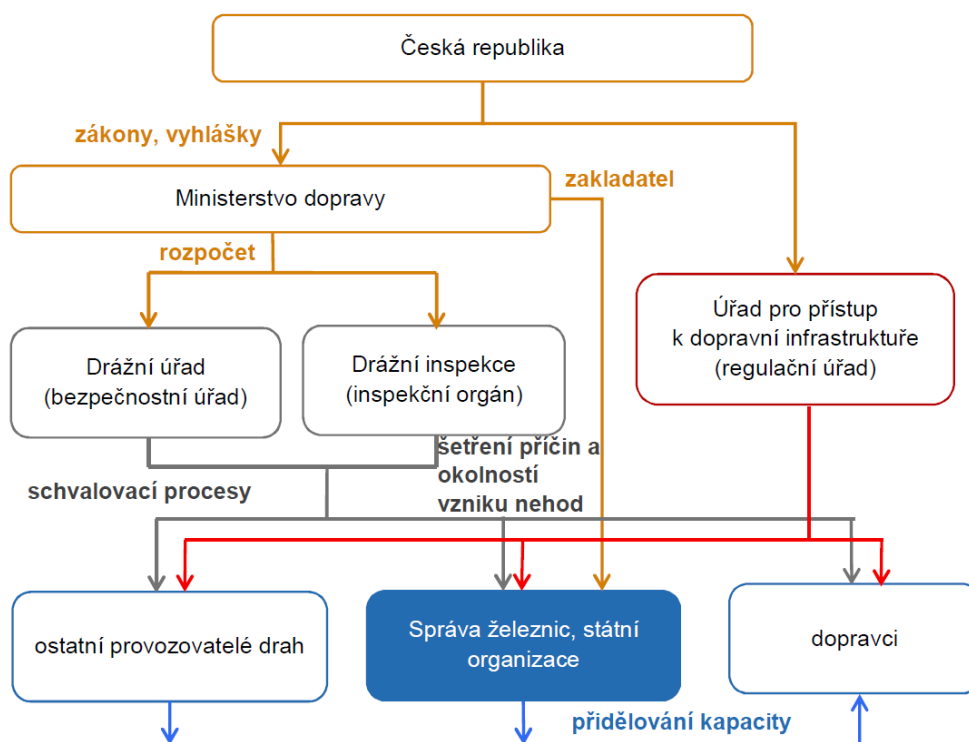
2.2 Organizace železničního sektoru

V rámci železničního sektoru v České republice je státní správa vykonávána Ministerstvem dopravy, Drážním úřadem, Drážní inspekcí a Úřadem pro přístup k dopravní infrastruktuře. Pozice již zmíněné Správy železnic v železničním sektoru je znázorněna na obr. 4 [12].

Správa železnic vykonává funkci vlastníka a provozovatele dráhy na základě zvláštního právního předpisu a plní následující role [12]:

- zajišťuje provozuschopnost dráhy
- zajišťuje provozování dráhy
- zajišťuje modernizaci a rozvoj dráhy

Jako provozovatel dráhy stanovuje Správa železnic díky svým vnitřním předpisům práva a povinnosti pro dopravce i třetí strany a dozoruje nad jejich vykonáváním. Provádí také sestavu ročního jízdního řádu, plánuje a koordinuje výlukovou činnost, uzavírá smlouvy s dopravci o provozování drážní dopravy a další činnosti [12].



Obr. 4 Postavení Správy železnic v rámci železničního sektoru v České republice [12]

Ministerstvo dopravy jakožto hlavní řídicí orgán má následující role [12]:

- rozhoduje o zařazení železniční dráhy do kategorie a o zrušení celostátní nebo regionální dráhy po dohodě s Ministerstvem obrany,
- rozhoduje o změně kategorie dráhy celostátní na jinou kategorii železniční dráhy a o změně kategorie jiné železniční dráhy než dráhy celostátní na dráhu celostátní po dohodě s Ministerstvem obrany,
- je odvolacím orgánem ve správním řízení ve věcech upravených zákonem o dráhách proti rozhodnutím Drážního úřadu a Drážní inspekce, tam, kde tak stanoví právní předpis,
- uplatňuje stanoviska k politice územního rozvoje a územně plánovací dokumentaci z hlediska zájmů a záměrů ve věcech drah.

Pod Ministerstvo dopravy spadá Drážní úřad, který vykonává následující činnosti [12]:

- je speciálním stavebním úřadem pro stavby dráhy a na dráze,
- rozhoduje o vydání úředních povolení pro provozování dráhy,
- rozhoduje o udělení licencí pro provozování drážní dopravy,
- vydává osvědčení o bezpečnosti provozovatele dráhy a osvědčení dopravce,
- vydává a odejímá licence strojvedoucího,
- vydává průkazy způsobilosti osob k řízení drážních vozidel,
- vydává průkazy způsobilosti určených technických zařízení tlakových, plynových, elektrických, zdvihacích, dopravních a drážních vozidel,
- vydává osvědčení o odborné způsobilosti pro provádění revizí, prohlídek a zkoušek určených technických zařízení v provozu,
- ukládá pokuty podle Stavebního zákona a Zákona o dráhách,
- vykonává státní stavební dohled a státní dozor ve věcech drah.

Drážní inspekce taktéž spadá pod Ministerstvo dopravy a jejím hlavním úkolem je šetřit příčiny a okolnosti vzniku vážných nehod na dráze případně jiných mimořádných událostí, které mají souvislost nebo dopady na provozování železniční dopravy [12].

Poslední členem státní správy je Úřad pro přístup k dopravní infrastruktuře. Mimo železniční dopravu se úřad zabývá také leteckou dopravou a poskytuje podporu pro provozování evropské služby elektronického mytného. V oblasti železnice má následující činnosti [12]:

- rozhoduje, zda převažujícím účelem mezistátní osobní drážní dopravy je přeprava osob mezi dvěma nebo více členskými státy,
- rozhoduje, zda může být osobní drážní dopravou provozovanou bez smlouvy o veřejných službách v přepravě cestujících ohrožena hospodářská vyváženost osobní drážní dopravy provozované na základě smlouvy o veřejných službách,
- rozhoduje, zda některá z částí zveřejněného prohlášení o dráze není v rozporu se Zákonem o drahách,
- rozhoduje, zda rozsah přidělené kapacity nebo postup při jejím přidělení není v rozporu se Zákonem o drahách,
- na návrh některé ze smluvních stran smlouvy o provozování drážní dopravy nebo z moci úřední rozhoduje, zda taková smlouva není v rozporu se Zákonem o drahách,
- přezkoumává rozhodnutí provozovatele vlečky, zda je vlečka veřejně přístupná či veřejně nepřístupná,
- přezkoumává rozhodnutí provozovatele zařízení služeb odepřít poskytnutí služeb,
- schvaluje na žádost provozovatele dráhy plán omezení provozování dráhy.

2.3 Legislativa v železniční dopravě

Legislativu v drážní dopravě upravují zákony, nařízení, vyhlášky a mezinárodní předpisy. Seznam dokumentů je sdružen na stránkách Ministerstva dopravy [18].

Nejdůležitějším legislativním dokumentem je zákon č. 266/1994 Sb., Zákon o drahách (dále jen „Zákon o drahách“). Zákon o drahách nabyl platnosti 1. 1. 1995 a jeho poslední změna přišla 15. 1. 2020. Zákon udává a vysvětluje základní pojmy v drážní dopravě, udává podmínky pro stavbu železničních drah (dále také tramvajových, trolejbusových a lanových, nevztahuje se ale na dráhy důlní, průmyslové a přenosné), určuje podmínky pro provozování drah výše zmíněných a také práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojených. Určuje také výkony státní správy a státního dozoru. Jsou zde obsaženy také zákonem stanovené parametry pro drážní vozidla a jejich obsluhu. Zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie nebo na ně navazuje. Hlavní části Zákonu o drahách jsou [18], [19]:

- Část první – úvodní ustanovení (§ 1 - § 2).
- Část druhá – dráhy (§ 3 - § 10).
- Část třetí – regulace provozování dráhy (§ 11 - § 23c).
- Část čtvrtá – provozování zařízení služeb (§ 23d - § 23g).
- Část pátá – regulace drážní dopravy (§ 24 - § 42).
- Část šestá – povinnosti podnikatelů v rámci vertikálně integrovaného podniku a provozovatele dráhy provozujícího drážní dopravu (§ 42a - § 42c).
- Část sedmá – drážní vozidla a určená technická zařízení (§ 43 - § 49).
- Část osmá – provozní a technická propojenost evropského železničního systému (§ 49a - § 49e).
- Část devátá – přestupky (§ 50 - § 52a).

- Část desátá – státní správa a státní dozor (§ 53 - § 59).
- Část jedenáctá – společná, přechodná a závěrečná ustanovení (§ 60 - § 68).

2.4 Prohlášení o dráze

Zákon č. 266/1994 Sb., Zákon o drahách ukládá každému provozovateli železniční infrastruktury povinnost zpracovat a zveřejnit prohlášení o dráze (dále jen „PoD“). Účelem PoD je seznámit všechny zainteresované osoby s popisem železniční sítě a s podmínkami a pravidly pro přidělení kapacity dráhy. Jsou zde také uvedeny služby, které daný provozovatel dráhy poskytuje svým zákazníkům.

V PoD je použita struktura, která je společná pro všechny zástupce sdružené v asociaci RailNetEurope a jejímž cílem je umožnit nalezení shodných informací a parametrů na stejném místě i pro provozovatele dráhy v ostatních zemích. Minimální požadavky na obsah udává Zákon o drahách, §33. Prohlášení o dráze pro rok 2021 vydávané Správou železnic je rozděleno do 6 základních částí [12]:

- 1) základní informace o Prohlášení o dráze a kontaktech,
- 2) právní požadavky a podmínky přístupu na dráhu,
- 3) hlavní technické a funkční vlastnosti dráhy,
- 4) proces přidělování kapacity a tvorba jízdního řádu,
- 5) popis služeb poskytovaných Správou železnic a ostatními provozovateli zařízení služeb,
- 6) způsob stanovení ceny za přidělení kapacity, použití dráhy a za další poskytované služby.

PoD je vydáváno s platností jednoho roku a je vydáváno s ročním předstihem. Např. PoD pro rok 2021, které slouží jako hlavní podklad v předkládané závěrečné práci, bylo vydáno v prosinci roku 2019 a začne platit 13. 12. 2020 v 0:00 s koncem platnosti 11. 12. 2021 ve 24:00. PoD je dle potřeby průběžně aktualizováno a v aktuální podobě je vždy k dispozici na webových stránkách Správy železnic [12].

V následujících kapitolách jsou podrobně rozepsány vybrané části PoD, které byly využity v rámci předmětné práce.

2.4.1 Seznam tratí ve správě Správy železnic

PoD obsahuje důležitou část, kterou je seznam všech tratí, které jsou ve správě Správy železnic. Ty jsou obsaženy v příloze B, která obsahuje dvě tabulky – tabulku A a B. Tabulka A (ukázka na obr. 5) zahrnuje výběr základních údajů o dráze celostátní a drahách regionálních, tabulka B přináší informace ohledně TSI⁵ kategorií tratí dle Nařízení Komise (EU) č. 1299/2014 ze dne 18. 11. 2014 [12].

Informace v tabulce A

- celková stavební délka tratě uvedená v km,
- maximální traťová rychlost uvedená v km/h,
- normativ délky osobního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedený v m,
- normativ délky nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedený v m,
- největší povolená délka nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedená v m,
- maximální sklon tratě uvedený v ‰,
- dovolené traťové třídy zatížení.

⁵ Technical Specification for Interoperability – technické specifikace pro interoperabilitu evropského železničního systému - https://www.era.europa.eu/activities/technical-specifications-interoperability_en

Informace v tabulce B

- cílová kategorie trati podle TSI INF⁶ – osobní,
- cílová kategorie trati podle TSI INF⁶ – nákladní,
- hlavní nebo globální síť v osobní dopravě,
- hlavní nebo globální síť v nákladní dopravě,
- kategorie dráhy z pohledu zákona o dráhách:
 - C – dráha celostátní,
 - R – dráhy regionální,
- kategorie dráhy z pohledu ceny za použití dráhy jízdou vlaku dle Přílohy “C“ Prohlášení o dráze:
 - 1–5 pro dráhy provozované Správou železnic,
 - PKP pro dráhy provozované PKP CARGO INTERNATIONAL a.s.,
 - PDV pro dráhy provozované PDV Railway a.s.

Informace shodné v obou tabulkách (tabulka A a tabulka B):

- číslo tratě,
- název začátku tratě,
- název konce tratě,
- kilometrická poloha začátku tratě,
- kilometrická poloha konce tratě.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100 00	Pleše hlavní nádraží	Cheb	349,647	236,297	106,416	150	300	515	640	9,0	D4
101 00	Aš	Hranice v Čechách	27,285	15,898	16,106	40	60	115	115	27,5	A1
102 00	Františkovy Lázně	Aš státní hranice	7,213	29,585	23,305	70	250	485	620	12,2	D3
103 00	Cheb	Vojtanov státní hranice	73,615	51,325	19,591	90	250	485	485	18,9	D3
104 00	Cheb	Cheb státní hranice	150,540	140,587	10,524	90	350	610	610	7,6	D4
105 00	Mariánské Lázně	Karlovy Vary	0,390	2,612	56,947	60	60	211	291	25,0	B2
106 00	Domažlice odbočná výh.č.401	Planá u Mariánských Lázní	5,842	0,027	81,726	60	45	156	180	24,0	C3
107 00	Svojšín	Bor	0,132	14,904	15,642	60	35	142	199	19,0	C3
108 00	Přivany	Bezručovice	0,376	24,087	24,589	60	40	109	118	26,5	A1
120 00	Chomutov	Cheb	126,192	236,297	112,005	100	200	641	700	13,3	D3
121 00	Tršnice	Františkovy Lázně	0,402	3,724	4,302	60	250	386	620	8,6	D4
122 00	Tršnice	Luby u Chebu	0,509	20,955	20,446	60	30	140	140	24,7	C2
123 00	Sokolov	Kraslice státní hranice	0,574	27,452	26,877	60	60	150	150	16,6	B2
124 00	Krásný Jez	Nové Sedlo u Lokte	0,203	18,083	19,440	60	200	200	615	34,3	B2
125 00	Chodov	Nová Role	0,418	6,263	7,264	40	20	175	175	10,0	B2
126 00	Karlovy Vary-Sedlec	Potůčky státní hranice	5,212	46,199	40,988	60	50	240	240	26,0	A1 / B2
127 00	Dalovice	Merklin	10,325	0,040	11,370	50	30	130	130	30,0	C2
128 00	Kadaň-Předměstí	Kadaň-Pruněřov	26,404	32,376	6,019	75	40	110	110	0,0	A1
129 00	Kašice	Kadaň-Předměstí	0,038	26,404	27,097	70	40	110	110	28,0	A1
131 00	Kadaňský Rohozec	Vilémov u Kadaně	8,825	17,779	8,989	40	40	110	110	22,0	B2
132 00	Chomutov	Vejpřty státní hranice	0,708	35,391	57,677	90	45	330	330	21,3	A1
133 00	Droužkovice	Dubina odbočka	1,075	5,707	5,724	100	100	513	611	11,7	C4
140 00	Most	Chomutov	48,681	65,712	24,202	110	200	436	709	12,9	C4
141 00	Chomutov město	Chomutov seř.n.	0,087	2,551	2,518	40	N/A	600	600	9,0	C4
142 00	Březno u Chomutova	Chomutov	116,223	124,294	12,067	100	100	434	580	0,0	C3
143 00	Dolní Rybník odbočka	Jirkov	0,038	2,099	2,062	50	90	200	200	23,5	B2
144 00	Třebušice	Most nové nádraží	1,603	3,955	3,612	60	N/A	650	650	5,3	C4
145 00	Most	Most nové nádraží	47,228	4,458	5,162	60	100	650	650	7,8	C4
146 00	Most nové nádraží	Louka u Litvínova	4,458	11,620	8,293	60	100	300	300	19,6	C3
147 00	Louka u Litvínova	Litvínov	54,120	55,597	1,477	50	100	300	350	0,0	B2

Obr. 5 Ukázka tabulky A obsažené v příloze B Prohlášení o dráze pro rok 2021 [12]

2.4.2 Minimální přístupový balíček

Minimální přístupový balíček zahrnuje cenu přidělce za přidělení kapacity dráhy (včetně vypracování jízdního řádu) a cenu provozovatele dráhy za použití dráhy jízdou vlaku (jedná se o cenu, kde přidělce kapacity dráhy je Správa železnic, provozovatel dráhy je ale jiný subjekt). Cena za přidělení kapacity dráhy zohledňuje náklady na provoz elektronických informačních systémů Správy železnic a odborné činnosti potřebné k zapracování rámcových tras do jízdního

⁶ TSI pro infrastrukturu

řádu. Cena je stanovena v závislosti na časovém intervalu mezi datem podání žádosti o přidělení kapacity dráhy a dnem jejího čerpání, časovým intervalem před sestavením ročního jízdního řádu nebo jeho plánované změny a také v závislosti na náročnosti zpracování žádosti. Cena zahrnuje úhradu procesu přidělení kapacity dráhy, úhradu za zpracování jízdního řádu vlaku (mimo nákladů na tisk a distribuci pomůcek) a úhradu za operativní zavedení vlaku společně s příplatkem za krátkodobé projednání a vyřízení žádosti. Cena za přidělení kapacity dráhy se vypočítá podle vzorce uvedeného v PoD pro rok 2021, kapitole 6.2.1 [12]:

$$Cena = K_1 + K_2 \cdot \text{Délka trasy} + K_3 \cdot \text{Počet dnů jízdy} \quad [\text{Kč}]$$

kde:

K_1 – sazba za zpracování a určení jízdního řádu a přidělení kapacity dráhy [Kč]

K_2 – sazba za konstrukci vlakové trasy [Kč/km]

K_3 – sazba za den přidělení vlakové trasy [Kč/den]

Délka trasy – vzdálenost přidělené trasy mezi výchozím a cílovým bodem trasy na železniční síti, kde Správa železnic plní roli provozovatele dráhy, resp. přidělece kapacity [km]

Počet dnů jízdy – počet dnů, na které je příslušná trasa přidělena [den]

Jednotlivé sazby K_1 až K_3 s ohledem na čas podání žádosti uvádí tab. 2 [12]:

Tab. 2 Sazby za přidělení kapacity dráhy K_1 až K_3 , v Kč [12]

	Produkt	K_1	K_2	K_3
RJ	řádná žádost o přidělení kapacity dráhy do ročního jízdního řádu	1 700	8	10
PJ	pozdní žádost o přidělení kapacity dráhy do ročního jízdního řádu	1 700	10	20
ZJ	žádost o přidělení kapacity dráhy do pravidelné změny jízdního řádu	1 700	10	20
DZ	žádost o dlouhodobé ad hoc přidělení kapacity dráhy na 20 a více dnů jízdy	1 100	0	25
N3	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy „nad 3 dny“	100	0	70
P3	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy „pod 3 dny“	100	0	160
TB	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy pro technicko-bezpečnostní zkoušky drážních vozidel	480	0	70
ZK	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy pro zkušební jízdy vozidel neschváleného typu nebo jízdy vyšší než traťovou rychlostí	960	0	70
UI	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy pro jízdy vlaků za účelem údržby infrastruktury Správy železnic	0	0	0
OM	žádost o ad hoc přidělení kapacity dráhy pro jízdy vlaků z důvodu omezení provozování dráhy	0	0	0

2.4.3 Cena za použití dráhy

Cena za použití dráhy vychází z platného PoD, v tomto případě z PoD pro rok 2021. V PoD pro rok 2021 jsou uvedené výpočty cen za použití celostátních a regionálních drah provozovaných Správou železnic, regionálních drah provozovaných PKP CARGO INTERNATIONAL a.s. a regionálních drah provozovaných PDV Railway a.s.

Výpočet ceny za použití regionální dráhy provozované **PKP CARGO INTERNATIONAL a.s.** udává PoD pro rok 2021, Příloha C, část A. Cena se vypočítá podle následujícího vzorce a jedná se o cenu bez DPH [12]:

$$C = S_1 \cdot L + \frac{Q}{1000} \cdot S_2 \cdot L \quad [Kč]$$

kde:

$S_1 = 7,90$ Kč/vlkm

$S_2 = 0,00$ Kč/1000 hrtnm

L – vzdálenost jízdy vlaku v kilometrech zaokrouhlená na celé kilometry nahoru

Q – hrubá hmotnost vlaku v tunách, zjištěná pro vlak nákladní dopravy jako součet hmotností kolejových vozidel ve vlaku a hmotnosti nákladu v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru

Výpočet ceny za použití regionálních drah provozovaných **PDV Railway a.s.** udává PoD pro rok 2021, Příloha C, část B. Cena se vypočítá podle následujícího vzorce a jedná se o cenu bez DPH [12]:

$$C = L \cdot C_{\text{nákladní1}} + L \cdot C_{\text{nákladní2}} \cdot \frac{Q}{1000} + L \cdot C_{\text{osobní}} + L \cdot C_{\text{lokomotivní}} \quad [Kč]$$

kde:

C – konečná cena za použití dráhy jedním vlakem pro sjednanou dopravní cestu

$C_{\text{osobní}} = 6,93$ Kč/vlkm, konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem osobní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažná k zajištění provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny za část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

$C_{\text{lokomotivní}} = 6,93$ Kč/vlkm, konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem lokomotivním pro sjednanou dopravní cestu vztažná k zajištění provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny za část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

$C_{\text{nákladní1}} = 36,60$ Kč/vlkm, část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažná k části nákladů za provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

$C_{\text{nákladní2}} = 37,00$ Kč/1000 hrtnm, část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažená k části nákladů za provozování (řízení provozu) a přepočítaná na cenu 1000 hrtnm pro příslušný druh vlaku daná jako podíl ceny za část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu) za tisíc hrubých tunových kilometrů

L – délka tratě projeté vlakem v kilometrech zaokrouhlená na celé kilometry nahoru

Q – hrubá hmotnost vlaku v tunách, zjištěná pro vlak nákladní dopravy jako součet hmotností kolejových vozidel ve vlaku a hmotnosti nákladu v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru

Cena za použití dráhy nezahrnuje cenu za její přidělení, kde přidělcem pro regionální dráhy provozované PDV Railway a.s. je Správa železnic [12].

Poslední kategorií je výpočet ceny za použití dráhy celostátní a regionálních drah provozovaných **Správou železnic**. Tento výpočet udává PoD pro rok 2021, Příloha C, část C. Cena je složená ze dvou částí – cenou za vlastní jízdu vlaku a cenou za použití přístupových komunikací pro cestující. Cena se vypočítá podle následujícího vzorce a jedná se o cenu bez DPH [12]:

$$C_V = \sum C_S + C_{PK} \quad [Kč]$$

$$C_S = L \cdot Z \cdot K \cdot P_x \cdot S_1 \cdot S_2 \quad [Kč]$$

kde:

C_V – cena za použití dráhy jízdou vlaku [Kč]

C_S – cena za použití dráhy jízdou jednoho subvlaku [Kč]

C_{PK} – cena za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy [Kč]

L – délka jízdy subvlaku [km]

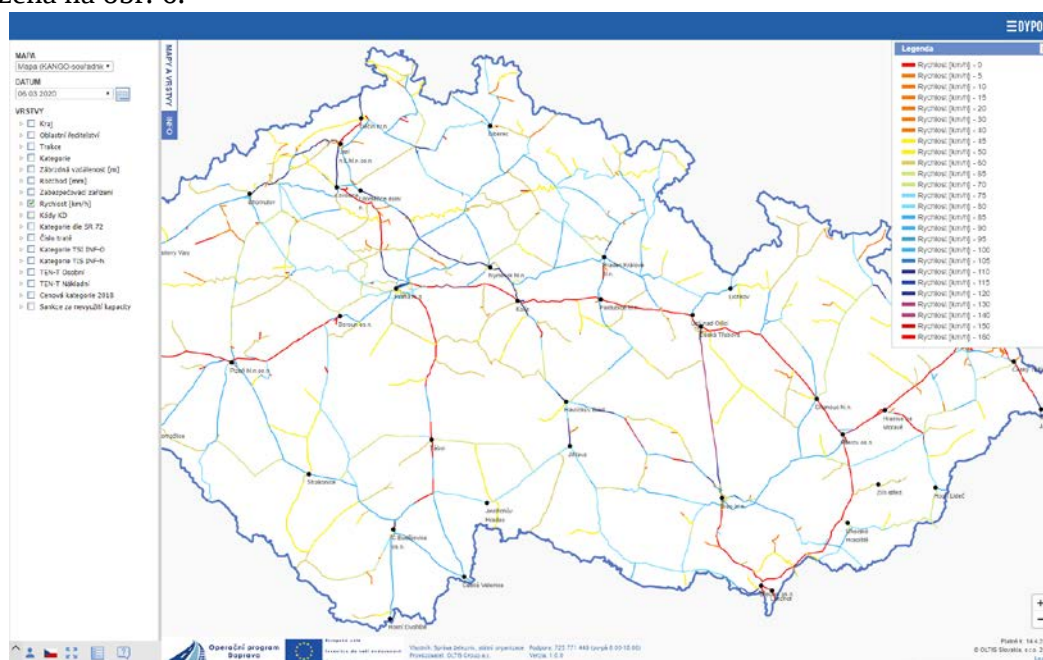
Z – 21,50 Kč/vlkm, základní cena za 1 km jízdy vlaku [Kč/vlkm]

K – koeficient kategorie tratě

P_x – produktový faktor P_1 až P_5

S_1 a S_2 – specifické faktory

Prvním faktorem podílejícím se na výpočtu ceny za použití dráhy je **délka jízdy subvlaku L** . Ta vychází ze sítě souřadnic KANGO, která je k nahlédnutí v aplikaci DYPOD⁷, kterou poskytuje Správa železnic [12]. Je uváděna v kilometrech s přesností na jedno desetinné místo. Databáze železničního modelu v této práci nevychází ze sítě KANGO, bylo ale provedeno několik manuálních ověření na různých dopravních cestách a výsledky byly totožné. Aplikace DYPOD také umožňuje zobrazit informace, které obsahuje PoD. Ukázka aplikace DYPOD je zobrazena na obr. 6.



Obr. 6 Ukázka aplikace DYPOD

⁷ Aplikace DYPOD je dostupná na www.provoz.szdc.cz/dypod

Základní cena za 1 km jízdy vlaku Z pro rok 2021 činí 21,50 Kč/vlakokilometr a je shodná pro všechny vlaky [12].

Kategorie trati je jedním z důležitých parametrů pro sestavení celkové infrastruktury. Představuje kombinaci faktorů, které ovlivňují kvalitu služeb poskytnutých na daném traťovém úseku po dobu platnosti ročního jízdního řádu. Částečně také zohledňuje poptávku po přidělu kapacity nebo poměr nákladů vynaložených na údržbu tratí příslušné kategorie v předcházejícím statistickém období. Reflektuje také současný technický stav, vybavenost technickým zařízením a zohledňuje také poptávku po přidělu kapacity na tratích sítě TEN-T⁸ a ostatních tratích. Jednotlivým kategoriím odpovídají výpočtové koeficienty, které uvádí tab. 3 [12]:

Tab. 3 Koeficient kategorie trati [12]

Kategorie trati	Hodnota koeficientu
1	1,15
2	1,12
3	1,00
4	0,88
5	0,71

Produktový faktor je parametr, jež zohledňuje rozdělení trhu, které se následně promítá v úrovni ceny. Různé úrovně ceny jsou vlivem přímých nákladů vynakládaných na poskytování dané služby nebo možnosti státní podpory, která zvýhodňuje vlaky určité kategorie. Produktový faktor zahrnuje kategorie a jim odpovídající hodnoty, které uvádí tab. 4 [12]:

Tab. 4 Produktový faktor P_x a jeho hodnoty [12]

Produktový faktor	Hodnota produktového
P_1 – Osobní doprava	1,00
P_2 – Nákladní doprava nespecifická	1,00
P_3 – Nákladní doprava v rámci svozového a rozvozového systému jednotlivých vozových zásilek	0,30
P_4 – Kombinovaná nákladní doprava	0,65
P_5 – Nákladní doprava – nestandardní vlaky	2,00

Jednotlivé produktové faktory jsou přiřazovány na základě informačního systému pro výpočet ceny za použití dráhy (IS KAPO) [12]. Předpis SŽDC D1⁹ uvádí jednotlivé druhy vlaku, což je základním kritériem pro přípustnost přiřazení produktového faktoru k vlaku. SŽDC D1⁹, článek 2206 udává tyto druhy osobního vlaku [20]:

- expresní vlaky (Ex),
- rychlíky (R),
- spěšné vlaky (Sp),
- osobní vlaky (Os).

⁸ Trans-European Transport Networks (Transevropské dopravní sítě)

⁹ Dostupné z databáze Dokumenty a předpisy Správy železnic, www.szdc.cz/o-nas/vnitri-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy

Druh vlaku pro nákladní vlaky udává článek 2208 [20]:

- nákladní expresní vlaky (Nex)¹⁰,
- průběžné nákladní vlaky (Pn),
- manipulační nákladní vlaky (Mn)¹¹,
- lokomotivní vlaky (Lv),
- vlečkové vlaky (Vleč)¹².

Podmínky pro udělení produktového faktoru P_3 , P_4 a P_5 jsou uvedené v PoD, Příloha C, část C, článek III.5. Produktový faktor P_3 lze použít pouze pro vlaky, které jezdí pravidelně na základě ročního jízdního řádu anebo na základě kladně posouzené žádosti o dlouhodobé ad hoc přidělení kapacity dráhy. Vlak musí být součástí svozového a rozvozového systému jednotlivých vozových zásilek dopravce. Možné druhy vlaku jsou následující [12]:

- pravidelné manipulační a vlečkové vlaky,
- vybrané pravidelné vnitrostátní nákladní vlaky sloužící k převozu jednotlivých vozových zásilek mezi vlakotvornými stanicemi na infrastruktuře provozované Správou železnic, v nichž dochází k přepracování vlaku,
- vybrané pravidelné mezinárodní nákladní vlaky, sloužící k převozu jednotlivých vozových zásilek mezi vlakotvornými stanicemi, kde dochází k přepracování vlaku.

Produktový faktor P_4 může dopravce použít, pokud je vlak nákladní dopravy složen výhradně z hnacích a tažených vozidel pro přepravní jednotky kombinované dopravy (ložené těmito jednotkami nebo prázdné). Pro nestandardní vlaky se používá produktový faktor P_5 , který se využívá pro vlaky vedené pro zkoušky drážních vozidel při vyšší, než traťové rychlosti nebo s vyšší hmotností na nápravu, než je stanovena pro příslušný úsek trati. Také se využívá u vlaku, kde jeho jízda vyžaduje zvláštní dopravní opatření či nestandardní činnosti (např. mimořádné přeměření nebo kontrolu tratě, střežení přejezdů apod.) [12].

Účelem **specifických faktorů** S_x je zohlednění složení vlaku a účinků na opotřebení tratě v účtované ceně za použití dráhy. Koeficient opotřebení trati v závislosti na celkové hmotnosti vlaku – S_1 zjednodušeně zohledňuje hmotnost vlaku. Za celkovou hmotností vlaku je považován součet hmotností všech kolejových vozidel vlaku včetně cestujících nebo loženého nákladu zaokrouhlený na celé tuny nahoru. Hodnoty koeficientu jsou rozděleny dle hmotnostních intervalů, které uvádí tab. 5 [12].

¹⁰ Nákladní expresní vlak – typ vlaku pro přepravu přednostních zásilek zpravidla mezistátní přepravy nebo vlaky kombinované dopravy [52]

¹¹ Manipulační vlak – typ nákladního vlaku, který přepravuje náklad na krátké vzdálenosti, nejčastěji do vlakotvorné stanice, kde dochází k doplnění nákladu na průběžný nákladní vlak [51]

¹² Vlečkový vlak – typ nákladního vlaku, který je určen pro jízdu na vlečce odbočující z širé trati, návrat vlaku je do stejné stanice, ze které byl vypraven [52]

Tab. 5 Koeficient opotřebení trati v závislosti na celkové hmotnosti vlaku – S_1 [12]

Hmotnostní interval [t]	Hodnota S_1	Hmotnostní interval [t]	Hodnota S_1
do 49	0,42	1 000 až 1 199	2,77
50 až 99	0,49	1 200 až 1 399	3,36
100 až 199	0,59	1 400 až 1 599	3,88
200 až 299	0,76	1 600 až 1 799	4,36
300 až 399	0,94	1 800 až 1 999	4,89
400 až 499	1,14	2 000 až 2 199	5,37
500 až 599	1,34	2 200 až 2 399	5,92
600 až 699	1,50	2 400 až 2 599	6,39
700 až 799	1,76	2 600 až 2 799	6,88
800 až 899	2,03	2 800 až 2 999	7,30
900 až 999	2,31	nad 3 000	8,35

Druhým specifickým faktorem je koeficient vybavenosti činného hnacího vozidla ve vlaku zabezpečovacím zařízením ETCS Level 2 a vyšší – S_2 . Vlak s činným hnacím vozidlem vybaveným ETCS Level 2 a vyšší je cenově zvýhodněn, a to i při jízdě po traťových úsecích, které nejsou vybavené stacionární částí tohoto systému. Cenové zvýhodnění se netýká řídicích vozů. Jednotlivé hodnoty specifického faktoru udává tab. 6 [12].

Tab. 6 Koeficient vybavenosti činného hnacího vozidla ve vlaku zabezpečovacím zařízením ETCS (Level 2 nebo vyšší) S_2 [12]

Vybavenost hnacího vozidla ETCS Level 2 a vyšší	Hodnota specifického faktoru S_2
Nevybavené hnací vozidlo	1,00
Vybavené hnací vozidlo	0,95

Druhou složkou ceny za použití dráhy je **cena za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy C_{PK}** . Pro dopravce se jedná se o poplatek za využití přístupových komunikací, které tvoří součást železniční infrastruktury, pro příchod a odchod cestujících k jejich vlakům. Cena za použití přístupové komunikace se vypočítá dle následujícího vzorce [12]:

$$C_{PK} = \sum_{n=11}^{15} (Z_n^{pk} \cdot m_{pk} \cdot N_{zn}) \quad [Kč]$$

kde:

Z_n^{pk} – základní cena za jedno plánované zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“ [Kč/zastavení·t]

m_{pk} – hmotnost vlaku pro výpočet ceny za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy [t]

N_{zn} – plánovaný počet zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“

Za základní cenu za plánované zastavení vlaku pro nástup a/nebo výstup cestujících Z_n^{pk} se chápe cena za jedno zastavení vlaku osobní dopravy, kde je účelem nástup a/nebo výstup cestujících. Tato cena je účtovaná pro plánované zastavení ve stanicích v souladu s platným jízdním řádem. Pokud vlak zastaví ve stanici nebo zastávce neplánovaně (stanice/zastávka není plánována v jízdním řádu pro daný vlak) a nedochází k výstupu a/nebo nástupu cestujících, není

poplatek pro dané zastavení účtován. Všechny železniční stanice a zastávky v síti Správy železnic jsou rozřazeny do 5 kategorií, které zohledňují jejich vybavenost přístupovými komunikacemi. Kategorie stanic a zastávek jsou uvedené v PoD pro rok 2021, Příloha B, tabulka C. Základní cena je uváděna v Kč/zastavení^t a pro jednotlivé kategorie stanic a zastávek ji udává tab. 7 [12]:

Tab. 7 Základní cena pro jednotlivé kategorie stanic a zastávek [12]

Kategorie stanic a zastávek pro výpočet cen za přístupové komunikace „n“	Základní cena Z_n^{pk} [Kč/zastavení ^t]
11	0,08
12	0,09
13	0,05
14	0,04
15	0,06

Hmotnost vlaku pro výpočet ceny za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy m_{pk} se rozumí celková hmotnost vlaku zaokrouhlená na celé tuny nahoru, v tomto případě však ponížena o hmotnost činných hnacích vozidel bez možnosti přepravy cestujících [12].

Poslední položkou pro výpočet ceny za použití přístupových komunikací je plánovaný počet zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“.

Cena za použití přístupových komunikací se vztahuje pouze pro vlaky určené k osobní dopravě. Z důvodu, že tato diplomová práce se zaměřuje především na nákladní dopravu, a také z důvodu, že databáze železničního modelu obsažená v této práci není uzpůsobena pro osobní dopravu (neobsahuje veškeré stanice na jednotlivých tratích), nebyla cena za použití přístupových komunikací pro cestující uvažována ve výpočtu ceny za použití dráhy, který je obsažen v Plánovači dopravní cesty.

2.4.4 Sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu dráhy

Správa železnic účtuje dopravcům sankce za nevyužití nebo odřeknutí přidělené kapacity dráhy tehdy, pokud se dopravce vzdá kapacity dráhy méně než 30 dní před plánovaným dnem jízdy vlaku anebo ji nevyužije, a to mimo termín pravidelné změny jízdního řádu. Sankce se také ukládá, pokud dopravci propadne přidělená kapacita dráhy z důvodu zpoždění vlaku o více než 1 200 minut, které je způsobeno ze strany dopravce. Za důvody ze strany dopravce se považují všechny důvody, které nejsou způsobené přidělcem kapacity dráhy, provozovatelem dráhy, státní správou a samosprávou anebo které nejsou způsobené mimořádnou událostí či vyšší mocí¹³. Výpočet sankce je prováděn dle následujícího vzorce, uvedeného v PoD pro rok 2021, Příloha C, část D [12]:

$$S = M_x \cdot (L_1 \cdot N_1 + L_2 \cdot N_2 + L_3 \cdot N_3 + L_4 \cdot N_4 + L_5 \cdot N_5) \quad [\text{Kč}]$$

kde:

S – výsledná výše sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu [Kč]

M_x – motivační koeficient [Kč/vlkm]

L_x – délka trasy vlaku podle jednotlivých kategorií dráhy [km]

N_x – sazba sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu [Kč/vlkm]

¹³ Za vyšší moc je označována situace, kterou dopravce nemůže ovlivnit. Nejčastěji se jedná např. o omezení nebo zastavení provozu vlivem počasí, srážka s osobou nebo vozidlem na trati apod.

Výpočet sankce je stanoven součinem délky trasy v km zaokrouhlených na 1 desetinné místo a sazby sankce v Kč/km pro jednotlivé druhy dopravy a kategorie dráhy. Správa železnic se zároveň snaží motivovat dopravce, pokud je zapotřebí, odřeknutí přidělené kapacity s předstihem, proto je součástí výpočtu motivační koeficient M_X , který udává tab. 8 [12]:

Tab. 8 Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu [12]

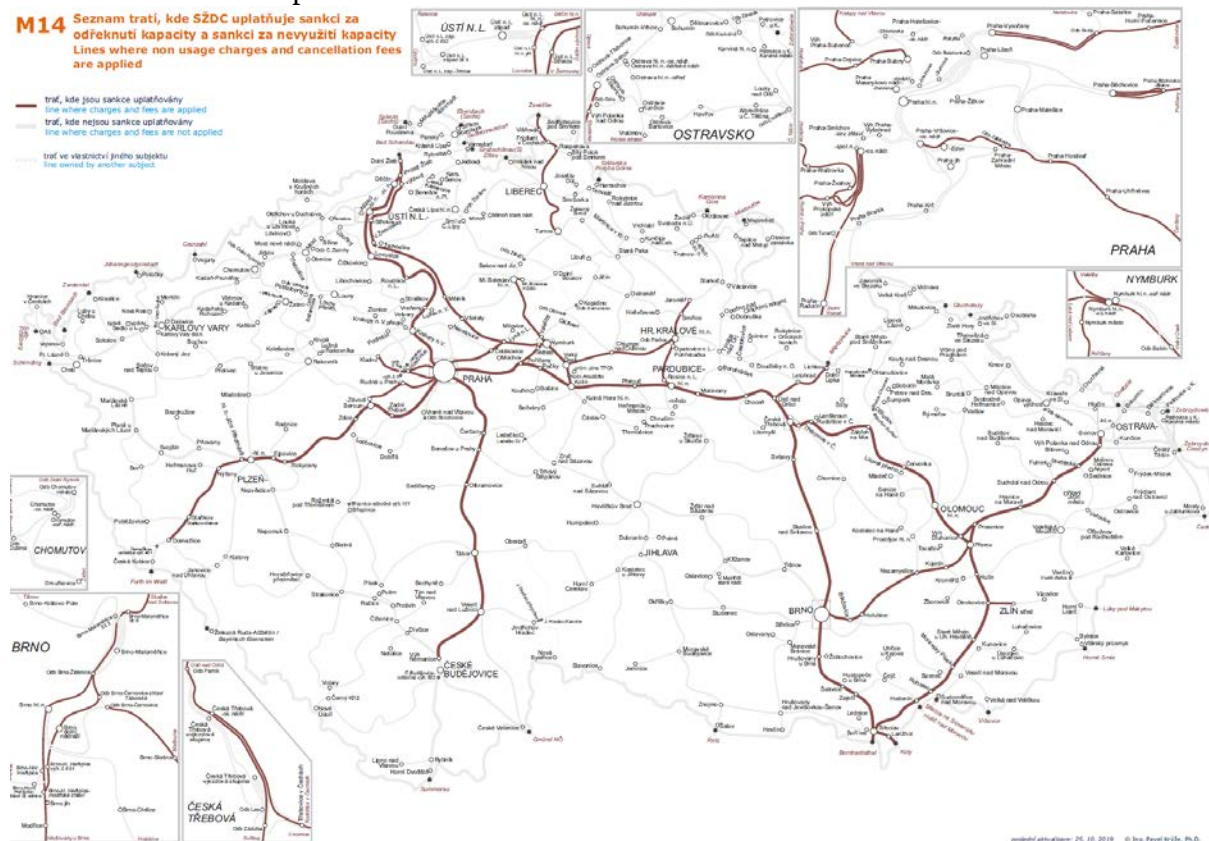
Koeficient	Přiřazení	Kč/vlkm
M_1	30 a více dní před jízdou	0,00
M_2	Méně než 30 ale 7 a více dní před jízdou	0,25
M_3	Méně než 7 ale 3 a více dní před jízdou	0,50
M_4	Méně než 3 dny před jízdou	1,00

Samotnou sazbu sankce potom udává člen N_X , který je přiřazen k jednotlivým kategoriím trati a který udává tab. 9:

Tab. 9 Sazby sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu [12]

Sazba	Přiřazení	Kč/vlkm
N_1	Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 1	7,00
N_2	Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 2	7,00
N_3	Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 3	7,00
N_4	Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 4	6,40
N_5	Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 5	5,00

Správa železnic tyto sankce uplatňuje pouze na vybraných tratích a úsecích, které uvádí mapa M14 obsažená v PoD pro rok 2021 a zobrazená na obr. 7.



Obr. 7 Zobrazení tratí, kde Správa železnic uplatňuje sankce za odřeknutí kapacity a sankci za nevyužití kapacity [12]

2.4.5 Bonus za vozy modernizované za účelem snižování emisí hluku

Správa železnic v souladu s prováděcím nařízením Evropské komise (EU) 2015/429 ze dne 13. 3. 2015 uděluje dopravcům bonus za použití nákladních vozů modernizovaných za účelem snížení emisí hluku. Výše bonusu je 0,10 Kč za nápravu a ujetý kilometr [nprkm]. Bonus se zvyšuje o předepsanou výši DPH a je počítán dle následujícího vzorce, uvedeného v PoD pro rok 2021, Příloha C, část E [12]:

$$B_{EH} = \sum B_{EHV} = \sum N_v \cdot L \cdot 0,10 \quad [Kč]$$

kde:

B_{EH} – výše bonusu pro dopravce za použití modernizovaných vozů ve všech jeho vlacích, které jely ve sledovaném fakturačním období [Kč]

B_{EHV} – výše bonusu za použití modernizovaných vozů v jednom subvlaku [Kč]

N_v – součet počtů náprav všech modernizovaných vozů zjištěných informačním systémem v subvlaku [ks]

L – délka jízdy subvlaku, odsouhlasená při výpočtu ceny za použití dráhy jeho jízdou [km]

3 MULTIMODÁLNÍ PŘEPRAVA

Multimodální přeprava představuje využití dvou a více způsobů dopravy. Nejčastěji se lze setkat s kombinací silnice/železnice, využívá se ale i kombinací s leteckou či vodní dopravou. Terminologie dle ČSN 269375 udává následující označení:

Multimodální přeprava – přeprava zboží nejméně dvěma různými druhy dopravy.

Intermodální přeprava – multimodální přeprava, kdy po celou dobu přepravy je zbožíloženo v jedné přepravní jednotce nebo silničním vozidle a při měnících se druzích dopravy není se zbožím nijak manipulováno.

Kombinovaná doprava – intermodální přeprava, kdy většina trasy je uskutečněna po železnici nebo vodě, přičemž počáteční a závěrečná část je uskutečněna po silnici a je zpravidla co nejkratší [21].

Kombinovaná doprava (celkově multimodální přeprava) se těší značnému rozvoji, jelikož pomáhá snižovat zatížení vlivem silniční dopravy a související tvorby emisí z výfukových plynů. Obecným cílem je přesun dopravy zboží ze silniční dopravy na železniční a vodní (námořní, říční) dopravu. Příkladem mohou být tři RoLa spoje, viz kapitola 3.1.2, provozované v síti TransFER dopravce Rail Cargo Group, který spadá pod ÖBB. Jedná se o spoje [22]:

- Wörgl – Brenner (každou hodinu)
- Wörgl – Trento (8 přepravních cyklů týdně)
- Wels – Maribor (14 přepravních cyklů týdně)

První dva spoje spojují Rakousko s Itálií přes Brennerský průsmyk, což je hlavní tranzitní tepna mezi těmito dvěma zeměmi. Jedná se o úsek s výrazným převýšením, což může vést k řadě problémů např. v zimním období, primárně ale ke zvýšené spotřebě paliva nutné k překonání daného místa, což je jeden z důvodů, proč zde byl v roce 2016 vyhlášen sektorový zákaz jízdy vozidel nad 7,5 t¹⁴. Zákaz se vztahuje na řadu tříd přepravovaného zboží (nejedná se o kompletní zákaz vozidel nad 7,5 t), má ale také několik výjimek, z nichž jedna např. povoluje jízdu nákladním vozidly splňující emisní standardy Euro VI (emise NOx do 0,4 g/kWh) schváleným po 31. 8. 2018 [22], [23].

Účel těchto spojů je ekologičtější přeprava a také uvolnění dopravní kapacity dálniční sítě v daném úseku. U spoje Wels – Maribor se jedná o frekventovanou tranzitní trasu mezi Rakouskem se Slovinskem. Z obr. 8 je také vidět, že spoje se snaží nahradit dopravu na co největší vzdálenosti tranzitních tras (sever – jih) přes Rakousko. Další významné spoje typu RoLa lze najít mezi Švýcarskem a Itálií.



Obr. 8 Spoje RoLa dopravce Rail Cargo Group [22]

¹⁴ Informační leták uvádějící informace ohledně sektorového zákazu -

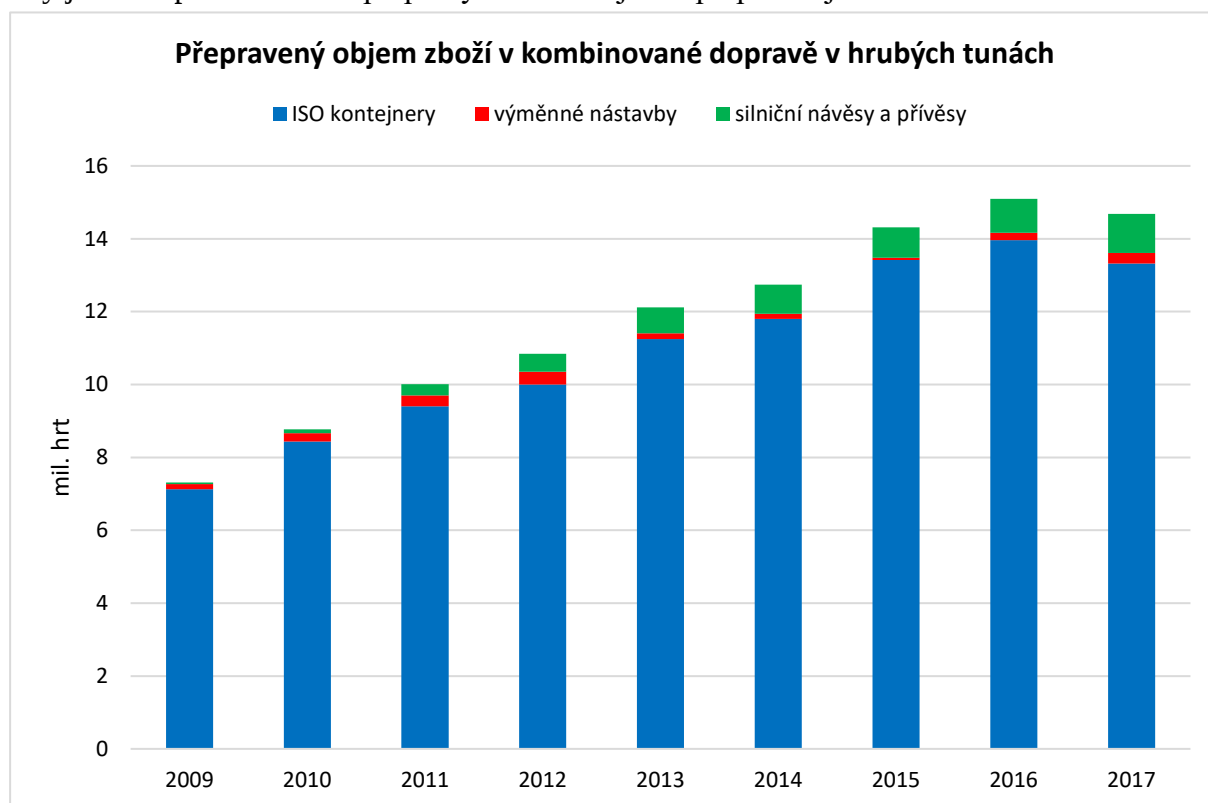
https://rola.railcargo.com/file_source/railcargo/rola/Downloads/Fahrverbot/Factsheet-SFV-cz.pdf

Výhodou multimodální přepravy je právě efektivní využití různých způsobů dopravy. V případě dopravy odpadů se tak může jednat o případ, kdy z určité oblasti dojde k svozu do lokálního svozového centra (např. překládací stanice) pomocí popelářských aut, kde je odpad přeložen do kontejnerů a naložen na železniční soupravu. Jakmile je souprava naložena, jsou kontejnery přepravovány např. do zařízení EVO. Pro ukázkou lze uvést, že některá zařízení EVO jako např. Schwandorf v Německu, se musela již při výstavbě zavázat, že hlavní část návozu bude realizována po železnici. V případě Schwandorfu je aktuálně odpad navážen z 9 překládacích stanic s frekvencí dva vlaky denně, které přepraví zhruba 1 500 t odpadu každý den, což činí 80 % spalovaného odpadu [2].

Jedním z předních negativ multimodální přepravy může být závislost na překladištích nebo terminálech a jejich dostupnosti a pracovní době, především pokud se nacházejí poblíž obydlené zóny. Může tak být omezena jejich činnost např. v nočních hodinách, které jsou naopak výhodné pro železniční dopravu díky menší obsazenosti tratí. Ta může mít také vliv na zpoždění vlaků během dne, kdy, jak už bylo zmíněno, je osobní doprava upřednostňována před tou nákladní. Multimodální přeprava tak nemusí být ideální v případech, kdy jsou časové rezervy redukovány na minimum [24].

3.1 Způsoby kombinované dopravy

Graf 1 uvádí přepravený objem zboží v kombinované dopravě po železnici, tedy pro případ, kdy je zboží po celou dobu přepravy uloženo v jedné přepravní jednotce.



Graf 1 Přepravený objem zboží v kombinované dopravě v hrubých tunách [48]

3.1.1 Kontejnery

Nejvýznamnější podíl v kombinované dopravě mají kontejnery. Jedná se především o ISO kontejnery, které mají unifikované rozměry a rám, takže manipulace s nimi je prováděna jednotnou technikou a je zejména dodržena konektivita mezi silniční a železniční dopravou. Kontejnery lze také stohovat na sebe čímž dochází k efektivnímu skladování nebo přepravě (např. kontejnerové lodě) a zjednodušují tak komplexní dopravní řetězec nebo také mohou sloužit jako ochranný prvek.

Nejčastěji se využívají ISO kontejnery řady 1 a to konkrétně velikost 1A a 1C. Kontejner 1A má délku 40 stop (12 192 mm) respektive 20 stop (6058 mm) v případě velikosti 1C. Výška kontejnerů je 8 stop (2 438 mm) [25]. Kontejnery však mohou mít různá provedení od těch standardních, přes chladicí nebo mrazicí až po s poklopem pro sypké materiály nebo nádržkové pro tekutiny. Je tedy vidět, že využití ISO kontejnerů je velmi široké, dokáže se přizpůsobit potřebám zákazníka a využívá se celosvětově [6].

3.1.2 Využití silničních návěsů

Dalším prvkem využívaným pro kombinovanou dopravu na železnici jsou silniční návěsy a přívěsy. Ty se nejčastěji dopravují několika způsoby:

- systém RoLa
- přeprava návěsu na železničním voze
- podvojný (bimodální) návěs

Systém RoLa (Rollende – Landstrasse) spočívá v najezení silniční soupravy (kamionu) na nízkopodlažní železniční vůz. Následně tak dojde k vytvoření uceleného vlaku, který zahrnuje zpravidla 17-26 železničních vozů s naloženými kamiony. Řidiči kamionů se přepravují v osobním voze, což má výhodu, že čas strávený ve vlaku se jim započítává do doby potřebné pro odpočinek. Systém je výhodný provozovat především tam, kde důležité tranzitní silniční tepny překonávají vysoké převýšení, v Evropě typicky např. Alpské země jako Rakousko nebo Švýcarsko. Nevýhodou systému je, že z pohledu logistiky se nejedná o efektivní přepravu, jelikož se přepravuje značné množství tzv. mrtvé váhy ve formě tahače a návěsu [6].

Další variantou je naložení pouze silničních návěsů na železniční vozy, což eliminuje nesení výše zmíněné „mrtvé“ váhy. Jedná se o jeřábem manipulovatelné návěsy se zesílenou podlahou pro bezpečnější manipulaci, jak ukazuje obr. 9. V Evropě je nejznámější společnost LKW WALTER, která takovou kombinovanou přepravu uskutečňuje a jejíž vozidlový park čítá skoro 11 000 návěsů. V roce 2019 společnost uskutečnila více než 431 816 přeprav s úsporou 362 686 t CO₂ za rok [26].



Obr. 9 Nakládání návěsu na železniční vůz pomocí manipulační techniky [26]

Další možností jsou podvojný nebo bimodální návěsy. Jedná se o speciální vyztužený návěs, který umožňuje podsunout železniční podvozky a utvořit tak ucelený vlak bez použití železničních vozů. Není potřeba žádných speciálních manipulačních prostředků, stačí pouze zapuštěné koleje, které umožní tahači na ně zajet. Podsunutí železničního podvozku je relativně rychlé a zabere pouze 3 minuty, celkové sestavení vlaku je ale zdlouhavější. V Evropě tento systém není rozšířen, využívá se především v USA [6].

3.1.3 Výměnné nástavby

Výhodou výměnných nástaveb je větší ložný prostor a menší hmotnost, než mají ISO kontejnery a lze s nimi manipulovat i bez potřeby dalších strojů, což u ISO kontejnerů nelze. Děje se tak pomocí výsuvných noh. Nevýhodou však je jejich omezené stohování (maximálně tři vrstvy u nástaveb skříňového provedení). Systém není až tak masivně rozšířen a využívá se spíše v rámci uceleného řetězce. V České republice ho využívá např. společnost PPL [6], [24].

3.1.4 Systém ACTS

Systém ACTS (Abroll-Container-Transport-System) kombinuje přepravu po silnici a železnici. Děje se tak za pomoci speciálních odvalovacích kontejnerů, které mohou být přepravovány na automobilových podvozcích (nosičích) a zároveň na plošinových vozech s otočným rámem pro uchycení. Na železničním voze jsou přepravovány až tři kontejnery, kterých existuje přibližně 30 základních typů. Mají jednotné rozměry a nejčastěji se jedná o kontejnery valníkového typu, které jsou otevřené nebo uzavřené a slouží především pro přepravu sypkých materiálů (uhlí, dřevní štěpka, odpad). Výhodou tohoto systému je, že pro naložení na železniční vůz se využívá pouze hydraulického ramene na automobilovém podvozku, jak je vidět na obr. 10. Není tak potřeba žádná další manipulační technika. V České republice tento systém využívá pouze PKP CARGO INTERNATIONAL a.s. (dříve AWT), která je zároveň největším operátorem tohoto systému v Evropě s přibližně 400 vozy pro tento systém [24], [27].



Obr. 10 Nakládání kontejneru na železniční vůz – systém ACTS [27]

3.1.5 Systém Innofreight

Jedná se o kontejnerový systém, který využívá unifikovaných rozměrů kontejnerů a plošinových železničních vozů. Kontejnery se dělí na několik typů ve třech velikostech – XL, XXM a XXL. Plošinové vozy lze vybavit i nástavbou pro přepravu dřeva, primárně je ale systém zaměřený na dopravu sypkých a volně ložených materiálů jako je dřevní štěpka, uhlí, cukrová řepa, biomasa nebo obiloviny. V České republice je největším uživatelem ČD Cargo, a.s., které systém využívá od roku 2005 a v roce 2017 podepsalo smlouvu na nákup až 500 nákladních vozů v průběhu pěti let společně s odpovídajícím množstvím kontejnerů [28].

Kontejnery jsou manipulovatelné pomocí vertikálních jeřábů, ale také pomocí čelních vysoko zdvižných vozíků s otočným mechanismem, viz obr. 11, či pomocí stacionárních

vykládacích zařízení. Primárně je systém zaměřený na zefektivnění přepravy na železnici, jeho využití lze vidět na obr. 12, lze ho ale využívat i rámci silniční dopravy [28].



Obr. 11 Vyprazdňování kontejneru pomocí vysokozdvížného vozíku s otočným mechanismem [49]



Obr. 12 Vlak složený z plošinových vozů a kontejnerů InnoFreight [50]

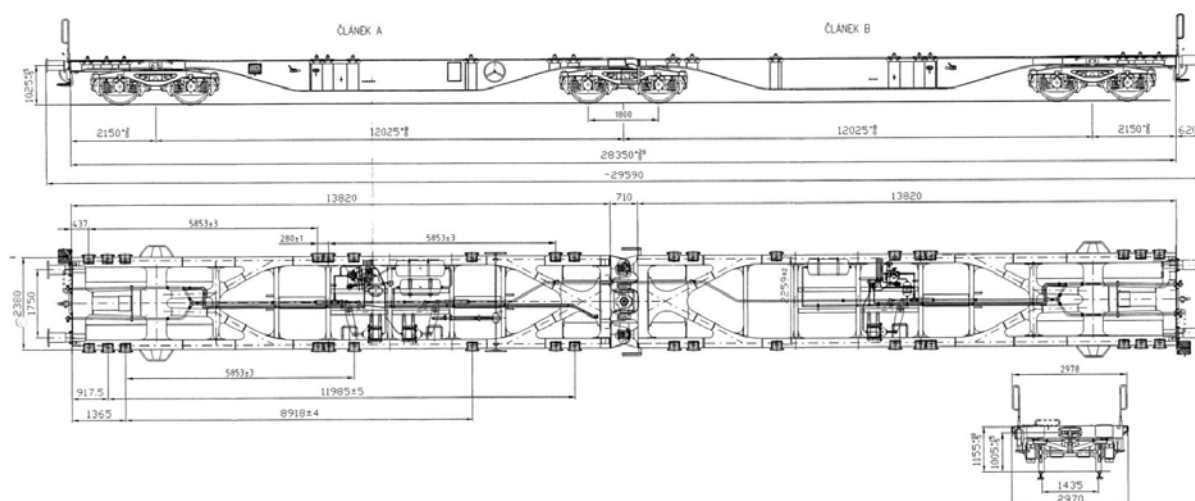
3.2 Železniční souprava v kombinované dopravě

Technicko-ekonomické modely vytvořené v této práci, které budou rozebrány v dalších kapitolách, jsou univerzální, primárně jsou ale koncipované pro využití v kombinované dopravě. Pro tyto účely je využívána kombinace plošinových (intermodálních) vozů, na které jsou umístěny kontejnery či silniční návěsy, jak bylo uvedeno v kapitole 3.1.

Železniční souprava se skládá z lokomotivy a následně připojených železničních vozů. V závislosti na počtu vozů v soupravě a celkové tažené hmotnosti (hmotnost vozů a přepravovaného nákladu), lze využít jednu či více lokomotiv vzhledem k jejich maximální tažné síle. Lze využít také tlačná lokomotiva na konci soupravy (tzv. postrk), která je výhodná v případech, kdy je potřeba překonat větší převýšení. S ohledem na trakci jsou k dispozici elektrické a dieselové lokomotivy, případně jejich kombinace, kdy převažuje elektrický pohon a dieselový agregát slouží pouze na krátkém úseku (tzv. Last mile) např. na vlečce apod. Z pohledu běžných sériově vyráběných lokomotiv jsou ty elektrické zpravidla výkonnější.

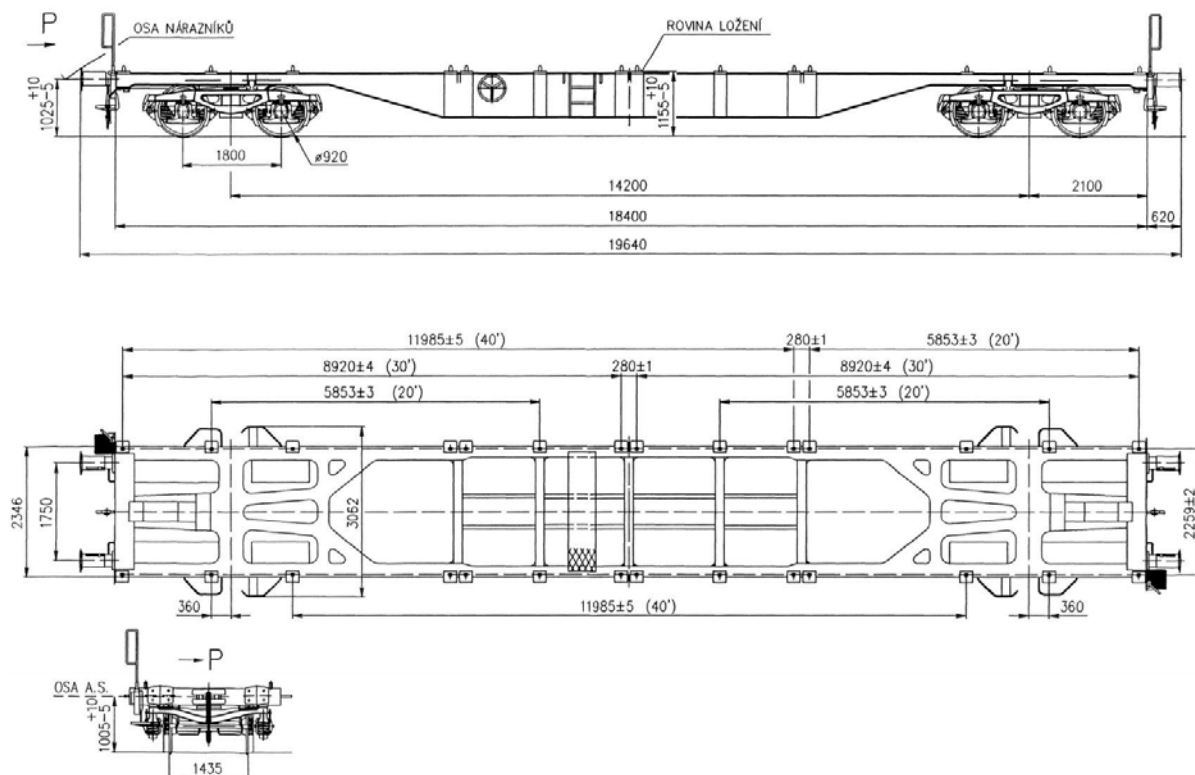
Železniční vozy určené pro kombinovanou dopravu jsou ve většině případů plošinové bez bočnic, které mají za cíl chránit proti povětrnostním vlivům. Lze se také setkat s označením jako kontejnerové či intermodální vozy. Vozy, kde je uvažována pouze doprava kontejnerů nebo výměnných nástaveb jsou velmi často bez ucelené podlahy, pouze s nezbytnými výztužemi tak, jak je patrné z obr. 13 či obr. 14. Plošinových či intermodálních vozů je celá řada a zpravidla se liší drobnostmi respektující konkrétní užití vozu. Např. ČD Cargo, a.s. má ve svém vozovém parku 8 různých plošinových vozů, které využívá především pro kusové a objemné zásilky, a 5 typů intermodálních vozů, které jsou primárně určeny k dopravě kontejnerů. Mezi intermodální vozy v parku ČD Cargo, a.s. se řadí tyto vozy [29]:

- Sggrss 55 – šestínápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy (90'),
- Sggrss 55 – šestínápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy (80'),
- Sgjs 69 – čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy,
- Sgnss 55 – čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy,
- Sgs 11 – čtyřnápravový plošinový vůz pro intermodální přepravy.



Obr. 13 Sggrss 55 – šestínápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy (90') [30]

Vůz Sggrss 55, jehož schéma je zobrazeno na obr. 13, je určený pro přepravu velkých kontejnerů (až do velikosti 45') a výměnných nástaveb (až do délky 13,6 m). Jeho specifická konstrukce za využití kloubového mechanismu a pouze tří podvozků zvyšuje efektivitu přepravy oproti využití dvou samostatných vozů. Ložná délka vozu je 27 640 mm, celková délka přes nárazníky 29 590 mm [30].



Obr. 14 Sgnss 55 – čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy [31]

Na obr. 14 je schéma vozu Sgnss 55, který je určen opět pro dopravu kontejnerů a výměnných nástaveb, nejčastěji se ale využívá pro přepravu v rámci systému Innofreight jak lze vidět na obr. 12 na straně 33. Vůz je čtyřnápravový se dvěma podvozky. Ložná délka vozu je 18 400 mm, celková délka přes nárazníky 19 640 mm, lze tak na něj umístit až 3 Innofreight kontejnery velikosti XXL, které mají délku 6 096 mm a úložný objem 46 m³ [10], [31].

4 VLEČKA

Vlečka je železniční dráha, která je využívána převážně pro napojení průmyslového objektu (výrobní areál, terminál, překladiště apod.) do železniční sítě, ať už regionální nebo celostátní. Zpravidla je vlečka napojena do kolejiště železniční stanice [32].

Základní dělení vleček je definováno v Zákonu o drahách, §22a a §23 a dělí se na dva základní typy [19]:

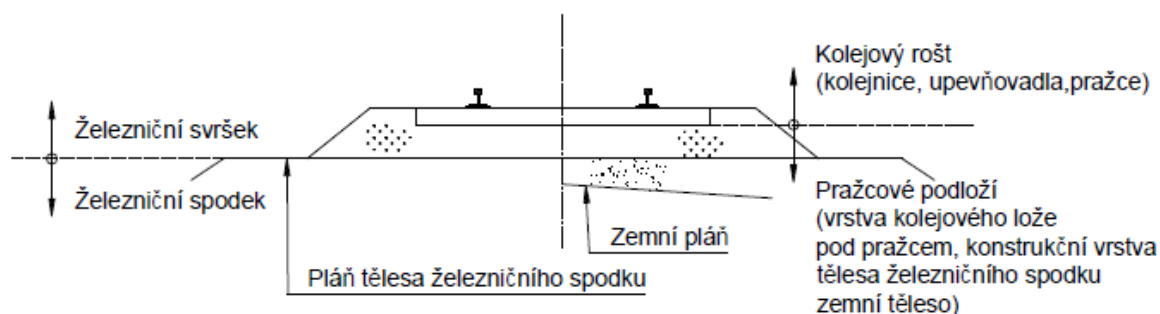
- veřejně přístupná vlečka,
- veřejně nepřístupná vlečka.

Veřejně nepřístupná je vlečka tehdy, pokud je součástí průmyslového nebo zemědělského areálu nebo slouží pro potřeby vlastníka nebo oprávněné osoby. Na **veřejně přístupnou** vlečku jsou kladeny mnohem vyšší požadavky a vlečka se tak řídí stejnými pravidly jako pro dráhy celostátní nebo regionální a musí pro ni být vydáno PoD. Základní rozdíl lze definovat tak, že na veřejně nepřístupné vlečce může její majitel nebo provozovatel rozhodovat za jakých podmínek, za jakou cenu a jakému dopravci umožní přístup. Zjednodušeně řečeno, vše je závislé na jeho rozhodnutí. Na veřejně přístupné vlečce toto definuje PoD pro danou vlečku, a její majitel nebo provozovatel tak musí umožňovat rovné podmínky pro všechny dopravce, kteří mají zájem vlečku využít [19].

Ochranné pásmo dráhy¹⁵ je u vlečky 30 m od osy krajní koleje. V tomto pásmu lze zřizovat stavby jen se souhlasem drážního správního úřadu a za podmínek jím stanovených. Pro vlečky, které jsou vedeny po pozemních komunikacích, v uzavřeném prostoru provozovny nebo v obvodu přístavu, se ochranné pásmo neuvažuje [19].

4.1 Železniční těleso

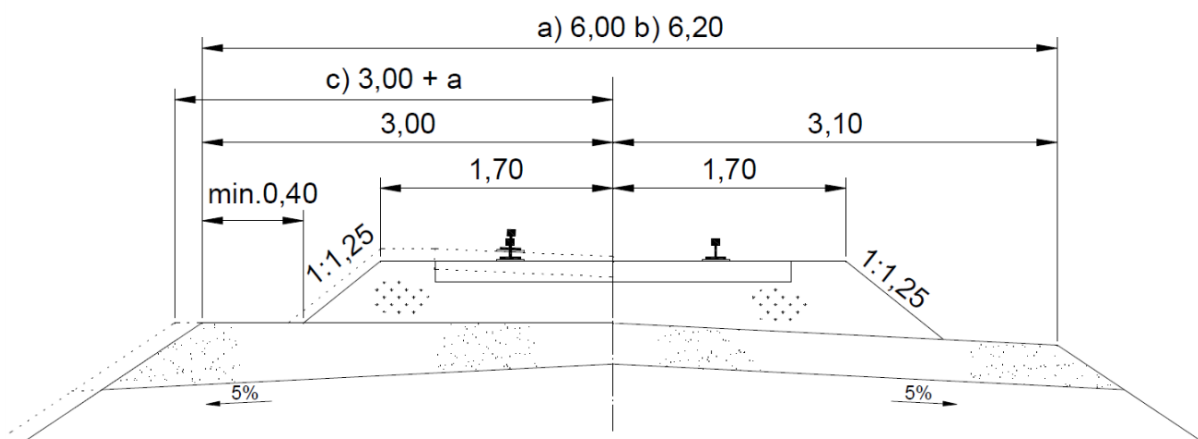
Železniční těleso se skládá z železničního svršku a z železničního spodku. Železniční svršek tvoří kolejnice, upevňovadla, pražce a kolejové lože. Železniční spodek zahrnuje těleso železničního spodku, stavby železničního spodku, dopravní plochy a komunikace, drobné stavby a zařízení železničního spodku. Železniční těleso můžeme také dělit z hlediska přenášení zatížení od kolejových vozidel. V tom případě je dělení na kolejový rošt (kolejnice, upevňovadla, pražce) a pražcové podloží, což je vícevrstvý systém, který se skládá z kolejového lože pod pražcem, konstrukční vrstva tělesa železničního spodku a zemního tělesa. Úkolem pražcového podloží je přenášet zatížení od vozidel a od fyzikálních sil jako je např. odstředivá síla nebo příčné síly od styku kol vozidla s kolejnicí. Pražcové podloží musí být natolik stabilní, aby zaručilo zachování přesné geometrické polohy kolejí. Jednotlivá dělení graficky zobrazuje obr. 15 [33].



Obr. 15 Železniční těleso [34]

¹⁵ Ochranné pásmo dráhy tvoří prostor po obou stranách dráhy, jehož hranice jsou vymezeny vswislou plochou vedenou. Zákon o drahách vymezuje povinnosti a činnosti, které v ochranném pásmu lze provádět [19].

Základní a nejdůležitější rozměry železničního tělesa pro jednokolejnou trať udává obr. 16.



Obr. 16 Rozměry tělesa železničního spodku [34]

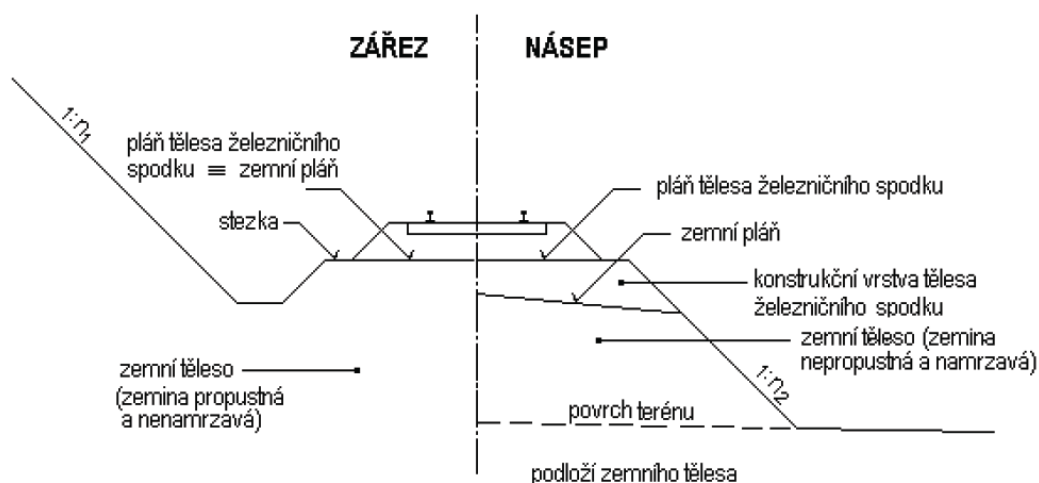
- plán tělesa železničního spodku vodorovná, zemní plán ve sklonu, trať v přímé
- plán tělesa železničního spodku a zemní plán ve sklonu, trať v přímé
- plán tělesa železničního spodku vodorovná, zemní plán ve sklonu, trať v oblouku (tečkovaně)

Pro případ c) se zvětšuje rozměr pláně o hodnotu a , která závisí na převýšení v oblouku [33]:

- při převýšení $p = 30 \text{ mm}$ až 79 mm je hodnota „a“ min. $0,10 \text{ m}$,
- při převýšení $p = 80 \text{ mm}$ až 150 mm je hodnota „a“ min. $0,20 \text{ m}$.

4.1.1 Železniční spodek

Hlavní částí železničního spodku je jeho těleso. Jeho nejdůležitější části jsou zemní těleso, konstrukční vrstvy a podkladní vrstva. Na obr. 17 jsou znázorněny hlavní části tělesa železničního spodku, kdy levá polovina znázorňuje těleso v zářezu, pravá polovina potom těleso v násepu .



Obr. 17 Hlavní části tělesa železničního spodku, zářez a násep [33]

Základní část tělesa železničního spodku tvoří zemní těleso. Pro něj se využívá propustných zemin, náhradních materiálů jako je např. vysokopecní struska nebo výsivky anebo skalních hornin (kamenivo o předepsané frakci). Horní plocha zemního tělesa se nazývá zemní pláš. Zemní pláš může být buď vodorovná anebo v příčném sklonu 5% (v určitých specifických případech může být 3% nebo 4%). Vodorovnou zemní pláš lze využít pouze u zemin

nesoudržných, propustných a nenamrzavých, v tomto případě nejsou zapotřebí konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku [33].

Pokud je však zemní těleso tvořeno nepropustnými a namrzavými zeminami, jsou zapotřebí také konstrukční vrstvy. Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku jsou vrstvy mezi plání železničního spodku a zemní plání, kdy zlepšují vodní a teplotní režim železničního spodku, zvyšují únosnost tělesa a přenášejí účinky provozního zatížení [33].

Důležitým parametrem pro konstrukci železničního tělesa je únosnost pláně tělesa železničního spodku a únosnost zemní pláně. Odvíjí se od druhu železniční dráhy, traťové rychlosti a typu použité zeminy ke stavbě zemního tělesa. Pro vlečky nejsou únosnosti předem stanovené a určují se na základě podrobného geotechnického průzkumu. Jako základní kritérium únosnosti se používá statický modul přetvárnosti, který se stanovuje zatěžkávací zkouškou [33].

Ze statického modulu přetvárnosti vychází také návrh konstrukčních vrstev. Jejich minimální tloušťka je 0,15 m, následně je ale zpřesněna výstupy z geotechnického průzkumu. Základní postup uvádí předpis SŽDC S4 Železniční spodek¹⁷, příloha 6. Jedná se o iterační postup, kde cílem je získat vypočtený ekvivalentní modul přetvárnosti celé konstrukce tělesa železničního spodku v úrovni pláně tělesa železničního spodku E_{pl} přibližně rovný, jako je minimální modul přetvárnosti, který uvádí tab. 10 [33].

Tab. 10 Minimální tloušťky konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku [33]

Materiál konstrukční vrstvy	Požadovaný modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku E_{pl} [MPa]	
	30	40
	Minimální tloušťka konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku [m]	
Vysokopecní struska	0,30	0,40
Štěrkodrt', upravený recyklát ¹⁶ , minerální směs	0,20	0,30

Pozn.: V případě, že materiál konstrukční vrstvy nesplňuje ve vztahu k zemině zemní pláně filtrační kritérium podle TNŽ 73 6949 je třeba na zemní pláň uložit filtrační geotextilii.

Z důvodu ochrany zemního tělesa před účinky mrazu, je důležité určit tloušťku podkladní vrstvy. Jedná se o poměrně komplexní problém, pro který je zapotřebí udělat geotechnický průzkum. Detailní popis určení tloušťky podkladní vrstvy udává předpis SŽDC S4 Železniční spodek¹⁷, příloha 7 a dále přílohy, na které je odkazováno. V závislosti na vodním režimu a druhu zemin jsou stanoveny dovolené tloušťky promrznutí zemin zemní pláně $h_{z,dov}$, které uvádí tab. 11. Dostatečná ochrana zemní pláně je tehdy, pokud promrznutá tloušťka zeminy je nižší, než hodnoty uvedené v tab. 11 [33].

¹⁶ Upravený recyklát – vzniká předdrcením materiálu starého kolejového lože (tzv. výzisk) doplněného o drobné přírodní kamenivo v takovém množství, aby bylo dosaženo požadované zmitosti [53].

¹⁷ Dostupné z databáze Dokumenty a předpisy Správy železnic, <https://www.szdc.cz/o-nas/vnitri-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>

Tab. 11 Hodnoty přípustného promrznutí zemin zemní pláně [33]

Vodní režim	Dovolené tloušťky promrznutí zemin zemní pláně h _{z,dov} [m]					
	zeminy vysoce namrzavé zeminy nebezpečně namrzavé			zeminy namrzavé zeminy mírně namrzavé		
	Druh tratě					
	A	B	C	A	B	C
příznivý	0,30	0,40	0,50	0,50,	0,60	0,70
nepříznivý	0,15	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
velmi nepříznivý	0,00	0,15	0,30	0,30	0,40	0,50

A – celostátní tratě pro rychlost 120 až 160 km/h

B – celostátní tratě pro rychlost menší než 120 km/h

C – regionální tratě

Aby bylo zabráněno nežádoucím plastickým změnám celého železničního tělesa, je důležitým parametrem mimo jiné co nejlepší odvodnění. Toho je docíleno buď jednostranným nebo oboustranným sklonem železničního spodku. Následně je voda zachytána odvodňovacími kanály. Ty mohou být buď otevřené (drážní příkopy, příkopové zídky nebo žlaby apod.) nebo kryté (trativody, svodná potrubí, odvodňovací štoly apod.) [33], [34].

4.1.2 Železniční svršek

Železniční svršek je část trati, která je položena na železničním spodku a plní nosnou a vodící funkci pro jízdu drážního vozidla. Železniční svršek je tvořen kolejovým ložem a kolejovým roštem. Kolejové lože rozkládá zatížení do železničního spodku a musí být natolik stabilní, aby zajistilo přesnou geometrickou polohu kolejového roštu. Ten nese vozidlo jako takové, tlumí jeho dynamické účinky a přenáší zatížení do lože [35].

V dnešní době lze nalézt dvě hlavní konstrukce železničního svršku. Klasickou koncepcí s kolejovým ložem, na které je umístěn kolejový rošt, a moderní konstrukci, kde kolejový rošt je uchycen přímo do betonové podkladní vrstvy [34].

Kolejový rošt se skládá z kolejnice a kolejnicových podpor neboli pražců. Ty mohou mít odlišné tvary a můžou být z různých materiálů, např. kamenný, dřevěný, betonový nebo ocelový. Další součástí je drobné kolejivo jako jsou podkladnice, svěrky, spojky nebo vložky. Na pražce je samotná kolejnice uchycena pomocí upevňovadel, což jsou šrouby, hřeby nebo různé speciální kroužky [35].

Kolejové lože je tvořeno kamenivem – přírodním, recyklovaným nebo umělým (vysokopecní struska). Jeho tloušťka se odvíjí od kategorie trati a také od použitého typu pražce. Jednotlivé tloušťky kolejového lože od ložné plochy pražce po pláň tělesa železničního spodku uvádí tab. 12 [36].

Tab. 12 Tloušťka kolejového lože [36]

Kategorie trati	Pražce	Tloušťka [mm]
celostátní a regionální dráhy v traťových a staničních hlavních a předjízdových kolejkách	betonové	350
	dřevěné	300
celostátní a regionální v ostatních staničních kolejkách	betonové	300
	dřevěné	250
na vlečkách	betonové	250
	dřevěné	200
ve všech případech	ocelové	350
	ocelové ve tvaru Y	300

Kolejové lože má omezené schopnosti tlumit vibrace, které se přenáší do železničního spodku a tím ho mohou časem narušovat. Z tohoto důvodu se může pod kolejové lože umístit antivibrační rohož, která zvýší tloušťku lože o 50 mm. Maximální výška kolejového lože je 900 mm. Šířka kolejového lože je v úrovni ložné plochy pražce 1700 mm, přípustná je i šířka 1750 mm [34].

4.2 Technicko-ekonomický model vlečky

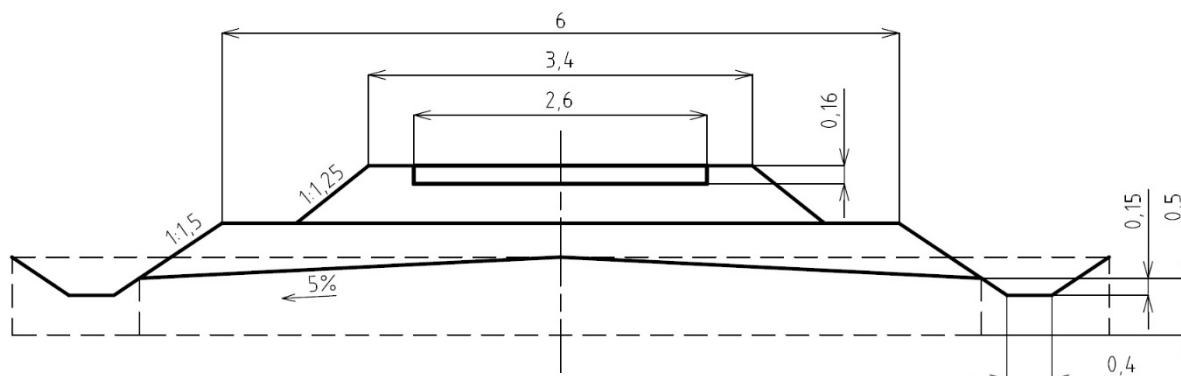
V případě, kdy pro zapojení překladišního terminálu nebo zpracovatelského zařízení do železniční sítě nebude k dispozici vhodná vlečka, bude zapotřebí ji vybudovat. Proto tato práce obsahuje technicko-ekonomický model pro její vybudování.

Hlavní parametry pro vybudování vlečky určují především geografické podmínky a následný geotechnický průzkum. To má vliv na kolejové těleso, ochrannou vrstvu lože a podobně. Jelikož jsou geografické podmínky pro každou vlečku odlišné (podloží, sklon, terén apod.) a zároveň nelze obecně říct, jaké bude trasování vlečky, byl model v tomto ohledu zjednodušen.

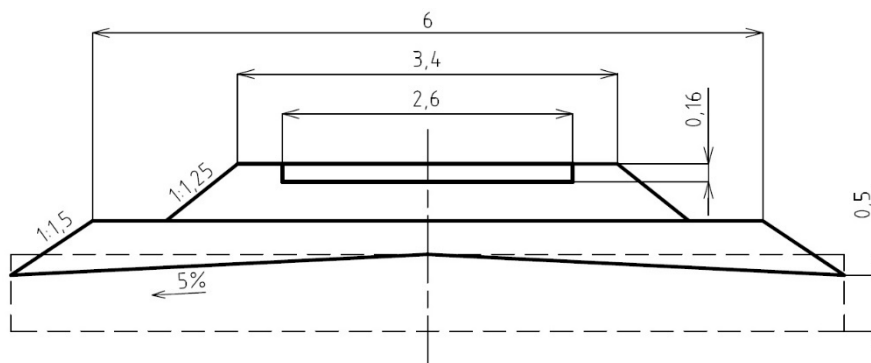
Na základě parametrů uvedených v kapitolách 4.1.1 a 4.1.2 a dle informací dostupných v předpisech SŽDC S3 a S4¹⁸ byl stanoven obecný průřez železničního tělesa. Jelikož se jedná o obecný předběžný model, kde dopředu není známo trasování budoucí vlečky, uvažuje se v modelu přímá trať, tedy trať bez oblouků (především v případě přípojovací koleje do železniční sítě). S uvažováním oblouků by nepatrně vzrostla spotřeba materiálu na železniční těleso viz obr. 16, případ c). Pro zemní těleso se uvažuje horší případ, tedy že zeminy jsou nepropustné a namrzavé. Je tedy zapotřebí zřídit konstrukční vrstvy. Byla zvolena zemní plán v oboustranném sklonu 5%. Pro odvod vody na přípojovací a výtažné koleji byly na obou stranách zavedeny otevřené příkopy. V nákladech nebylo uvažováno jejich možné opevnění pomocí např. příkopové tvárnice, není to ale nutné. Průřez železničního tělesa pro přípojovací a výtažnou kolej ukazuje obr. 18. Pro samotná ramena vlečky byl uvažován průřez bez použití odvodňovacích příkopů, jak ukazuje obr. 19, z důvodu předpokládané zpevněné plochy kolem ramen vlečky.

¹⁸ Dostupné z databáze Dokumenty a předpisy Správy železnic, <https://www.szdc.cz/o-nas/vnitri-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>

Rozměry průřezu železničního tělesa se mění na základě zvolených parametrů v modelu, kdy se jedná především o technické parametry jako materiál konstrukční vrstvy, požadovaný modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku nebo materiál pražce. Řada rozměrů je ale daná a jsou uvedeny na obr. 18, respektive obr. 19.



Obr. 18 Průřez železničního tělesa pro přípojovací a výtaznou kolej



Obr. 19 Průřez železničního tělesa pro ramena vlečky

Pro stanovení tloušťky konstrukčních vrstev je využívána tab. 10 dle výběru požadovaného modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku. V modelu není uvažována ochrana zemní pláně proti promrznutí. Je to z toho důvodu, že většina parametrů pro stanovení ochranné vrstvy vychází z geotechnického průzkumu, který, jak už bylo zmíněno, není v tomto obecném případě k dispozici.

Oblast vyznačená přerušovanou čarou na obr. 18 a obr. 19 znázorňuje odebrané podloží. Jedná se o původní vegetaci, vrstvu ornice případně nevhodné zeminy (bahnité náplavy, rašelina apod.) [37].

Část parametrů technicko-ekonomického modelu byla převzata z disertační práce [10], především jednotkové ceny pro konkrétní stavební úkony. Jelikož se jedná o práci obhájenou v roce 2019, nebyla předpokládána výrazná změna jednotlivých cen a z toho důvodu nebyla zpracována nová rešerše pro dané nákladové položky.

Technicko-ekonomický model dovoluje nastavit některé konstrukční parametry vlečky jako např. materiál pražce, materiál konstrukční vrstvy nebo požadovaný modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku. Dále se zvolí počet ramen vlečky a počet vozů soupravy.

Tab. 13 ukazuje ekonomickou studii vlečky pro následující volené parametry:

- materiál pražce – beton,
- materiál konstrukční vrstvy – šterkodrt', upravený recyklát nebo minerální směs,
- požadovaný modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku – 40 MPa,
- počet ramen vlečky – 3,
- počet vozů soupravy – 20 (délka jednoho vozu je 19,64 m),
- připojovací/výtažná kolej – 500/500 m.

Tab. 13 Ekonomická studie vlečky

Položka	Jednotka	Množství	Jednotková cena	Náklady celkem
Studie proveditelnosti	-	1		
Stavební povolení + ohlášení	-	1	15 000 Kč	15 000 Kč
Stavební projekt	-	1	1 000 000 Kč	1 000 000 Kč
Odtěžená zemina	m ³	14 474	300 Kč	4 342 293 Kč
Uložení na skládku	m ³	14 474	500 Kč	7 237 155 Kč
Počet výhybek, S49 1:9-190	ks	4	1 000 000 Kč	4 000 000 Kč
Celková délka kolejí, S49, B91	m	2 158	12 000 Kč	25 900 800 Kč
Zřízení zemní pláň bez odvodňovacích příkopů	m ³	4 079,81	1 500 Kč	6 119 712 Kč
Zřízení zemní pláň s odvodňovacími příkopy	m ³	2 429,52	1 500 Kč	3 644 279 Kč
Zřízení železničního tělesa – koleje	m ³	9 030,02	1 500 Kč	13 545 023 Kč
Zřízení železničního tělesa – výhybky	m ³	1 338,77	1 500 Kč	2 008 158 Kč
Položení koleje S49 B91 BK	m	2 158	8 000 Kč	17 267 200 Kč
Úprava zpevněné plochy kolem ramen vlečky	m ²	59 136,00	500 Kč	29 568 000 Kč
Zarážedlo kolejnicové	ks	1	150 000 Kč	150 000 Kč
Zabezpečovací zařízení	-	1	30 000 000 Kč	30 000 000 Kč
Stavědlo	-	1	10 000 000 Kč	10 000 000 Kč
Oplocení	-	1	2 500 000 Kč	2 500 000 Kč

Celková cena za vybudování vlečky 157 297 620 Kč

Schéma vlečky je zobrazeno na obr. 20, který ukazuje vlečku se třemi rameny.



Obr. 20 Schéma vlečky

Jak vyplývá z ekonomické studie vlečky, její vybudování je vysoce nákladná záležitost. Ne vždy je však možnost vybudovat průmyslový objekt na místě, které je napojeno na železniční síť a do úvah a plánování tak musí být zahrnuto i vybudování potřebného napojení, tedy vlečky. Nejnákladnější částí je samotný kolejový rošt, zabezpečovací zařízení a úprava ploch kolem ramen vlečky pro snadnou obsluhu. Předpokládaná délka realizace výstavby se liší dle složitosti výstavby. Jelikož tyto projekty jsou většinou zadávány soukromými společnostmi, nejsou údaje o délce realizace z pravidla veřejně dostupné.

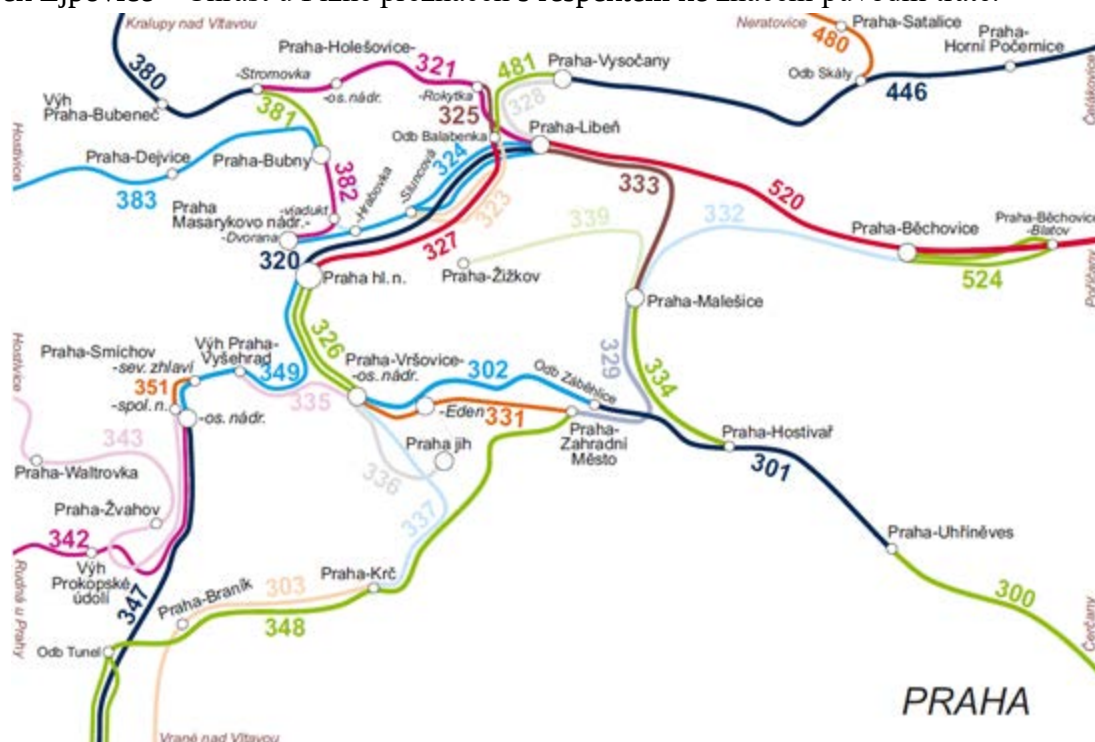
5 PLÁNOVAČ DOPRAVNÍ CESTY

Plánovač dopravní cesty je založen na vyhledání nejkratších dopravních cest mezi dvěma body určenými uživatelem. Kód pro vytvoření matice nejkratších vzdáleností je psaný ve Visual Basic for Applications (VBA) a byl převzat z disertační práce [10] stejně jako jádro kódu pro samotný plánovač. Kód byl dále rozpracován a rozšířen o další funkcionalitu.

Plánovač vychází z volně dostupných informací v PoD pro rok 2021 a není zde řešena např. propustnost tratí, aktuální obsazenost tratě případně zaběhnuté standardy v železničních stanicích. Jedná se o údaje, které nejsou veřejně dostupné, případně obtížně implementovatelné.

5.1 Databáze železničních tratí

Databáze železničního modelu vychází z PoD pro rok 2021. Základní kostru databáze tvoří seznam všech tratí, který obsahuje příloha B viz kapitola 2.4.1. Číslo tratě vychází z úředního povolení. Jedná se o pětimístné číslo ve formátu XXX 00. Tratě jsou zobrazeny v mapě M01 – Číslování tratí podle Úředního povolení, která je součástí PoD pro rok 2021. Náhled mapy M01 ukazuje obr. 3 na straně 13, detail např. pražského železničního uzlu poté obr. 21. Je zde pouze jediná výjimka, a to u tratě Ejpovice – Chrást u Plzně, která je označena formátu XXX 05, konkrétně jako trať 360 05. Dříve tato trať byla součástí tratě 360 00 Beroun – Plzeň hlavní nádraží, po vybudování tunelu Ejpovice byl úsek Ejpovice – Plzeň Doubravka vyhodnocen jako nepotřebný. V úseku Chrást u Plzně – Plzeň Doubravka byla kolej snesena a úsek Ejpovice – Chrást u Plzně přeznačen s respektem ke značení původní tratě.



Obr. 21 Železniční uzel Praha [12]

Lze se také setkat s označením tratě jinými číselnými řadami. První z nich je třímístné číslo ve formátu XXX, např. 010, 230 a podobně. Toto číslování se používá ve vztahu s osobní dopravou a jedná se o čísla podle knižního jízdního řádu. Podobné třímístné číslování – číslování tratí pro účely pomůcek Grafikonu vlakové dopravy (dále jen „GVD“) – se používá v souvislosti s tvorbou grafikonu. Čtyřmístným číslováním se označují tratě podle tabulek traťových poměrů. Číslo je ve formátu XXX doplněné o písmeno A, B nebo „-“. Ani jedno z těchto označení nemá přímou souvislost s číslem tratě dle úředního povolení [38].

Pro prvotní sestavení databáze železniční infrastruktury bylo využito informací z tabulek popsanych v kapitole 2.4.1. Nejpodstatnější jsou data, která jsou shodná v obou tabulkách – tedy číslo tratě a název začátku a konce tratě. Kilometrické polohy začátku a konce tratě jsou další velmi důležité parametry, které budou rozebrány níže.

PoD a výše zmíněné tabulky, obsahují pouze výchozí a koncovou stanici tratě. Databáze vytvořená pouze z těchto údajů by byla nepřesná a pro praktické použití nevhodná. Největší komplikací by bylo, že vytvořená databáze by neumožňovala najít spojnici pro všechny tratě. Bylo tedy nutné databázi rozšířit o další body na jednotlivých tratích. Toho bylo docíleno několika způsoby.

První důležité rozšíření bylo pomocí traťových bodů, kde na sebe jednotlivé tratě navazují. Tyto body byly odečteny z mapy M01 – Číslování tratí podle Úředního povolení. Na obr. 21 je zobrazen detail pražského železničního uzlu. Jako příklad pro rozšíření bude sloužit trať 301 00 Praha-Uhřetěves – Záběhllice odbočka. Na tuto trať se napojuje od severu trať 334 00 Praha-Hostivař – Praha-Malešice. Aby výpočtový model fungoval správně, musela být databáze pro trať 301 00 rozšířena o stanici Praha-Hostivař. Takto proběhlo rozšíření pro všechny tratě, pokud to vyžadovaly.

Takto rozšířená databáze by již byla funkční. Nebyla by ale dostatečně detailní a byla by zároveň nepřesná pro zobrazení výškového profilu dopravní cesty. Proto byla ještě rozšířena o významné stanice a traťové body na jednotlivých tratích. K tomu byly v první řadě použity údaje z databáze železničního modelu obsaženého v disertační práci [10]. Dále byla databáze doplněna z veřejně dostupné databáze železničních tratí [39] o vybrané stanice a traťové body. Tato databáze však není oficiální materiál Správy železnic nebo jiné organizace, vychází však z reálných a přesných údajů.

Modifikovaná databáze následně musela být doplněna o potřebné vzdálenosti mezi jednotlivými traťovými body, tzv. hranami. Nejdříve bylo využito údajů z PoD pro rok 2021 [12], kde již zmíněná příloha B a související tabulky obsahují kilometrickou polohu začátku a konce tratě. Tabulka A také obsahuje celkovou stavební délku tratě. Tyto údaje ale nejsou ideální pro aplikaci u všech tratí v tvořené databázi předmětné práce. Ať už z pohledu, že se jedná pouze o polohu počátku a konce tratě, nikoliv bodů ležících na trati, tak také z pohledu, že není zřejmé, kde leží referenční bod kilometrické polohy. Až na několik výjimek totiž tyto kilometrické polohy pro jednotlivé tratě nezačínají v nule. V tomto ohledu by teoreticky bylo možné kilometrový začátek dopravní cesty posunout a byla by tak stanovena správná délka hrany, ale z pohledu komplexní infrastruktury by vznikalo velké množství chyb. Často také celková stavební délka neodpovídá rozdílu mezi kilometrickou polohou počátku a konce tratě. Např. pro trať 105 00 Mariánské Lázně – Karlovy Vary je kilometrický počátek trati 0,390 km, respektive konec 2,612 km, stavební délka trati je však 56,947 km. Je to způsobeno právě různými referenčními body v železniční síti, od kterých jsou jednotlivé polohy určovány. Velmi často se také stává, že v průběhu tratě se změní smysl kilometrického přírůstku. Kilometrické polohy počátku a konce tratě a stavební délku tratě lze spolehlivě využít jen pro velmi malé množství tratí, především pro krátké tratě.

Pro určení kilometrických poloh bylo opět využito stejných zdrojů jako pro rozšíření databáze o jednotlivé traťové body, tedy disertační práce [10] a veřejně dostupné databáze železničních tratí [39]. Údaje v této databázi vycházejí z tabulek traťových poměrů (TTP), které však nejsou veřejně dostupné.

V PoD pro rok 2021 jsou uvedeny pouze tratě, které má ve správě Správa železnic. Jsou zde uvedeny také tratě ve správě společnosti PKP CARGO INTERNATIONAL a.s., konkrétně trať 843 00 Milotice nad Opavou – Vrbová pod Pradědem, a dvě tratě ve správě PDV Railway a. s. Jedná se o tratě 123 00 Sokolov – Kraslice státní hranice a 624 00 Trutnov hlavní nádraží – Svoboda nad Úpou. Nejsou zde ale uvedeny tratě, které vlastní AŽD Praha s.r.o. a také zde

nejsou uvedeny dvě úzkorozchodné tratě, které spravují Jindřichohradecké místní dráhy, a.s. Úzkorozchodné tratě nebyly do databáze zahrnuty, jelikož s největší pravděpodobností na nich nákladní doprava nebude provozována a pokud ano, bude velmi specifická a bude spojená s oznamovací povinností. Tratě ve správě AŽD Praha s.r.o. byly do databáze zahrnuty, jelikož se jedná o tratě, kde se nákladní doprava může uskutečňovat nebo se již reálně uskutečňuje. Konkrétně se jedná o tratě Čížkovice – Obrnice, označení dle PoD pro rok 2018 jako trať 408 00 [40], a Kopidlno – Dolní Bousov, dle PoD pro rok 2018 označení tratě 489 00 [40]. V PoD pro rok 2021 již tyto tratě uvedeny nejsou, pro přehlednost bylo ale jejich značení v databázi této práce zachováno.

Databáze jako taková je plně dostačující pro běžné analytické modely, plánování dopravní cesty nebo technicko-ekonomické modely, který např. obsahuje tato práce. Pro detailní výpočty, především v oblasti plánování, by ji bylo vhodné rozšířit o všechny úseky na trati, tedy řešit databázi z pohledu „hrana-hrana“, neboli „výhybka-výhybka“. Následně by také šlo přesně určit sklonové poměry na trati. Dostupné informace, především PoD udává pouze maximální sklon na konkrétní trati pro celou její délku. Z důvodu, že některé tratě mají i např. přes 100 km, je tento údaj nevyužitelný. Podrobnější data jsou však neveřejná, v rámci této práce tak v tomto ohledu nebylo možno vytvořit detailnější databázi.

Z PoD také nelze zjistit v jakém technickém stavu jsou dané tratě. Např. trať 164 00 Děčín hlavní nádraží – Oldřichov u Duchcova je vedena v seznamu tratí v příloze B, reálně je na ní ale od roku 2011 dlouhodobá výluka a trať je v neprovozuschopném stavu. Druhým příkladem může být trať 346 00 Jeneček vhb.č.5 – Jeneček vhb.č.6, která je také vedena v příloze B, reálně je ale trať opět v neprovozuschopném stavu. Tyto problémy lze se z větší části ošetřit aplikováním výluk.

5.1.1 Výluky

Jednou z důležitých vlastností plánovače je právě implementace výluk. Databáze tratí umožňuje zvolit, které úseky nemají být do vyhledávání zahrnuty. Implementace výluk je tak založena na základě uživatelského zadání, kdy si uživatel vybere, které úseky se nemají zahrnovat v plánování dopravní cesty. Jedná se o úseky, které jsou obsaženy v databázi tratí. Pokud je výluka prováděna např. pouze na jedné traťové koleji na dvoj a více kolejné trati, předpoklad je, že úsek není považován jako výlukový z důvodu, že provoz může probíhat na druhé koleji. Reálně však může docházet k omezením např. na koridorových tratích, které mají vysokou obsazenost. Následně v technicko-ekonomickém modelu lze pracovat s tím, že se připočte k celkovému času předpokládané zpoždění vlivem jednokolejného provozu. Jak už bylo zmíněno, databáze není řešena ve formátu „hrana-hrana“ („výhybka-výhybka“). Není tedy možné vybrat např. specifickou část v určitém traťovém úseku. Po zvolení výlukových úseků je nutné vytvořit redukovanou databázi tratí a vytvořit novou matici nejkratších vzdáleností.

Jsou zde možná další vylepšení, např. implementace časů od kdy do kdy je daná výluka naplánována. Na základě aktuálního dne by poté došlo k automatickému vytvoření redukované databáze a matice nejkratších vzdáleností. Toto řešení by však bylo výhodnější připravit v jiném programovacím jazyce. Microsoft Excel a VBA není nejvýhodnější řešení pro rozsáhlé databáze a jejich rychlé přepočítávání. Vytvoření matice nejkratších vzdáleností trvá na výkonném procesoru zhruba 20 minut, na běžném notebooku s průměrným procesorem zabere více než hodinu. Jazyk VBA dokáže pracovat pouze s jedním jádrem procesoru, výpočet je tedy zdoluhavější, než by mohl být, pokud by byl výpočet psaný v programovacím jazyce, který podporuje více jádrové výpočty. Pokud však není zapotřebí často měnit databázi, je toto řešení zcela dostačující.

5.2 Vstupní parametry plánovače

Vstupní parametry plánovače jsou, díky našeptávači, uživatelsky přívětivé a ovlivňují celkový výpočet plánovače. Prvním krokem je **výběr výchozí a cílové stanice**. Ve výběru jsou obsažené všechny stanice/traťové body, které obsahuje databáze tratí.

Druhým krokem je **výběr průjezdných stanic**, pokud jsou požadovány. K dispozici je možnost zadání až dvou průjezdných stanic. Podmínkou je jejich posloupnost ve smyslu průběhu dopravní cesty. Třetím krokem je **výběr produktového faktoru vlaku**, viz kapitola 2.4.3.

Dalším polem ve vstupním zadání plánovače je výběr, zda se jedná o **jízdu pouze hnacího vozidla** či nikoliv. Tento výběr má dopad na výpočet ceny za použití dráhy, kdy jízda pouze hnacího vozidla na drahách provozovaných Správou železnic automaticky spadá do produktového faktoru P_2 . Pokud jízda pouze hnacího vozidla je vykonána na dráze, kterou provozuje PDV Railway a.s., je výpočet ceny proveden pro lokomotivní vlak. Na dráze provozované PKP CARGO INTERNATIONAL a.s. je výpočet ceny pro všechny druhy vlaků totožný. Výpočet ceny je podrobně rozebrán v kapitole 2.4.3 této práce [12].

Posledním vstupním parametrem je **vybavenost činného hnacího vozidla zabezpečovacím systémem ETCS Level 2 nebo vyšší**. Zadávací okno plánovače je na obr. 22.

Vstupní parametry	
Výchozí stanice	Brno-Maloměřice st.6
Cílová stanice	Praha hlavní nádraží
Průjezdná stanice 1	☒ Zahrnout do plánování Havlíčkův Brod
Průjezdná stanice 2	☐ Zahrnout do plánování Bystřice nad Pernštejnem
Produktový faktor	P2 - nákladní doprava nespécifiká
Jízda pouze činného hnacího vozidla (lokomotivy)	Ne
Vybavenost činného hnacího vozidla ETCS Level 2	Ano
Vyhledat	

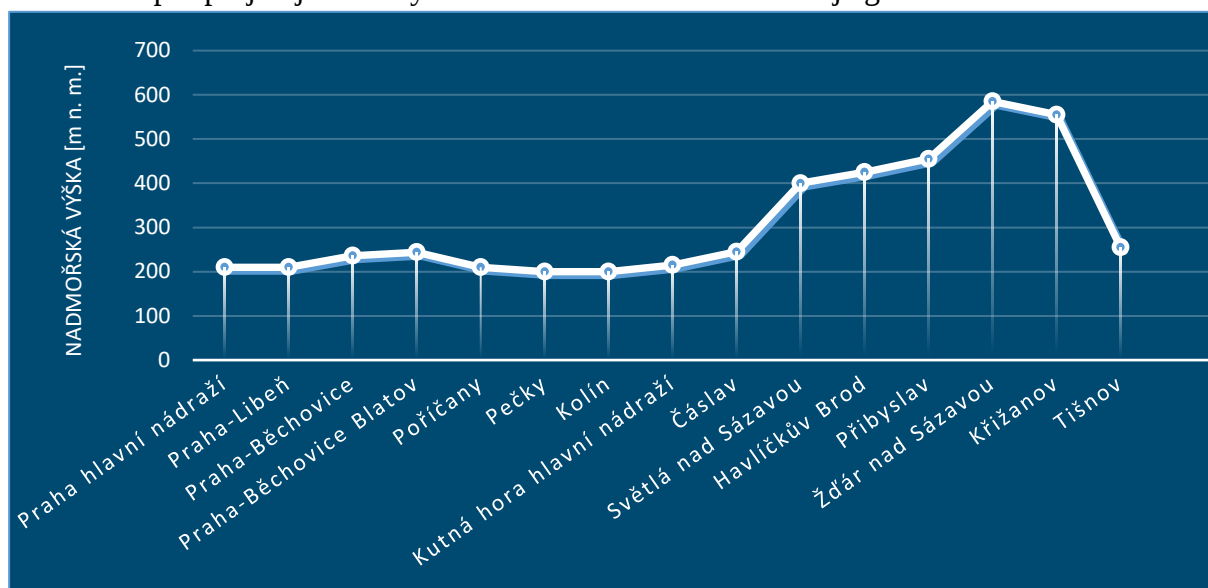
Obr. 22 Vstupní okno plánovače dopravní cesty

5.3 Výstup z plánovače

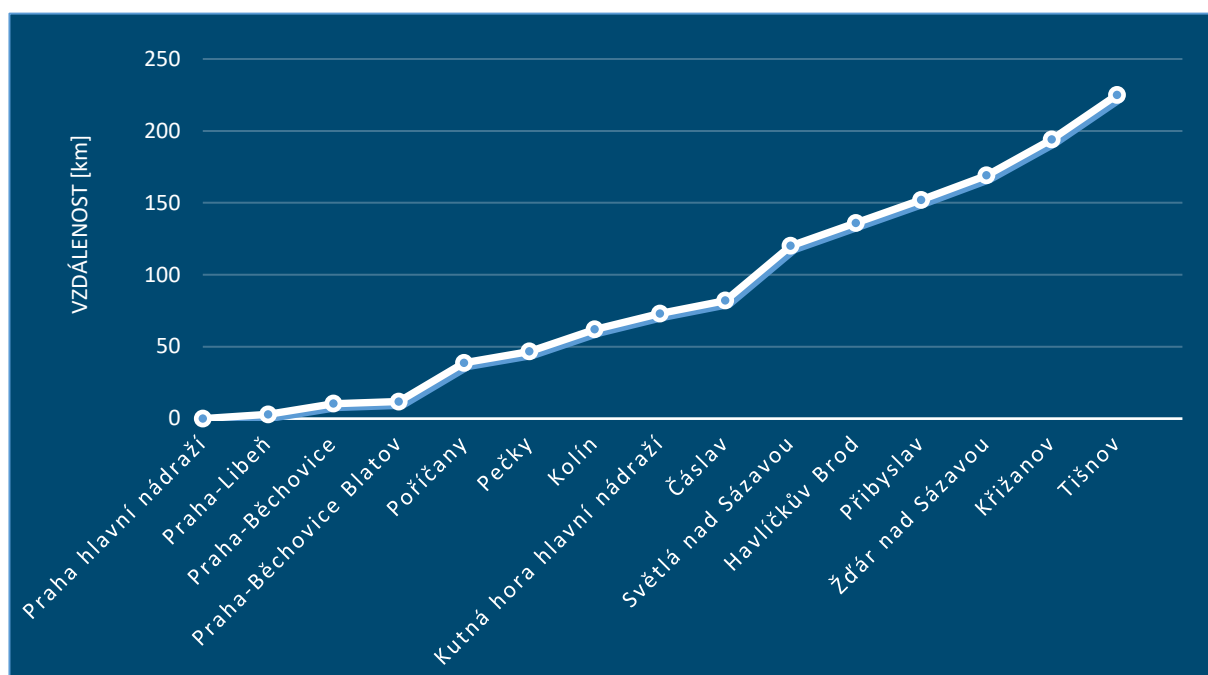
Jak už bylo zmíněno, plánovač vyhledá nejkratší možnou dopravní cestu mezi výchozí a cílovou stanicí. Je tedy založen na vyhledávání nejkratších vzdáleností mezi jednotlivými traťovými body. Určení celkové vzdálenosti může být provedeno dvěma způsoby – prvně za pomoci odečtu z matice vzdáleností nebo jako součet jednotlivých traťových vzdáleností na vyhledané dopravní cestě.

Plánovač ze zadané výchozí a cílové stanice vyhledá dopravní cestu, která je rozdělena dle jednotlivých traťových úseků. K jednotlivým stanicím jsou poté přiřazeny GPS souřadnice a nadmořská výška. K traťovým úsekům jsou přiřazeny informace o trati, její parametry, délka úseku a důležitým přiřazeným parametrem je kategorie trati, která má vliv na výpočet ceny za použití dráhy. Redukovaná verze výstupní tabulky (nejsou zobrazeny veškeré sloupce) po vyhledání dopravní cesty mezi Prahou hlavním nádražím a Tišnovem je zobrazena dále v tab. 14.

Z jednotlivých parametrů obsažených v tabulce lze sestavit výškový profil dopravní cesty, viz graf 2, a také graf celkové délky dopravní cesty, ze kterého lze odečíst celkovou ujetou vzdálenost pro projetí jednotlivými stanicemi na trase. To ukazuje graf 3.

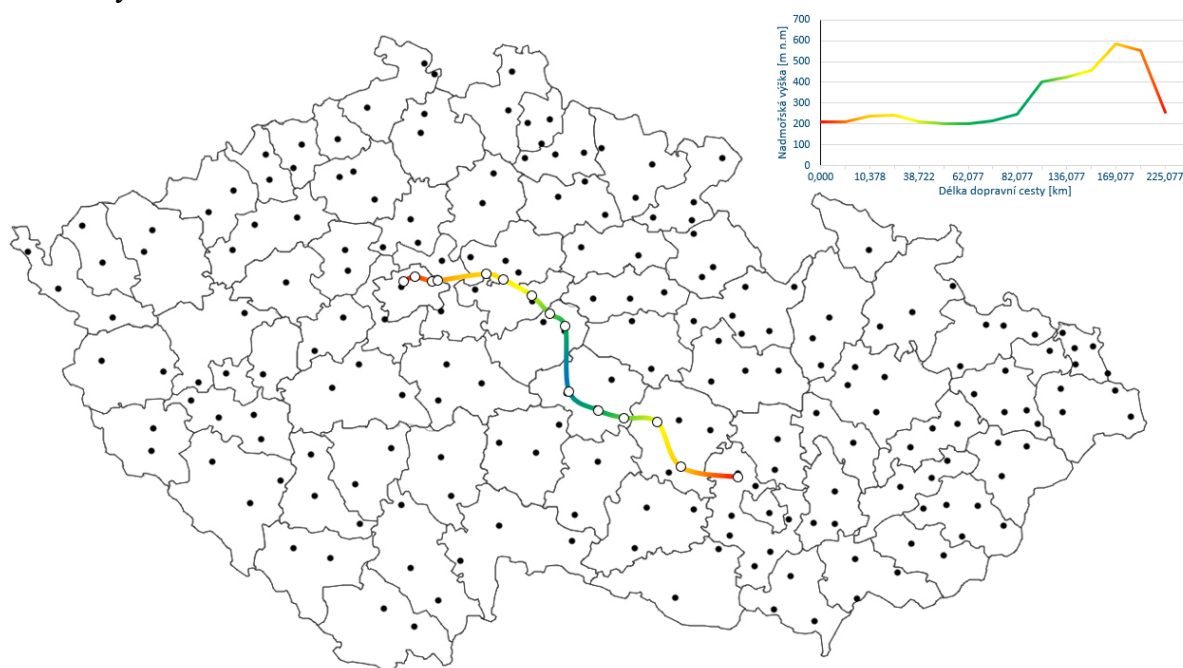


Graf 2 Výškový profil dopravní cesty



Graf 3 Celková délka dopravní cesty

Vyhledané stanice a úseky jsou vykresleny do mapy, která zobrazuje geografickou polohu dopravní cesty. Přesnost zobrazení odpovídá detailnosti a počtu stanic na jednotlivých tratích. Dopravní cesta je vykreslena přechodovým efektem, který pro snadnější orientaci a přiřazení, koresponduje se zobrazením výškového profilu dopravní cesty, který je obsažen v mapě (pravý horní roh), viz obr. 23. Microsoft Excel bohužel neumí nastavit třetí vrstvu v grafu tak, aby barevné zobrazení dopravní cesty korespondovalo s nadmořskou výškou např. ve smyslu, že nížinné oblasti budou zobrazeny zeleně a s přibývajícím nadmořskou výškou se bude měnit barva do červených odstínů.



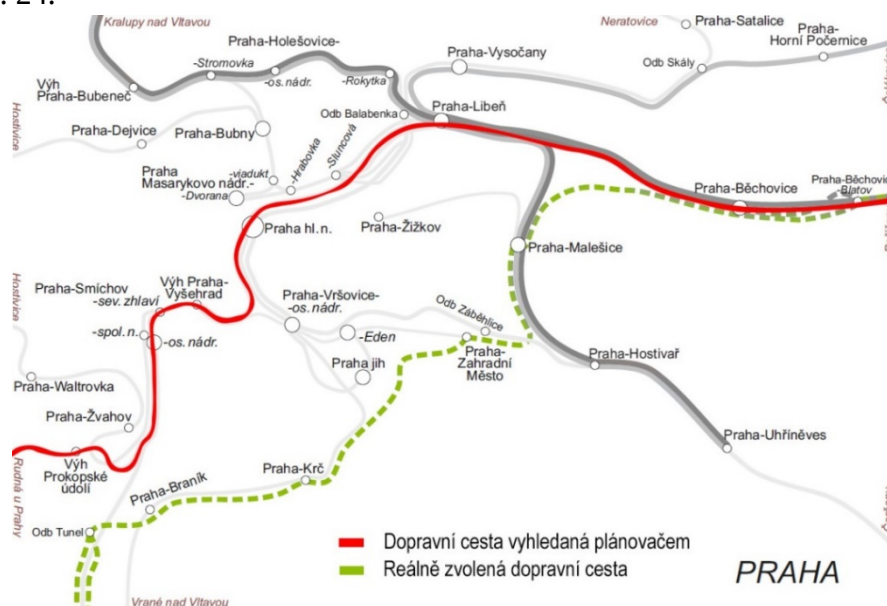
Obr. 23 Vykreslení dopravní cesty v mapě

Tab. 14 Výstupní tabulka plánovače pro dopravní cestu Praha hlavní nádraží – Tišnov (redukovaná verze tabulky)

ID	Stanice	Vzdálenost celkem	Vzdálenost hrana-hrana (ID x, ID x+1)	GPS X	GPS Y	Nadmořská výška	Úsek	Trať	Kategorie dráhy (tratič)
1	Praha hlavní nádraží	0,000		50,0829453	14,4369669	210			
2	Praha-Libeň	2,926	2,926	50,1009458	14,5015297	210	Praha hlavní nádraží - Praha-Libeň	320 00	1
3	Praha-Běchovice	10,378	7,452	50,0826542	14,6051800	236	Praha-Libeň - Praha-Běchovice	520 00	1
4	Praha-Běchovice Blatov	11,871	1,493	50,0850231	14,6362324	244	Praha-Běchovice - Praha-Běchovice Blatov	520 00	1
5	Poříčany	38,722	26,851	50,1112167	14,9224550	210	Praha-Běchovice Blatov - Poříčany	520 00	1
6	Pečky	46,657	7,935	50,0897647	15,0274947	200	Poříčany - Pečky	520 00	1
7	Kolín	62,077	15,420	50,0306706	15,1953475	200	Pečky - Kolín	520 00	1
8	Kutná hora hlavní nádraží	73,077	11,000	49,9620464	15,3007358	215	Kolín - Kutná hora hlavní nádraží	680 00	3
9	Čáslav	82,077	9,000	49,9152200	15,3946433	245	Kutná hora hlavní nádraží - Čáslav	680 00	3
10	Světlá nad Sázavou	120,077	38,000	49,6703744	15,4171461	400	Čáslav - Světlá nad Sázavou	680 00	3
11	Havlíčkův Brod	136,077	16,000	49,5987158	15,5876972	425	Světlá nad Sázavou - Havlíčkův Brod	680 00	3
12	Přibyslav	152,077	16,000	49,5696806	15,7427903	455	Havlíčkův Brod - Přibyslav	700 00	3
13	Žďár nad Sázavou	169,077	17,000	49,5534867	15,9399275	585	Přibyslav - Žďár nad Sázavou	700 00	3
14	Křižanov	194,077	25,000	49,3847064	16,0803769	555	Žďár nad Sázavou - Křižanov	700 00	3
15	Tišnov	225,077	31,000	49,3469350	16,4183933	255	Křižanov - Tišnov	700 00	3

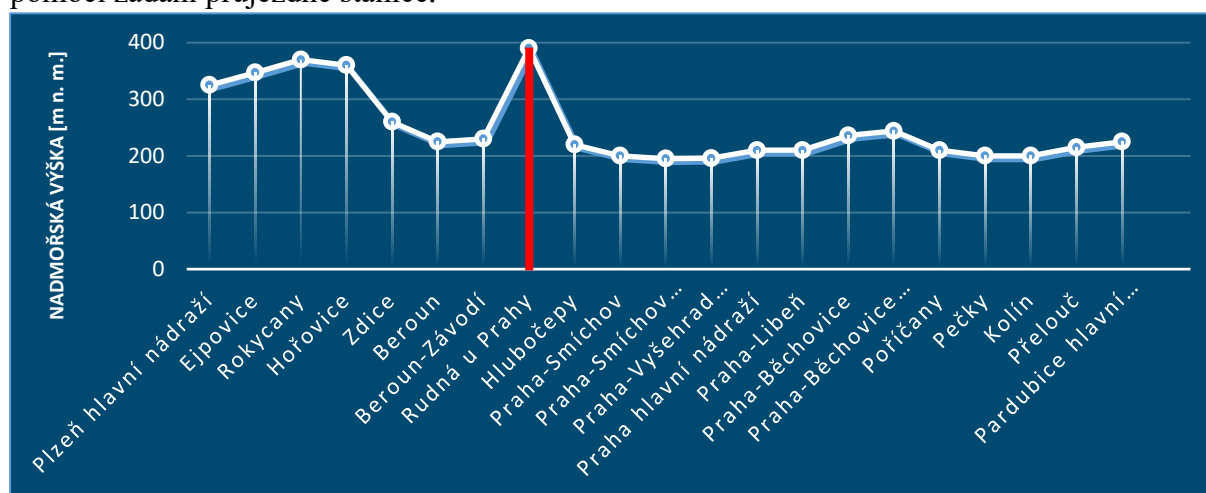
5.4 Nepřesnosti plánovače

Z důvodu postavení plánovače na vyhledávání nejkratších dopravních cest, dochází v ojedinělých případech k sice správnému vyhodnocení, v praxi se ale používá mírně odlišný přístup. Jedná se především o úseky, kde je velká hustota železniční infrastruktury. Jako příklad lze uvést vyhledání trasy z Plzně hlavního nádraží do Pardubic hlavního nádraží. Pro úsek Plzeň hlavní nádraží – Beroun je vše v pořádku. Z Berouna poté plánovač vyhledá cestu přes Rudnou u Prahy a následně Prahu-Smíchov, Prahu hlavní nádraží a Prahu-Běchovice odkud trasa pokračuje přes Kolín dále do Pardubic. Reálně by ale trasa byla plánovaná z Berouna přes Zadní Třebáň, Prahu-Radotín, Prahu-Krč, Prahu-Malešice a Prahu-Běchovice, odkud by dále pokračovala přes Kolín do Pardubic. Průjezd přes pražský železniční uzel pro nákladní dopravu ukazuje obr. 24.



Obr. 24 Pražský železniční uzel – nepřesné vyhledání trasy plánovačem

Trať z Berouna do Prahy-Smíchov přes Rudnou u Prahy není elektrifikovaná a má podstatně horší parametry (traťová rychlost, normativ délky vlaku nebo dovolené traťové zatížení) než trať přes Zadní Třebáň, která je součástí třetího železničního koridoru a také evropského nákladního koridoru [38]. Rudná u Prahy také leží v podstatně vyšší nadmořské výšce, jak je zobrazeno na grafu 4, takže by bylo značně neefektivní vést vlak touto cestou. Přes Prahu hlavní nádraží také zpravidla není vedena nákladní doprava. Tyto nepřesnosti plánovače lze ošetřit pomocí zadání průjezdné stanice.

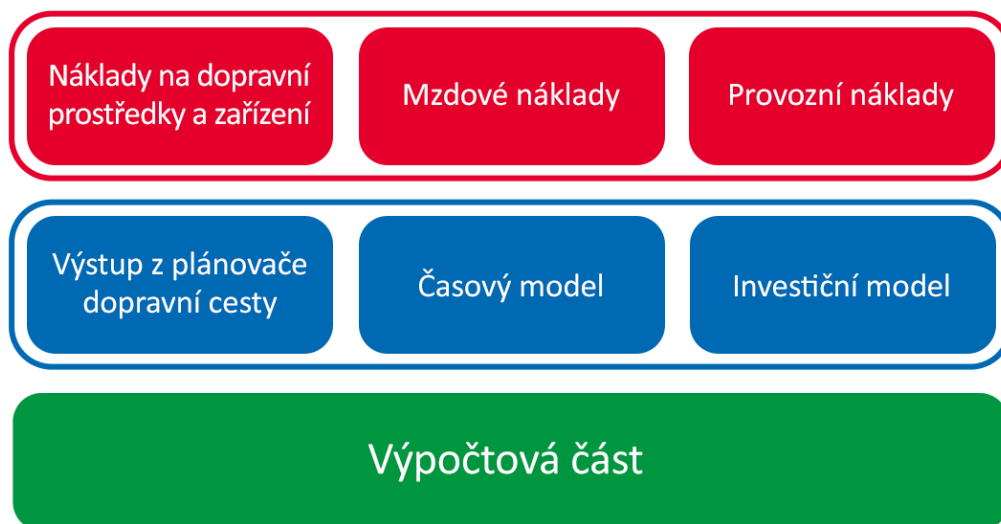


Graf 4 Výškový profil dopravní cesty Plzeň hlavní nádraží – Pardubice hlavní nádraží

6 TECHNICKO-EKONOMICKÝ MODEL ŽELEZNICE

Technicko-ekonomický model železnice je další částí, vytvořenou v rámci této práce. Struktura technicko-ekonomického modelu, analýza nákladů a časový model byly převzaty z disertační práce [10], následně byl model rozpracován do většího detailu, doplněn investiční model a celý technicko-ekonomický model byl modifikován pro potřeby této práce. Byla také provedena implementace technicko-ekonomického modelu a plánovače do jednoho modelu.

Technicko-ekonomický model je rozdělen na několik logických celků, které znázorňuje schéma na obr. 25.



Obr. 25 Schéma technicko-ekonomického modelu železnice

Náklady na dopravní prostředky a zařízení jsou rozdělené do tří hlavních částí, které řeší základní parametry pro lokomotivu, vozy a kontejnery. Pro všechny tři položky lze kalkulovat jak s nákupem, tak také s pronájmem, který může být v určitých scénářích ekonomicky výhodnější, zejména při malém kilometrovém nájezdu. U vozů lze také určit, jestli se jedná o vozy modernizované za účelem snižování emisí hluku či nikoliv. Stanovení bonusu za použití těchto vozů uvádí kapitola 2.4.5.

Mzdové náklady uvádí náklady na osádku (strojvedoucí, vozmistr, vedlejší osádky) a operátorské náklady (dispečink, provozní a správní režie). Výpočet mzdových nákladů lze provést dvěma způsoby. První z nich je předpoklad, že pro jednu soupravu jsou uvažovány dvě směny za den (číslo se může lišit na základě poměru pracovní doby za den a délky směny), kdy pracovníky je nutno platit po celý rok i přesto, že vytížení soupravy bude malé. Daný přístup je využit v této práci. Druhý způsob stanovení mzdových nákladů vychází z teoretické vytíženosti souprav za rok (poměr počtu pracovních hodin za rok a celkového času využití soupravy za rok). To je možno interpretovat tak, že pracovníky si lze najímat pouze na prováděné výkony. Tento způsob je výhodný, pokud teoretická vytíženost souprav za rok je malá.

Provozní náklady se skládají ze tří hlavních částí:

- náklady na trakci,
- náklady za dopravní cestu,
 - cena za přidělení dopravní cesty,
 - cena za použití dopravní cesty,
- náklady (sankce) za nevyužití nebo odřeknuté dopravní cesty.

U nákladů na trakci je výpočet rozdělen dle použití dieselové nebo elektrické lokomotivy. Tyto náklady jsou částečně zjednodušené z důvodu komplikovaného určení spotřeby lokomotivy. Pro přesnější určení spotřeby lokomotivy by byly např. potřebné údaje z tabulek traťových poměrů, které však nejsou veřejně dostupné.

Druhou část provozních nákladů tvoří náklady za využití dopravní cesty. Cena za přidělení dopravní cesty, označovaná dle Správy železnic jako Minimální přístupový balíček, je rozebrána v kapitole 2.4.2. Cena za použití dopravní cesty je v tomto modelu řešena dvěma způsoby. Základní možnost je výpočet ceny za použití dopravní cesty dle PoD pro rok 2021, kdy se předpokládá, že vzdálenost dopravní cesty je brána z plánovače. V tomto případě lze přesně určit složení dopravní cesty dle kategorie trati (délky jednotlivých úseků odpovídající dané kategorii) a následně za pomoci dalších parametrů spočítat výslednou cenu. Tento výpočet je rozebrán v kapitole 2.4.3. Jak bude dále v práci uvedeno, jedním z výpočtových modelů je doprava konkrétního množství odpadu v závislosti na měnící se vzdálenosti. Jelikož se v tomto případě jedná o obecnou vzdálenost, nelze určit přesné složení dopravní cesty dle kategorie trati. Pro tento případ je zaveden tzv. poměrový koeficient kategorie trati. Ten je určen na základě procentuálního zastoupení tratí všech kategorií v železniční síti pod správou Správy železnic. Procentuální zastoupení jednotlivých tratí na základě jejich délky udává tab. 15. Trať pod hlavičkou Správy železnic tvoří 99,39 % (zahrnuje i trať AŽD Praha s.r.o.). Trať provozovatele PKP CARGO INTERNATIONAL a. s. a dvě tratě, které jsou provozovány společností PDV Railway a. s., tvoří 0,61 %. Z tohoto důvodu byl následný výpočet ceny za použití dopravní cesty zjednodušen a byl počítán pouze na základě ceny za použití dopravní cesty na tratích provozovaných Správou železnic.

Tab. 15 Procentuální zastoupení tratí na základě jejich délky v železniční síti pod správou Správy železnic

Provozovatel trati (kategorie)	%
Správa železnic - kategorie 1	4,14
Správa železnic - kategorie 2	10,21
Správa železnic - kategorie 3	15,36
Správa železnic - kategorie 4	23,80
Správa železnic - kategorie 5	45,88
PDV Railway a. s.	0,40
PKP CARGO INTERNATIONAL a. s.	0,21

Poslední část provozních nákladů jsou náklady (sankce) za nevyužití nebo odřeknutí dopravní cesty. Jejich výpočet je popsán v kapitole 2.4.4.

Další částí technicko-ekonomického modelu je výstup z plánovače dopravní cesty. Z plánovače do modelu vstupuje údaj o délce, uživatelem vybrané, dopravní cesty, ať už jako celková vzdálenost anebo rozdělená dle provozovatelů či jednotlivých kategorií tratí pod hlavičkou Správy železnic. Všechna dělení slouží pro výpočet ceny za použití dopravní cesty. Výstup z plánovače by mohl být rozšířen o podrobnější parametry dopravní cesty jako např. sklon trati či poloměr oblouků. Tyto parametry by poté vedly k přesnějšímu výpočtu spotřeby lokomotivy a stanovení celkových provozních nákladů. Podrobnější parametry však nejsou veřejně k dispozici.

Časový model zohledňuje jak samotnou dobu pro ujetí dopravní cesty založenou na průměrné rychlosti, tak především časy při přípravě soupravy nebo nakládce soupravy jakožto i teoretický odhad možného zdržení při jednotlivých fázích realizace železniční dopravy. Jak už bylo zmíněno, doba pro ujetí dopravní cesty je založena na průměrné rychlosti. Tu je možno volit uživatelsky a měla by odrážet jak rychlostní parametry dané dopravní cesty, tak především její obsazenost. Data ohledně obsazenosti jednotlivých tratí nejsou veřejně dostupná ve formátu,

kteřý by se dal jednoduše strojově zpracovat a integrovat do technicko-ekonomického modelu. Na Portálu provozování dráhy spravovaným Správou železnic¹⁹ jsou dostupné pouze aktuální jízdní řády osobní dopravy na jednotlivých tratích a to pouze dle číslování pro osobní dopravu, viz kapitola 5.1. Jízdní řády nebo jiná data, která by obsahovaly i nákladní dopravu, nejsou veřejně k dispozici. Obecně lze ale říct, že obsazenost páteřních tratí v železniční síti České republiky je značně vysoká a některé tratě jsou na hranici své kapacity (propustná výkonnost²⁰ trati je dosažena). Jelikož osobní doprava má přednost před nákladní, jsou často nákladní vlaky nuceny po cestě zastavovat a umožňovat tak průjezd osobní dopravě, čímž se výrazně prodlužuje délka jejich jízdy a klesá tak výše zmíněná průměrná rychlost na dopravní cestě. Pokud se zohlední i čas pro technickou přípravu soupravy, nakládku a vykládku a případné teoretické zdržení, celková průměrná rychlost pro provedení jedné jízdy klesá až k hodnotám okolo 11 km/h i přesto, že průměrná rychlosti na dopravní cestě se může pohybovat např. kolem 60 km/h.

Časový model také zahrnuje pracovní fond, kdy je v základním nastavení uvažováno s dvousměnným provozem 24 hodin denně, 7 dní v týdnu po dobu 52 týdnů ročně. Pracovní fond má vliv na mzdové náklady. Hlavním výstupem z časového modelu je celkový čas pro ujetí dopravní cesty, který v sobě zahrnuje nakládku i vykládku nákladu, a počet cyklů za rok, které jsou potřeba pro dopravu zadaného množství odpadu/nákladu.

Tak, jak je celý technicko-ekonomický model postavený, funguje primárně pro analyzování jedné dopravní cesty pro jeden směr. Model ale zahrnuje možnost, kdy uživatel může do výpočtů zahrnout zpáteční cestu soupravy. V tomto případě jsou do výpočtu zahrnuty provozní náklady i na zpáteční dopravní cestu, provozní náklady na trakci pro cestu zpět a časový model je rozšířen o čas pro ujetí zpáteční cesty, což zahrnuje jak samotnou cestu, tak např. také čas pro technickou kontrolu před odjezdem a podobně. V modelu je také připravena možnost uvažovat na zpáteční cestě přepravu určitého množství odpadu/nákladu a následné zahrnutí výnosů z dané dopravy. Jelikož tato práce je primárně postavena na přepravě odpadu a není zde předpoklad, že by na zpáteční cestě docházelo k další přepravě odpadu/nákladu (respektive prázdná souprava při jízdě tam, plná při jízdě zpět), nebyl tento parametr uvažován v dalších výpočtech.

Nejdůležitější částí celého technicko-ekonomického modelu je jeho investiční část. Ten lze rozdělit na dva hlavní přístupy – nákup dopravních prostředků a zařízení anebo jejich pronájem. V obou případech lze zadat podíl vlastních a cizích zdrojů a zvažovanou úrokovou míru respektive roční úrokovou sazbu. Na základě toho je vyhodnoceno kritérium WACC (Weighted Average Cost of Capital – průměrné náklady kapitálu) dle následujícího vzorce [41]:

$$WACC = r_d \cdot (1 - t) \cdot \frac{D}{C_i} + r_e \cdot \frac{E}{C_i} \quad [-]$$

kde:

r_d – náklady na cizí kapitál (roční úroková sazba) [%]

t – sazba daně z příjmů právnických osob (19 % pro rok 2020) [%]

D – cizí zdroje (dluhy) [Kč]

C_i – celkové dlouhodobě investované zdroje [Kč]

r_e – náklady na vlastní (akciový) kapitál (zvažovaná úroková míra) [%]

E – vlastní zdroje [Kč]

¹⁹ Jízdní řády dostupné na <https://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=1730415>

²⁰ Propustná výkonnost je veličina, která udává počet úkonů (jízda vlaku, posun apod.), které je možno uskutečnit na daném traťovém úseku, místě (uzlu) nebo jiném prvku trati a kdy tento počet je trvale a plynule proveditelný. Důležitým faktorem je technické provozní vybavení daného traťového úseku, místa nebo prvku a zachování jeho provozního řádu [46]. Podrobněji se problematice věnuje předpis SŽDC D24, který však není veřejně dostupný.

V obou případech je potřeba zajistit pro provoz vlakové soupravy. Ty zahrnují lokomotivy, vozy a kontejnery. Jejich pořizovací ceny byly převzaty z disertační práce [10]. Stejně jako v případě technicko-ekonomického modelu vlečky byl předpoklad, že jednotkové ceny se výrazně nezměnily. Byly také převzaty hodnoty nákladů pro jejich roční údržbu. V případě nákladů na pronájem jsou ceny těžko veřejně dohledatelné. Z velké části jsou také tyto ceny ovlivněny velikostí pronájmu a může tedy docházet k různým množstevním slevám. Z tohoto důvodu byly ceny pronájmu řešeny na základě pořizovacích nákladů a parametru, který byl označen jako **marže pronajímatele**. Výpočet roční ceny pronájmu byl proveden dle následujícího vzorce:

$$\text{Cena pronájmu} = \frac{\text{Pořizovací náklady [Kč]}}{\text{Životnost [rok]}} \cdot (1 + \text{marže pronajímatele}) \quad [\text{Kč/rok}]$$

Hodnotu marže pronajímatele lze v modelu měnit, lze tak připravit různé scénáře pro náklady na pronájem. V případě pronájmu lze také zvolit, jestli náklady na údržbu (servis) jsou zahrnuty v ceně pronájmu či nikoliv.

Celý investiční model počítá s délkou projektu 30 let. Tato doba byla zvolena z důvodu, že v případě přepravy odpadu se jedná o dlouhodobý projekt a také s ohledem na případné investiční náklady na pořízení vlakových souprav, kdy při kratší době projektu by se nemusely vrátit anebo výsledná nabídková cena za dopravu by byla neúměrně vysoká, což by vedlo k nekonkurenceschopnosti projektu. Délku projektu lze změnit a upravit dle potřeby uživatele.

V modelu byl použit zjednodušující předpoklad pro inflaci respektive meziroční nárůst cen. Konkrétně nárůst cen nebyl uvažován jak na straně nákladů, tak ani na straně výnosů. Bylo tedy předpokládáno, že nárůst na straně nákladů vlivem meziročního nárůstu cen bude reflektován také na straně výnosů. V opačném případě by musely být v modelu nastaveny jednotlivé meziroční procentuální nárůsty cen pro každou ovlivněnou kategorii nákladů a na základě těchto procentuálních nárůstu by byl stanoven jejich vážený průměr, který by se promítnul do výnosů.

V případě nákupu vlakových souprav je nutné zahrnout odpisy majetku, aby bylo docíleno reálné hodnoty výsledného zisku. Pro účely daní jsou dle zákona č. 586/1992 Sb. Zákon o dani z příjmů stanoveny odpisové skupiny a jim přidružená délka odepisování. U lokomotiv a vozů se jedná o odpisovou skupinu 3, položka 3-42, doba odepisování je tak 10 let [42]. Pro kontejnery se jedná o odpisovou skupinu 2, položka 2-67 s dobou odepisování 5 let [42]. Jelikož ale technicko-ekonomický model zpracovaný v předmětné práci je ekonomicko-manažerská kalkulace, ne účetní, jsou zde odpisy chápány jako poměrná část majetku. Tedy k výnosům je potřeba přiřadit odpovídající náklady, které slouží k vygenerování výnosu. Zjednodušeně řečeno, odpis je počítán na tolik let, na kolik bude generovat zisk. V modelu je tak odpis vztažen na životnost lokomotivy, respektive vozu či kontejneru a je předpokládáno, že na konci životnosti nebudou mít zůstatkovou hodnotu.

Dalším krokem je provedení ekonomické bilance a stanovení cashflow. Roční cashflow, neboli roční tok peněz, se získá odečtením nákladů od výnosů. V případě nákupu vlakových souprav je potřeba zahrnout také investiční výdaje. V tom případě se analyzuje kumulativní cashflow, neboli čistá současná hodnota projektu (Net Present Value – NPV). NPV se vypočítá na základě následujícího vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t \quad [\text{Kč}]$$

kde:

CF_t – peněžní toky v jednotlivých letech [Kč]

n – doba projektu

Dlouhodobá investice s sebou nese řadu rizik. Aby byla tato rizika alespoň z větší části reflektována ve vyhodnocení projektu, je potřeba do cashflow zahrnout diskontní faktor, který se spočítá dle vzorce:

$$v = \frac{1}{(1 + WACC)^{n_i}} \quad [-]$$

kde:

n_i – rok, pro který je počítán diskontní faktor

Diskontní faktor se následně zahrne do vzorce pro NPV, kdy výsledkem je diskontované kumulativní cashflow neboli diskontované NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t \cdot v = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + WACC)^{n_i}} \quad [Kč]$$

Výstupem modelu je několik důležitých ekonomických parametrů. Prvním z nich jsou **celkové roční náklady** a především jejich **přepočet na 1 tunu [Kč/t] a 1 tunokilometr [Kč/tkm]**. V případě nákupu vlakových souprav je důležitým faktorem **payback** neboli doba návratnosti investice. Ve své podstatě se jedná o dobu, kdy diskontované kumulativní cashflow je rovno nule.

Hodnocení investice na základě paybacku s sebou nese řadu problematických momentů. Nejsou v ní zahrnuté např. finanční toky z investice, které mohou nastat po dosažení doby návratnosti [43]. Způsob, jakým je metoda postavena např. neumožňuje zahrnout do výpočtu dodatečné investice v průběhu projektu. I proto v technicko-ekonomickém modelu této předmětné práce veškeré investice v rámci projektu jsou uvedeny k 0. roku. Jedná se např. o případ, kdy je doba životnosti kontejnerů např. 8 let, tedy v průběhu délky projektu 30 let je nutné kontejnery nakoupit celkem 4x (0. rok, 8. rok, 16. rok a 24. rok). To stejné může nastat u lokomotiv či vozů, vždy záleží na délce jejich životnosti a následné nutnosti obnovení. Tím, že ve všech případech jsou investice uvedeny k 0. roku, tak v případě, kdy se v modelu uvažuje meziroční nárůst nákladů, musí být tento nárůst zohledněn v investicích vztažených na 0. rok. Tedy investiční náklady pro 8. rok musí zahrnovat meziroční nárůst nákladů po dobu 8 let, investiční náklady v 16. roce musí zahrnovat meziroční nárůst po dobu 16 let a tak dále. V technicko-ekonomickém modelu není počítáno s meziročním nárůstem nákladů, viz vysvětlení předpokladu výše, všechny investice jsou tak k 0. roku vztaženy ve své původní hodnotě. Vzhledem k předpokladu se však nejedná o chybu.

Stanovení **požadované doby návratnosti** je jeden ze tří parametrů, na základě něhož může být provedeno stanovení nabídkové ceny. Druhým takovým parametrem je **minimální požadovaná marže na 1 t**, kdy lze zadat požadovanou marži, pod kterou provozovatel nechce jít. Poslední parametrem, kterým lze ovlivnit výpočet nabídkové ceny, je zadání **požadovaného minimálního NPV na konci projektu**, tedy ve 30. roce.

V případě nákupu jsou omezujícími podmínkami pro výpočet nabídkové ceny všechny tři parametry, v případě pronájmu se jedná pouze o požadovanou minimální marži na 1 t a požadované NPV na konci projektu. Při nákupu vlakových souprav je nabídková cena stanovena na základě splnění požadovaného paybacku. Toto lze provést iteračně zvyšováním nabídkové ceny, dokud nebude dosaženo požadovaného roku, kdy bude NPV rovno nule. Nejrychlejším řešením je použití citlivostní analýzy, pro kterou lze využít integrované funkce v Microsoft Excelu s názvem „Hledání řešení“. Po provedení citlivostní analýzy je nutné ověřit omezující podmínky, tedy požadovanou minimální marži na 1 t a požadované NPV na konci projektu. Pokud není alespoň jedna podmínka splněna, lze opět využít funkci Hledání řešení, tentokrát pro cílovou hodnotu marže či NPV. Výpočet nabídkové ceny při pronájmu vlakových souprav se stanoví na základě ročních nákladů přepočtených na 1 t a to tak, že tyto náklady jsou

povýšené o požadovanou minimální marži na 1 t. Následně je opět potřeba ověřit omezující podmínky, v tomto případě požadované NPV na konci projektu. Pokud podmínka není splněna, je nabídková cena stanovena použitím funkce Hledání řešení a to tak, že z požadovaného NPV na konci projektu se dopočítá nabídková cena a následně se stanoví hodnota marže na 1 t.

6.1 Výpočtové modely

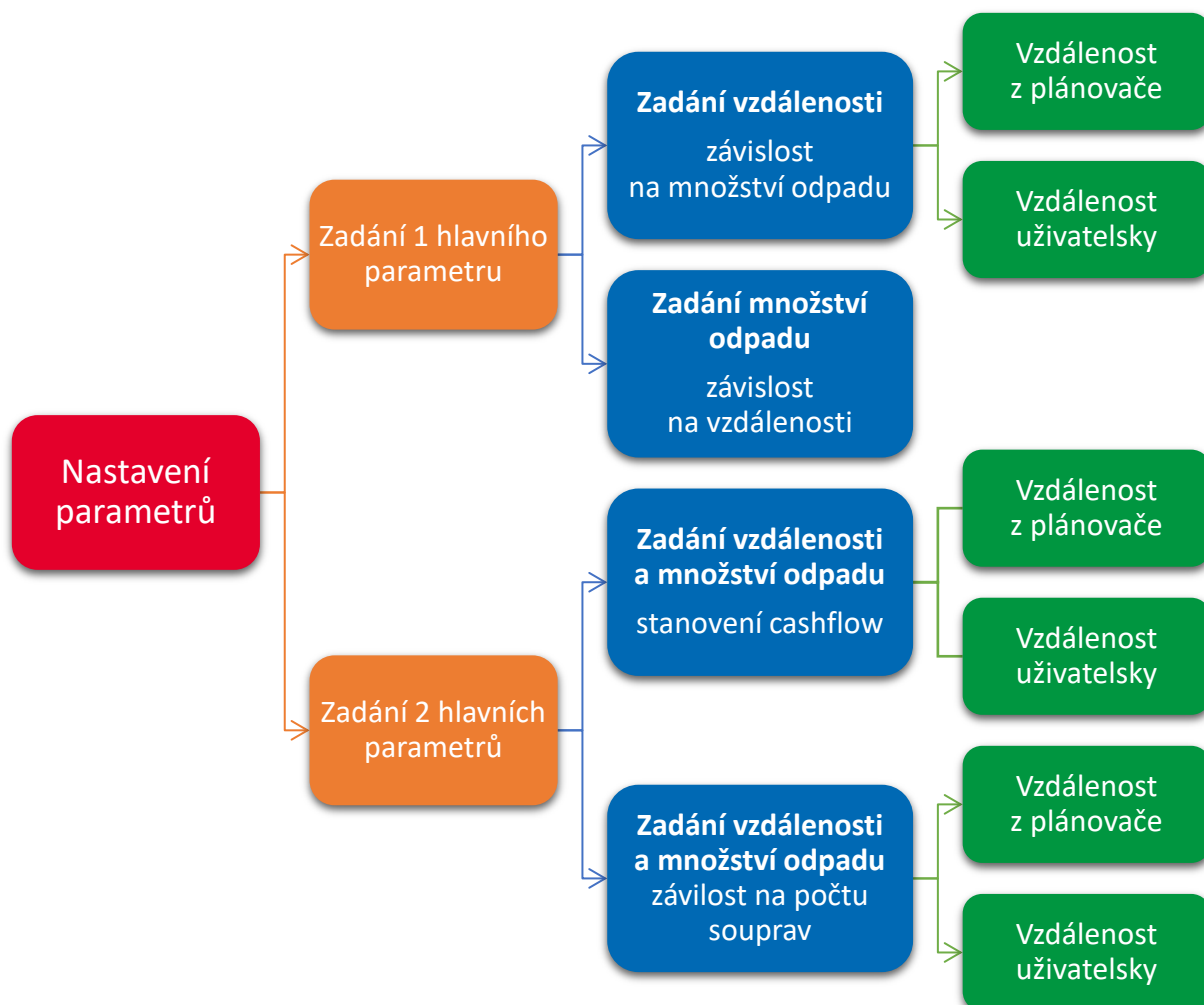
Technicko-ekonomický model zahrnuje několik výpočtových modelů, na kterých lze sledovat požadované závislosti. Tyto modely lze rozdělit na dva základní modely:

- se zadáním 1 hlavního parametru,
- se zadáním 2 hlavních parametrů.

Hlavními parametry se rozumí **množství odpadu** a **vzdálenost**. Dále se modely dělí dle sledované závislosti:

- model se závislostí na množství odpadu
- model se závislostí na vzdálenosti
- model se závislostí na počtu souprav
- obecný model (bez závislosti)

U výpočtových modelů, kde se zadává jako hlavní parametr vzdálenost, lze vybrat, jestli se jedná o vzdálenost, která je brána z plánovače, nebo jestli se jedná o uživatelsky zadanou vzdálenost. Na základě tohoto výběru je do výpočtů zahrnuta odpovídající cena za dopravní cestu. Jednotlivé modely a jejich propojení je přehledně zobrazeno na obr. 26.



Obr. 26 Výpočtové modely technicko-ekonomického modelu

U všech modelů lze zvolit omezující podmínky a to požadovaný payback, požadovanou minimální marži na 1 t a požadované NPV na konci projektu.

Jak ukazuje schéma na obr. 26, pro **výpočet se závislostí na množství odpadu** se zadává jeden hlavní parametr a to vzdálenost. Jak už bylo zmíněno výše a také jak ukazuje schéma, lze zvolit mezi vzdáleností která je brána z plánovače nebo lze vzdálenost zadat uživatelsky. Dalším krokem je zadání hodnot pro omezující parametry (požadovaná doba návratnosti, minimální marže na 1 t a NPV na konci projektu). Následně je nutné zvolit, zda vyhodnocené parametry budou pro nákup nebo pronájem souprav. V případě pronájmu není uvažován požadovaný payback. Pro zadané hodnoty je proveden výpočet a sledované závislosti důležitých parametrů jsou zobrazeny v grafech.

Totožné provedení má model pro **výpočet závislosti na vzdálenosti**, akorát v tomto případě je jako hlavní parametr zadáváno množství odpadu za rok.

Třetím modelem je **obecný model**, kde je nutné zadat jak množství odpadu za rok, tak vzdálenost. Tedy oba hlavní parametry. Opět i v tomto modelu lze zvolit, zda model využívá vzdálenost z plánovače či je zadána uživatelem. Tento model je ideální pro zobrazení cashflow a následného určení, zda je výhodnější nákup souprav či jejich pronájem.

Posledním modelem je **výpočet se závislostí na počtu souprav**. Jako u obecného modelu se jedná o model se zadáním dvou hlavních parametrů, tedy množství odpadu a vzdálenosti. Stejně jako v předchozích modelech, kdy byla jako hlavní parametr vzdálenost, lze zvolit, jestli se jedná o vzdálenost na základě plánovače nebo vzdálenost zadanou uživatelsky. Pomocí tohoto modelu lze vyhodnotit např. zda je výhodnější pro dané množství odpadu a danou vzdálenost využívat 1 soupravu s např. 25 vozy nebo 2 soupravy s 15 vozy. Počet vozů je stanoven na základě maximální přípustné délky soupravy pro danou dopravní cestu a délce využívaných vozů. Pokud je vzdálenost zadávána uživatelsky, je zapotřebí zvolit maximální přípustnou délku soupravy. V případě, kdy je vzdálenost brána z plánovače dopravní cesty, je maximální přípustná délka soupravy načtena z databáze železničních tratí pro příslušnou dopravní cestu. V databázi je tento údaj uveden jako „Největší povolená délka nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedená v m“. Pokud např. jedna souprava s maximálním počtem vozů není schopna přepravit dané množství odpadu za rok, je automaticky přidána druhá souprava a následně je dopočten optimální počet vozů. Model také umožňuje omezit maximální taženou hmotnost. Tuto omezující podmínku lze využít v případě, kdy je známa konkrétní lokomotiva, která bude využita pro daný výkon. Maximální taženou hmotnost lze určit např. z Koreffova zátěžového diagramu, kdy se pro požadovanou rychlost při daném sklonu trati odečte údaj o maximální tažené hmotnosti pro danou lokomotivu. V základním nastavení modelu tato omezující podmínka není zahrnuta a to z důvodu předpokladu, že výpočtový model je využit pro vyhodnocení v takové fázi projektu, kdy lokomotiva není předem známa.

Posledním krokem je výběr počtu souprav, pro které bude provedeno vyhodnocení, zda je výhodnější nákup nebo pronájem souprav. Toto vyhodnocení je provedeno za využití výše zmíněného obecného modelu.

6.2 Vyhodnocení s využitím výpočtových modelů

S využitím výpočtových modelů v rámci technicko-ekonomického modelu bylo provedeno vyhodnocení, které zároveň ukazuje funkcionalitu jednotlivých modelů. Z důvodu, že celý technicko-ekonomický model zahrnuje více než 100 zadávaných či počítaných parametrů, v tab. 16 jsou uvedeny pouze vybrané parametry jako ukázka modelu. Pro výpočet cen pronájmu byla hodnota marže pronajímatele 130 %.

Tab. 16 Náklady na dopravní prostředky a zařízení využívané pro vyhodnocení

Lokomotiva

Prvek	Hodnota	Jednotka
Počet lokomotiv pro jednu soupravu	1	ks
Pořizovací náklady při zakoupení – varianta A	100 000 000	Kč
Pronájem lokomotivy – varianta B	15 333 333	Kč/rok
Životnost lokomotivy	15	roků
Hmotnost lokomotivy	85	t
Údržba do lokomotivy během životnosti	1 000 000	Kč/rok

Vozy

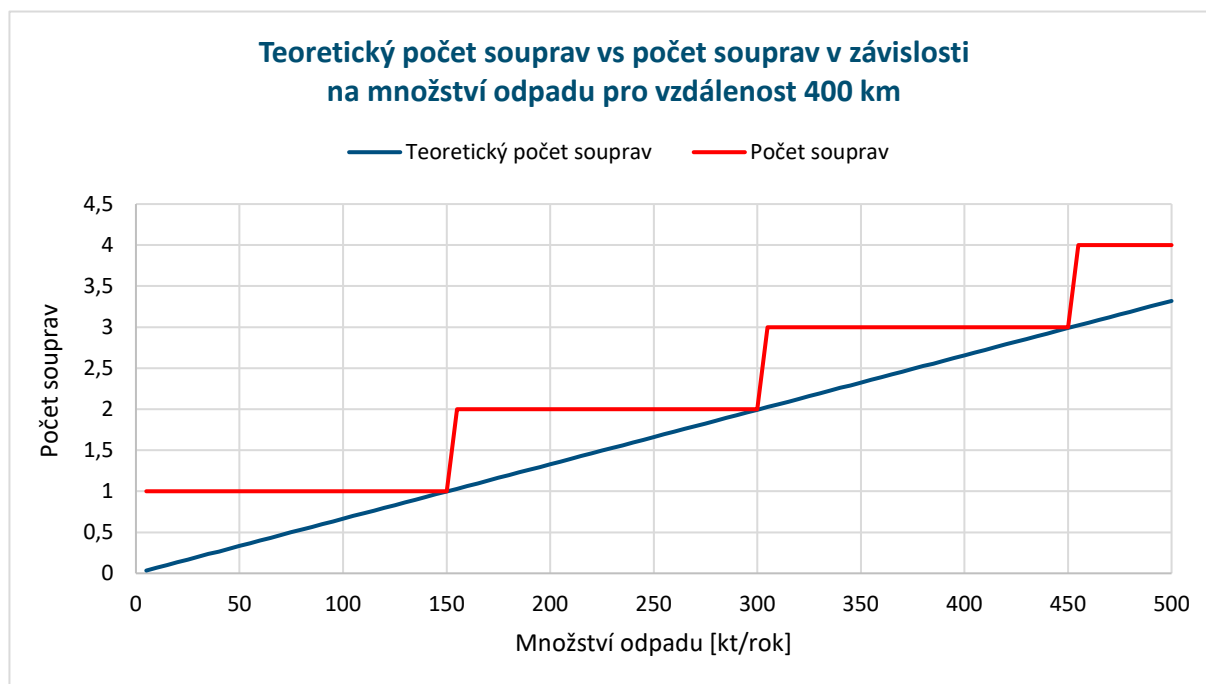
Prvek	Hodnota	Jednotka
Počet vozů pro jednu soupravu	20	ks
Pořizovací náklady na vůz – varianta A	2 000 000	Kč
Pronájem vozu - varianta B	460 000	Kč/rok
(Modernizované) vozy za účelem snižování emisí hluku	Ano	-
Životnost vozu	10	roků
Hmotnost vozu	20	t
Údržba vozu	200 000	Kč/rok

Kontejnery

Prvek	Hodnota	Jednotka
Počet kontejnerů na voze	2	ks
Počet potřebných kontejnerů pro jednu soupravu	40	ks
Pořizovací náklady na kontejner – varianta A	300 000	Kč
Pronájem kontejneru – varianta B	69 000	Kč/rok
Životnost kontejneru	10	roků
Hmotnost kontejneru	3	t
Objem kontejneru	46	m ³
Sypná hmotnost odpadu	250	kg/m ³
Hmotnost odpadu v kontejneru	11,5	t
Údržba do kontejneru	10 000	Kč/rok
Hmotnost naloženého kontejneru (kontejner + odpad)	14,5	t
Celkové teoretické přepravované množství (pouze odpad)	460	t
Celková teoretické přepravované množství (kontejnery + odpad)	580	t
Celková tažená hmotnost	980	t
Celková hmotnost jízdní soupravy	1065	t

První vyhodnocovaná závislost je **závislost na množství odpadu**. Pro vyhodnocení byla uživatelsky zvolena vzdálenost 400 km a následující omezující podmínky:

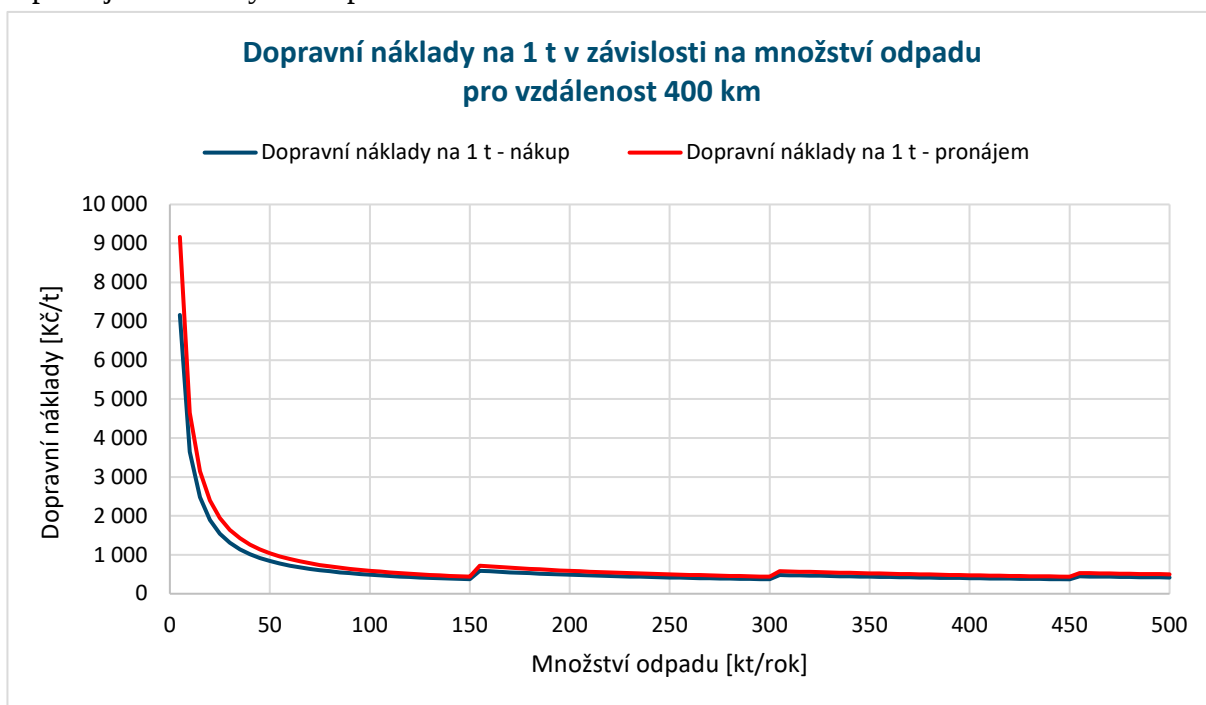
- požadovaný payback – 18 let,
- požadovaná minimální marže na 1 t – 20 %,
- požadované minimální NPV na konci projektu – 140 000 000 Kč.



Graf 5 Teoretický počet souprav vs. počet souprav v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km

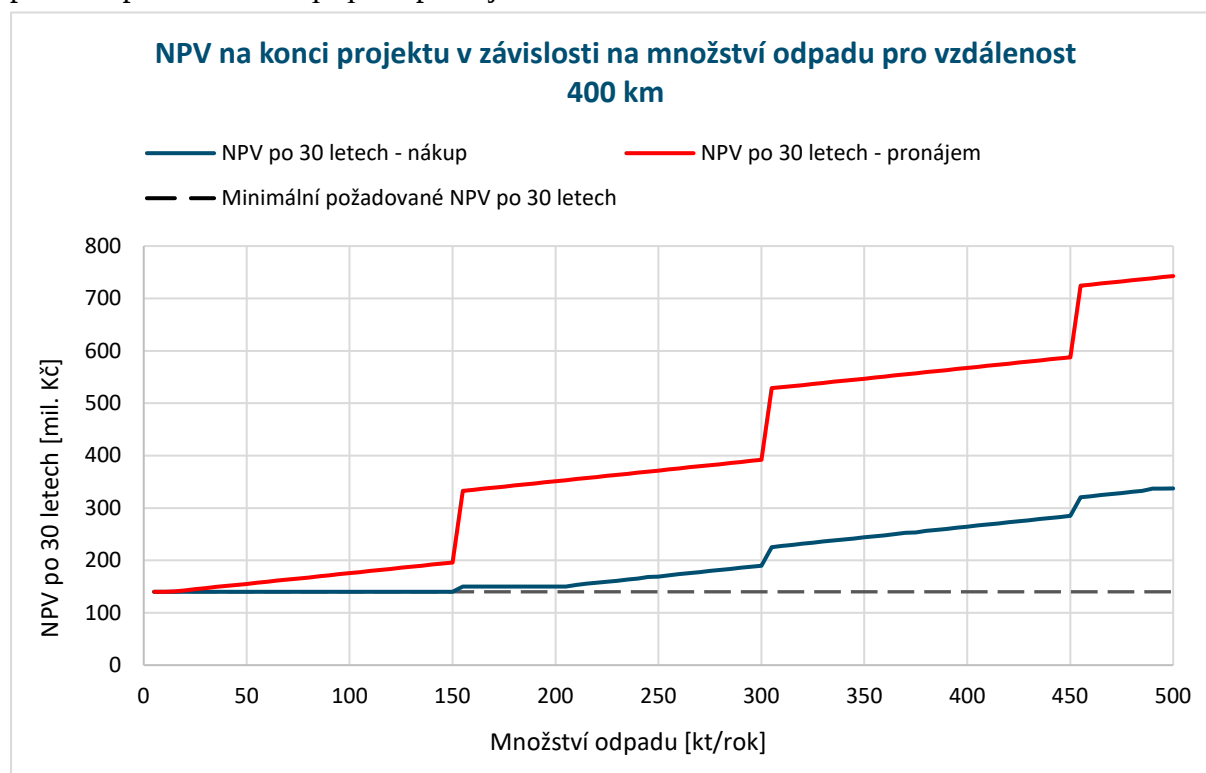
Graf 5 zobrazuje dvě řady, kde první z nich je teoretický počet souprav, který je nutný pro dopravu daného množství odpadu. Druhou řadou je reálný počet souprav o zadaných parametrech (20 vozů, 40 kontejnerů), který je nutný. Tedy jakmile teoretický počet souprav přesáhne hodnotu 1, je nutné přidat další soupravu. Analogicky pak pro hodnoty 2, 3 a dále. Teoretický počet souprav lze také chápat jako využití dané soupravy. Pokud by tedy množství odpadu bylo např. pouze 50 kt/rok, bylo by výhodnější snížit počet vozů pro danou soupravu tak, aby se její využití přiblížilo k hodnotě 1.

Na grafech níže, které ukazují vybrané závislosti, je zobrazeno porovnání hodnot pro nákup a pronájem vlakových souprav.



Graf 6 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km

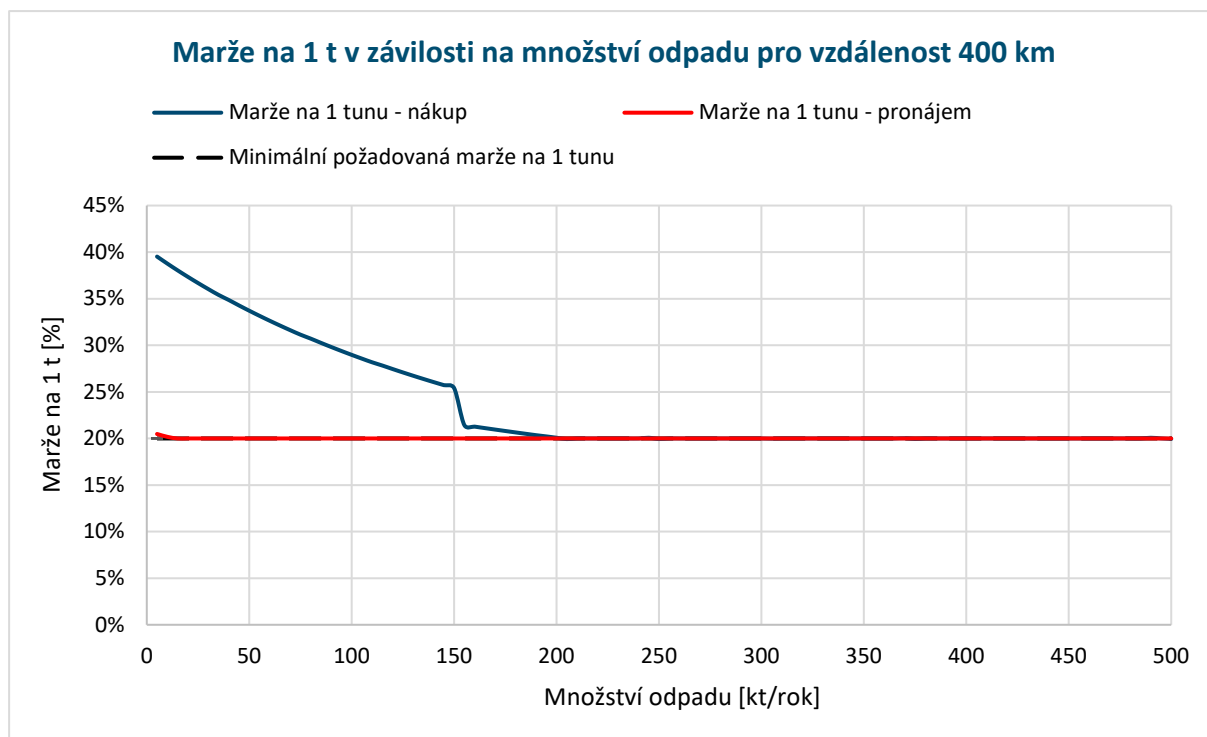
V případě dopravních nákladů na 1 t jak ukazuje graf 6, je vidět, že při malém množství odpadu jsou náklady značně vysoké a díky tomu bude i nabídková cena značně vysoká. Kolem hodnoty 50 kt/rok náklady klesají pod hranici 1 000 Kč/t a nejnižších hodnot dosahují při nejvyšším vyřízení soupravy, tedy 150 kt/rok pro jednu soupravu, respektive 300 kt/rok pro dvě soupravy a 450 kt/rok pro tři soupravy. Ve všech třech případech jsou dopravní náklady na 1 t 371 Kč/t pro nákup a 438 Kč/t v případě pronájmu.



Graf 7 Roční náklady a NPV na konci projektu v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km

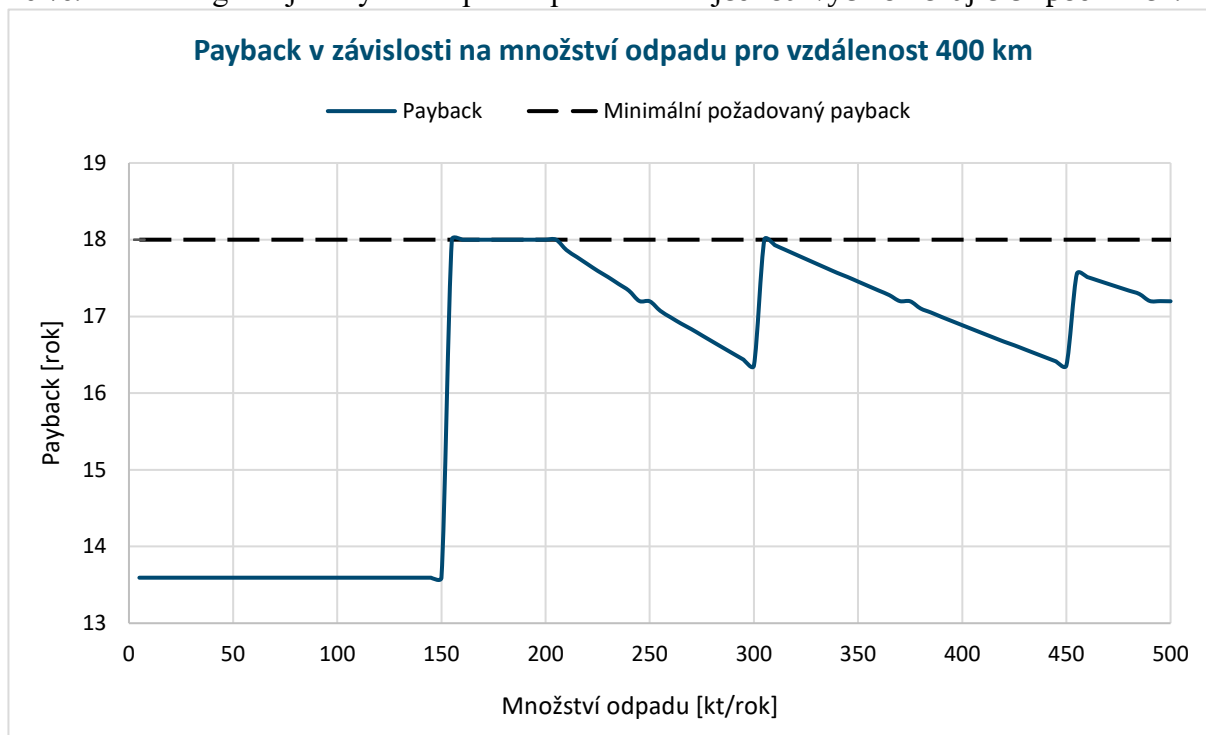
Při pohledu na graf 7, který zobrazuje NPV na konci projektu, je zřejmé, že v případě pronájmu souprav je NPV vyšší než v případě nákupu. V případě pronájmu je NPV do 10 kt/rok ovlivněno minimálním požadovaným NPV, tedy 140 000 000 Kč, poté se konstantně zvyšuje vlivem omezující podmínky minimální marže na 1 t a skokově roste při každém přidání soupravy. Naopak v případě nákupu je NPV stále na hranici minimálního požadovaného NPV až do 150 kt/rok, kdy je nutné pořídit další soupravu. Mezi 155 až 205 kt/rok se NPV nepatrně zvyšuje na hodnotu 150 155 000 Kč, je však konstantní. To je dáno omezující podmínkou paybacku jak je vidět na grafu 9. Od 210 kt/rok se NPV pro nákup zvyšuje a roste vlivem další omezující podmínky, tentokrát marže na 1 t, kterou její průběh ukazuje graf 8.

Minimální požadovaná marže je 20 % a jak je patrné z grafu 8, pro většinu množství odpadu byla marže v případě pronájmu rovna této hodnotě. Vyšší byla pouze do 10 kt/rok a to z důvodu, že v těchto případech převažovala omezující podmínka NPV na konci projektu jak je vidět na grafu 7. V případě nákupu vlakových souprav je marže na 1 t vždy vyšší, než u pronájmu i přesto, že NPV na konci projektu je značně nižší než u pronájmu. S narůstajícím množstvím odpadu marže klesá a od 210 kt/rok se rovná 20 % jakožto minimální požadované marži na 1 t.



Graf 8 Marže na 1 t v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km

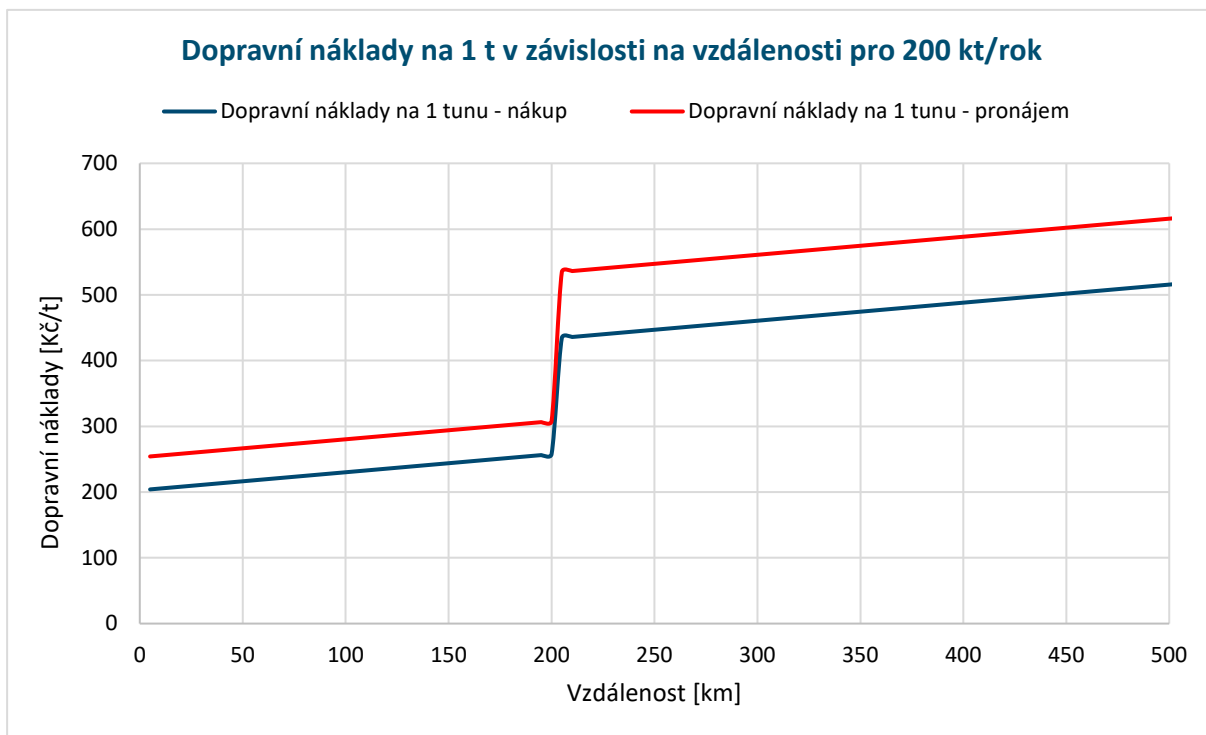
Graf 9 zobrazuje průběh paybacku v případě nákupu. Jak je vidět, při množství odpadu do 150 kt/rok je payback ustálený na hodnotě 13,59 let. Při nákupu druhé soupravy už je ovlivněn omezující podmínkou pro payback. Při 210 kt/rok dochází k ovlivnění omezující podmínkou pro marži na 1 t, jak je vidět na grafu 8. Následně vlivem stejné omezující podmínky payback klesá, projekt se tedy dostane do kladných čísel dříve, než je požadováno. Skoková změna znovu nastane při přidání další soupravy, poté ale opět klesá vlivem zachování marže 20 %. Ze všech grafů je tedy dobře patrná provázanost jednotlivých omezujících podmínek.



Graf 9 Payback v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km

Další výpočtový model lze využít pro vyhodnocení dopravy určitého množství odpadu **v závislosti na vzdálenosti**. Vyhodnocení bylo provedeno pro množství odpadu 200 kt/rok, ostatní vstupní parametry a omezující podmínky byly zvoleny stejné jako v předchozím případě. Zároveň je možné vyhodnocovat stejné závislosti jako v předchozím případě. Pro payback, marži na 1 t a NPV na konci projektu má jejich vyhodnocení stejný smysl průběhu pouze s jinými hodnotami. Proto je níže uveden pouze graf pro dopravní náklady na 1 t, které mají odlišný průběh než v předchozím případě.

Jak bylo uvedeno, graf 10 zobrazuje dopravní náklady na 1 t. Ty mají rostoucí tendenci se zvětšující se vzdáleností. Nárůst je konstantní a je způsoben zvyšujícími se provozními náklady, tedy náklady na trakci a náklady na dopravní cestu. Opět zde dochází ke skokovému nárůstu při přidání další soupravy.



Graf 10 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na vzdálenosti pro 200 kt/rok

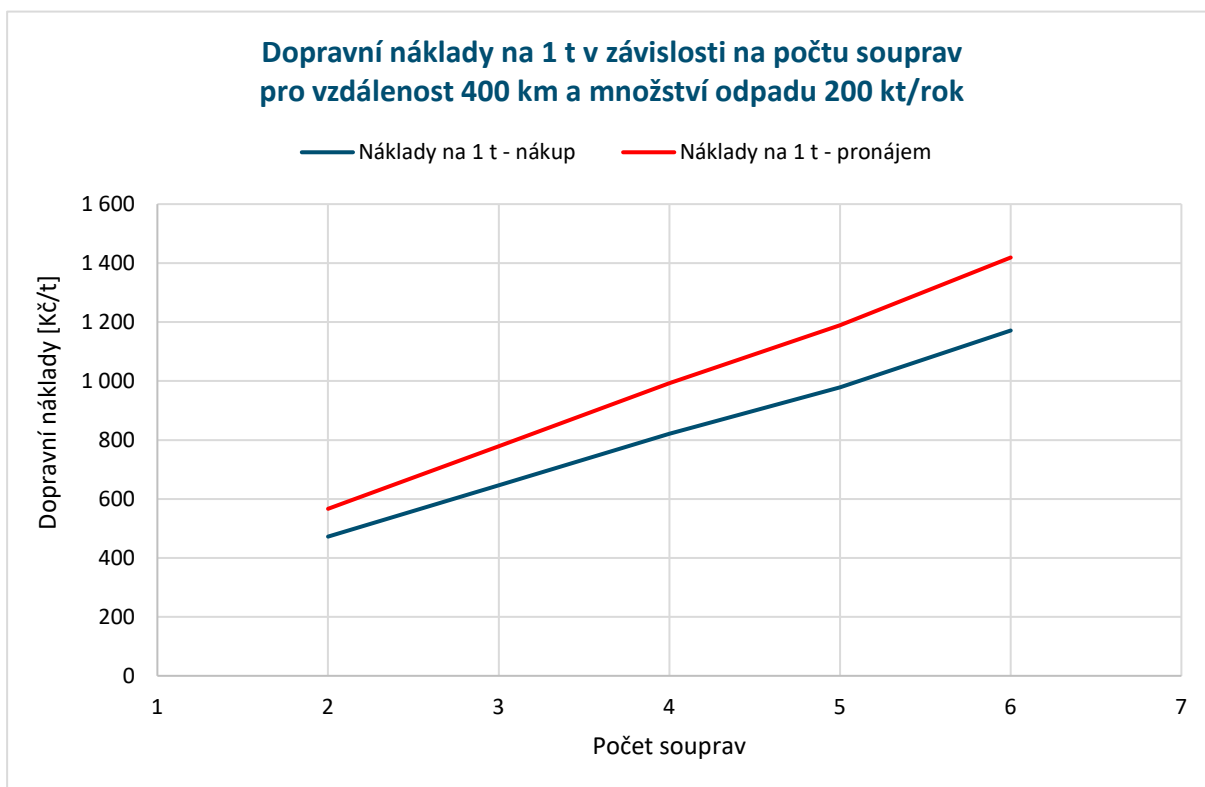
Třetím modelem je model se závislostí na počtu souprav, který lze vhodně využít v případě, kdy je při prvotním plánování potřeba určit, zda je výhodnější využívat jednu soupravu s např. 30 vozy nebo 2 soupravy s např. 20 vozy. U tohoto modelu je zapotřebí zadat oba hlavní parametry, tedy jak **množství odpadu za rok**, tak **vzdálenost**, která může být opět zadána uživatelsky anebo provázána s plánovačem dopravní cesty. Důležitá omezující podmínka tohoto modelu je maximální délka soupravy. V případě, kdy je vzdálenost určena plánovačem dopravní cesty, je maximální délka soupravy brána z databáze tratí. Jedná se o minimální hodnotu vyhledanou pro dopravní cestu na základě „největší povolené délky nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedené v m“, kdy tento údaj vychází z PoD, přílohy B, tabulky A. Pokud je vzdálenost zadána uživatelsky, je nutné maximální délku soupravy zadat. Další omezující podmínkou je délka využívaných vozů. Předpoklad modelu je využití vozů se stejnou délkou. Pro délku lokomotivy je fixně zvolena hodnota 20 m. V případě jiné délky lokomotivy je nutné přepsat hodnotu ve vzorci. Na základě maximální délky soupravy, délky využívaných vozů a délky lokomotivy, dojde k určení maximálního možného počtu vozů v soupravě. V případě, kdy je dopředu známa využívaná lokomotiva, lze zadat také maximální taženou hmotnost. Ta může být odečtena např. z Koreffova zátěžového diagramu, který specifikuje tažné parametry konkrétní lokomotivy pro požadovanou rychlost v určitém sklonu trati. Na základě maximální tažené hmotnosti může být vypočítáno procentuální využití lokomotivy. Model také obsahuje omezující podmínky pro požadovaný payback, požadovanou minimální marži a minimální požadované NPV na konci projektu.

Algoritmus modelu je založen na maximální vytiženosti soupravy (maximalizace parametru „teoretický počet souprav“). Model tedy funguje tak, že pro danou vzdálenost a dané množství odpadu, dojde ke stanovení počtu vozů. Počet vozů je stanoven tak, aby hodnota teoretického počtu souprav byla nejnižším možným způsobem pod uvažovaným počtem souprav. V případě první iterace výpočtu se jedná o jednu soupravu. Tedy např. teoretický počet souprav 0,97196 odpovídá 19 vozům, v případě 20 vozů je ale hodnota teoretického počtu souprav 1,0213. V takovém případě je pro jednu soupravu zvoleno 19 vozů. Následně dojde k ověření podmínky, zda tento počet vozů je nižší než maximální počet vozů v soupravě stanovený na základě omezujících podmínek. Jinak řečeno, jestli souprava s 19 vozy splňuje maximální

možnou délky soupravy. Pokud ano, je postoupeno k druhé iteraci výpočtu, tedy pro 2 soupravy. Pokud však podmínka splněna není, dojde k přidání soupravy a následně je stejným způsobem popsán výše, určen počet vozů, v tomto případě pro 2 soupravy. Znamená to tedy, že jedna souprava nedokáže dopravit požadované množství odpadu za rok, proto musí být využity minimálně 2 soupravy. Pokud by ani 2 soupravy nebyly schopné dané množství kapacitně zvládnout, dojde k přidání další soupravy. Následně je dopočítán počet vozů pro další počet souprav. Výpočet končí, když je počet vozů v soupravě nižší než 5. Tato hodnota je zvolena uživatelsky. Lze říct, že v základním nastavení modelu s počtem vozů menší než 5 není rentabilní provozovat železniční dopravu pro dané množství odpadu na danou vzdálenost. Minimální počet vozů lze změnit přepsáním hodnoty v kódu VBA.

Výstupem z modelu je opět sada grafů pro sledované závislosti, které jsou shodné s předchozími modely. Pro ukázkou je uveden graf dopravních nákladů na 1 t v závislosti na počtu souprav, které jsou zobrazeny na grafu 11, s následujícími vstupními parametry a omezujícími podmínkami:

- množství odpadu – 200 kt/rok,
- vzdálenost – 400 km (zadána uživatelsky),
- délka využívaných vozů – 25 m,
- maximální délka soupravy – 400 m (zadána uživatelsky),
- požadovaný payback – 18 let,
- požadovaná minimální marže – 20 %,
- požadované minimální NPV na konci projektu – 140 000 000 Kč.



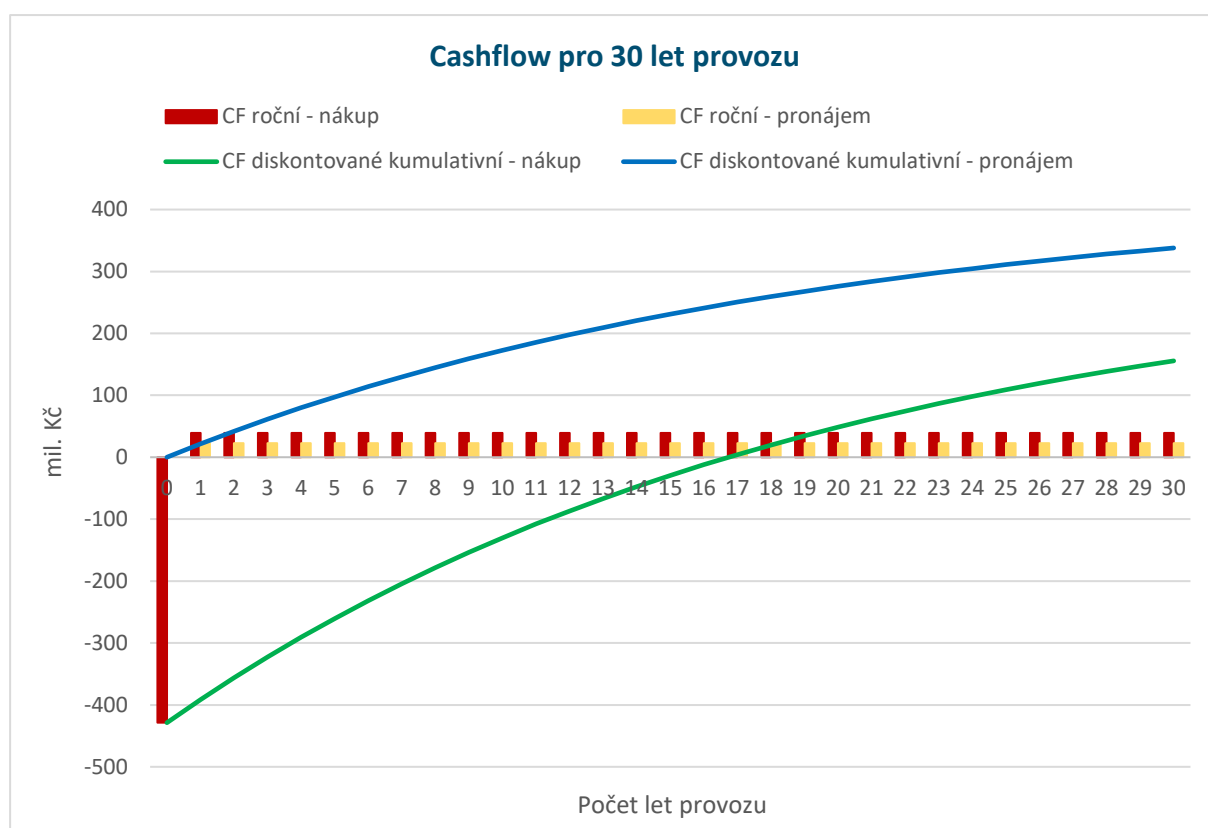
Graf 11 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na počtu souprav pro vzdálenost 400 km a množství odpadu 200 kt/rok

Jak je z grafu vidět, nejnižší počet souprav jsou 2 soupravy, nejvyšší naopak 6. Náklady jsou rostoucí jak pro pronájem tak nákup, v případě nákupu jsou však nižší. V případě 2 souprav je v každé soupravě 12 vozů, v případě 6ti souprav čítá každá 5 vozů.

Výstup z tohoto modelu lze dobře provázat se čtvrtým výpočtovým modelem, což je obecný výpočtový model. Stejně jako předchozí model, jedná se o model se zadáním dvou hlavních parametrů, tedy **množství odpadu za rok** a **vzdálenosti**, která může být opět zadána uživatelsky či brána z plánovače. Předchozí modely byly především pro sledování určitých závislostí. Obecný model však počítá s tím, že jsou zadány jak hlavní parametry zmíněné výše, tak počet souprav nebo vozů a dalších proměnlivých parametrů. Je tedy vhodný pro sledování ekonomických parametrů, především v rámci cashflow a následného posouzení, zda je výhodnější nákup souprav či jejich pronájem.

Graf 12 ukazuje průběh cashflow s daty z předchozího výpočtového modelu. Jedná se o průběh cashflow pro 2 soupravy s 12 vozy. Omezující podmínky jsou následující:

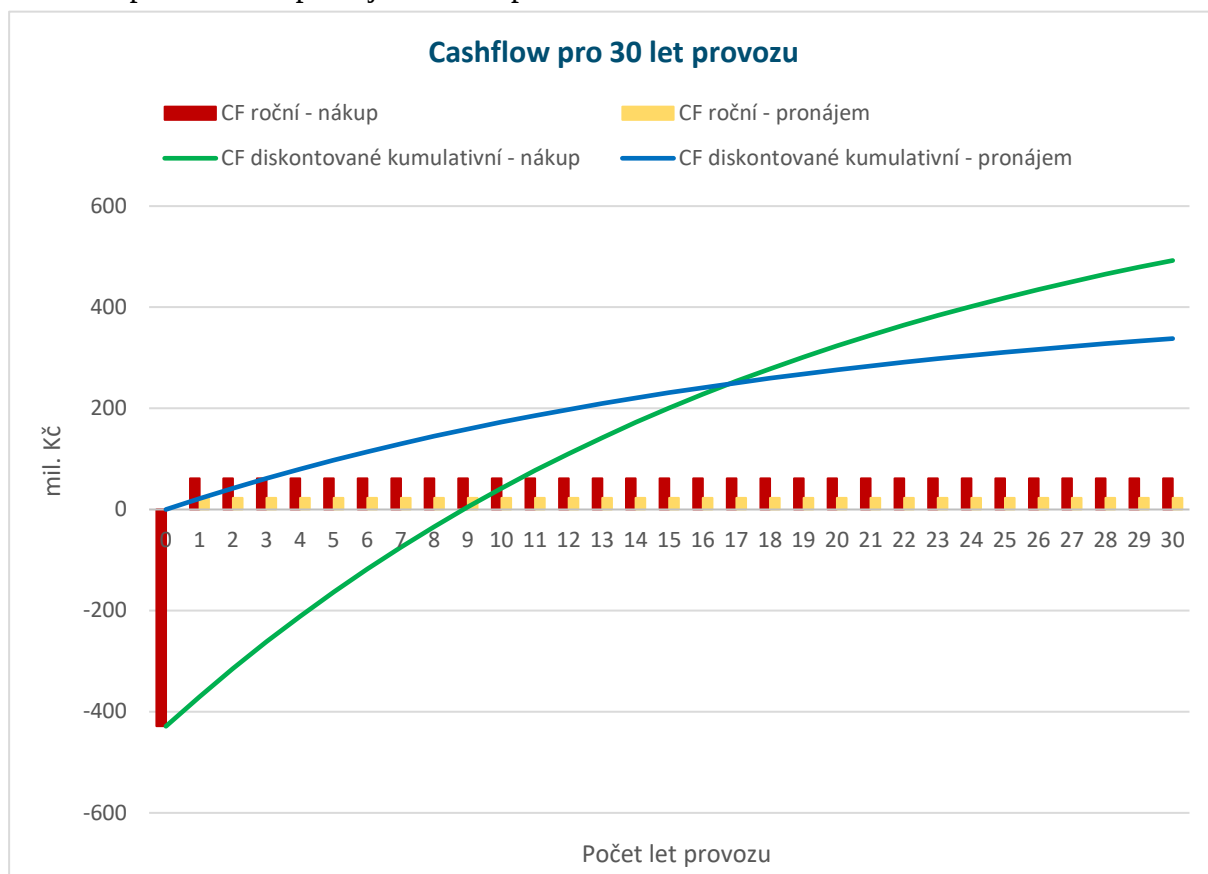
- požadovaný payback – 18 let,
- požadovaná minimální marže – 20 %,
- požadované minimální NPV na konci projektu – 140 000 000 Kč.



Graf 12 Cashflow pro 30 let provozu – případ 1

Jak je vidět, pronájem je i přes nižší roční cashflow výrazně výhodnější než nákup souprav. V případě nákupu by vlivem omezující podmínky minimální marže došlo k paybacku již v 17. roce. NPV na konci projektu je pro nákup 155 591 037 Kč, pro pronájem 337 980 643 Kč. V obou případech je marže na 1 t 20 %. Nabídková cena za 1 t je 567 Kč pro nákup, pro pronájem činí 680 Kč. Důležitým rozhodujícím faktorem je, za jakou cenu je dopravce schopný svoje služby prodat na trhu. Pokud by byl schopný provozovat dopravu s nabídkovou cenou zhruba 680 Kč/t, lze ověřit zda-li v případě, že by nabídková cena v případě nákupu byla na stejné úrovni, vycházel pronájem stále výhodněji. Graf 13 ukazuje průběh cashflow, pokud bude nabídková cena zhruba 680 Kč/t pro nákup i pronájem.

Jak je vidět, v případě nákupu bude payback místo v 17. roce už v 9. roce. Marže u pronájmu zůstává stejná, tedy 20 %. U nákupu se zvedne z 20 % na 44 %. Bod zlomu, tedy kdy nákup bude výhodnější než pronájem, nastává před 17. rokem. Z dlouhodobého hlediska je tedy výhodnější nákup souprav. Při změně omezujících podmínek, tedy požadovaných ekonomických parametrů, se bude průběh cashflow měnit. Obecně lze ale říct, že v případě dlouhodobého projektu je nákup souprav výhodnější než jejich pronájem. Samozřejmě to ale závisí na podmínkách pronájmu a nákupních cenách.



Graf 13 Cashflow pro 30 let provozu – případ 2

7 PŘEPRAVNÍ MODEL PRO SPÁDOVOU OBLAST

V rámci předmětné práce byl vytvořen přepravní model pro spádovou oblast, který staví na plánovači dopravní cesty a je součástí technicko-ekonomického modelu železnice. Model umožňuje pracovat s až 5ti druhy odpadů se zohledněním až 8 různých lokalit, ze kterých se bude odpad svážet do jednoho svozového centra. Výstupem modelu je roční svozový plán a ekonomické vyhodnocení.

7.1 Vstupní parametry

Jak už bylo zmíněno, model pracuje až s 8 různými lokalitami, které podléhají jednomu svozovému centru. Pro správnou funkčnost modelu, musejí být názvy lokalit shodné s názvy stanic uvedenými v databázi tratí, aby byla zajištěna vzájemná funkcionalita technicko-ekonomického modelu a plánovače.

Dalším krokem je uvedení druhů odpadu. Lze zadat až 5 různých druhů odpadů, pro které musí být specifikována jejich sypaná hmotnost. Pro daný druh odpadu a danou lokalitu je nutné zadat jeho konkrétní množství. Důležitým předpokladem pro správnou funkcionalitu modelu je seřazení lokalit od lokality s nejvyšším celkovým množstvím odpadu po lokalitu s nejnižším množstvím. Aby bylo možné zohlednit různou produkci odpadu během roku, je množství odpadu zadáváno po měsících. Model lze modifikovat a nastavit i kratší interval např. i na týdenní, resp. denní bázi pro simulaci vybraných scénářů. V tomto ohledu lze reflektovat např. zvýšené množství směsného komunálního odpadu během jarních úklidů či jeho pokles v letních měsících zadáním příslušného navýšení/snížení v daném měsíci.

Mezi další vstupní parametry se řadí stanovení počtu pracovních dní a týdnů v roce, určení podílu vlastních a cizích zdrojů a jejich zvažované úrokové míry respektive roční úrokové sazby a také stanovení počtu kontejnerů na voze. Důležitým vstupním parametrem je objem odpadu v kontejneru, který vychází ze zadané sypané hmotnosti.

Poslední kategorií vstupních parametrů je zadání omezujících podmínek pro ekonomické zhodnocení. Jedná se o požadovaný payback, požadovanou minimální marži na 1 t a požadované minimální NPV na konci projektu.

Představení funkcionality modelu je provedeno pro Jihomoravský kraj se svozovým centrem v Brně Maloměřicích. Je přidruženo také město Olomouc a jeho svozová oblast, jakožto oblast, se kterou má město Brno navázanou dlouhodobou spolupráci v rámci svozu odpadu. V rámci ukázky bylo pracováno pouze se směsným komunálním odpadem se sypanou hmotností 250 kg/m³. Svozové lokality a množství odpadu v nich uvádí tab. 17. Množství odpadu je určeno na základě databáze VISOH²¹, konkrétně kategorie 4.22 Celková produkce směsného komunálního odpadu.

Tab. 17 Svozové lokality a množství odpadu - Jihomoravský kraj

Svozová lokalita	Množství odpadu [kt/rok]
Olomouc hlavní nádraží	43,7
Znojmo	20,8
Břeclav	15,6
Blansko	12
Vyškov na Moravě	11,9
Kyjov	10,6
Tišnov	7,85
Moravský Krumlov	4,80

²¹ VISOH – Veřejný informační systém odpadového hospodářství ČR. Dostupné na <https://isoh.mzp.cz/visoh>

Omezující podmínky ekonomických parametrů v rámci svozů byly upraveny oproti těm, používaným při představování modelů v kapitole 6.2. Nebyl zadán minimální požadovaný payback, ale byla určena minimální požadovaná marže jak pro nákup, tak pro pronájem, které přibližně reflektují marže v praxi:

- požadovaná minimální marže pro nákup – 200 %,
- požadovaná minimální marže pro pronájem – 100 %,
- požadované minimální NPV na konci projektu – 100 000 000 Kč.

7.2 Sestavení svozového plánu

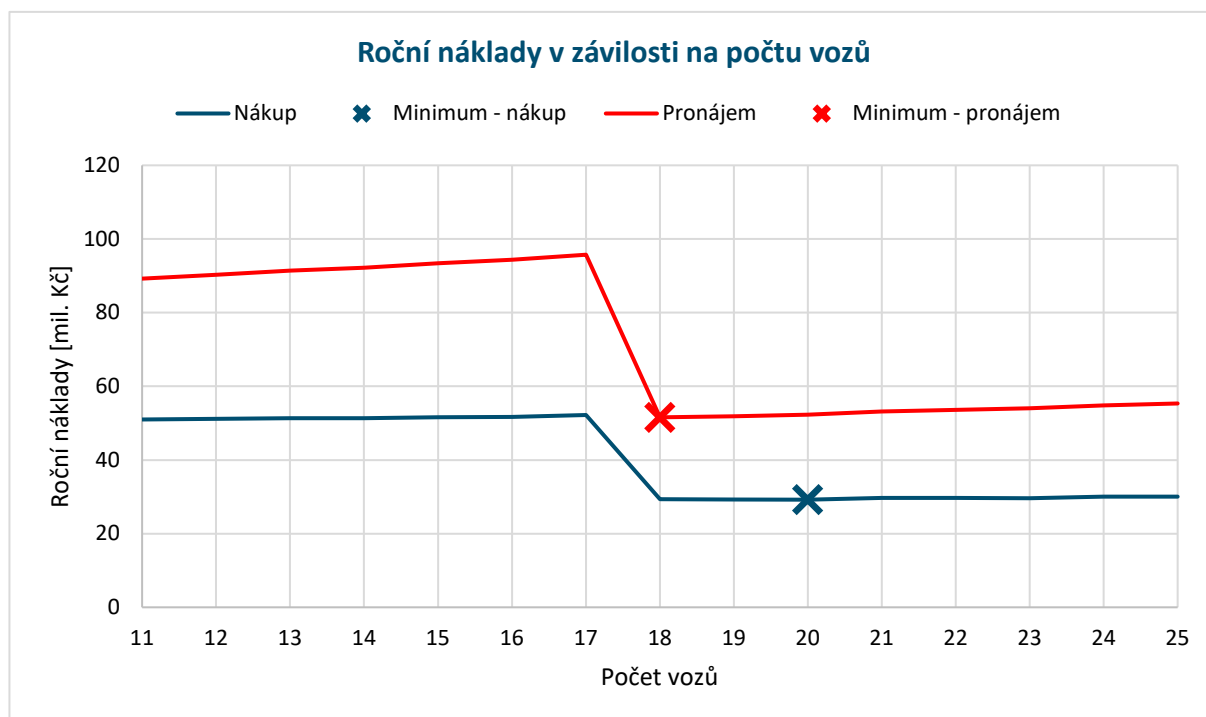
První krokem v sestavení svozového plánu je stanovení vzdáleností ze svozového centra do jednotlivých lokalit. To je provedeno díky propojení s plánovačem dopravní cesty. Pro každou dopravní cestu mezi svozovým centrem a danou lokalitou je také stanoven čas pro ujetí dopravní cesty a celkový čas. Tyto údaje jsou brány z technicko-ekonomického modelu pro železnici, do kterého jsou zároveň načtena jednotlivá množství odpadu pro konkrétní lokality. Celkový čas zahrnuje jízdu prázdné soupravy ze svozového centra do dané lokality, nakládku kontejnerů, veškeré přípravy pro kontrolu soupravy před vyjetím, jízdu zpět do svozového centra a vykládku kontejnerů.

Celkový čas, od kterého jsou odečteny časy pro ujetí dopravní cesty (cesta tam a zpět), je vyšší než 12 hodin. Je uvažováno, že soupravy budou do daných lokalit přijíždět ve stejný čas po celý rok. Díky tomu budou dopravní cesty využívány ve stejný čas během celého roku, což vede ke snazší objednávce dopravních cest respektive tvorbě jízdního řádu vlivem např. nižší obsazenosti tratí v určitých hodinách mimo špičku nebo nočních hodinách. Vede to také ke snazšímu plánování směn např. v překladištích v daných svozových lokalitách. Z toho vychází důležitý předpoklad, že během jednoho dne může jedna souprava obsloužit pouze jednu lokalitu.

Model pro sestavení svozového plánu v předmětné práci je limitován pouze pro jednu soupravu. V případě nutnosti využít dvě a více souprav je zapotřebí manuálně určit obsluhované lokality pro každou soupravu a provést sestavení svozového plánu pro jednotlivé soupravy.

Provozní náklady jsou jediná část nákladů, která se liší v závislosti na vzdálenosti a dopravovaném množství odpadu. Ostatní složky nákladů jsou shodné pro všechny lokality bez vlivu vzdálenosti nebo množství odpadu (při zachování stejného počtu souprav). Pro každou svozovou lokalitu jsou tak určeny provozní náklady, tedy náklady na dopravní cestu a náklady na trakci, a následně pro další část výpočtu jsou sečteny a společně s celkovou vzdáleností a celkovým množstvím odpadu nahrány do technicko-ekonomického modelu jako fixní hodnota.

V rámci modelu dochází také k určení optimálního počtu vozů v soupravě jak pro nákup, tak pro pronájem. To je určeno na základě minimalizace ročních nákladů, je tedy určen takový počet vozů, u kterého jsou roční náklady nejnižší. Na grafu 14 je zobrazen průběh ročních nákladů v závislosti na počtu vozů pro nákup/pronájem s vyznačenými minimálními hodnotami. Hodnocený rozsah počtu vozů v soupravě lze uživatelsky měnit, v uvedeném případě byl analyzovaný rozsah od 11 do 25 vozů v soupravě.



Graf 14 Průběh ročních nákladů v závislosti na počtu vozů – Jihomoravský kraj

Z grafu lze pozorovat výrazné skokové snížení nákladů z důvodu snížení potřebných souprav. Tedy v případě 11 až 17 vozů v soupravě jsou zapotřebí dvě soupravy, aby bylo možné odvézt veškerý odpad, nad 18 vozů v soupravě již stačí pouze jedna souprava.

Po vyhodnocení ideálního počtu vozů je dalším krokem sestavení svozového plánu. Ten lze provést jak pro optimální počet vozů pro nákup či pronájem, tak pro uživatelsky zadaný počet vozů. Uživatelsky zadaný počet vozů může být buď shodný pro všechny lokality, nebo ho lze zadat pro každou lokalitu zvlášť. Pokud je počet vozů zadáván pro každou lokalitu zvlášť, je možné také určit počet vozů pro konkrétní měsíce. Tedy např. v jarních měsících, kdy je zvýšená produkce směsného komunálního odpadu může být nasazeno více vozů, naopak v letních měsících může souprava jezdit s méně vozy pro zachování svozu např. 1x týdně.

Na základě stanovení počtu vozů dojde k určení počtu kontejnerů naplněných za den a k určení času, za který se naplní počet kontejnerů odpovídající kapacitě soupravy, což je výchozí údaj pro sestavení svozového plánu. Shrnutí údajů ukazuje tab. 18.

Tab. 18 Shrnutí údajů pro sestavení svozového plánu – Jihomoravský kraj

Svozová lokalita	Množství odpadu [kt/rok]	Počet kontejnerů za den	Počet vozů v soupravě	Počet dní k naplnění soupravy
Olomouc hlavní nádraží	43,7	13,437	20	4,47
Znojmo	20,8	6,394	15	7,04
Břeclav	15,6	4,800	14	8,75
Blansko	12	3,680	14	11,41
Vyškov na Moravě	11,9	3,653	15	12,32
Kyjov	10,6	3,269	15	13,77
Tišnov	7,8	2,401	12	14,99
Moravský Krumlov	4,8	1,487	8	16,14

Svozový plán je sestaven ve dvou krocích. Prvním z nich je prosté určení, ve kterých dnech by optimálně měla souprava odpad svážet. Jak je vidět na obr. 27, který zobrazuje část prvotního sestavení svozového plánu, dochází v některých dnech k překryvu svozů. Tedy, že souprava by musela během jednoho dne obsloužit více lokalit, což jak už bylo zmíněno výše, není možné. Z tohoto důvodu je zapotřebí sestavit optimalizovaný svozový plán.

Počet svozů	81	51	41	31	29	26	24	22
Den	Olomouc hlavní nádraží	Znojmo	Břeclav	Blansko	Vyškov na Moravě	Kyjov	Tišnov	Moravský Krumlov
1								
2								
3								
4								
5	Olomouc hlavní nádraží							
6								
7								
8		Znojmo						
9	Olomouc hlavní nádraží		Břeclav					
10								
11								
12				Blansko				
13					Vyškov na Moravě			
14	Olomouc hlavní nádraží					Kyjov		
15		Znojmo					Tišnov	
16								
17								Moravský Krumlov
18	Olomouc hlavní nádraží		Břeclav					
19								
20								
21								
22		Znojmo						
23	Olomouc hlavní nádraží			Blansko				

Obr. 27 Prvotní sestavení svozového plánu – Jihomoravský kraj

Optimalizovaný svozový plán je sestaven s uvažováním několika předpokladů. První z nich, opět již zmíněný, je předpoklad, že seřazení lokalit je od lokality s největším celkovým množstvím odpadu po lokalitu s nejmenším celkovým množstvím. Z toho plyne, že v rámci sestavování optimalizovaného svozového plánu je první lokalita vždy ponechána v optimálním svozovém dni, a pokud v daný den dochází k překryvu, je lokalita v dalších sloupcích tabulky posunuta na následující den. Je to z toho důvodu, že v první lokalitě dochází k dřívějšímu naplnění soupravy. Pro další sloupce tabulky (jednotlivé lokality) platí, že sloupce, které jsou nalevo od analyzovaného sloupce, mají vyšší prioritu, naopak sloupce napravo mají nižší prioritu. Díky tomuto systému se minimalizuje hromadění odpadu v lokalitě, i přesto, že k tomu nadále může docházet.

V rámci optimalizovaného svozového plánu, viz obr. 28, jsou vidět jednotlivé svozy pro dané lokality v konkrétních dnech a zároveň vedle každé lokality jsou k dispozici datové pruhy, které zobrazují předpokládané aktuální množství odpadu v lokalitě přepočtené na kontejnery. Pokud je datový pruh červeně podbarven, znamená to, že množství odpadu v lokalitě je vyšší, než kapacita soupravy, která danou lokalitu obsluhuje. Poslední sloupec ukazuje obsazenost jednotlivých dní. Pokud v daném dni není naplánován žádný svoz, lze manuálně připsat svoz do jakékoliv lokality, čímž dojde k přepočítání předpokládaného aktuálního množství odpadu v dané lokalitě. Tímto způsobem lze provést další optimalizaci svozového plánu.

Počet svazů	81	51	41	31	29	26	24	22	60
Den	Olomoucká hlavní nádraží	Znojmo	Brno	Blansko	Vyškov na Moravě	Kyjov	Tábor	Moravský Krumlov	Obsazenost
1	1.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
2	2.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
3	3.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
4	4.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
5	5.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
6	6.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
7	7.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
8	8.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
9	9.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
10	10.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
11	11.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
12	12.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
13	13.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
14	14.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
15	15.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
16	16.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
17	17.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
18	18.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
19	19.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
20	20.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
21	21.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
22	22.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
23	23.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
24	24.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
25	25.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
26	26.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
27	27.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
28	28.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
29	29.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
30	30.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
31	31.1.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
32	1.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
33	2.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
34	3.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
35	4.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
36	5.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
37	6.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
38	7.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
39	8.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
40	9.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
41	10.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
42	11.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
43	12.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
44	13.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
45	14.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
46	15.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
47	16.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
48	17.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
49	18.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
50	19.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
51	20.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
52	21.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
53	22.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
54	23.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
55	24.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
56	25.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
57	26.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
58	27.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49
59	28.2.2021	13,44	6,39	4,80	3,68	3,63	3,27	2,40	1,49

Obr. 28 Optimalizovaný svozový plán – Jihomoravský kraj

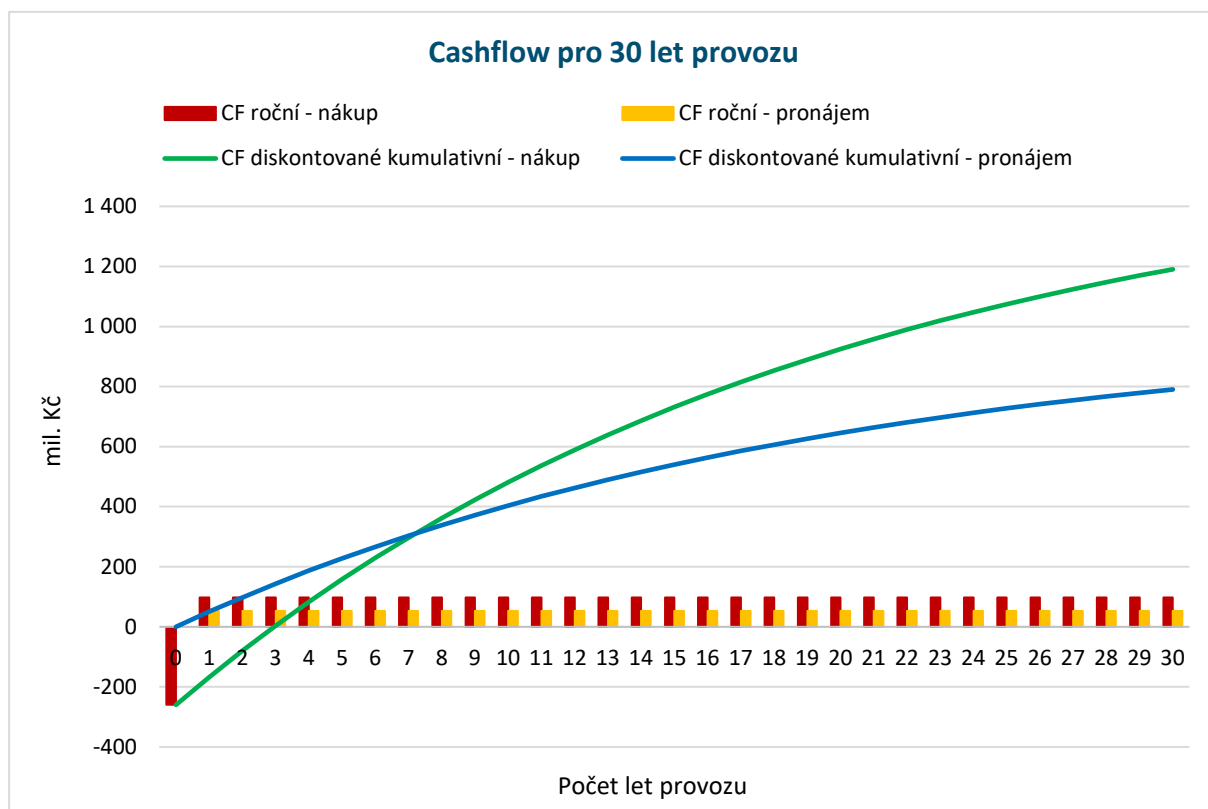
7.3 Ekonomické zhodnocení

Poté, co je sestaven optimalizovaný svozový plán, případně jsou provedeny jeho korekce, lze stanovit cashflow. To je provedeno pomocí obecného výpočtového modelu v rámci technicko-ekonomického modelu pro železnici, jak bylo ukázáno v kapitole 6.2.

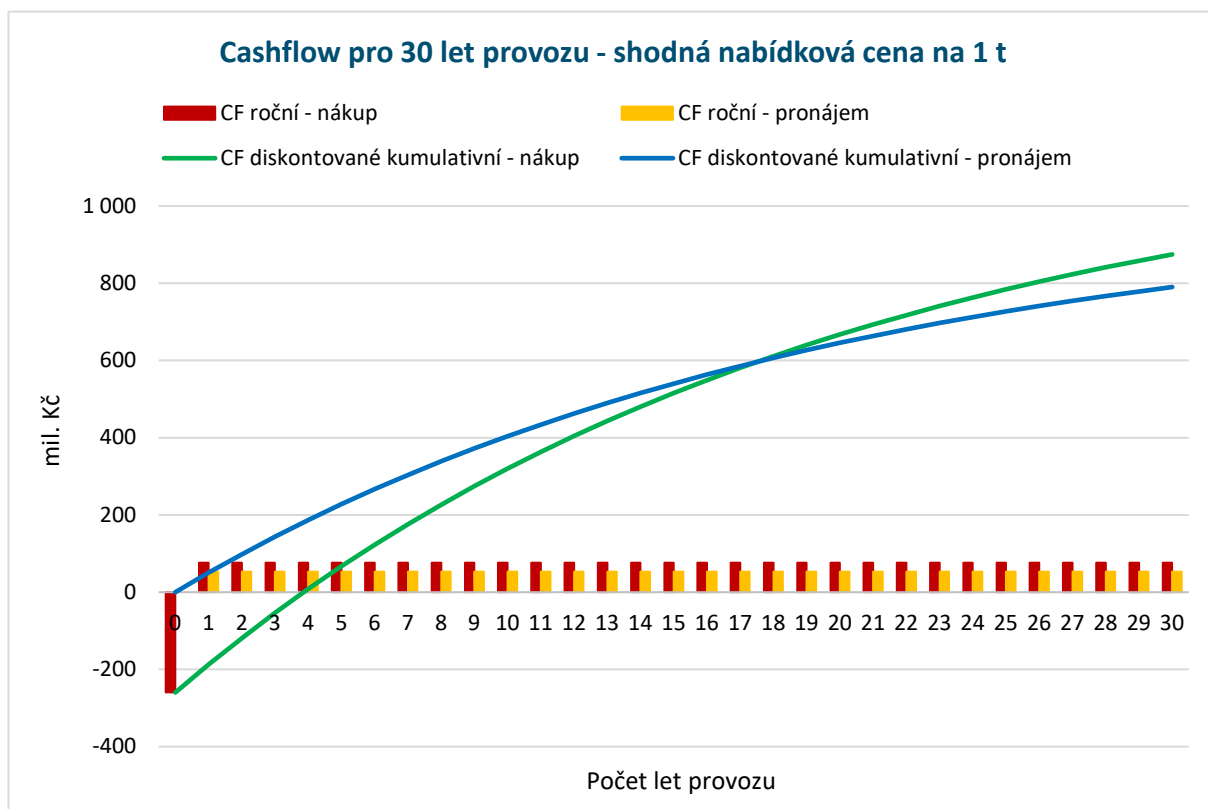
Na základě výše stanovených předpokladů, pro nákup byla uvažovaná minimální požadovaná marže 200 %, pro pronájem 100 %.

Graf 15 zobrazuje průběh cashflow, kde je vidět, že při požadovaných maržích dojde v případě nákupu k paybacku již zhruba za 3 roky a k bodu zlomu dojde zhruba za 7 a půl roku. Ze střednědobého i dlouhodobého hlediska tak vychází nákup souprav výrazně výhodněji než jejich pronájem. Při takovémto nastavení marží se však liší nabídkové ceny za 1 t pro nákup respektive pronájem souprav. V případě nákupu je nabídková cena 998 Kč/t, pro pronájem činí 832 Kč/t. NPV na konci projektu je 1 189 992 262 Kč pro nákup, pro pronájem odpovídá 790 109 506 Kč. Za předpokladu, že dopravce by na trhu neuspěl s nabídkovou cenou skoro 1 000 Kč/t, ale s cenou okolo 830 Kč/t naopak ano, je zapotřebí snížit marži v případě nákupu souprav.

Graf 16 zobrazuje průběh cashflow pokud v případě nákupu je požadována stejná nabídková cena za 1 t jako v případě pronájmu. Nabídková cena je 832,27 Kč/t pro pronájem, v případě nákupu je 832,35 Kč/t. Drobný rozdíl je zanedbatelný, při množství odpadu 127 kt/rok činí zhruba 10 000 Kč/rok, a je způsobený limitacemi modelu – nelze zadat požadovanou nabídkovou cenu a dopočítat ostatní parametry. NPV na konci projektu činí 874 767 331 Kč pro nákup, respektive 790 291 012 Kč pro pronájem. Je tedy vidět, že i v tomto případě je nákup souprav dlouhodobě výhodnější, ne však tak markantním rozdílem jako v předchozím případě. Nyní bod zlomu nastane až na konci 18. roku. Marže se snížila o 50 % na 150,07 % pro nákup, pro pronájem zůstala stejná a to 100 %.



Graf 15 Cashflow pro 30 let provozu – Jihomoravský kraj – případ 1



Graf 16 Cashflow pro 30 let provozu – Jihomoravský kraj – případ 2

Tab. 19 a tab. 20 ukazují souhrn výstupních parametrů z přepravního modelu pro nákup respektive pronájem souprav.

Tab. 19 Souhrn ekonomických parametrů pro nákup – Jihomoravský kraj

Prvek	Hodnota	Jednotka
Investiční náklady	259 781 004	Kč
Teoretická vytiženost souprav za rok	0,5399168	-
Počet nutných souprav	1	-
Počet vozů	20	-
Počet cyklů za rok (celkem pro všechny lokality)	305	-
Náklady na údržbu	5 600 000	Kč/rok
Mzdové náklady	17 840 000	Kč/rok
Provozní náklady	6 477 372	Kč/rok
Roční odpis	12 466 667	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace)	29 917 372	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace) + odpis	42 384 039	Kč/rok
Roční náklady - přepočet na 1 t	332,84	Kč/t
Roční náklady - přepočet na Kč/tkm	0,66	Kč/tkm
Payback	3,87	-
Marže na 1 t	150,07	%
Nabídková cena na 1 t	832,35	Kč/t
NPV po 30 letech	874 767 331	Kč

Tab. 20 Souhrn ekonomických parametrů pro pronájem – Jihomoravský kraj

Prvek	Hodnota	Jednotka
Servis v ceně pronájmu	Ano	-
Teoretická vytiženost souprav za rok	0,5399168	-
Počet nutných souprav	1	-
Počet vozů	20	-
Počet cyklů za rok (celkem pro všechny lokality)	305	-
Náklady na pronájem	28 673 333	Kč/rok
Náklady na údržbu	0	Kč/rok
Mzdové náklady	17 840 000	Kč/rok
Provozní náklady	6 465 202	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace)	52 978 535	Kč/rok
Roční náklady - přepočet na 1 t	416,04	Kč/t
Roční náklady - přepočet na Kč/tkm	0,82	Kč/tkm
Marže na 1 t	100,00	%
Nabídková cena na 1 t	832,27	Kč/t
NPV po 30 letech	790 109 506	Kč

8 PŘEPRAVNÍ MODEL – KOLÍN

Na základě reálných požadavků byl zpracován svozový plán dřevní štěpky ze čtyř lokalit do svozového centra v Kolíně za využití přepravního modelu představeného v kapitole 7.

8.1 Požadavky

Svozové lokality pro dopravu dřevní štěpky jsou:

- Havlíčkův Brod
- Náchod
- Humpolec
- Chotěboř

Základní frekvence svozu je 1x týdně pro všechny lokality, během topných dnů je frekvence svozu 2x týdně, naopak během letních dnů postačuje pouze 1x za 14 dní. Synná hmotnost dřevní štěpky je 300 kg/m³.

K dopravě bude využito kontejnerů InnoFreight WoodTainer XL s ložným objemem 38 m³ a délkou 6 096 mm [10] (shodná délka jako WoodTainer XXL s ložným objemem 46 m³), které budou dopravovány na plošinových vozech typu Sgnss s ložnou délkou 18 400 mm a délkou přes nárazníky 19 640 mm [44]. To odpovídá možnosti umístit 3 kontejnery na vůz.



Obr. 29 Plošinový vůz typu Sgnss s třemi kontejnery InnoFreight WoodTainer XXL [47]

Pro Havlíčkův Brod a Náchod bude využívána souprava s 21 vozy, pro Humpolec a Chotěboř souprava se 14 vozy. Z důvodu omezení délky stávající vlečky a s ohledem na plánovanou manipulaci, bude při vykládce souprava rozdělena na tři části v případě soupravy s 21 vozy respektive dvě části u soupravy se 14 vozy. Jedna část tak bude mít vždy 7 vozů.

Pro manipulaci s kontejnery bude využito speciální manipulační techniky. Konkrétně se jedná o vysokozdvizný vozík s nízkým těžištěm umožňující podélné otočení kontejneru a jeho následné vysypání. Prázdné kontejnery budou usazeny zpět na plošinový vůz. Čas pro manipulaci jednoho kontejneru je v rozmezí 3-5 minut.

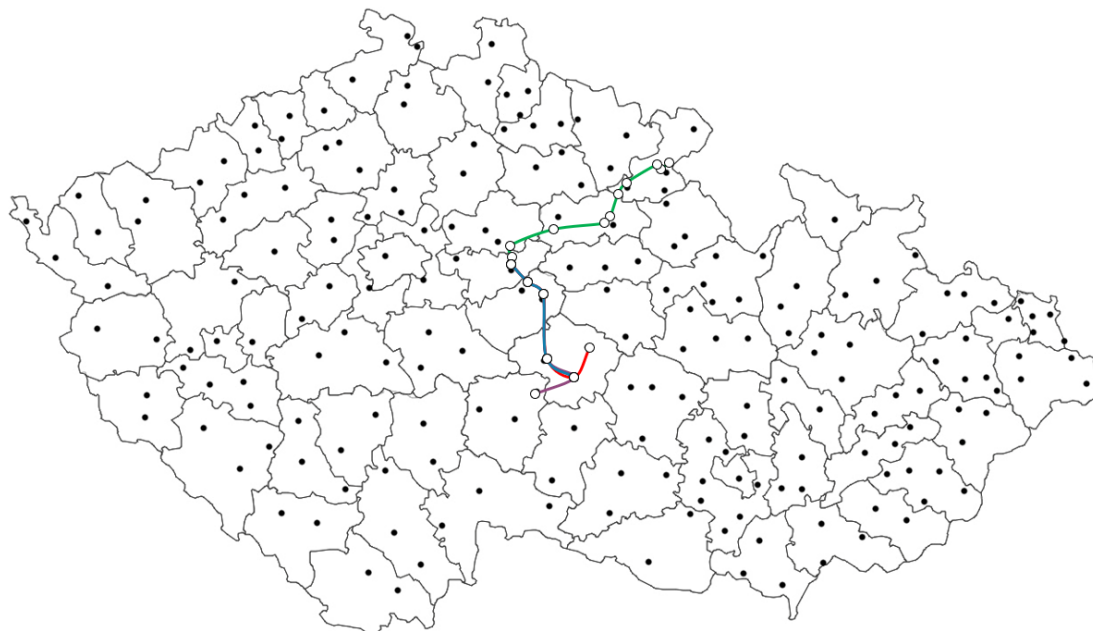
Bylo provedeno ověření maximálního počtu vozů na konkrétních dopravních cestách, které uvádí tab. 21. Jako délka vozu je brána délka přes nárazníky, délka lokomotivy je uvažována 20 m.

Tab. 21 Maximální počet vozů na jednotlivých dopravních cestách

Dopravní cesta	Největší povolená délka [m]	Maximální počet vozů
Kolín – Havlíčkův Brod	626	30
Kolín – Náchod	497	24
Kolín – Humpolec	163	7
Kolín – Chotěboř	403	19

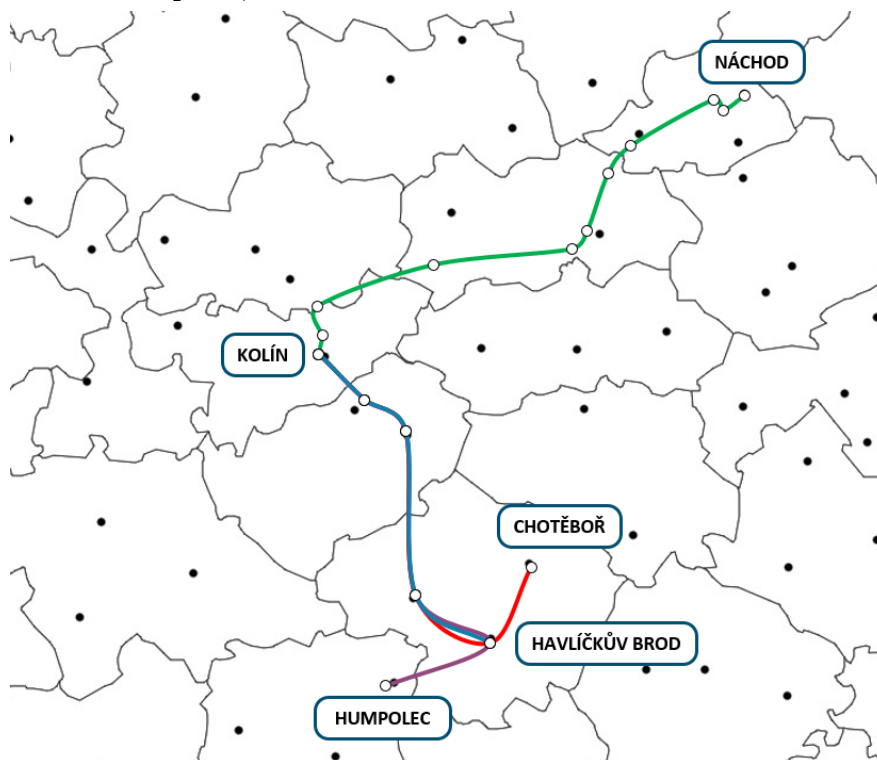
Pozn. Největší povolená délka [m] odpovídá největší povolené délce nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) [m] branou z databáze železničních tratí.

Z údajů v tab. 21 vyplývá, že v případě dopravy z Havlíčkova Brodu a Náchodu, není souprava s 21 vozy problém. To stejné pro Chotěboř a soupravu se 14 vozy. V případě Humpolce je ale souprava se 14 vozy nadlimitní. V úseku Humpolec – Havlíčkův Brod, tedy na trati 684 00, je největší povolená délka nákladního vlaku pouze 163 m, což odpovídá soupravě pouze se 7 vozy. V rámci svozového plánu řešeného v předmětné práci bude ale vycházeno z prvotních požadavků, tedy, že Humpolec bude obsluhován soupravou se 14 vozy.



Obr. 30 Zobrazení dopravních cest v kontextu České republiky

Na obr. 30 je vidět zobrazení dopravních cest v kontextu celé České republiky. Obr. 31 ukazuje detailnější pohled na dopravní cesty (oba obrázky jsou výstupem plánovače dopravní cesty vytvořeného v rámci této práce).



Obr. 31 Detailnější zobrazení dopravních cest

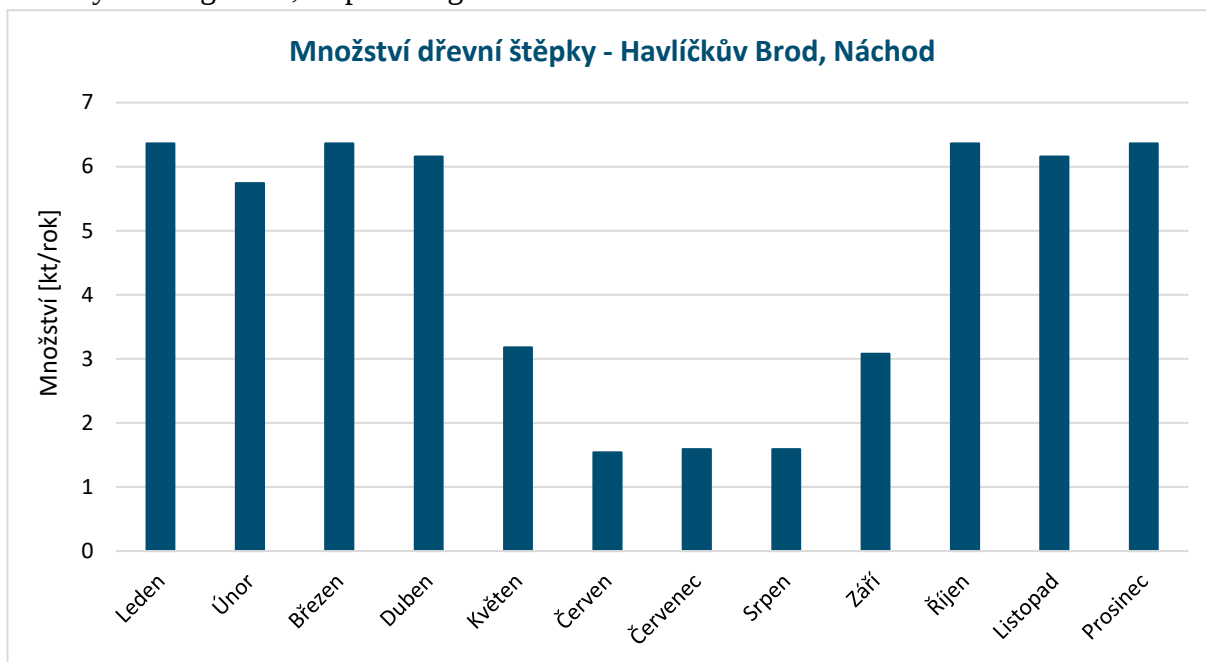
Jak je vidět, tak pro Humpolec i Chotěboř vedou dopravní cesty přes Havlíčkův Brod. Šlo by tak uvažovat různé scénáře, kdy např. Havlíčkův Brod by mohl sloužit jako vlaková stanice a následně na trase Havlíčkův Brod – Kolín dopravovat dlouhé vlaky s více vozy, které by zahrnovaly náklad z více lokalit. V rámci této práce však bude uvažováno, že každá lokalita bude brána jako samostatná dopravní cesta.

8.2 Stanovení množství odpadu

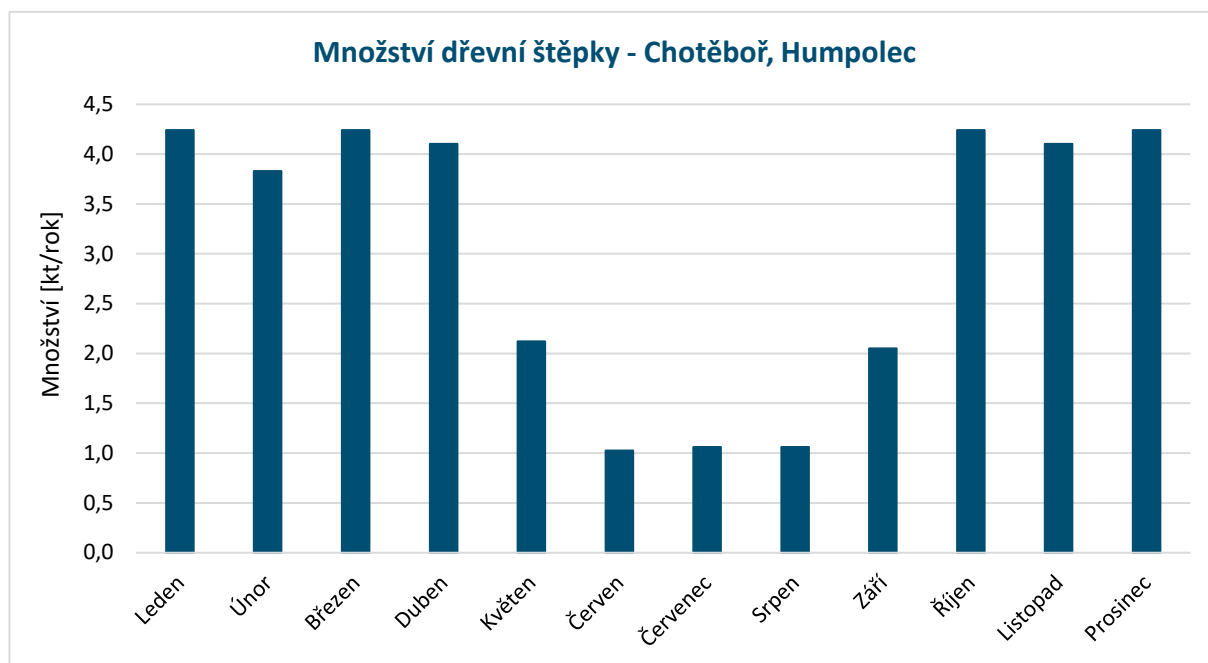
Ve vstupních požadavcích nebylo stanoveno množství dřevní štěpky za rok, pouze frekvence svozů. Hodnota základní frekvence svozu odpadu, tedy 1x týdně, byla použita jako výchozí údaj a společně s kapacitou soupravy byla stanovena produkce dřevní štěpky za den pro jednotlivé svozové lokality.

$$\text{Množství odpadu} = \frac{\text{obsah kontejneru [t]} \cdot \text{počet kontejnerů na voze} \cdot \text{počet vozů}}{\text{počet dní v týdnu}} \quad [\text{t/den}]$$

Na základě množství dřevní štěpky za den byla stanovena produkce pro jednotlivé měsíce s respektováním zadávacích požadavků ohledně frekvence svozu. Topná sezóna je definována od 1. 9. do 31. 5. následujícího roku [45]. **Počet dní v topné sezóně** je tedy 273 (274 v případě přestupného roku). **Počet topných dní** se ale liší během každého roku a nemusí odpovídat počtu dní v topné sezóně. V topné sezóně 2017/2018 činil počet topných dní 199, v sezóně 2018/2019 byl počet topných dní 218 [45]. V rámci přepravního modelu nelze zadat, aby po dobu topných dnů byla zvýšená frekvence svozu, jde pouze specifikovat měsíce, ve kterých bude zvýšená frekvence svozu a tu nastavit. U přepravního modelu pro Kolín byla uvažována zvýšená frekvence svozů v lednu, únoru, březnu a dubnu a poté v říjnu, listopadu a prosinci. To v součtu odpovídá 212 dnům, které odpovídají počtu topných dnů. Naopak v červnu, červenci a srpnu byla frekvence svozu nastavena na polovinu. Frekvence svozu 1x týdně byla uvažována v květnu a září. Množství dřevní štěpky v průběhu roku pro jednotlivé měsíce a konkrétní lokality udává graf 17, respektive graf 18.



Graf 17 Množství dřevní štěpky – Havlíčkův Brod, Náchod



Graf 18 Množství dřevní štěrky – Chotěboř, Humpolec

Tab. 22 uvádí množství dřevní štěrky, počet naplněných kontejnerů za den a následný počet dnů k naplnění soupravy pro Havlíčkův Brod a Náchod, tab. 23 poté pro Chotěboř a Humpolec.

Tab. 22 Množství dřevní štěrky a stanovení frekvence svozů – Havlíčkův Brod, Náchod

Měsíc	Množství [kt/rok]	Počet kontejnerů za den	Počet dní k naplnění soupravy
Leden	6,361	18	3,50
Únor	5,746	17	3,71
Březen	6,361	18	3,50
Duben	6,156	18	3,50
Květen	3,181	9	7,00
Červen	1,539	5	12,60
Červenec	1,590	5	12,60
Srpen	1,590	5	12,60
Zář	3,078	9	7,00
Říjen	6,361	18	3,50
Listopad	6,156	18	3,50
Prosinec	6,361	18	3,50

Tab. 23 Množství dřevní štěrky a stanovení frekvence svozů – Chotěboř, Humpolec

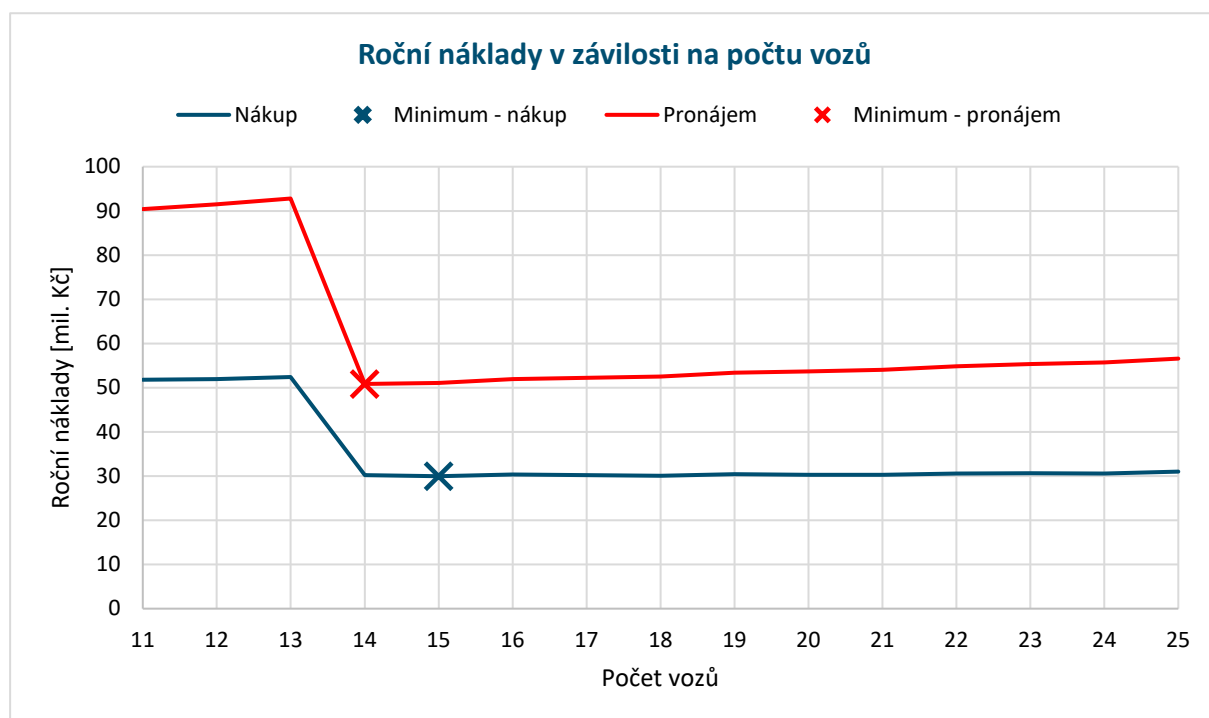
Měsíc	Množství [kt/rok]	Počet kontejnerů za den	Počet dní k naplnění soupravy
Leden	4,241	12	3,50
Únor	3,830	11	3,82
Březen	4,241	12	3,50
Duben	4,104	12	3,50
Květen	2,120	6	7,00
Červen	1,026	3	14,00
Červenec	1,060	3	14,00
Srpen	1,060	3	14,00
Září	2,052	6	7,00
Říjen	4,241	12	3,50
Listopad	4,104	12	3,50
Prosinec	4,241	12	3,50

Tab. 24 udává uvažované množství dřevní štěrky, počet vozů pro jednotlivé lokality, který byl specifikován dle zadání, a množství kontejnerů, které je souprava schopna odvézt.

Tab. 24 Uvažované množství dřevní štěrky a počet vozů pro jednotlivé lokality

Svozová lokalita	Množství odpadu [kt/rok]	Počet vozů	Kapacita soupravy [počet kontejnerů]
Havlíčkův Brod	54,48	21	63
Náchod	54,48	21	63
Humpolec	36,32	14	42
Chotěboř	36,32	14	42

Na základě minimalizace ročních nákladů by optimálním počtem bylo 15 vozů pro nákup souprav (roční náklady 29 966 073 Kč/rok), v případě pronájmu 14 vozů (roční náklady 50 843 577 Kč/rok). Průběh nákladů pro jednotlivé počty vozů v soupravě ukazuje graf 19.



Graf 19 Průběh ročních nákladů v závislosti na počtu vozů – Kolín

Jak je ale vidět, v případě nákupu/pronájmu 21 vozů, které by vycházely ze zadání, není nárůst ročních nákladů tak dramatický. U nákupu jsou roční náklady 30 255 359 Kč/rok, u pronájmu 54 055 493 Kč/rok. V případě nákupu je tedy rozdíl 289 286 Kč/rok, což činí pouze 0,96 %, u pronájmu jsou poté roční náklady vyšší o 3 311 916 Kč/rok (6,32 %).

Tab. 25 Uvažované množství dřevní štěpky a počet vozů pro jednotlivé lokality

Svozová lokalita	Množství odpadu [kt/rok]	Počet vozů	Kapacita soupravy [počet kontejnerů]
Havlíčkův Brod	54,48	21	63
Náchod	54,48	21	63
Humpolec	36,32	14	42
Chotěboř	36,32	14	42
Celkem	181,6		

8.3 Svozový plán

Stejným způsobem jak bylo popsáno v kapitole 7.2 byl sestaven svozový plán pro přepravu dřevní štěpky. Svozový plán byl sestaven pro požadovaný počet vozů pro jednotlivé lokality. Díky tomu, jak je sestavování svozového plánu a jeho následná optimalizace nastavena, tedy během jednoho dne může být vykonán pouze jeden svoz, dochází k výraznému problému. Aby bylo zajištěno vyhovění vstupnímu požadavku, tedy že během topných dnů jezdí souprava do všech lokalit 2x týdně, bylo by zapotřebí 8 svozů týdně, což v aktuálním svozovém plánu při automatickém sestavování není možné. Maximum je 7 svozů týdně. Po sestavení svozového plánu je tak lokalita Chotěboř obsluhována pouze 1x týdně, namísto plánovaných 2 svozů týdně. To způsobuje značnou kumulaci dřevní štěpky v lokalitě, jelikož až do 1. 5., tedy prvních 121 dní v roce, jezdí souprava každý den. Není zde tak možnost přidat další svozy nad rámec těch, které jsou uvedené ve svozovém plánu. V lokalitě je k tomu dni celkem 620 kontejnerů připravených k odvozu. Až od 2. 5. lze přidávat další svozy tak, aby se množství odpadu v lokalitě postupně redukovalo (od května je každá lokalita obsluhována pouze 1x týdně). Po doplnění 14 svozů by vycházelo, že až do 2. 6., tedy prvních 153 dnů v roce, jezdí souprava každý den. Od 3. 6. dochází ke svozu bez problémů pro všechny oblasti. Od 1. 10., vlivem opětovného požadavku na svoz 2x týdně, jezdí souprava znovu každý den. Opět zde tedy není prostor přidat další svozy pro Chotěboř nad rámec a množství odpadu v lokalitě znovu narůstá. Na konci roku je v lokalitě Chotěboř celkem 554 kontejnerů připravených k odvozu. Počet volných dnů, kdy není naplánován žádný svoz, je 76 (bez přidání svozů 90). Hromadění kontejnerů v lokalitě Chotěboř je vidět na obr. 32.

Potaz označ.	76	76	75	48	50
Den	Havlíčkův Brod	Náchod	Humpolec	Chotěboř	Obdobnost
1	1.1.2021				36
2	2.1.2021				36
3	3.1.2021				36
4	4.1.2021				36
5	5.1.2021				36
6	6.1.2021				36
7	7.1.2021				36
8	8.1.2021				36
9	9.1.2021				36
10	10.1.2021				36
11	11.1.2021				36
12	12.1.2021				36
13	13.1.2021				36
14	14.1.2021				36
15	15.1.2021				36
16	16.1.2021				36
17	17.1.2021				36
18	18.1.2021				36
19	19.1.2021				36
20	20.1.2021				36
21	21.1.2021				36
22	22.1.2021				36
23	23.1.2021				36
24	24.1.2021				36
25	25.1.2021				36
26	26.1.2021				36
27	27.1.2021				36
28	28.1.2021				36
29	29.1.2021				36
30	30.1.2021				36
31	31.1.2021				36
32	1.2.2021				36
33	2.2.2021				36
34	3.2.2021				36
35	4.2.2021				36
36	5.2.2021				36
37	6.2.2021				36
38	7.2.2021				36
39	8.2.2021				36
40	9.2.2021				36
41	10.2.2021				36
42	11.2.2021				36
43	12.2.2021				36
44	13.2.2021				36
45	14.2.2021				36
46	15.2.2021				36

Obr. 32 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – bez korekce

První případná korekce by mohla být pomocí navýšení počtu vozů obsluhující Chotěboř. Dle prvotních požadavků je lokalita obsluhována soupravou se 14 vozy, k dispozici je ale až 21 vozů. V tomto případě nebude brána v potaz největší povolená délka nákladního vlaku, viz tab. 21, ze které vychází, že pro dopravní cestu Chotěboř – Kolín, respektive pro její úsek Chotěboř – Havlíčkův Brod, je maximální povolená délka nákladního vlaku 403 m, což odpovídá soupravě s maximálně 19 vozy. Po změně počtu vozů ale problém hromadění kontejnerů stále přetrvává, avšak v menší míře. Do 1. 5. (v lokalitě celkem 410 kontejnerů k odvozu) opět není možné přidat svoz nad rámec svozového plánu, následně ale během prvních 14 dnů v květnu je možné přidat 6 svozů, které jsou schopny nadbytečné množství odpadu odvézt. Od 1. 10. množství dřevní štepky opět narůstá a není zde možnost přidat svozy nad rámec. Na konci roku je v lokalitě Chotěboř celkem 260 kontejnerů připravených k odvozu. Počet volných dnů, kdy není naplánován žádný svoz, je 93 (bez přidání svozů 99).

Druhou případnou korekcí je obsluha všech lokalit pomocí souprav s 21 vozy. Pro lokality Humpolec a Chotěboř bude opět opomenuta podmínka největší povolené délky soupravy. Obsluha všech lokalit soupravou s 21 vozy do značné míry problém vyřeší, dochází pouze k občasnému hromadění kontejnerů v Humpolci a Chotěboři. Maximem je 99 kontejnerů (36 kontejnerů nad kapacitu soupravy). Pro Humpolec a Chotěboř je využitím souprav s vyšší kapacitou snížena frekvence svozů. Namísto svozu 2x týdně je svoz 1x za 5-6 dní, místo původního svozu 1x týdně je nově 1x za 11 dní a během letních měsíců poté místo 1x za 14 dní 1x za 21 dní. Počet volných dnů, kdy není naplánován žádný svoz, je 113.

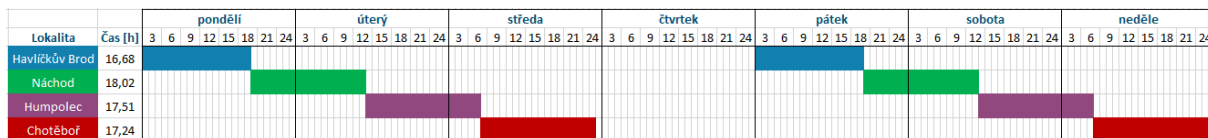
Třetí možnou korekcí svozového plánu je kombinace souprav s 21 a 14 vozy pro Humpolec a Chotěboř. Během topných dnů je využita souprava s 21 vozy s frekvencí svozu 1x za 5-6 dní, v ostatních případech souprava se 14 vozy s frekvencí svozu 1x týdně respektive 1x za 14 dní. Během topných dnů dochází ke stejnému hromadění kontejnerů jako v předchozím případě, tedy maximum je 99 kontejnerů. Zároveň jsou zde sporadicky také volné dny bez svozu, přidání svozů nad rámec však nemá výrazný vliv na případné hromadění kontejnerů v lokalitě. Počet volných dnů, kdy není naplánován žádný svoz, je 103. Obr. 33 zobrazuje úvodní část optimalizovaného svozového plánu v rámci třetí možné korekce.

Polzet suazü	70	78	55	55		103
Den	Havilcküv Brod	Náchod	Humpolec	Chotěboř		Občasnosc
1	2.1.2021	9,00	10,00	10,00	12,00	
2	2.1.2021	10,00	5,00	10,00	14,00	
3	3.1.2021	10,00	11,00	10,00	10,00	
4	4.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
5	5.1.2021	11,00	10,00	11,00	10,00	
6	6.1.2021	10,00	12,00	10,00	10,00	
7	7.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
8	8.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
9	9.1.2021	10,00	3,00	10,00	10,00	
10	10.1.2021	10,00	11,00	10,00	10,00	
11	11.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
12	12.1.2021	11,00	10,00	10,00	10,00	
13	13.1.2021	10,00	12,00	10,00	10,00	
14	14.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
15	15.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
16	16.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
17	17.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
18	18.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
19	19.1.2021	11,00	10,00	10,00	10,00	
20	20.1.2021	10,00	12,00	10,00	10,00	
21	21.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
22	22.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
23	23.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
24	24.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
25	25.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
26	26.1.2021	11,00	10,00	10,00	10,00	
27	27.1.2021	10,00	12,00	10,00	10,00	
28	28.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
29	29.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
30	30.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
31	31.1.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
32	1.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
33	2.2.2021	11,00	10,00	10,00	10,00	
34	3.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
35	4.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
36	5.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
37	6.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
38	7.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
39	8.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
40	9.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
41	10.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	
42	11.2.2021	10,00	10,00	10,00	10,00	

Obr. 33 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – třetí korekce

Posledním možným způsobem je vyjít z prvotních požadavků, tedy že lokality Havlíčkův Brod a Náchod bude obsluhovat souprava s 21 vozy, Humpolec a Chotěboř souprava se 14 vozy. Bude zde ale aplikováno řazení svozů časově za sebe, tedy, že jednotlivé svozy budou navazovat za sebou, pokud to bude situace vyžadovat. Především se jedná o svozy během topných dní, kdy je zapotřebí 8 svozů týdně.

Obr. 34 zobrazuje Ganttův diagram svozů, kde jednotlivé svozy na sebe navazují. V rámci jednoho týdne tak může souprava bez problémů obsloužit každou lokalitu 2x a zároveň čtvrtek zůstává volným dnem, kdy je možné provádět např. údržbu soupravy. V součtu se jedná o celkem 29 hodin týdně, kdy souprava není využita.



Obr. 34 Ganttův diagram svozu

Úvodní část svozového plánu s uvažováním navazování svozů je zobrazena na obr. 35. Jak je také vidět, nedochází k hromadění kontejnerů v lokalitách. Počet volných dnů, kdy není naplánován žádný svoz, je 123.

Poloz svazů	76	76	76	76	123
Den	Havlíčkův Brod	Náchod	Humpolec	Chotěboř	Obsazenost
1	1.1.2021	1.00	8.00	12.00	26
2	2.1.2021	20.00	9.00	12.00	26
3	3.1.2021	30.00	10.00	12.00	26
4	4.1.2021	40.00	11.00	12.00	26
5	5.1.2021	50.00	12.00	12.00	26
6	6.1.2021	60.00	13.00	12.00	26
7	7.1.2021	70.00	14.00	12.00	26
8	8.1.2021	80.00	15.00	12.00	26
9	9.1.2021	90.00	16.00	12.00	26
10	10.1.2021	100.00	17.00	12.00	26
11	11.1.2021	110.00	18.00	12.00	26
12	12.1.2021	120.00	19.00	12.00	26
13	13.1.2021	130.00	20.00	12.00	26
14	14.1.2021	140.00	21.00	12.00	26
15	15.1.2021	150.00	22.00	12.00	26
16	16.1.2021	160.00	23.00	12.00	26
17	17.1.2021	170.00	24.00	12.00	26
18	18.1.2021	180.00	25.00	12.00	26
19	19.1.2021	190.00	26.00	12.00	26
20	20.1.2021	200.00	27.00	12.00	26
21	21.1.2021	210.00	28.00	12.00	26
22	22.1.2021	220.00	29.00	12.00	26
23	23.1.2021	230.00	30.00	12.00	26
24	24.1.2021	240.00	31.00	12.00	26
25	25.1.2021	250.00	32.00	12.00	26
26	26.1.2021	260.00	33.00	12.00	26
27	27.1.2021	270.00	34.00	12.00	26
28	28.1.2021	280.00	35.00	12.00	26
29	29.1.2021	290.00	36.00	12.00	26
30	30.1.2021	300.00	37.00	12.00	26
31	31.1.2021	310.00	38.00	12.00	26
32	1.2.2021	320.00	39.00	12.00	26
33	2.2.2021	330.00	40.00	12.00	26
34	3.2.2021	340.00	41.00	12.00	26
35	4.2.2021	350.00	42.00	12.00	26
36	5.2.2021	360.00	43.00	12.00	26
37	6.2.2021	370.00	44.00	12.00	26
38	7.2.2021	380.00	45.00	12.00	26
39	8.2.2021	390.00	46.00	12.00	26
40	9.2.2021	400.00	47.00	12.00	26
41	10.2.2021	410.00	48.00	12.00	26
42	11.2.2021	420.00	49.00	12.00	26

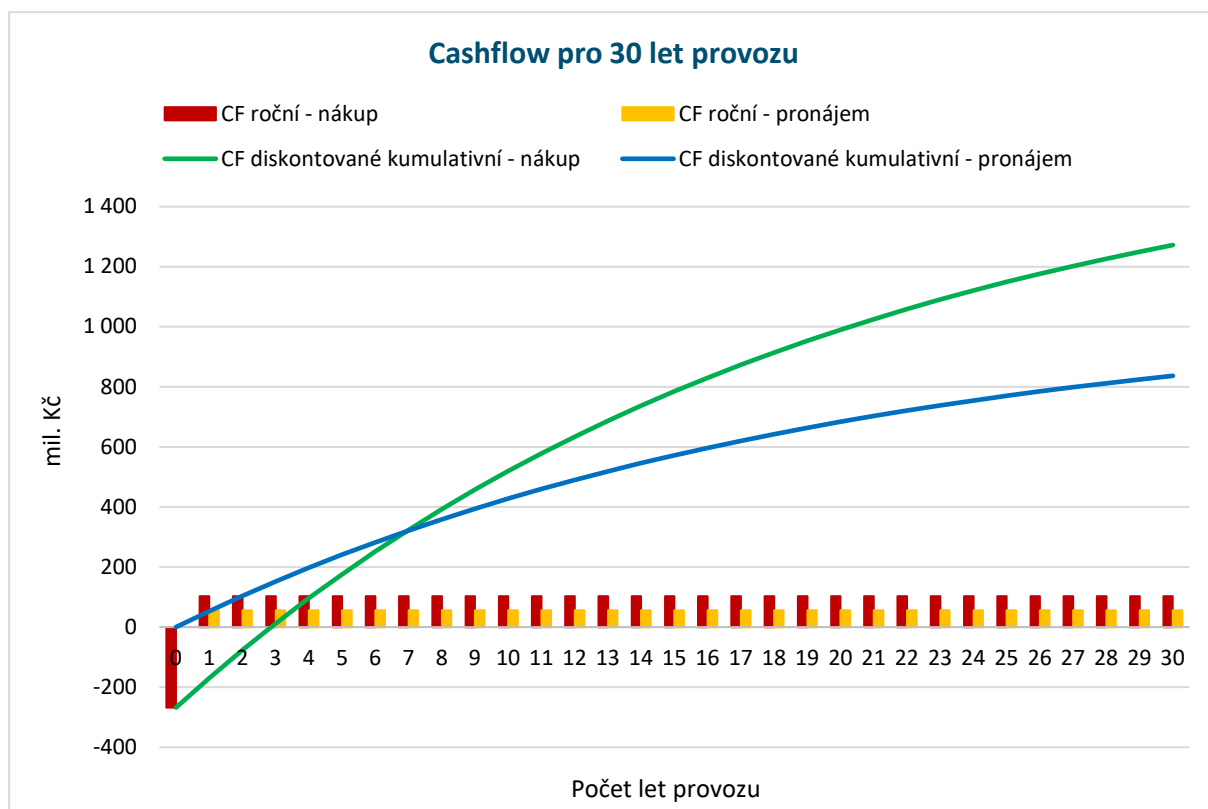
Obr. 35 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – čtvrtá korekce

8.4 Ekonomické zhodnocení

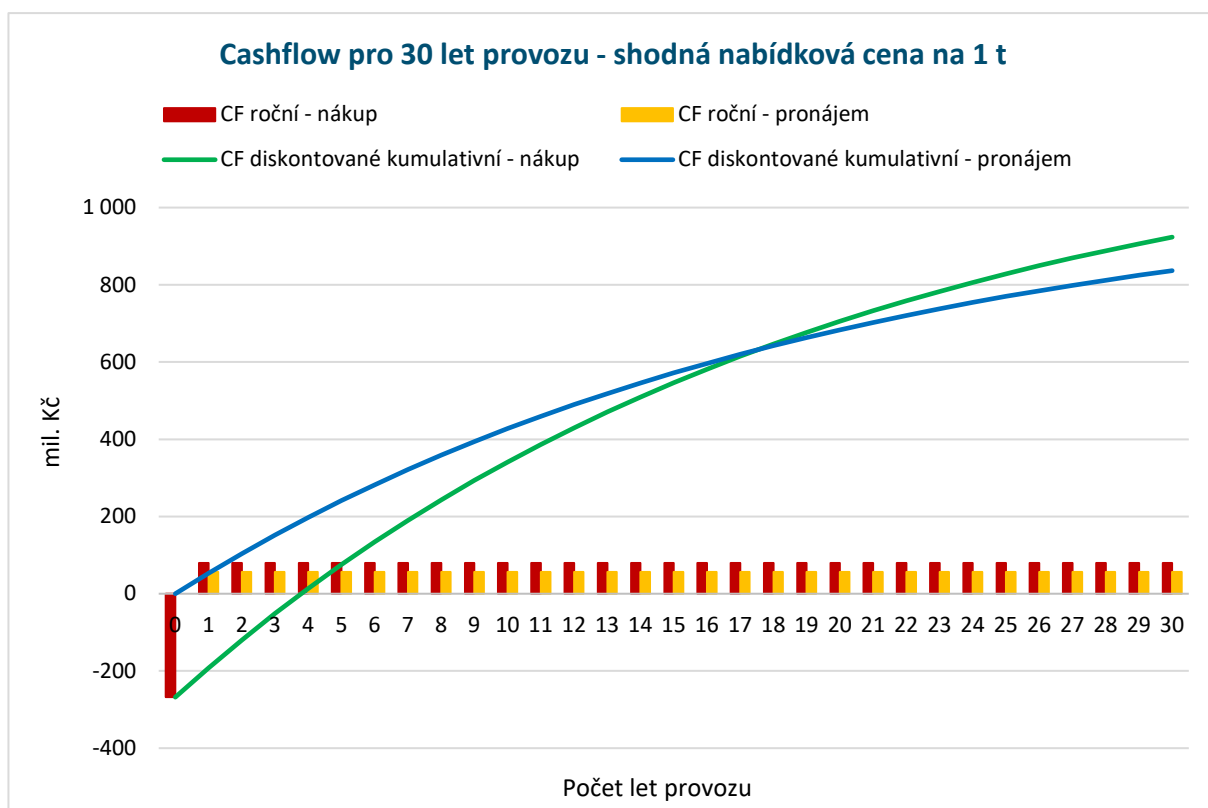
Ekonomické zhodnocení bylo provedeno opět za pomoci obecného výpočtového modelu v rámci technicko-ekonomického modelu pro železnici, jak bylo ukázáno v kapitole 6.2. Pro nákup byla uvažována minimální požadovaná marže 200 %, pro pronájem 100 %.

Graf 20 zobrazuje průběh cashflow, kde je vidět, že při požadovaných maržích dojde v případě nákupu k paybacku již zhruba za 3 roky a k bodu zlomu dojde zhruba za 7 let. Ze střednědobého i dlouhodobého hlediska vychází nákup souprav výrazně výhodněji než jejich pronájem. Při takovémto nastavení marží se však liší nabídkové ceny za 1 t pro nákup respektive pronájem souprav. V případě nákupu je nabídková cena 746,76 Kč/t, pro pronájem činí 618,08 Kč/t. NPV na konci projektu je 1 272 550 872 Kč pro nákup, pro pronájem odpovídá 836 991 711 Kč. Stejně jako v případě pro Jihomoravský kraj, tedy za předpokladu, že dopravce by na trhu neuspěl s nabídkovou cenou, v tomto případě skoro 750 Kč/t, ale s cenou okolo 620 Kč/t naopak ano, je zapotřebí snížit marži v případě nákupu souprav.

Graf 21 zobrazuje průběh cashflow pokud v případě nákupu je požadována stejná nabídková cena za 1 t jako v případě pronájmu. Nabídková cena je 617,74 Kč/t pro nákup, v případě pronájmu je 617,79 Kč/t. Rozdíl je opět považován za zanedbatelný. NPV na konci projektu činí 924 492 269 Kč pro nákup, respektive 836 605 482 Kč pro pronájem. Je tedy vidět, že i v tomto případě je nákup souprav dlouhodobě výhodnější, opět ne však tak výrazným rozdílem jako v předchozím případě. Nyní payback nastane před 4. rokem a bod zlomu až ke konci 19. roku. Snížení marže je lehce přes 50 % na 148 % pro nákup, pro pronájem zůstala 100 %.



Graf 20 Cashflow pro 30 let provozu – Kolín – případ 1



Graf 21 Cashflow pro 30 let provozu – Kolín – případ 2

Tab. 26 a tab. 27 ukazují souhrn výstupních parametrů z přepravního modelu pro nákup, respektive pronájem souprav.

Tab. 26 Souhrn ekonomických parametrů pro nákup – Kolín

Prvek	Hodnota	Jednotka
Investiční náklady	267 920 534	Kč
Teoretická vytiženost souprav za rok	0,6002404	-
Počet nutných souprav	1	-
Počet vozů	21	-
Počet cyklů za rok (celkem pro všechny lokality)	302	-
Náklady na údržbu	5 830 000	Kč/rok
Mzdové náklady	17 840 000	Kč/rok
Provozní náklady	8 626 056	Kč/rok
Roční odpis	12 882 667	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace)	32 296 056	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace) + odpis	45 178 723	Kč/rok
Roční náklady - přepočet na 1 t	248,78	Kč/t
Roční náklady - přepočet na Kč/tkm	0,66	Kč/tkm
Payback	3,79	-
Marže na 1 t	148,31	%
Nabídková cena na 1 t	617,74	Kč/t
NPV po 30 letech	923 492 269	Kč

Tab. 27 Souhrn ekonomických parametrů pro pronájem – Kolín

Prvek	Hodnota	Jednotka
Servis v ceně pronájmu	Ano	-
Teoretická vytiženost souprav za rok	0,6002404	-
Počet nutných souprav	1	-
Počet vozů	21	-
Počet cyklů za rok (celkem pro všechny lokality)	302	-
Náklady na pronájem	29 630 133	Kč/rok
Náklady na údržbu	0	Kč/rok
Mzdové náklady	17 840 000	Kč/rok
Provozní náklady	8 626 056	Kč/rok
Roční náklady (bez započítání inflace)	56 096 190	Kč/rok
Roční náklady - přepočet na 1 t	308,90	Kč/t
Roční náklady - přepočet na Kč/tkm	0,82	Kč/tkm
Marže na 1 t	100,00	%
Nabídková cena na 1 t	617,79	Kč/t
NPV po 30 letech	836 605 482	Kč

9 ZÁVĚRY

Diplomová práce se zaměřuje na železniční dopravu a její využití v rámci odpadového hospodářství. Především vytváří nové, případně rozšiřuje technicko-ekonomické modely již dříve vytvořené a prezentované v rámci disertační práce [10].

Předkládaná práce v úvodní části popisuje roli silniční a železniční dopravy v celkovém kontextu přepravy zboží a popisuje, jakou roli hraje doprava v odpadovém hospodářství. Uvádí příklady využití železniční dopravy v odpadovém hospodářství jak v zahraničí, tak i v České republice.

V teoretické části se práce podrobněji zabývá silniční dopravou, jejími hlavními faktory a jejím využitím v odpadovém hospodářství. Detailně řeší železniční dopravu v České republice, především železniční síť a cenotvorbu, což dále slouží jako podklady pro vytvoření technicko-ekonomických modelů. Věnuje se také kombinované dopravě a jejím jednotlivým systémům.

V praktické části práce řeší a pracuje již s konkrétními modely. Jedná se zejména o:

- **plánovač dopravní cesty** s možností průjezdných bodů a možností zahrnutí i výluk (nově strukturovaný model),
- **technicko-ekonomický model vlečky** (rozšíření stávajícího modelu),
- **technicko-ekonomický model pro železnici** umožňující zpracovávat jak obecné scénáře, tak ty komplexní na základě propojení s plánovačem dopravní cesty a využití detailního investičního modelu s možností vyhodnocení, zda je výhodnější nákup či pronájem železničních souprav (rozšíření stávajícího modelu),
- **přepravní model pro spádovou oblast** umožňující sestavení svozového plánu pro až 8 lokalit a až 5 různých druhů odpadů, umožňující měsíční zadávání dopravovaného množství. Model je propojený s technicko-ekonomickým modelem pro železnici a lze tak využít jeho veškerou funkcionalitu pro řešení komplexních scénářů (zcela nový model).

Technicko-ekonomické modely jsou v této práci představeny na scénářích pro dopravu odpadu. Důležitou vlastností je jejich univerzálnost, což bylo i jedním z hlavních motivačních cílů modely do této podoby připravit. Lze je využít pro dopravu libovolného spektra komodit (uživatelsky volitelné dle konkrétních vstupních parametrů, zejména sytná hmotnost), lze pracovat s různou délkou vozů, lze volit mezi dieselovou či elektrickou trakcí či lze uvažovat dopravu zboží i při zpáteční jízdě soupravy. Modely tak zahrnují řadu uživatelsky volených parametrů, které umožňují přesnější vyhodnocení požadovaných scénářů. Lze hodnotit jak základní obecné scénáře, tak ty detailní pro konkrétní specifické projekty.

Výše uvedené modely, především však přepravní model, byly použity pro zhodnocení dvou oblastí. První oblastí byl Jihomoravský kraj s přesahem do Olomouce. Na této oblasti byla popsána funkčnost přepravního modelu, oblast tedy nebyla řešena do hloubky. Byla ukázána možnost návozu odpadu z 8 lokalit do svozového centra v Brně s délkou dopravních cest od 16 do 135 km. Druhou oblastí, již detailněji řešenou, byl Kolín (východní část Čech). Zde byla analyzována doprava dřevní štěpky ze 4 lokalit. Za předpokladu, že nabídková cena za 1 t bude stejná jak pro nákup, tak pronájem, tak v obou případech (oblastech) vycházel výhodněji nákup souprav. U pronájmu byla uvažována marže na 1 t 100 %, pro nákup, po dorovnání nabídkové ceny za 1 t na stejnou hodnotu jako při pronájmu, vycházel marže na 1 t zhruba 150 %.

Při porovnání druhé oblasti (Kolín) se silniční dopravou se dostaneme k zajímavým výsledkům. Tab. 28 udává údaje, pokud by byla dřevní štěpka dopravována pomocí silniční dopravy,

konkrétně pomocí tahačů s návěsy vybavenými systémem Walking Floor²². Údaje v tabulce byly získány pomocí silničního modelu obsaženého v disertační práci [10].

Tab. 28 Kolín – údaje pro silniční dopravu

Lokalita	Vzdálenost [km]	Přepravovaná kapacita [kt/rok]	Náklady [Kč/t]	Počet potřebných vozidel
Havlíčkův Brod	59	54,48	320	6
Náchod	104	54,48	580	11
Humpolec	69	36,32	350	4
Chotěboř	56	36,32	313	4
Průměrné náklady na 1 t			390,75	Kč/t

Poslední sloupec tab. 28 udává potřebný počet vozidel, která jsou nutná pro dopravu daného množství dřevní štěpky z jednotlivých lokalit. Jedná se tedy o počet vozidel vyčleněných pouze pro jednu konkrétní lokalitu. Celkově by tak bylo potřeba 26 tahačů s návěsem. Náklady na 1 t lze zprůměrovat, což odpovídá hodnotě 390,75 Kč/t. Jak lze dohledat v tab. 26, respektive tab. 27, náklady na 1 t v případě železniční dopravy odpovídají 248,78 Kč/t při nákupu souprav, respektive 308,90 Kč/t při pronájmu souprav. Výhodnější je samozřejmě nákup souprav, v obou případech je ale železniční doprava výhodnější než ta silniční.

Železniční doprava v tomto případě získává výhodu především díky své kapacitě, kdy dokáže i při relativně menším počtu vozů obsloužit pravidelně několik lokalit, což vede z dlouhodobého hlediska k rozložení investičních nákladů a následně nižším nákladům na 1 t. Je tedy zřejmé, že železniční doprava má do budoucna vysoký potenciál pro využití v odpadovém hospodářství a i přes vyšší investiční náklady na začátku projektu, dokáže z dlouhodobého hlediska nabídnout nižší náklady na 1 t než silniční doprava. Vždy je ale zapotřebí správné zhodnocení projektu a vždy je nutné zvážit veškeré výhody a nevýhody, které daný typ dopravy nabízí.

²² Systém instalovaný v návěsech umožňující pohyb materiálu. Skládá se z hydraulicky posuvných elementů, které zajišťují vyprazdňování obsahu návěsu bez nutnosti použít další mechanizaci. Systém také může být doplněn o posuvnou stěnu/sekcí v přední části přívěsu, která pomáhá vytlačit obsah návěsu.

10 DISKUZE A MOŽNOSTI ZPŘESNĚNÍ

I přesto, že modely vytvořené v této práci jsou značně detailní a komplexní, lze je libovolně rozšířit a zvýšit tak jejich celkovou funkcionalitu, jedná se o otevřené modely. Plánovač dopravní cesty lze zpřesnit vytvořením detailnější databáze, kdy se může jednat o doplnění všech stanic v železniční síti České republiky, tak lze databázi rozšířit i o vlečky. Taktéž je možné uvažovat o detailu řešení např. plánovač postavit na úrovni vyhýbka-vyhýbka. Dalším krokem by mohlo být rozšíření databáze o detailní sklonové poměry tratí, případně poloměry oblouků, kdy následně tyto údaje lze využít pro přesnější odhad spotřeby lokomotivy a přesnější určení provozních nákladů. Tyto údaje však nejsou veřejně dostupné, proto nebyly využity v aktuální podobě plánovače dopravní cesty.

Dalším možným rozšířením plánovače je umožnění plánování dopravní cesty na základě délky a hmotnosti vlaku, tedy omezení vyhledávání dopravní cesty na základě maximální délky vlaku respektive dovolené traťové třídy zatížení pro jednotlivé tratě. To by však vedlo k tvorbě matice nejkratších vzdáleností pokaždé, kdy dojde ke změně vstupních omezujících parametrů. Při uvažování současné, relativně rozsáhlé databáze železničních tratí, je tvorba matice nejkratších vzdáleností v aplikaci Microsoft Excel zdlouhavá. Na běžném kancelářském notebooku zabere více než hodinu.

Microsoft Excel tak není nejvhodnější nástroj pro časté změny vstupních údajů, při kterých je zapotřebí omezit celkovou databázi železničních tratí (délka vlaku, hmotnost vlaku, výluky apod.). Je to dáno tím, že modul VBA, ve kterém je kód napsán, dokáže pracovat pouze s jedním jádrem procesoru. Bylo by tak zapotřebí vytvořit plánovač dopravní cesty v jiném softwaru a za pomoci programovacího jazyka, který dokáže pracovat se všemi jádry procesoru, což by vedlo k urychlení sestavení matice. Technicko-ekonomické modely pro vlečku, železnici i svoz pracují v Microsoft Excel bez problému a i rozsáhlejší výpočty probíhají rychle, maximálně v řádech jednotek minut. I přesto by použitím vhodnějšího softwaru mohlo dojít ke zlepšení.

Rozšíření navazujících technicko-ekonomických modelů lze provést v několika směrech. Model pro vlečku lze rozšířit o vstupní údaje na základě výstupu z geotechnického průzkumu a následného zpřesnění konstrukce kolejového lože. Technicko-ekonomický model pro železnici lze zpřesnit o detailnější odhad spotřeby lokomotivy, jak už bylo zmíněno výše na základě sklonových poměrů a poloměrů oblouků na analyzované trati. Dále lze model rozšířit o podrobnější investiční kritéria a zpřesnit tak dlouhodobou predikci řešeného scénáře. Aktuálně model nabízí volbu nákupu/pronájmu železničních souprav. Model by šlo ale také rozšířit o možnost částečného nákupu/pronájmu. Tedy, že např. kontejnery by byly nakoupeny a lokomotivy a vozy naopak pronajaty. Co se týče přepravního modelu pro spádovou oblast je jeho největší limitace využití pouze pro jednu soupravu. Bylo by tak vhodné ho rozšířit o možnost využít více souprav a zároveň model doplnit o časovou návaznost jednotlivých svozů, tak jak bylo ukázáno na obr. 34, tedy, že bude odstraněno omezení pouze jednoho svozu během dne, kdy bylo vycházeno z časové náročnosti přípravy soupravy před vyjetím, viz kapitola 7.2.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SONGA, Malin, Guijun ZHANG, Wuxiong ZENG, Jianhua LIU a Kuangnan FANG. Railway transportation and environmental efficiency in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 2016, (48) [cit. 2020-06-09]. ISSN 1361-9209. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000954>
- [2] Zweckverband Müllverwertung Schwandorf [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z:
<https://www.z-m-s.de/muellkraftwerk/umweltschutz/logistik/index.html>
- [3] HYLAND, Michael, Hani MAHMASSANI a Lama MJAHED. Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: Deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* [online]. 2016, (93) [cit. 2020-06-09]. ISSN 1366-5545. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554516300709>
- [4] *Waste-To-Energy and waste export by rail feasibility study* [online]. In: . Seattle: Arcadis U.S., Inc., 2019, s. 301 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
<https://kingcounty.gov/~media/depts/dnrp/solid-waste/about/planning/documents/waste-to-energy-rail-export-feasibility-study.ashx?la=en>
- [5] Železničář | Přeprava jednotlivých vozových zásilek [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/skupina-cd/preprava-jednotlivych-vozovych-zasilek/-22727/>
- [6] BESTA, Petr. *Porovnání jednotlivých druhů dopravy* [online]. In: . s. 13 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/download/enoviny/enlog/porovnani_jednotlivych_druhu_dopravy.pdf
- [7] *Silnice a dálnice v České republice | 2017* [online]. In: . Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2018, s. 24 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:
https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/dbc399d7-56eb-4c7a-b7ef-aef2283647a0/%C5%98SD+ro%C4%8Denka+2017_CZE_web.pdf
- [8] PENG, Ya-Ting, Zhi-Chun LI a Keechoo CHOI. Transit-oriented development in an urban rail transportation corridor. *Transportation Research Part B: Methodological* [online]. 2017, (103) [cit. 2020-06-09]. ISSN 0191-2615. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261516304490>
- [9] NEJEDLÝ, Petr. *Převod silniční dopravy na železnici z hlediska ceny* [online]. In: . s. 7 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:
<https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1mp/dokumenty/silnice-versus-kp.pdf>
- [10] GREGOR, Jiří. *Pokročilé modely logistiky v oblasti odpadového hospodářství* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/139107>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Petr Stehlík.

- [11] BOŹEJKO, Wojciech, Radosław GRYMIN a Jarosław PEMPERA. *Scheduling and Routing Algorithms for Rail Freight Transportation* [online]. Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Electronics, Department of Control Systems and Mechatronics: Procedia Engineering, 2017, (178), 7 [cit. 2020-06-09]. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581730098X>
- [12] *Prohlášení o dráze celostátní a dráhách regionálních: Platné pro přípravu jízdního řádu 2021 a pro jízdní řád 2021 účinné od 12. 12. 2019 ve znění změny č. 1 účinné od 17. 1. 2020* [online]. In: . Praha: Správa železnic, státní organizace, 2019, s. 234 [cit. 2020-01-31].
- [13] *Železniční doprava v Česku* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%AD_doprava_v_%C4%8Cesku
- [14] *Přehled provozovatelů dráhy celostátní nebo regionální v ČR* [online]. In: . s. 2 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.ducr.cz/images/drurad/dokumenty/technici/200201_Seznam_provozovatel%C5%AF_drah.pdf
- [15] Elektrická dráha Tábor–Bechyně. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_dr%C3%A1ha_T%C3%A1bor%E2%80%93Bechyn%C4%9B
- [16] Bechyňka ve stopách Lipenky: Kraj otáčí, rada projedná změnu trakce na „střídavinu“. *Zdopravy.cz* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/bechynka-ve-stopach-lipenky-kraj-otaci-rada-projedna-zmenu-trakce-na-stridavinu-41155/>
- [17] Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu na české železniční síti. *Ministerstvo dopravy ČR* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Koncepce-prechodu-na-jednotnou-napajeci-soustavu-n>
- [18] Ministerstvo dopravy ČR - Drážní doprava. *Ministerstvo dopravy* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Legislativa-v-drazni-doprave>
- [19] ČESKO. *Zákon č. 266/1994 Sb. o dráhách*. In: . 1994, částka 79. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- [20] SŽDC D1 Dopravní a návěštní předpis. In: *Portál provozování dráhy* [online]. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2012, s. 369 [cit. 2020-02-19].
- [21] *Ministerstvo dopravy ČR - kombinovaná doprava* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: [https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Kombinovana-doprava-\(2\)/kombinovana-doprava-\(1\)](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Kombinovana-doprava-(2)/kombinovana-doprava-(1))
- [22] *Rail Cargo Group - Kontinentální TransFER* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.railcargo.com/cs/sit/kontinentalni-transfer>
- [23] *Factsheet-SFV-cz* [online]. In: . s. 1 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://rola.railcargo.com/file_source/railcargo/rola/Downloads/Fahrverbot/Factsheet-SFV-cz.pdf

- [24] MAŠKOVÁ, Kateřina. *Porovnání silniční a železniční nákladní dopravy pro přepravu sypkých hmot* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73171/F6-BP-2017-Maskova-Katerina-Porovnani%20silnicni%20a%20zeleznicni%20nakladni%20dopravy%20pro%20prepravu%20sypkych%20hmot.pdf>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Říha, Ph.D.
- [25] *Rozměry kontejnerů* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.litomysky.cz/drahy/kontrozm.htm>
- [26] *Vozový park v kombinované dopravě - LKW WALTER (CZ)* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.lkw-walter.com/cz/cs/produkty-a-sluzby/kombinovana-doprava/typ-vozidla>
- [27] ACTS (přepravní systém). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/ACTS_\(p%C5%99epravn%C3%AD_syst%C3%A9m\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/ACTS_(p%C5%99epravn%C3%AD_syst%C3%A9m))
- [28] *Systém InnoFreight slaví 15 let* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65955220-system-innofreight-slavi-15-let>
- [29] *ČD Cargo - Všechny vozy* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/web/guest/vsechny-vozy>
- [30] *ČD Cargo - Sggmrss 55* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/ssgmrss-55>
- [31] *ČD Cargo - Sgnss 55* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/sgnss-55>
- [32] BRÁZDA, Robert, Jan VYLETĚLEK, Kamil SKÁCEL, Petr GÜNTHER, Jaroslav GRABEC a Jakub ŽALČÍK. *DOPRAVNÍ KOMPLEXY: VNĚJŠÍ ŽELEZNIČNÍ PŘIPOJENÍ PRŮMYSLOVÉHO ZÁVODU* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_037/Dopravn%C3%AD%20komplexy/02%20Text%20pro%20e-learning/Dopravn%C3%AD%20komplexy%2001%20Vn%C4%9Bj%C5%A1%C3%AD%20%C5%BEElezn%C4%8Dn%C3%AD%20p%C5%99ipojen%C3%AD%20pr%C5%AFmyslov%C3%A9ho%20z%C3%A1vodu.pdf. Studijní materiál. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [33] SŽDC S4 Železniční spodek. In: *Dokumenty a předpisy* - www.szdc.cz [online]. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2008, s. 322 [cit. 2020-03-14].
- [34] PLÁŠEK, Otto. *Úvod do železničních staveb* [online]. In: . s. 79 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/zelpasek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf
- [35] SŽDC S3 Železniční svršek - Díl I: Základní ustanovení. In: *Dokumenty a předpisy* - www.szdc.cz [online]. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2008, s. 42 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/o-nas/vnitri-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>
- [36] SŽDC S3 Železniční svršek - Díl X: Kolejové lože a jeho uspořádání. In: *Dokumenty a předpisy* - www.szdc.cz [online]. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2008, s. 18 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/o-nas/vnitri-predpisy-spravy-zeleznic/dokumenty-a-predpisy>

- [37] PLÁŠEK, Otto, Pavel ZVĚŘINA, Richard SVOBODA a Vojtěch LANGER. *Železniční stavby II Modul 1: Zemní těleso* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BN02-Zeleznici%20stavby%20II/M01-Zemn%C3%AD%20t%C4%9Bleso.pdf>
- [38] Portál provozování dráhy: Popis sítě - Mapy. *Portál provozování dráhy* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=594598>
- [39] *Kategorie:Železniční tratě v Česku* - Wikipedie [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kategorie:%C5%BDlezn%C4%8Dn%C3%AD_trat%C4%9B_v_%C4%8Cesku
- [40] *Prohlášení o dráze celostátní a regionální: platné pro přípravu jízdního řádu 2018 a pro jízdní řád 2018, ve znění změny č. 1/2017, rozhodnutí Drážního úřadu čj. DUCR-33628/17/Kj, změny č. 2 účinné od 1. 12. 2017, změny č. 3 účinné od 10. 6. 2018 a změny č. 4 účinné od 1. 9. 2018* [online]. In: . *Správa železniční dopravní cesty, státní organizace*, 2017, s. 258 [cit. 2018-10-19].
- [41] Průměrné náklady kapitálu (Weighted Average Cost of Capital - WACC). *Sociální síť pro business - ManagementMania.com* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/prumerne-naklady-kapitalu>
- [42] ČESKO. Zákon č. 586/1992 Sb.: České národní rady o daních z příjmů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020, 1992, ročník 1992, číslo 586. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586>
- [43] 5. Metoda doby návratnosti investice - často využívaná metoda analýzy báňských investic - teorie. *Katedra geologického inženýrství - HGF VŠB-TUO* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/5_teorie.html
- [44] Sgns, Sgns(s) | SBB. *SBB Cargo | SBB* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.sbbcargo.com/de/kundencenter/tools/wagentypen-suche/sgns-sgnss.html>
- [45] *Průběh topných sezón | Pražská teplárenská a.s.* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/prubeh-topnych-sezon/>
- [46] DRÁBEK, Michal. *Propustnost tratí a uzlů: Úvod do problematiky* [online]. In: . s. 20 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://drahy.fd.cvut.cz/zaloha_2015/archiv/Propustnost.pdf
- [47] Sgns | Gauge Minitrix - Article No. 15519: Container Flat Car [online]. In: . [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.trix.de/en/products/min-details/article/15519/>
- [48] IODA [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://data.ioda.cz/>
- [49] *Nominace na Fast Forward Award a Státní cenu za mobilitu* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.innofreight.com/cs/news-archive/nominace-na-fast-forward-award-a-statni-cenu-za-mobilitu/>
- [50] *První kombinovaná vykládací stanice na koks a uhlí uvedena do provozu* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.innofreight.com/cs/news-archive/prvni-kombinovana-vykladaci-stanice-na-koks-a-uhli-uvadena-do-provozu/>

- [51] Manipulační vlak. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Manipula%C4%8Dn%C3%AD_vlak
- [52] Nákladní vlak. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kladn%C3%AD_vlak
- [53] NEJEZCHLEB, Mojmír. *Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku modernizovaných tratí* [online]. In: . Brno, 2000, s. 13 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195402/1007.pdf/>
- [54] Cirkulární ekonomika. *Institut cirkulární ekonomiky: Za svět, kde odpad je zdrojem* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>
- [55] *Shipping Container Transport | Container Haulage | Road | Pentalver* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.pentalver.com/road/container-transport/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotka
B_{EH}	Výše bonusu pro dopravce za použití modernizovaných vozů ve všech jeho vlacích	Kč
B_{EHV}	Výše bonusu za použití modernizovaných vozů v jednom subvlaku	Kč
C	Konečná cena	Kč
CF_t	Peněžní toky v jednotlivých letech	Kč
C_i	Celkové dlouhodobě investované zdroje	Kč
$C_{lokomotivní}$	Konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem lokomotivním	Kč/vlkm
$C_{nákladní1}$	Část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy	Kč/vlkm
$C_{nákladní2}$	Část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy	Kč/hrtkm
$C_{osobní}$	Konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem osobní dopravy	Kč/vlkm
C_{PK}	Cena za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy	Kč
C_S	Cena za použití dráhy jízdou jednoho subvlaku	Kč
C_V	Cena za použití dráhy jízdou vlaku	Kč
D	Cizí zdroje	Kč
E	Vlastní zdroje	Kč
E_{pl}	Modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku	MPa
$h_{z,dov}$	Dovolená tloušťka promrznutí zemin zemní pláň	m
K	Koeficient kategorie tratě	-
K_1	Sazba za zpracování a určení jízdního řádu a přidělení kapacity dráhy	Kč
K_2	Sazba za zpracování a určení jízdního řádu a přidělení kapacity dráhy	Kč/km
K_3	Sazba za den přidělení vlakové trasy	Kč/den
L	Délka jízdy vlaku	km
L_x	Délka trasy vlaku podle jednotlivých kategorií dráhy	km
m_{pk}	Hmotnost vlaku pro výpočet ceny za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku osobní dopravy	t
M_x	Motivační koeficient	Kč/vlkm
n	Doba projektu	-
n_i	Rok, pro který je počítán diskontní faktor	-
N_m	Plánovaný počet zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“	-
NPV	Net Present Value	Kč
N_v	Součet počtů náprav všech modernizovaných vozů zjištěných informačním systémem v subvlaku	ks
N_x	Sazba sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu	Kč/vlkm

Symbol	Význam	Jednotka
p	Převýšení v oblouku	mm
P_x	Produktový faktor	-
Q	Hrubá hmotnost vlaku	t
r_d	Náklady na cizí kapitál	%
r_e	Náklady na vlastní kapitál	%
S	Výsledná výše sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu	Kč
S_1	Specifický faktor - koeficient opotřebení trati v závislosti na celkové hmotnosti vlaku	-
S_2	Specifický faktor - koeficient vybavenosti činného hnacího vozidla ve vlaku zabezpečovacím zařízením ETCS (Level 2 nebo vyšší) S2	-
S_x	Specifický koeficient	-
t	Sazba daně z příjmů právnických osob	%
v	Diskontní faktor	-
WACC	Weighted Average Cost of Capital	-
Z	Základní cena za 1 km jízdy vlaku	Kč/vlkm
Z_n^{pk}	Základní cena za jedno plánované zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“	Kč/zastavení · t

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ACTS	Abroll-Container-Transport-System
ČR	Česká republika
ČSN	Československá státní norma
ETCS	European Train Control System
EU	Evropská unie
EVO	Energetické využití odpadu
Ex	Expresní vlak
GPS	Global Positioning System
GVD	Grafikon vlakové dopravy
IS KAPO	Informační systém pro výpočet ceny za použití dráhy
ISO	International Organization for Standardization
Lv	Lokomotivní vlak
Mn	Manipulační nákladní vlak
Nex	Nákladní expresní vlak
NPV	Net Present Value
Os	Osobní vlak
Pn	Průběžný nákladní vlak
PoD	Prohlášení o dráze
R	Rychlík
RoLa	Rollende – Landstrasse
Sp	Spěšný vlak
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
T-E	Technicko-ekonomický
TEN-T	Trans-European Transport Networks
TOD	Transit-oriented development
TTP	Tabulky traťových poměrů
VBA	Visual Basic for Applications
VISOH	Veřejný informační systém odpadového hospodářství ČR
Vleč	Vlečkový vlak
WACC	Weighted Average Cost of Capital

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma cirkulární ekonomiky [54].....	9
Obr. 2 Tahač s návěsem a loženým kontejnerem [55]	12
Obr. 3 Mapa železniční sítě České republiky [12]	13
Obr. 4 Postavení Správy železnic v rámci železničního sektoru v České republice [12]	16
Obr. 5 Ukázka tabulky A obsažené v příloze B Prohlášení o dráze pro rok 2021 [12]	19
Obr. 6 Ukázka aplikace DYPOD	22
Obr. 7 Zobrazení tratí, kde Správa železnic uplatňuje sankce za odřeknutí kapacity a sankci za nevyužití kapacity [12]	27
Obr. 8 Spoje RoLa dopravce Rail Cargo Group [22].....	29
Obr. 9 Nakládání návěsu na železniční vůz pomocí manipulační techniky [26]	31
Obr. 10 Nakládání kontejneru na železniční vůz – systém ACTS [27]	32
Obr. 11 Vyprazdňování kontejneru pomocí vysokozdvizného vozíku s otočným mechanismem [49]	33
Obr. 12 Vlak složený z plošinových vozů a kontejnerů InnoFreight [50]	33
Obr. 13 Sggmrss 55 – šestinápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy (90') [30] ..	34
Obr. 14 Sgnss 55 – čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy [31].....	35
Obr. 15 Železniční těleso [34].....	36
Obr. 16 Rozměry tělesa železničního spodku [34]	37
Obr. 17 Hlavní části tělesa železničního spodku, zářez a násep [33].....	37
Obr. 18 Průřez železničního tělesa pro připojovací a výtaznou kolej	41
Obr. 19 Průřez železničního tělesa pro ramena vlečky	41
Obr. 20 Schéma vlečky	42
Obr. 21 Železniční uzel Praha [12]	44
Obr. 22 Vstupní okno plánovače dopravní cesty	47
Obr. 23 Vykreslení dopravní cesty v mapě	49
Obr. 24 Pražský železniční uzel – nepřesné vyhledání trasy plánovačem	51
Obr. 25 Schéma technicko-ekonomického modelu železnice.....	52
Obr. 26 Výpočtové modely technicko-ekonomického modelu.....	57
Obr. 27 Prvotní sestavení svozového plánu – Jihomoravský kraj.....	71
Obr. 28 Optimalizovaný svozový plán – Jihomoravský kraj	72
Obr. 29 Plošinový vůz typu Sgnss s třemi kontejnery InnoFreight WoodTainer XXL [47]	75
Obr. 30 Zobrazení dopravních cest v kontextu České republiky	76
Obr. 31 Detailnější zobrazení dopravních cest.....	76
Obr. 32 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – bez korekce	81
Obr. 33 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – třetí korekce	82
Obr. 34 Ganttův diagram svozů	82
Obr. 35 Optimalizovaný svozový plán – Kolín – čtvrtá korekce.....	83

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní charakteristiky železniční sítě (stav k 30. 6. 2019) [12]	14
Tab. 2 Sazby za přidělení kapacity dráhy K_1 až K_3 , v Kč [12]	20
Tab. 3 Koeficient kategorie trati [12]	23
Tab. 4 Produktový faktor P_x a jeho hodnoty [12]	23
Tab. 5 Koeficient opotřebení trati v závislosti na celkové hmotnosti vlaku – S_1 [12]	25
Tab. 6 Koeficient vybavenosti činného hnacího vozidla ve vlaku zabezpečovacím zařízením ETCS (Level 2 nebo vyšší) S_2 [12]	25
Tab. 7 Základní cena pro jednotlivé kategorie stanic a zastávek [12]	26
Tab. 8 Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu [12]	27
Tab. 9 Sazby sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu [12]	27
Tab. 10 Minimální tloušťky konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku [33]	38
Tab. 11 Hodnoty přípustného promrznutí zemin zemní pláň [33]	39
Tab. 12 Tloušťka kolejového lože [36]	40
Tab. 13 Ekonomická studie vlečky	42
Tab. 14 Výstupní tabulka plánovače pro dopravní cestu Praha hlavní nádraží – Tišnov (redukovaná verze tabulky)	50
Tab. 15 Procentuální zastoupení tratí na základě jejich délky v železniční síti pod správou Správy železnic	53
Tab. 16 Náklady na dopravní prostředky a zařízení využité pro vyhodnocení	59
Tab. 17 Svozové lokality a množství odpadu - Jihomoravský kraj	68
Tab. 18 Shrnutí údajů pro sestavení svozového plánu – Jihomoravský kraj	70
Tab. 19 Souhrn ekonomických parametrů pro nákup – Jihomoravský kraj	74
Tab. 20 Souhrn ekonomických parametrů pro pronájem – Jihomoravský kraj	74
Tab. 21 Maximální počet vozů na jednotlivých dopravních cestách	75
Tab. 22 Množství dřevní štěpky a stanovení frekvence svozů – Havlíčkův Brod, Náchod.....	78
Tab. 23 Množství dřevní štěpky a stanovení frekvence svozů – Chotěboř, Humpolec	79
Tab. 24 Uvažované množství dřevní štěpky a počet vozů pro jednotlivé lokality	79
Tab. 25 Uvažované množství dřevní štěpky a počet vozů pro jednotlivé lokality	80
Tab. 26 Souhrn ekonomických parametrů pro nákup – Kolín	85
Tab. 27 Souhrn ekonomických parametrů pro pronájem – Kolín	85
Tab. 28 Kolín – údaje pro silniční dopravu	87

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Přepravený objem zboží v kombinované dopravě v hrubých tunách [48].....	30
Graf 2 Výškový profil dopravní cesty	48
Graf 3 Celková délka dopravní cesty	48
Graf 4 Výškový profil dopravní cesty Plzeň hlavní nádraží – Pardubice hlavní nádraží	51
Graf 5 Teoretický počet souprav vs. počet souprav v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km	60
Graf 6 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km	61
Graf 7 Roční náklady a NPV na konci projektu v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km.....	61
Graf 8 Marže na 1 t v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km.....	62
Graf 9 Payback v závislosti na množství odpadu pro vzdálenost 400 km	63
Graf 10 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na vzdálenosti pro 200 kt/rok.....	64
Graf 11 Dopravní náklady na 1 t v závislosti na počtu souprav pro vzdálenost 400 km a množství odpadu 200 kt/rok	65
Graf 12 Cashflow pro 30 let provozu – případ 1	66
Graf 13 Cashflow pro 30 let provozu – případ 2.....	67
Graf 14 Průběh ročních nákladů v závislosti na počtu vozů – Jihomoravský kraj	70
Graf 15 Cashflow pro 30 let provozu – Jihomoravský kraj – případ 1	73
Graf 16 Cashflow pro 30 let provozu – Jihomoravský kraj – případ 2	73
Graf 17 Množství dřevní štěpky – Havlíčkův Brod, Náchod.....	77
Graf 18 Množství dřevní štěpky – Chotěboř, Humpolec	78
Graf 19 Průběh ročních nákladů v závislosti na počtu vozů – Kolín.....	79
Graf 20 Cashflow pro 30 let provozu – Kolín – případ 1	84
Graf 21 Cashflow pro 30 let provozu – Kolín – případ 2	84