



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Vít Valdhans

**Posouzení energetické náročnosti různých přepravních
módů**

Bakalářská práce

2022



K617 Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Vít Valdhans

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Posouzení energetické náročnosti různých
převravních módů**

Název tématu (anglicky): Assessment of Energy Intensity of Different Transport
Modes

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Definice a porovnání silniční, železniční a vnitrozemské vodní dopravy v přepravě nákladů, jejich postavení v rámci dopravní politiky ČR a EU
- Relace ČR - Německo: technické a technologické možnosti a omezení přepravy v relaci, vývoj nákladní přepravy v relaci od r. 2010
- Spotřeba energie u nákladní silniční, železniční a vnitrozemské vodní dopravy - zhodnocení dosavadního vývoje a perspektivy do budoucna
- Souvislost ceny pohonných hmot a energií a skladby dopravních prostředků v jednotlivých modech, vliv energetické náročnosti na dělbu přepravní práce, ilustrace možných dopadů na relaci ČR - Německo



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucí bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Ročenka dopravy 2015 -2019, MD ČR
Dopravní politika ČR pro období 2014-2020 s výhledem do roku 2050, MD ČR
Eisler J., Kunst J., Orava F.: Ekonomika dopravního systému, Praha. 2011

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Alexandra Dvořáčková, Ph.D.**

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

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Vít Valdhans
jméno a podpis studenta

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

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu, které se mi dostávala během celé doby studia na ČVUT, jak materiální, tak i psychické. Dále bych chtěl poděkovat kolegům a přátelům, kteří mi byli oporou při studiu. Největší poděkování patří Ing. Alexandře Dvořáčkové, Ph. D. za veškerý věnovaný čas a za všechny rady, které mi velmi pomohly při tvorbě této práce. Na závěr také děkuji panu Petrovi Nejedlému ze společnosti Rail Cargo, panu Petrovi Klepetkovi ze sektoru říční dopravy, panu Pavlovi Štekerovi ze společnosti České přístavy a.s. a panu Lukášovi Hradskému ze společnosti Evropská vodní doprava-sped.s.r.o. za informace a poskytnuté materiály.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem přeloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 30 listopadu 2021

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Posouzení energetické náročnosti různých
přepravních módů

bakalářská práce

srpen 2022

Vít Valdhans

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce “Posouzení energetické náročnosti různých přepravních módů” je porovnání jednotlivých přepravních módů v oblastech energetické náročnosti, výkonu a využitelnosti. V práci je zohledněn i aktuální stav přepravních módů, legislativní opatření a perspektiva do budoucna.

Klíčová slova

Relace, Hamburg, Mělník, kontejner, intermodální přeprava, TEU, železnice, silnice, vodní cesta, terminál, energie, energetická náročnost

Czech Technical University in Prague
Faculty of Transportation Sciences

Assessment of energetic consumption of different transport modes

bachelor thesis

August 2022

Vít Valdhans

Abstract

The subject of the bachelor thesis “Assessment of energetic consumption of different transport modes” is comparison of every single transport mode in energetic consumption, performance and usability. In this thesis is also included the current status of modes, legislative specifications and vision in the future.

Key words

Relation, Hamburg, Melnik, container, intermodal transport, TEU, railway, road, waterway, terminal, energy, energetic consumption

Obsah

.....	2
Obsah	5
Použité zkratky	6
Úvod.....	7
1 Definice a porovnání jednotlivých módů, a postavení těchto módů v rámci dopravní politiky ČR a EU.....	8
1.1 Charakteristika přepravních módů	8
1.1.1 Srovnání módů ve využitelnosti, dosahu a rychlosti	8
1.1.2 Definice intermodální a multimodální přepravy.....	9
1.2 Objemy dopravy v ČR	11
1.2.1 Import – dovoz zboží.....	11
1.2.2.Export – vývoz zboží.....	12
1.2.3 Vnitrostátní přeprava v ČR.....	13
1.2.4 Počet přepravených kontejnerů.....	14
1.3 Strategické dokumenty ČR a EU	15
1.4 Přehled stavů techniky	18
2. Nákladní přeprava v relaci Česká republika - Německo: technické a technologické možnosti a omezení přepravy v relaci, vývoj nákladní přepravy v relaci od r. 2010	19
2.1 Vývoj nákladní přepravy v relaci od r. 2010	19
2.2 Technické a technologické možnosti	22
2.2.1 Terminály v ČR.....	22
2.2.2 Kontejnerový terminál Mělník.....	22
2.2.3 Kontejnerové terminály Přístav Hamburg	25
2.3 Limity přepravy v relaci a možnosti dalšího vývoje.....	27
2.3.1 Kapacita železniční tratě	27
2.3.2 Splavnost Labe	28
3 Spotřeba energie u jednotlivých přepravních módů – porovnání, dopady na životní prostředí.....	29
3.1 Porovnání spotřeby energie u jednotlivých přepravních módů	29
3.1.1 Silniční přeprava	29
3.1.2 Železniční přeprava	30
3.1.3. Vodní přeprava	32
3.1.4 Definování TEU jednotky	35
3.1.5 Nakládka a vykládka	36
3.2 Výpočet spotřeby a převod na stejnou srovnatelnou jednotku	37
3.3 Dopad na životní prostředí.....	39
3.4 Perspektiva do budoucna	41

4 Vliv energetické náročnosti a ceny energií a PHM na dělbu přepravní práce.....	42
4.1 Energetická náročnost dopravních prostředků.....	42
4.2 Vliv cen energií a PHM.....	44
4.2.1 Aktuální cena PHM/trakční energie.....	46
4.3 Možné budoucí dopady.....	47
Závěr.....	50
Zdroje.....	51
Seznam obrázků.....	53
Seznam grafů.....	54
Seznam tabulek.....	54

Použité zkratky

SŽ	Správa železnic
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit – ekvivalent dvaceti-stop dlouhého kontejneru
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
ř.km	říční kilometr
mdčr	Ministerstvo dopravy České republiky
CEF	Connecting Europe Facility - Nástroj pro propojení Evropy
VRT	Vysokorychlostní trať
Km/h	Kilometrů za hodinu
Tr	Tlačný remorkér
Tč	Tlačný člun
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
a.s.	Akciová společnost
GHG	Greenhouse gases – Skleníkové plyny
Tkm	tunokilometr
EVD	Evropská vodní doprava-sped, s.r.o.
AGV	Automated Guided Vehicles – Automaticky řízená vozidla
RoLa	Rollende Landstraße – pohybující se silnice
RoRo	Roll on/Roll off – Najedť/Vyjedť
ETCS	European Train Control System – vlakový zabezpečovací systém
PHM	Pohonné hmoty

Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o porovnání silniční, železniční a vodní přepravy v oblastech energetické náročnosti, využitelnosti jednotlivých módů a přepraveného objemu. Pro lepší představu výsledků a závěrů této práce byla pro srovnání zvolena TEU jednotka. Výhodou kontejnerové přepravy je stále se zvyšující objem tohoto populárního způsobu přepravy všech druhů zboží, ať už v ČR nebo ve zbytku světa. Tato jednotka je ideálním přepravním obalem pro kombinovanou dopravu a vzhledem k jednotným rozměrům každého kontejneru dle ISO normy je vhodnou jednotkou pro přepočítávání objemu přepraveného zboží mezi módy. Cílem této práce je provést porovnání srovnávaných přepravních módů v několika faktorech jako jsou kapacita, rychlost, efektivita, energetická náročnost, vliv na životní prostředí a další. Jako vzorová relace byla vybrána Česká republika – Německo, s konkrétními překladišti v Mělníce a Hamburgu. Důvodem tohoto výběru je největší objem přepraveného zboží mezi Českou republikou a sousedním státem, překladiště Mělník a Hamburg byla vybráno z důvodu existujících cest a zázemí pro všechny srovnávané módy. Dalším cílem této práce je výpočet spotřeby energie pro každý srovnávaný mód přepravy. Tento výpočet bude vytvořen na základě předem dopočítané kapacity v jednotkách TEU a zjištěných spotřeb vybraných modelových přepravních jednotek. Tyto výsledky budou poté brány jako vstupní údaje pro výpočet ceny přepravy TEU jednotky na kilometr. Přínos této práce je v nalezení ideálního přepravního módů pro importní a exportní přepravu nejen kontejnerových zásilek, a to ve zmíněných kritériích, jako je kapacita, energetická náročnost a cena PHM/trakční energie.

1 Definice a porovnání jednotlivých módů, a postavení těchto módů v rámci dopravní politiky ČR a EU

1.1 Charakteristika přepravních módů

V této bakalářské práci se porovnávají tři přepravní módy: přeprava silniční, přeprava, železniční a přeprava vodní. Všechny tyto módy spojuje ta vlastnost, že mohou přepravovat kontejnery, což je pro tuto práci klíčové, neboť je TEU jednotka považovaná jako jednotka pro srovnávání kapacity přepravních módů. V ČR se nejvíce ze srovnávaných módů využívá přeprava silniční a přeprava železniční, toto tvrzení vyplývá z tabulky č. 1 a tabulky č.2 vyjadřujících objem importního a exportního zboží v tunách viz. Kapitola 1.1.1. a 1.1.2. Přeprava silniční je klíčová a nenahraditelná při plošné obsluze území a zásobování regionů, tzv poslední míle. Vodní doprava v ČR postupně opadá a čeští rejdari operují hlavně v zahraničí, zejména v Německu a Nizozemí. [1] [2]

1.1.1 Srovnání módů ve využitelnosti, dosahu a rychlosti

Každý ze srovnávaných módů má své silné a slabé stránky a každý z nich je využitelný pro přepravu kontejnerů svým způsobem. Například silniční přeprava má velkou nevýhodu v kapacitě přepravovaných kontejnerů, proto by se mohla jevit jako nevhodný způsob pro tuto přepravu. Její největší výhodou a také důvodem proč je reálně využívána je rychlost a možnost přepravy na poslední míli. Silniční přeprava je proto využívána hlavně jako přeprava expresní anebo na svoz a rozvoz kontejnerů mezi kontejnerovými terminály a zákazníkem (sklady, distribuční centra). Možnost využití alternativních cest například při kongesci či dopravní nehodě, dělá silniční přepravu flexibilní a operativní. Při přepravě po železnici i po vodní cestě tato flexibilita chybí, protože buď alternativní cesty nejsou, anebo jejich použití způsobí velkou zajiždku a časovou ztrátu. Proto je při přepravě vodní a železniční dbán velký důraz na bezpečnost a funkčnost cest, například zabezpečováním ETCS na železnici. ETCS je vlakový zabezpečovací systém, který nahrazuje cca různých národních alternativ vlakových zabezpečovacích systémů. Nahrazením všech rozdílných zabezpečovacích systémů za jeden společný bude dosaženo interoperability, nebude potřeba přepřahat hnací lokomotivy, nebo je vybavovat více systémy různých národností. Tento systém se začal poprvé v ČR realizovat na traťovém úseku mezi Poříčany a Kolínem v roce 2005. [3]

Vodní doprava je z porovnávaných módů nejpomalejší, dle EVD se průměrná rychlost plavidla pohybuje od 8 do 10 km/h. Proto se nejčastěji využívá na přepravu komodity, které se nekazí, ani je není potřeba přepravit v žádném časovém okně, například písky, sutě a odpady. Přeprava po vodních cestách se také používá k přepravě nadrozměrných zásilek, které již není

možné přepravovat na silnici ani železnici. V současné době není vodní přeprava v ČR plně uskutečnitelná kvůli nespolehlivosti vodních cest. Dlouhodobě snížený stav vodních cest v ČR znemožňuje přepravu úplně, nebo je potřeba nevyužívat plné kapacity lodí, aby nebyl snížen ponor a nedošlo následně k nasednutí lodě na dno. V tabulce č. 1 je přehledně sepsáno pár hlavních výhod a nevýhod, které odlišují jednotlivé módy mezi sebou. [1]

Výhody a nevýhody jednotlivých přepravních módů		
	Výhody	Nevýhody
Silniční přeprava	rychlost, možnost přepravy na poslední míly, flexibilní, operativní	nízká kapacita (2TEU)
Železniční přeprava	velká kapacita (92 TEU), vysoká jízdní rychlost	nízká flexibilita
Vodní přeprava	největší kapacita (115 TEU), možnost přepravy nadrozměrných zásilek	nízká flexibilita, nízká rychlost, závislost na vodním stavu

Tabulka 1 - Výhody a nevýhody jednotlivých přepravních módů

1.1.2 Definice intermodální a multimodální přepravy

Definice dle ČSN 269375 „Terminologie kombinované dopravy“:

Multimodální přeprava je přeprava zboží nejméně dvěma různými druhy dopravy.

Intermodální přeprava je multimodální přeprava zboží v jedné a téže přepravní jednotce nebo silničním vozidle, která/ktelé postupně užije různých druhů dopravy bez manipulace se samotným zbožím při měnících se druzích dopravy.

Kombinovaná doprava je intermodální přeprava, kdy převážná část trasy se uskutečňuje po železnici, vnitrozemskou vodní cestou nebo na moři a přičemž počáteční (svoz), anebo závěrečná část (rozvoz) probíhá po silnici a je zpravidla co nejkratší.

V této bakalářské práci je porovnávána tzv. převážná část trasy. To znamená, že do porovnávání není zahrnuta cesta kontejneru od zákazníka do terminálu, nebo naopak z terminálu k zákazníkovi. Je potřeba zmínit, že tento fakt znevýhodňuje dopravu silniční, protože při přepravě zboží po silnici nedochází k překládce mezi počáteční a závěrečnou částí. Nejednalo by se poté o kombinovanou dopravu, ale dopravu pouze s jedním přepravním

módem. Výhoda oproti kombinované dopravě spočívá v ušetřeném času na překládkách, můžeme tedy tento způsob přepravy po silnici brát jako expresní. [4]

Další možností kombinované dopravy je systém RoLA z německého Rollende Landstraße (pohybující se silnice), Tento druh přepravy je kombinací přepravy silniční a přepravy železniční, kdy je po železnici přepravována celá silniční souprava, tedy sedlový tahač s jakýmkoliv typem návěsu. Smysl této přepravy je v úspoře paliva u silničních vozidel a v možnosti vykonání pauzy pro řidiče silničního vozidla. [5]

Podobnou možnost jako RoLa nabízí systém RoRo z anglického Roll-on/Roll-off (najeď/vyjed') kdy je koncept přepravy stejný jako u RoLA akorát s tím rozdílem, že místo přepravy po železnici je přeprava uskutečněná lodí. Tento systém je běžný například při přepravě zboží z kontinentální Evropy do Anglie. I zde platí, že výhoda je úspora paliva silničních vozidel a možnost odpočinku řidičů. [6]

1.2 Objemy dopravy v ČR

Objemy dopravy v ČR jsou vyjádřeny v tabulkách č. 2,3 a 4 a z těchto údajů jsou vytvořeny grafy č. 1,2 a 3. Objemy jsou rozděleny na importní přepravu, exportní přepravu a přepravu vnitrostátní. Všechny údaje pochází z ročenek ministerstva dopravy. [7]

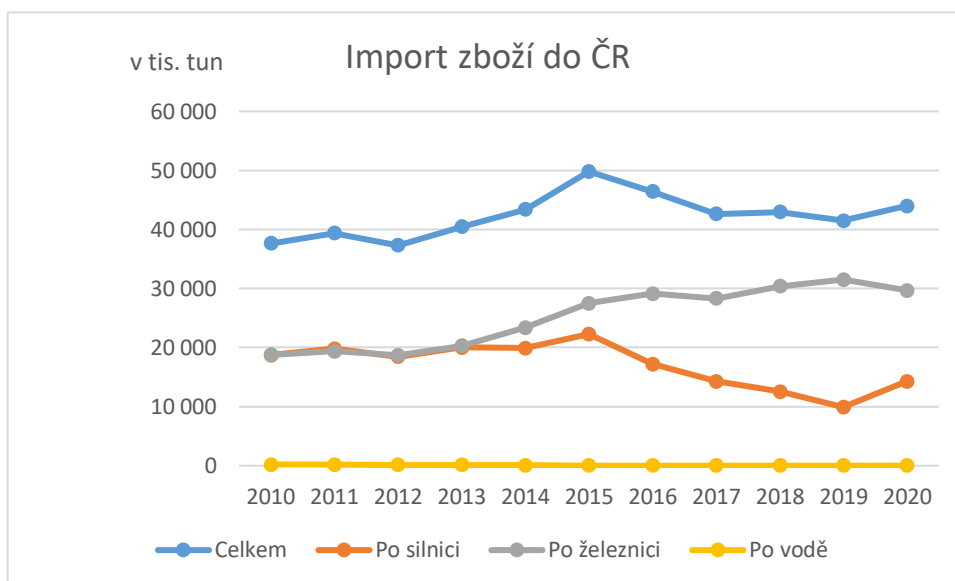
1.2.1 Import – dovoz zboží

V tabulce č. 2 jsou data ministerstva dopravy importovaného zboží do České republiky všech komodit mezi lety 2010 až 2020 rozdělené dle použitých přepravních módů.

Import zboží do ČR (v tis. tun)				
	Po silnici	Po železnici	Po vodě	Celkem
2010	18705	18790	167	37662
2011	19802	19391	193	39385
2012	18436	18698	159	37292
2013	20028	20317	137	40482
2014	19923	23372	91	43386
2015	22282	27487	44	49813
2016	17218	29138	52	46408
2017	14282	28319	29	42630
2018	12561	30373	17	42951
2019	9920	31519	32	41471
2020	14304	29675	12	43990

Tabulka 2 - Import zboží do ČR

Tato data jsou zpracována v grafu č.1, ve kterém lze vyčíst narůstající tendence importu po železnici od roku 2013 dál. Zbývající objem pokrývá hlavně přeprava silniční, která působí velmi kolísavě. Vodní doprava se na importu zboží téměř nepodílí, důvodem je špatný stav vodních stavů, čímž je znemožněn celo roční provoz, jak je tomu ve dvou zbývajících módech. Dále je v od roku 2015 velmi patrné, že preferovaným módem importní přepravy v ČR je železniční přeprava. [7] [8]



Graf 1 - Import zboží do ČR

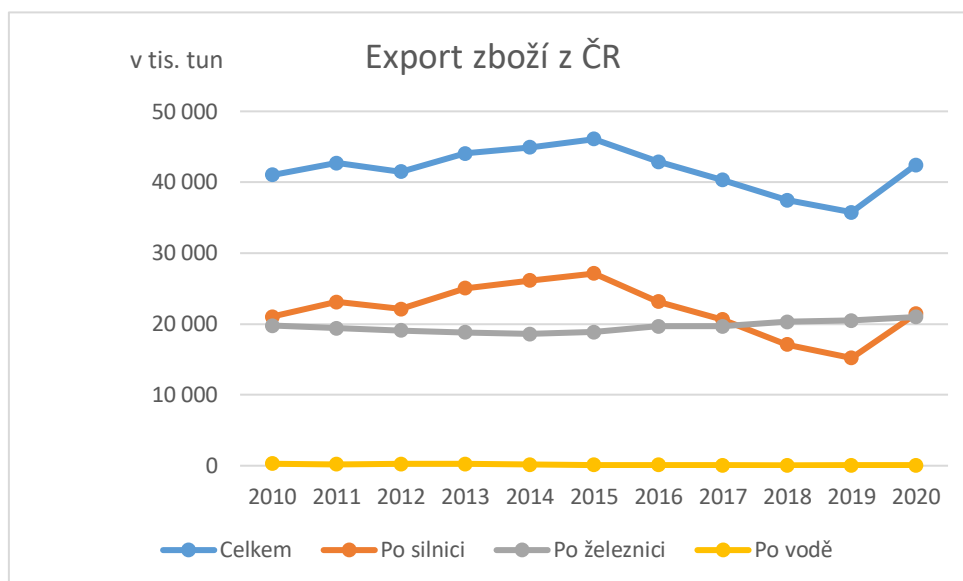
1.2.2 Export – vývoz zboží

Stejně jako pro import byl vytvořen graf č. 2 pro celorepublikový export zboží v posledních deseti letech.

Na tomto grafu již není vidět příznivá stoupající tendence u železniční, či vodní přepravy. Na pokles celkového množství exportu zboží z ČR mezi lety 2015 až 2019 reagovala nejvíce silniční doprava, tzn. že silniční přeprava nemá tak silné postavení na trhu jako přeprava železniční, u které je objem konstantní bez ohledu na situaci na trhu. [7]

Export zboží z ČR (v tis. tun)				
	Po silnici	Po železnici	Po vodě	Celkem
2010	21019	19746	276	41041
2011	23083	19401	205	42689
2012	22116	19099	257	41473
2013	25030	18812	234	44076
2014	26132	18604	173	44909
2015	27116	18838	118	46072
2016	23151	19650	92	42893
2017	20601	19661	63	40324
2018	17077	20324	58	37459
2019	15199	20496	76	35772
2020	21411	20975	67	42453

Tabulka 3 - Export zboží z ČR



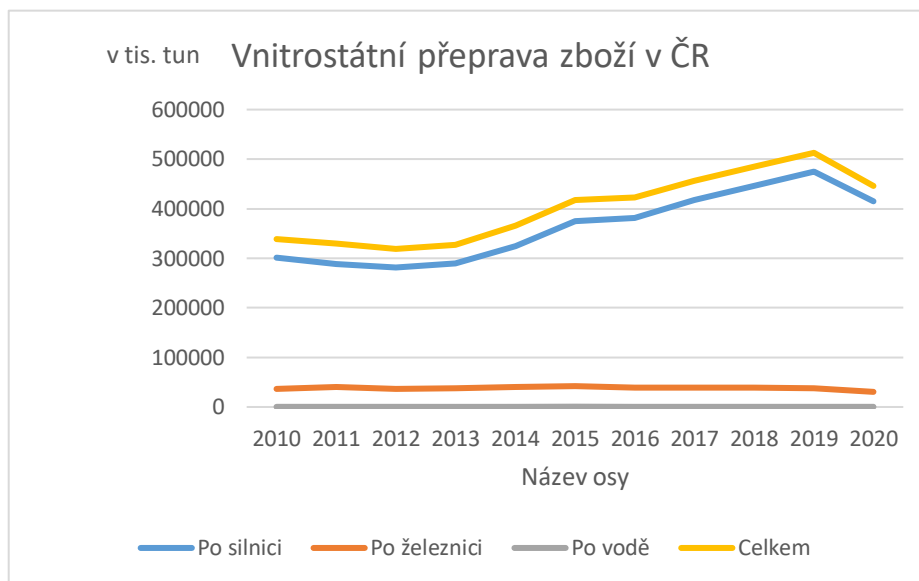
Graf 2 - Export zboží z ČR

1.2.3 Vnitrostátní přeprava v ČR

Z dat v tabulce č. 4 získaných ze stránek ministerstva dopravy byl vytvořen graf č. 3. Z grafu lze vyčíst, že ve vnitrostátní přepravě zboží dominuje přeprava silniční. Hlavním důvodem je využití přepravy železniční a vodní na dlouhé vzdálenosti. Vzhledem k rozloze ČR je silniční přeprava časově nejvýhodnější, protože zde není nutnost žádné překládky v terminálech, ale zboží putuje napřímo odesílatel – příjemce.

Vnitrostátní přeprava				
	Po silnici	Po železnici	Po vodě	Celkem
2010	301453	37078	371	338902
2011	288581	40203	510	329294
2012	281398	37054	410	318862
2013	289146	37270	236	326652
2014	324129	40656	538	365323
2015	375106	42069	684	417859
2016	382009	39692	682	422383
2017	417972	38440	418	456830
2018	445324	38652	315	484291
2019	474842	37299	670	512811
2020	414830	30529	318	445677

Tabulka 4 - Vnitrostátní přeprava zboží v ČR



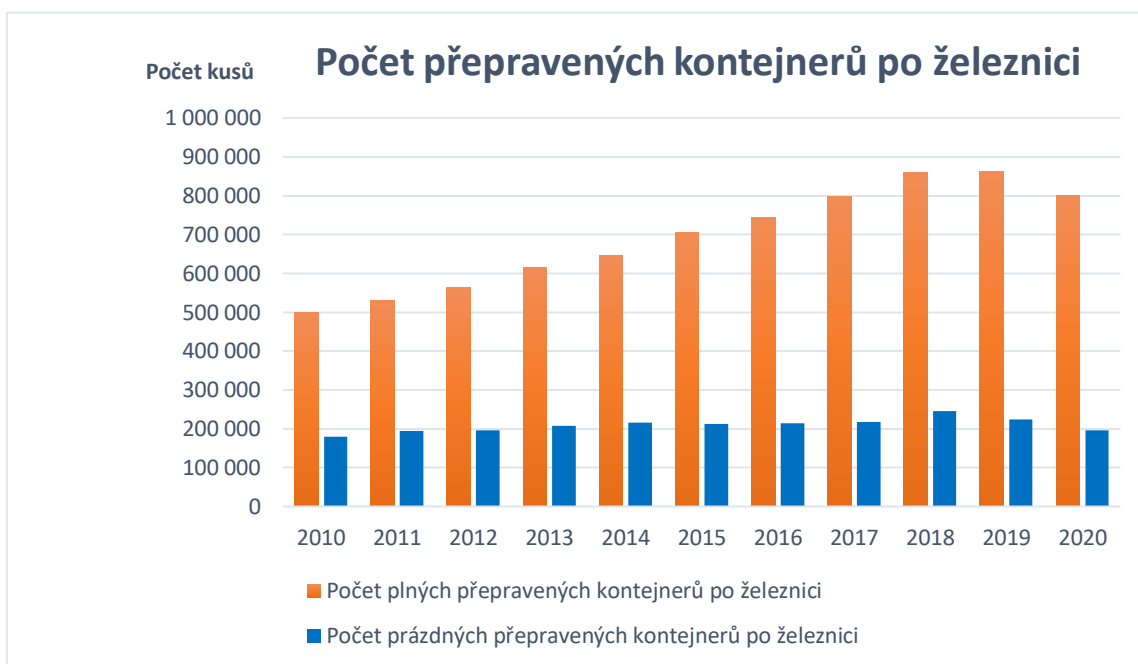
Graf 3 - Vnitrostátní přeprava zboží v ČR

1.2.4 Počet přepravených kontejnerů

V tabulce č. 5 je počet přepravených kontejnerů (TEU jednotek) po železnici za daný rok. Jedná se o součet všech kontejnerů, export, import, vnitrostátní, plné i prázdné. Tato statistika byla dohledána pouze pro železniční přepravu, přesto je možné si z grafu č. 4 udělat představu o přepraveném množství, které kromě poklesu mezi lety 2019 a 2020 dlouhodobě narůstá.

Počet přepravených kontejnerů po železnici	
Rok	Počet kusů
2010	499029
2011	529167
2012	563957
2013	616088
2014	646479
2015	706697
2016	744849
2017	796885
2018	860175
2019	862723
2020	799611

Tabulka 5 - Počet přepravených kontejnerů po železnici



Graf 4 - Počet přepravených kontejnerů po železnici

1.3 Strategické dokumenty ČR a EU

V této části bakalářské práce jsou zmíněny a stručně shrnuty strategické dokumenty ČR a EU ovlivňující přepravu, konkrétně přepravu kombinovanou. Konkrétní dokumenty jsou: Rozvoj dopravní infrastruktury do roku 2050, Koncepce nákladní dopravy pro období 2017-2023 s výhledem do roku 2030, a Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050. Všechny zmíněné dokumenty k dispozici na stránkách MDČR.

Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050

Z tohoto strategického dokumentu je klíčový bod 1.2 Specifický cíl: Multimodální přístup, z dokumentu Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050. Předpoklad v tomto bodě je, že spalovací motor v dopravě vykazuje nedostatky oproti elektromotoru v účinnosti a vlivem na životní prostředí, tvorbou hluku a emisí. Železniční přeprava má také výhodu nižšího valivého odporu a odporu prostředí. Pokud existuje pravidelný a silný přepravní proud, je nezbytné zajistit využívání kolejové dopravy s elektrickou vazbou, obdobně výhodné je využití vnitrozemské vodní dopravy. Multimodální přístup musí být výhodný nejen z pohledu životního prostředí, udržitelného vývoje, ale i ekonomicky, proto je nutnost klást důraz na mezioborovou spolupráci a na potlačování mezioborových externalit.

Koncepce nákladní dopravy pro období 2017-2023 s výhledem do roku 2030

Tento dokument byl schválen vládou ČR dne 27. ledna 2017 v usnesení č. 57 o Koncepci nákladní dopravy pro období 2017-2023 s výhledem do roku 2030. Cílem této Koncepce nákladní dopravy je stanovit priority pro oblast logistiky a nákladní dopravy a vytvořit takové prostředí, ve kterém může logistika a nákladní doprava zajišťovat potřebnou úroveň služeb pro zajištění konkurenceschopnosti ekonomiky, a zároveň hospodárně využívat existující zdroje. Jedním z prostředků ke snížení negativních celospolečenských účinků nákladní dopravy na společnost je rovnoměrná dělba přepravní práce mezi jednotlivé druhy dopravy. Cílem dokumentu je tedy uspokojovat přepravní poptávku s minimálními dopady na veřejné zdraví, životní prostředí a klimatické změny. Mezi dokumenty, které mají význam pro tvorbu Koncepce nákladní dopravy patří Bílá kniha – Plán jednotného evropského dopravního prostoru, Akční plán zavádění inteligentních dopravních systémů v Evropě, nařízení Evropského Parlamentu a Rady EU č. 1315/2013/EU o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě (TEN-T), Doprava šetrnější k životnímu prostředí (2008) a další dokumenty.

Kapitola 3.6 Kombinovaná a multimodální doprava v tomto konceptu nákladní dopravy detailně popisuje problematiku a slabá místa tohoto druhu přepravy v ČR. Tato kapitola strategického dokumentu obsahuje následující podkapitoly: Systematická a účinná podpora investiční i legislativní, Síť a parametry překladišť, Nedostatečná vybavenost silničních dopravců pro kombinovanou dopravu, Programová podpora kombinované dopravy v zahraničí, Zavádění inovací, Rámec motivující k využívání kombinované dopravy. K navýšení podílu kombinované a multimodální dopravy je třeba motivace dopravců formou podpory finanční i provozní a také skrze podporu pořízování intermodálních přepravních jednotek. V návrhové části 4.9 Multimodální a kombinovaná doprava, tohoto dokumentu, jsou sepsané opatření potřebná k eliminaci problematických a slabých míst sepsaných v části 2.3. Nutné je definovat pojem neutrálního terminálu v legislativě, aby bylo zabráněno nepřiměřeným konkurenčním bojům mezi jednotlivými terminály a upřednostňování konkrétních zákazníků. Dalším krokem je investice do překladišť a výstavba nových na nevyužívaných pozemcích bývalých zařízení pro železniční nákladní dopravu.

Rozvoj dopravní infrastruktury do roku 2050

Hlavní zásady vyplývající z národní a evropské dopravní politiky jsou například zvyšování energetické účinnosti, posilování nezávislosti na fosilních palivech, posun k uhlíkově neutrálnímu hospodářství, zvyšování ekonomické efektivity, omezování fragmentace krajiny a další. Plánovaný koncept budování dopravní soustavy spočívá v postupném vytvoření jednotného dopravního systému postavený na mezioborové spolupráci. U tohoto konceptu je

ale nutné zajistit fungování ekonomiky a nesmí tak být omezujícím faktorem jejího rozvoje. Proto je tento postup rozdělen do tří kroků: předcházení potřebám po mobilitě, multimodální přístup k dopravě a optimalizace fungování jednotlivých dopravních módů. Dále tento strategický dokument konkrétně popisuje jednotlivé konkrétní body výstavby a oprav cest silničních, železničních i vodních. Z výstavby a oprav komunikací jsou v této práci zmíněny pouze ty, které spojují ČR s Německem.

Z dálniční sítě se tedy jedná o výstavbu a opravu dálnic D5, D6, D7 a D8. Dálnice D5 (Praha – Plzeň – Německo) je kompletní v celé délce od Pražského okruhu D0 až na hranice s Německem. Dálnice D6 (Praha – Karlovy Vary – Cheb – Německo) má celkovou vzdálenost 168 km, z toho je 69 km teprve v přípravě. V roce 2025 se předpokládá otevření úseku: Krupá - přeložka, Hořesedly – přeložka, Hořovičky - obchvat a Petrohrad – Lubenec, jedná se o 41,7 až 74,7 km dálnice. Dálnice D7 (Praha – Slaný – Chomutov) má celkovou délku 79 km, z toho je 36 km v přípravě. Zprovoznění 1. i 2. etapy stavby MÚK Aviatická – MÚK Ruzyně je předpokládáné v roce 2026. Mezi lety 2023 a 2024 dojde ke zkapacitnění úseků Slaný – hranice Středočeského kraje, Chlumčany a Louny, v celkové délce 29,7 km. V roce 2027 je předpokládáné zprovoznění posledního úseku čekající na zkapacitnění, Postoloprty. Délka tohoto úseku je 4,8 km s předpokládanými náklady 2,14 miliardy Kč. Poslední dálnicí spojující Českou republiku s Německem je dálnice D8 (Praha – Ústí nad Labem – Německo), celkové délky 94 km, ze kterých je 94 km v provozu, bez plánovaných oprav, či výstavby.

Vnitrozemská vodní doprava v ČR za účelem nákladní dopravy se omezuje na Labsko-vltavskou vodní cestu, která je zařazena do hlavní sítě TEN-T. V rámci této sítě je nezbytné, aby splňovala požadavky alespoň pro IV. plavební třídu, to znamená minimální hloubku 250 cm. V současnosti nemá labsko-vltavská vodní cesta dostatečnou splavnost v klíčovém úseku mezi Ústím n/L a státní hranicí. Řešením tohoto problému je realizace Plavebního stupně Děčín a implementovat metodu tzv. vlnování. Princip této metody spočívá ve zvýšení průtoku za účelem dočasného zvýšení plavební hloubky, když cestu využívá plavidlo. Pro splavnění labské cesty až do Pardubic není zajištěna splavnost v úseku v okolí Přelouče, tento problém vyřeší realizace plavebního stupně Přelouč. Tento projekt se v současné době potýká s problémy ve vztahu k životnímu prostředí, přičemž se bude opakovat celý proces EIA. Labsko-vltavská vodní cesta je schopna plnit významné funkce v nákladní dopravě, zejména v chemickém průmyslu, v přepravě hromadných substrátů a při přepravě nadrozměrných nákladů. V případě hlavního města může vodní doprava plnit i důležité funkce v rámci městské logistiky. Další rozvoj vodních cest v ČR je spojen s projektem Dunaj-Odra-Labe (DOL). V roce 2019 dokončená studie proveditelnosti ukázala, že labská větev projektu DOL je vysoce nákladná a její ekonomická efektivnost je sporná. Proto se ani v dlouhodobém horizontu nepočítá s její realizací a bude pouze zachována její územní rezerva. Dunajsko-oderské

propojení vykazovalo určitý potenciál ekonomické efektivity, ale i zde jsou značná rizika. Prvním rizikem je tenká hranice ekonomické efektivity, při vyšší poptávce, než je ve studii předpokládána by bylo třeba dalších investic v řádu desítek miliard Kč, naopak při nižší poptávce by již projekt nebyl efektivní. Druhým rizikem je dopad projektu do ekosystémů mokřadních společenstev. [9] [10] [11] [12] [13]

1.4 Přehled stavů techniky

Z dat MDČR byla vytvořena tabulka č. 6, počet registrovaných dopravních prostředků v ČR mezi lety 2010 až 2020. Tabulka je také barevně rozdělena podle druhů módů: červená barva pro přepravu silniční, modrá pro přepravu vodní a oranžová pro přepravu železniční. Některá data nejsou přesná, ať už z důvodu změny metodiky počítání silničních vozidel v roce 2018 nebo nedostatečným rozdělením. Například lokomotivy nejsou rozděleny na nákladní a osobní, důvodem může být využití některých nákladních lokomotiv i na přepravu osob a naopak.

Rok	Počet registrovaných vozidel		Počet registrovaných plavidel			Počet registrovaných drážních vozidel	
	Počet nákladních vozidel	Počet návěsů	Počet nákladních lodí	Počet tlačných remorkerů	Počet tlačných člunů	Počet lokomotiv	Počet plochých vagónů
2010	3 193	28909	46	93	162	2085	35077
2011	3 254	30341	44	89	145	2076	34299
2012	4 959	35116	40	84	136	2088	34091
2013	5 023	35361	32	83	119	1932	33289
2014	6 744	39118	31	82	114	1895	32870
2015	8 851	42433	30	78	107	1920	32827
2016	11 101	43470	30	74	103	2003	34596
2017	12 756	43067	33	71	106	2010	33057
2018	13 968	40565	39	73	115	1999	32213
2019	15 494	37094	33	70	95	2004	31051
2020	16 455	34052	38	64	87	1999	30219

Tabulka 6 - Přehled stavů techniky

Proto tato tabulka slouží hlavně k znázornění tendence růstu či poklesu stavů techniky. Velký nárůst lze pozorovat u silniční přepravy, mírnou stagnací u stavu železničních vozidel

a dlouhodobý pokles stavů techniky plavidel, ať už se jedná o nákladní lodě, či soustavy tlačných remorkérů s tlačnými čluny.

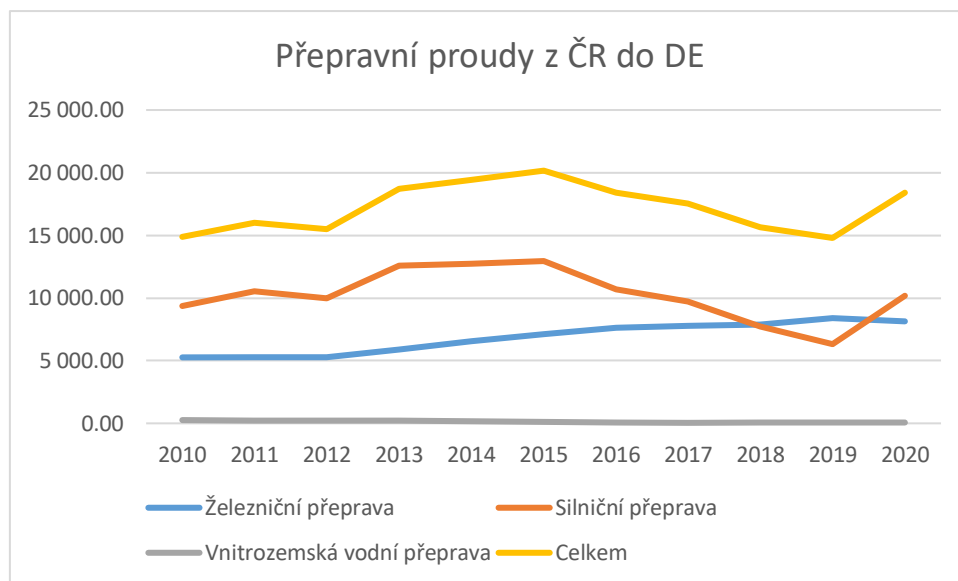
2. Nákladní přeprava v relaci Česká republika - Německo: technické a technologické možnosti a omezení přepravy v relaci, vývoj nákladní přepravy v relaci od r. 2010

2.1 Vývoj nákladní přepravy v relaci od r. 2010

Z údajů ze stránek Ministerstva dopravy byly vytvořena tabulka č. 7 o objemu nákladní přepravy mezi Českou republikou a Německem. V tabulce je celkový objem přepraveného zboží rozdělen mezi silniční, železniční a vnitrozemskou vodní dopravu. Pro větší přehlednost jsou z údajů této tabulky vytvořeny grafy porovnávající jednotlivé módy mezi sebou v objemu exportní a importní přepravy. Graf č.5 porovnává celkový objem všech módů v importu a exportu mezi Českou republikou a Německem.

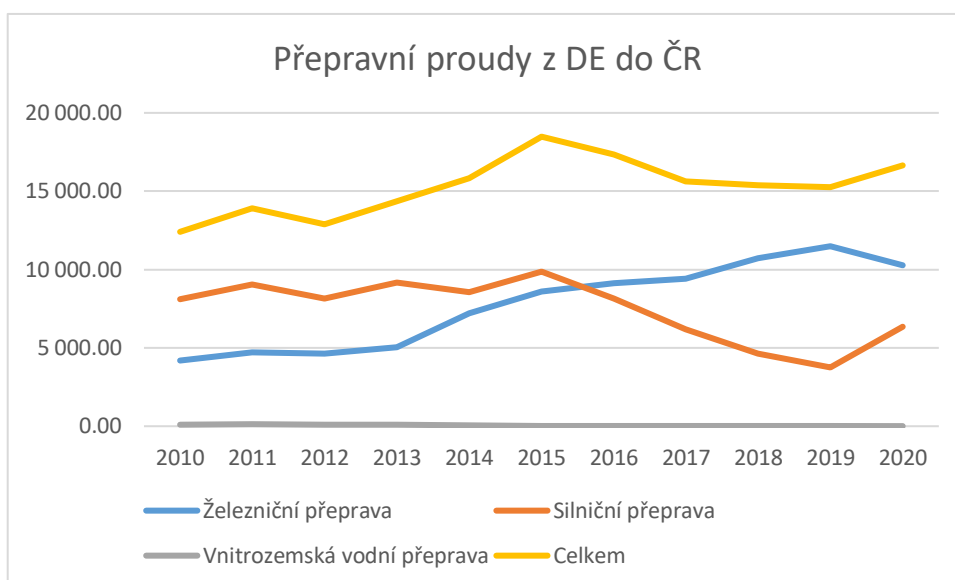
Objem importní a exportní přepravy mezi ČR a DE (v tis. tun)								
	Železniční přeprava		Silniční přeprava		Vodní přeprava		Celkem	
	Export	Import	Export	Import	Export	Import	Export	Import
2010	5 263.20	4 192.80	9 369.30	8 097.80	261.8	116.1	14 895.00	12 408.40
2011	5 290.40	4 734.10	10 514.10	9 041.30	193.5	132	15 998.00	13 907.40
2012	5 294.30	4 645.10	9 955.30	8 143.30	237.8	103.8	15 487.30	12 892.30
2013	5 883.30	5 060.90	12 588.20	9 178.50	213.2	101.1	18 684.70	14 340.40
2014	6 541.30	7 189.40	12 729.10	8 572.40	144.7	62.9	19 415.10	15 824.60
2015	7 112.60	8 579.50	12 948.50	9 867.60	99.5	34.8	20 160.60	18 481.90
2016	7 648.70	9 145.80	10 701.60	8 148.90	69.3	30	18 419.60	17 324.70
2017	7 771.70	9 431.90	9 745.30	6 174.20	40.6	16.9	17 557.60	15 623.10
2018	7 871.20	10 730.60	7 707.40	4 636.10	51.1	8	15 629.70	15 374.70
2019	8 396.40	11 488.10	6 319.00	3 753.80	74.9	8	14 790.30	15 249.90
2020	8 148.00	10 284.10	10 165.70	6 362.10	65.8	6.3	18 379.40	16 652.50

Tabulka 7 - Objem importní a exportní přepravy mezi ČR a DE



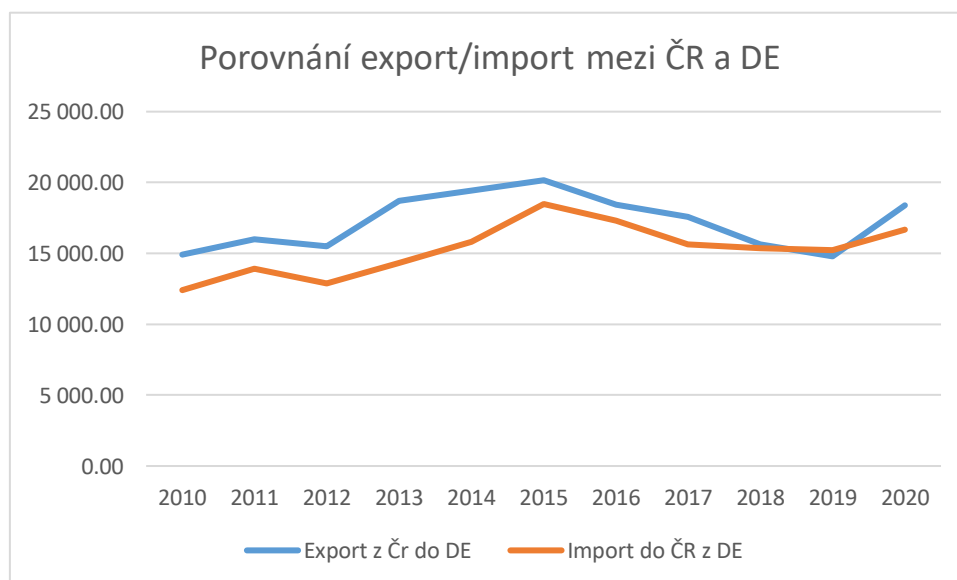
Graf 5 - Převravní proudy z ČR do DE

U exportní přepravy dominuje silniční přeprava mezi lety 2010 až 2017, kdy postupně ubývá na objemu až pod 6 300 tisíc tun za rok. Železniční exportní přeprava zvyšuje každým rokem svůj objem kromě roku 2020, kdy došlo k mírnému poklesu v objemu. U importní přepravy graf č. 6, dochází ke stejnému jevu jako u přepravy exportní, přeprava silniční postupně klesá a nahrazuje jí přeprava železniční. Mezi lety 2019 až 2020 dochází jak u importní, tak exportní přepravy k vysokému nárůstu silniční přepravy.



Graf 6 - Převavní proudy z DE do ČR

Při porovnání celkového objemu exportní a importní přepravy je patrné, že import téměř kopíruje export. Opět je v grafu č. 7 vidět skokový nárůst objemu mezi lety 2019 a 2020, který vykryla hlavně přeprava silniční, díky flexibilitě a možnému rychlému nárůstu přepraveného objemu.



Graf 7 - Porovnání export/import mezi ČR a DE

2.2 Technické a technologické možnosti

2.2.1 Terminály v ČR

V tabulce č. 8 jsou vypsány nejdůležitější terminály v České republice, jako vzorový terminál pro výpočty na konkrétní relaci byl vybrán kontejnerový terminál Mělník. Důvodem této volby je možnost překládky ze všech tří srovnávaných módů, provozují se zde reálné přepravy kontejnerů po železnici do Hamburgu a Bremer Hāfenu. Ve výběru terminálu hrálo také bydliště autora práce, tudíž terminál Mělník měl možnost navštívit, a i pořídít fotodokumentaci, viz. kapitola 2.2.2. [14]

Terminál	Operátor/ provozovatel	Možné přepravní módy	Plocha (m ²)	Kapacita	Terminálové koleje	Portálové jeřáby	Zakladače
Praha	Metrans	silniční železniční	420 000	20 000 TEU (12 500 plných 7 500 prázdných)	15 (7 x 600m, 2 x 550 m, 6 x 350m)	6	13 (3 x 45 t, 10 x 10/12 t)
Mělník	České přístavy Rail Cargo Operator - CSKD Star Container	silniční železniční vodní	33 000	5 600 TEU		1	4
Lovosice	ČD-DUSS	silniční železniční	23 000	1 000 TEU	3 (celkem 2 100 m, manipulace 1 000 m)	1	3 (45 t)
Ústí nad Labem	Metrans, České přístavy, T-Port	silniční železniční vodní	25 500	3 500 TEU (1 500 plných, 2 000 prázdných)	3 (1 x 185 m, 2x 160 m)	1	5 (3 x 45 t, 2 x 12 t)

Tabulka 8 - Terminály v ČR

2.2.2 Kontejnerový terminál Mělník

Kontejnerový terminál Mělník se nachází v blízkosti stejnojmenného města Mělník. Díky svému umístění vznikl důležitý dopravní uzel mezi silniční, železniční a lodní dopravou. Tento terminál o rozloze 80 000 m² byl uveden do provozu v roce 2003, vlastníkem je společnost České přístavy, a.s. Terminál je situován na pravém břehu řeky Labe a to od 0,7 ř.km do 3,0 ř.km. Nakládku zajišťují 4 stohovače kontejnerů a dva kolejové elektrické jeřáby. Součástí terminálu jsou i dva přístavní bazény, které slouží v případě povodní i jako protipovodňová ochrana pro nákladní i osobní lodě. Tento přístavní bazén má plochu 105 000 m² a poskytuje stání v běžném provozu pro 41 plavidel, v případě průchod velkých vod má kapacitu až 87 plavidel. Pro přepravy do zahraničí jsou používány motorové nákladní lodě Apollo, Athena a Labe 25, které disponují výkonem 456 kW a nosností přes 1000 tun. Do budoucna připravují

České přístavy, a.s. soustavu TR 610 + TČ 1100 + TČ 500, na kterou je tato bakalářská práce dimenzovaná, také pro zahraniční přepravu. [2] [14]



Obrázek 1 - Kontejnerový terminál Mělník [15]

Rozšíření manipulačního prostoru a vybudování vlečkových kolejí 2016-2020

Nakládka i vykládka probíhá buď v kontejnerovém terminálu Mělník nebo v kontejnerových terminálech Přístav Hamburg. Průměrná doba k naložení 90 TEU jednotek trvá 8 hodin. Tento údaj byl stanoven pro nakládku i vykládku, a to vlaku i lodě stejně. Naložení nákladního vozidla je otázka desítek minut, což přidává tomuto módu přepravy na celkové rychlosti.

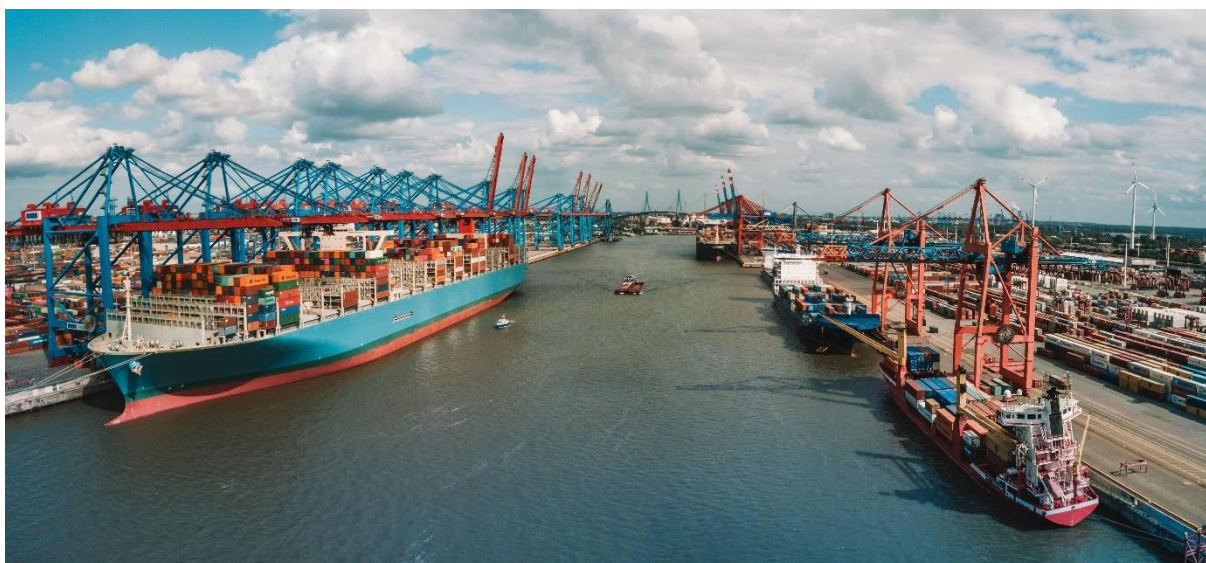
Mezi lety 2016–2020 došlo k rozšíření a ekologizaci kontejnerového terminálu v Mělníku, za což získala společnost České přístavy, a.s. cenu za ekologii v celostátní soutěži v kategorii dopravní stavba roku. Výsledkem toho projektu je plynulejší a rychlejší nakládka, hlavně díky delším vlečkovým kolejím a novým portálovým jeřábům, viz obrázek č. 2. Také bylo zjištěno nižší energetické náročnosti terminálu, a hlavně nižší hlučnosti, na kterou si obyvatelé města Mělník často stěžovali. Stavbu zajistila společnost SWIETELSKY spolu se svojí dceřinou společností SWIETELSKY Rail CZ, která se postarala o železniční část zakázky. V rámci přestavby byly prodlouženy vlečkové koleje číslo 403, 404 a 101a. Celkem přibylo 8 výhybek a 1754 metrů vlečkových kolejí. Tyto vlečkové koleje obsluhují dva elektrické kontejnerové jeřáby Kuenz na rozchodu koleje 38 metrů a délce kolejnic 875 metrů. Tento projekt byl z 85 % financován z fondu EU na podporu CEF. [15] [14]



Obrázek 2 - Přístavní jeřáby v terminálu Mělník - Autor

2.2.3 Kontejnerové terminály Přístav Hamburg

Kontejnerové terminály Přístav Hamburg se nachází ve stejno jmenném městě Hamburg, které je druhým největším městem Německa. Terminály jsou celkem 4 s názvy EUROGATE Container Terminal Hamburg GmbH, HHLA Container Terminal Altenwerder GmbH, HHLA Container Terminal Burchardkai GmbH a HHLA Container Terminal Tollerort GmbH. Všechny 4 terminály mají celkovou kapacitu 12 milionů TEU jednotek a každý z nich má vlastní železniční napojení. První oficiální kontejnerový terminál byl Burchardkai a to už v roce 1967. V současné době je terminál Burchardkai vybaven 30 kontejnerovými jeřáby a z nich 18 je určeno pro nakládku těch největších kontejnerových lodí světa s kapacitou až 24 000 TEU jednotek viz. obrázek č. 3. Kontejnerové terminály Přístav Hamburg se také pyšní vysokou efektivitou a autonomií svých terminálů, například v terminálu Altenwerder přesun kontejnerů mezi skladovacími bloky a lodními jeřáby obstarávají autonomní vozíky AGV. [16]



Obrázek 3 - Nakládka lodní třídy Panamax v Přístavu Hamburg [34]

Automatizace kontejnerových terminálů

AGV neboli automaticky řízená vozidla či autonomní vozidla jsou pojízdné nosiče kontejnerů využívané primárně v kontejnerových terminálech. Terminál Altenwerder první takovéto vozidlo pořídil v roce 2001 a od té doby jich v terminálu operuje již 100. I samotná AGV prochází vývojem, a to hlavně v oblasti napájení, První autonomní vozidla byla napájena dieselovým agregátem, později elektromotory napájenými olovenými bateriemi a ty nejnovější

typy přešly na baterie lithiové. Tyto vozidla mají nosnost až 70 tun a dokážou naráz přepravit dva 20“ stop dlouhé kontejnery, jeden 40“ stop dlouhý kontejner nebo i 45“ stop dlouhý kontejner. Díky přesnosti autonomního řízení +/- 25 mm nemají v přepravě kontejnerů po terminálu konkurenci.

Další automatizací je proces skladování a překládky kontejnerů, a to při nakládce i vykládce železničních i silničních vozidel. Každý z 26 skladovacích bloků má jeden větší a jeden menší autonomní portálový jeřáb. Jako jedna z hlavních výhod je 24hodinový provoz těchto bloků, a to i bez osvětlení, čímž je ušetřeno až 2 000 MWh energií ročně. [17]



Obrázek 4 - Kontejnerový terminal Altenwerder [17]

2.3 Limity přepravy v relaci a možnosti dalšího vývoje

2.3.1 Kapacita železniční tratě

Kapacita železniční tratě na zvolené relaci, konkrétně hraniční přechod Děčín – Bad Schandau, je dlouhodobě přetěžovaný a jedná se o jediný dvojkolejný elektrifikovaný přechod do Německa. Přes tento úsek projíždí denně kolem 100 nákladních vlaků, přesto je zde stará trakční soustava 3kV DC. Řešením tohoto problematického úseku by bylo postavení dalšího dvojkolejného elektrifikovaného přechodu do Německa. Také velkou pomocí bude výstavba vysokorychlostní tratě VRT 4, které tak odkloní osobní dopravu.

VRT 4 – Praha – Ústí nad Labem – Drážďany kde dojde k napojení na západoevropskou vysokorychlostní železniční síť, tím dojde k odklonění části osobní přepravy ze současné trasy. Tím se uvolní místo pro navýšení kapacity železniční sítě v relaci. Kromě úseku Praha – sjezd Litoměřice, který bude sloužit pouze pro přepravu osobní, bude moct zbytek VRTu 4 využívat i nákladní přeprava. Zahájení stavby je naplánováno na rok 2027. Studie proveditelnosti pro úseky RS 4 z Prahy do Ústí nad Labem, až do Německa, byla schválena 22.12. 2020.

U železniční komunikace je zásadní elektrifikace hlavních tratích, které elektrifikované nejsou a podpora konverze trakční soustavy na 25 kV AC jako náhradu za současný 3kV DC, který se nachází v severní polovině ČR. Důvodem této konverze je snížení energetických ztrát a zvýšení výkonů přepravy moderními hnacími jednotkami, konstruované pro tyto výkonnější modernější soustavy. Dalším krokem v oblasti dráhy je modernizace a optimalizace hlavních tras: Plzeň – České Budějovice – Jihlava, Ústí n/O – Choceň – Hradec Králové – Praha, Zhořelec – Liberec – Praha, Cheb – Karlovy Vary – Most – Ústí nad Labem, Kolín – Havlíčkův Brod – Brno. Nemalé investice také putují do programu rozvoje vysokorychlostní železniční infrastruktury, který byl schválen vládou ČR usnesením č. 389 dne 22. května 2017. V tomto usnesení vláda ČR konstatuje, že rozvoj Rychlých spojení představuje výraznou příležitost a impuls pro udržitelný rozvoj ČR a jejích regionů v celoevropském kontextu a že rychlá železniční doprava se stane běžně využívaným a dostupným dopravním prostředkem pro všechny skupiny obyvatelstva. V roce 2025 začne stavba prvního úseku vysokorychlostní železnice VRT – 01 (Praha-Běchovice – Poříčany), předpokládané zahájení provozu je v roce 2028. Úsek VRT – 08 (Praha Balabenka – sjezd Lovosice) bude zahájen v roce 2027, s předpokládaným zahájením provozu v roce 2030. V plánu je i dalších 6 úseků, zatím bez stanoveného časového harmonogramu. [18]

2.3.2 Splavnost Labe

Nejproblematictější splavnost Labe je v úseku od státních hranic se Spolkovou republikou Německo až po Ústí nad Labem. Tato část Labské vodní cesty je zařazena dle dokumentů OSN i EU mezi úzká hrdla komerčně nesplavná. Tento problém by vyřešilo vybudování vodního díla Plavebního stupně Děčín, který by tak zajistil ponor 1,4 metrů po dobu 345 dní v roce a po dobu 180 dní ponor nejméně 2,2 metrů. Tato stavba by zahrnovala plavební komoru o délce 200 metrů a šířce 24 metrů a vodní elektrárnu obsahující dvě Kaplanovy turbíny a roční výrobou až 47GWh. Důležité je taky zmínit důležitost zadržování vody v krajině, čímž se zabrání suchu a stavba také bude schopna předejít nežádoucím efektům jako jsou povodně. [19]

3 Spotřeba energie u jednotlivých přepravních módů – porovnání, dopady na životní prostředí

3.1 Porovnání spotřeby energie u jednotlivých přepravních módů

Pro následující výpočty byl vybrán vždy jeden vzorový prostředek zastupující jednotlivý mód. Každý vybraný prostředek reálně používaný, nebo použitelný na vybrané relaci. V kapitole 3.1.1 je nadefinován silniční prostředek, v kapitole 3.1.2 železniční vozidlo a v kapitole 3.1.3 vnitrozemské vodní plavidlo.

3.1.1 Silniční přeprava

Pro srovnání jednotlivých módů byl pro pozemní dopravu silniční vybrán nákladní automobil s užitnou hmotností nad 3,5 tuny. Nejčastěji se jedná se o soupravu tahače s návěsem se specializací na přepravu kontejnerů. Těchto návěsů existuje několik druhů, klasický návěs s připojením na točnu tahače, kombinovaný skládaný návěs, výklopný návěs na sypké materiály a návěsy s nakládacími jeřáby. Existují i další varianty jako například točnový přívěs nebo odvalovací nosič kontejnerů. Všechny tyto druhy návěsů jsou schopny přepravit maximálně 2 TEU jednotky, v případě 20“ stop dlouhého kontejneru je většinou přepravována pouze 1 TEU jednotka, důvodem je za prvé podobná hmotnost jako u 40“ stop dlouhého kontejneru, tudíž při přepravě dvou 20“ stop dlouhých kontejnerů by byla překročena maximální povolená hmotnost soupravy. Druhým důvodem je konstrukce kontejnerů, přesněji otevírání vrat kontejnerů. Pokud na rampu u zákazníka při vykládce přijede návěs s dvěma 20“ stop dlouhými kontejnery za sebou na návěsu, nebude možné otevřít vrata ke kontejneru blíž ke kabině tahače, proto je přepravována pouze jedna jednotka TEU. Výjimku tvoří výše zmíněný kombinovaný skládaný návěs. Tento návěs se skládá ze dvou dílů, kdy jeden díl má 3 nápravy a druhý díl 2 nápravy. Díky tomuto rozložení lze návěs rozpojit na dvě samostatné části, a tak je umožněna vykládka obou 20“ stop dlouhých kontejnerů zároveň. Na podobném principu pracuje točnový přívěs s kombinací s nosičem kontejnerů, i zde je možné soupravu rozpojit a vykládat tak obě TEU jednotky naráz. Vybraný tahač pro tuto práci je MAN TGX 18.500 XLX, důvodem je průměrná spotřeba mezi srovnávanými tahači jiných značek. [20] [21] [22] [23] [24]



Obrázek 5 - MAN TGX [24]

3.1.2 Železniční přeprava

Dalším srovnávaným přepravním módem je železnice. V tomto případě se využívá speciálních kontejnerových vozů, kterých je několik druhů. Tyto druhy se liší hlavně v počtu náprav, hmotnosti a kapacitou TEU. V praxi je používán mix více druhů kontejnerových vozů, z důvodu rozložení hmotnosti (některé kontejnery jsou více naložené, některé méně) a z dostupných vagónů jednotlivých dopravců. Pro účely této bakalářské práce byl vybrán 6 ti-nápravový kloubový kontejnerový vůz typu Sggmrss 1 (K) který se používá na porovnávané relaci a má nosnost 4 TEU. Maximální povolená délka nákladního vlaku dle údajů SŽ je na této trase stanovena na 680 metrů bez lokomotivy. Pro porovnání s ostatními módy byla zvolena elektrická lokomotiva Bombardier TRAXX F140 MS, české řady 386. Důvodem tohoto výběru je využití těchto lokomotiv společností METRANS či ČD CARGO na zvolené relaci. [25] [26]



Obrázek 6 - Bombardier TRAXX F140 MS 286 940 [30]

Zvoleným vagónem pro tuto práci je typ Sggmrss 1 (k) s kapacitou 4 TEU na vagón. Celková délka vagónu, měřená od nárazníku po nárazník je 29 600 mm. Pro získání počtu povolených vagónů a následně tím i počtu kapacity TEU jednotek, stačí vydělit maximální povolenou délku, na této relaci 680 m, celkovou délkou jednoho vagónu od nárazník po nárazník. Potom se vynásobí počet vagónů kapacitou 4 TEU a vyjde hledaná maximální kapacita vlaku se zvoleným typem vozů Sggmrss 1 (k).

$$\frac{680\,000\text{mm}}{29\,600\text{mm}} * 4 \frac{\text{TEU}}{\text{vůz}} = 23\text{vozů} * 4 \text{TEU} = 92 \text{TEU jednotek}$$

Po konzultaci se společností Rail Cargo operující i v kontejnerovém terminálu Mělník, došlo porovnání výpočtu viz. rovnice č. 1 a reálných souprav operující v relaci. Společnost Rail Cargo využívá kombinaci více druhů kontejnerových vozů, avšak délka soupravy i její kapacita je stejná, tedy 92-96 TEU jednotek. Kombinací více druhů kontejnerových vozů je docíleno lepšímu rozložení hmotnosti na jednotlivé vagony ale i rozložení hmotnosti na celou soupravu.

Pro další výpočty je potřebné znát i hmotnost vlaku, tato hodnota byla spočtena vynásobením počtu vagónů s jejich hmotností, přičtením násobku počtu kontejnerů a jejich hmotnosti určenou na průměrných 15 tun (viz. Kapitola 4.1) a přičtením hmotnosti lokomotivy TRAXX F140 MS. Hmotnost jednoho vozu typu Sggmrss 1 (k) je 29 800 kg

*počet vagonů * hmotnost vagonů + počet TEU * hmotnost TEU + hmotnost lokomotivy*

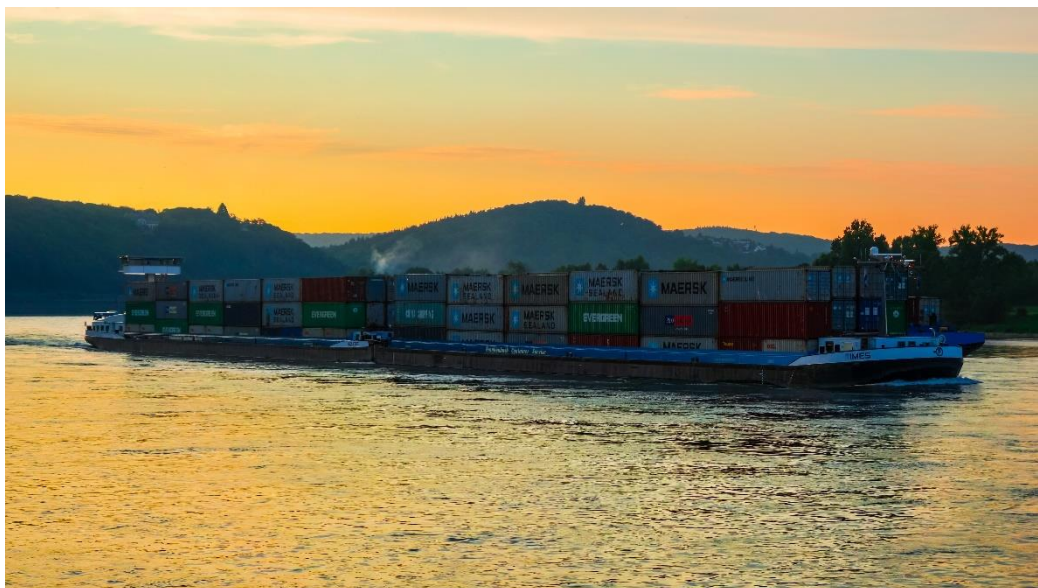
Vzorec 1 – Výpočet hmotnosti vlaku

$$23 * 29\,800\text{kg} + 92 * 15\,000\text{kg} + 85\,000\text{kg} = 2\,150\,000\text{kg} = 2\,150\text{ tun}$$

3.1.3. Vodní přeprava

Vodní doprava není v současné době k přepravě kontejnerů v ČR využívána, hlavními překážkami jsou vodní stav a neuzpůsobení kontejnerového terminálu k nakládce lodí. Na vodních cestách se provozují hlavně dva typy lodí. Prvním typem je motorová nákladní loď, kdy se jedná o jeden nerozpojitelný kus. Druhým typem je tlačný remorkér spojený s jedním nebo dvěma tlačnými čluny. Pro přepravu kontejnerů je vhodnější soustava tlačného remorkéru s tlačnými čluny, protože čluny disponují větší vnitřní šířkou a mají tak až o třetinu větší kapacitu kontejnerů. Proto jako zástupce vodní dopravy byla zvolena sestava tlačného remorkéru, velkého tlačného člunu a malého tlačného člunu. Tato sestava je běžně užívána pro přepravu sypkých materiálů, nadrozměrného zboží, či těžké techniky, ale jak již bylo zmíněno, lze ji také využít pro přepravu porovnávaných kontejnerů, stejně jako například v Holandsku nebo Německu viz. obrázek č. 3. [2] [1]

Všechny důležité technické parametry pro výpočet kapacity i pro srovnání s ostatními módy jsou v tabulce č. 9.



Obrázek 7 - Tlačná sestava s kontejnery [31]

	TR 610	TČ 1150	TČ 500
<i>L max</i>	27 m	71 m	35 m
<i>L1</i>	-	60,96 m	25,04 m
<i>B max</i>	8,7 m	10 m	9 m
<i>B1</i>	-	8,68 m	8,37 m
<i>T max</i>	-	2,2 m	2,3 m
<i>T min</i>	-	0,44 m	0,5m
<i>Nosnost</i>	-	1 200 tun	530 tun
<i>Typ motorů</i>	2xCUMMINS KTA 19M	-	-
<i>Výkon (celkem)</i>	746 kW	-	-
<i>Spotřeba (celkem)</i>	132,8 L/hr	-	-

Tabulka 9 - Technické parametry TR 610 + TČ 1150 + TČ 500

Zvolený tlačný remorkér TR 610 prošel renovací a byly mu vyměněny původní pohonné agregáty za dvojici motorů CUMMINS KTA 19M. Tyto moderní agregáty mají vyšší výkon a nižší spotřebu, právě díky velkému výkonu může tento remorkér bez problému tlačit plně vytíženou soustavu velký TČ 1150 + malý TČ 550. [14]

Výpočet kapacity celkové soustavy proběhl podle dvou kritériích, ve hmotnostním a v objemovém, a to pro každý člun zvlášť. Pro výpočet objemové kapacity byly použity vnitřní rozměry člunů a vnější rozměry TEU jednotky z tabulky č. 10. Pro každý z člunů byla z výsledků vybrána nižší hodnota z kapacity objemové a kapacity hmotnostní, která určuje kapacitu člunu v TEU jednotkách. Poté byla kapacita malého i velkého člunu sečtena, a tak vznikla celková kapacita soustavy v TEU jednotkách.

Výpočty pro TČ 1150:

Hmotnostní kapacita:

$$\frac{1\,200\,000\text{ kg}}{15\,000\text{ kg}} = 80\text{ TEU}$$

Objemová kapacita:

$$\frac{60,96\text{ m}}{6,058\text{ m}} = 10,0627\text{ TEU} = 10\text{ TEU}_L$$

$$\frac{8,68\text{ m}}{2,438\text{ m}} = 3,56\text{ TEU} = 3\text{ TEU}_B$$

$$\frac{2,2 + 7\text{ m}}{2,591\text{ m}} = 3,55\text{ TEU} = 3\text{ TEU}_V$$

Objemová kapacita lodě vznikne vynásobením počtu kontejnerů ve směru délky, šířky a výšky, tedy TEU_L , TEU_B , TEU_V .

$$TEU_L * TEU_B * TEU_V = 10 * 3 * 3 = 90\text{ TEU}$$

Výpočty pro TČ 500:

Hmotnostní kapacita:

$$\frac{530\,000\text{ kg}}{15\,000\text{ kg}} = 35\text{ TEU}$$

Objemová kapacita

$$\frac{25,04\text{ m}}{6,058\text{ m}} = 4,13\text{ TEU} = 4\text{ TEU}_L$$

$$\frac{8,37 \text{ m}}{2,438 \text{ m}} = 3,43 \text{ TEU} = 3 \text{ TEU}_B$$

$$\frac{2,2 + 7\text{m}}{2,591 \text{ m}} = 3,55 \text{ TEU} = 3 \text{ TEU}_V$$

I u malého člunu TČ 500 objemovou kapacitu spočteme vynásobením počtu kontejnerů v každém směru, TEU_L , TEU_B , TEU_V .

$$TEU_L * TEU_B * TEU_V = 4 * 3 * 3 = 36 \text{ TEU}$$

Vzorec 2 - Objemová kapacita TČ 500 - celkem

Při srovnání výsledků objemového a hmotnostního omezení zjistíme, že limitující pro kapacitu je hmotnost kontejnerů, pro TČ 1150 je maximum 80 TEU a pro TČ 500 je maximum 35 TEU. Celková maximální kapacita soustavy je 115 TEU jednotek.

3.1.4 Definování TEU jednotky

Při nakládce všech vybraných módů byly použity pouze 20“ stop dlouhé kontejnery, jejich přesné parametry najdeme v Tab.1. Lk reprezentuje délku kontejneru, Bk šířku a Vk výšku. Uvedená hmotnost 30 000 kg je maximální přípustná brutto hmotnost kontejneru. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků, do vzorce pro výpočet kapacity přepravních módů místo 30 tun bylo dosazeno 15 tun. Důvodem je nižší hmotnost u 40´kontejnerů v přepočtu na TEU (maximální hmotnost u 40´kontejneru je také 30 tun, ale objem je jako 2 TEU jednotky). Dalším faktorem ovlivňující průměrnou hmotnost kontejnerů je ten, že ne vždy jsou kontejnery využity na hmotnostní maximum (kontejner je plný z hlediska objemu, a ne z hlediska hmotnosti).

Rozměry 1 TEU = 20 stop dlouhý kontejner	
Lk max	6,058 m
Bk max	2,438 m
Vk max	2,591 m
mk max	30 000 kg

Tabulka 10 - Parametry TEU jednotky

Z ročenek MDČR vyplývá, že téměř čtvrtina přepravených kontejnerů po železnici v ČR je úplně prázdných. Důvodem přepravy těchto prázdných kontejnerů je vyrovnání rozdílu mezi exportem a importem kontejnerové přepravy.

3.1.5 Nakládka a vykládka



Obrázek 8 - Kontejnerový nakladač [33]

K manipulaci s kontejnery jsou používány kontejnerové portálové jeřáby nebo kontejnerové nakladače. Ideální je kombinace těchto zařízení, protože každé má své výhody i nedostatky. Kontejnerový jeřáb je ideální pro nakládku a vykládku lodí i vlaků díky své rychlosti práce a dobrým přehledem nad terminálem pro obsluhu jeřábu. Kontejnerový nakladač má největší výhodu ve volném pohybu po kontejneru, proto je ideální pro přípravu kontejnerů k nakládce, nebo pro nakládání a vykládání silničních nákladních vozidel. V porovnání s kontejnerovými terminály Přístav Hamburg, kdy je k nakládce a vykládce silničních i železničních vozidel použit portálový jeřáb, který kontejnery stohuje do zásoby a poté je překládá na autonomní vozidla, ty najíždí přímo pod lodní kontejnerové jeřáby a je tak zaručena nejvyšší efektivita provozu. [2] [14] [15] [16]

3.2 Výpočet spotřeby a převod na stejnou srovnatelnou jednotku

Spotřeba vlaku byla získána z testu spotřeby, prováděným přímo výrobcem vlaku. Výsledná spotřeba dosažená při testu v ideálních podmínkách byla 12 Wh/t*km. V závěru tohoto testu bylo připomenuto, že ideální podmínky není nikdy možné v reálném provozu dosáhnout, vždy spotřebu budou ovlivňovat faktory jako horší počasí, styl jízdy (rychlostní omezení, neoptimální rozjezdy), vyhýbání s ostatními vlaky nebo třeba opotřebení vlaku stářím. Proto je v závěru testu uvedena spotřeba, která spíše odpovídá reálnému provozu a to 20 Wh/t*km. S touto hodnotou je v počítáno i v této práci, neboť vstupní údaje pro ostatní dva módy jsou také z reálného provozu. [27]

Tuto hodnotu bylo potřeba přepočítat na Wh/km, aby bylo možné porovnání se zbylými módy. Použitá hmotnost je výsledkem vzorce [3].

$$\frac{Wh}{t \times km} \times t = \frac{Wh}{km} = 20 \times 2150 = 43\,000 \frac{Wh}{km}$$

Při výpočtu spotřeby vodní a silniční přepravy, bylo zapotřebí převést spotřebu v litrech nafty na spotřebu ve Wh. Nafta používaná ve spalovacích motorech má výhřevnost 9 700 Wh/l.

U silniční přepravy bylo přepočítání snazší, protože se spotřeba udává v l/100 km. Spotřebu 30 l/100 km pouhým převodem upravíme do formátu 0,3 l/km.

$$\frac{l}{km} \times \frac{Wh}{l} = \frac{Wh}{km} = 0,3 \times 9\,700 = 2910 \frac{Wh}{km}$$

U přepravy vodní byl tento přepočet lehce problematický, protože ve vodní dopravě se spotřeba uvádí v l/h případně v l/den. Proto bylo nejprve nutné přepočítat spotřebu na l/km a poté pokračovat stejně jako u kalkulace silniční přepravy.

Vybraná soustava TR 610 + TČ 1150 + TČ 500 má spotřebu 60 l/h (spotřeba vychází z reálného provozu a je spočtena na plavbu Mělník-Hamburg a Hamburg-Mělník) při průměrné rychlosti 8 km/h.

$$\frac{l}{h} \div \frac{km}{h} = \frac{l}{km} = \frac{60}{8} = 7,5 \frac{l}{km}$$

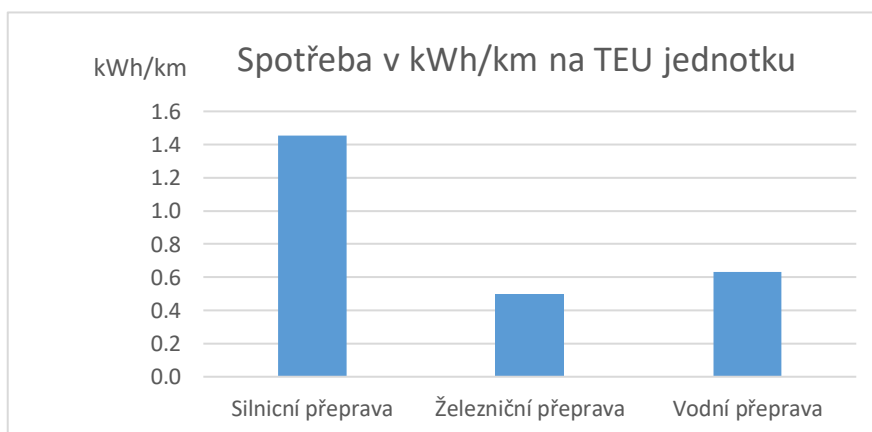
$$\frac{l}{km} \times \frac{Wh}{l} = \frac{Wh}{km} = 7,5 \times 9\,700 = 72\,750 \frac{Wh}{km}$$

Výsledky spotřeby pro jednotlivé módy v kWh/km jsou ukázány v grafu č. 8. Výsledky v grafu ukazují poměrně jednoznačně, že nejvyšší spotřebu má vodní doprava. Naopak z tohoto porovnání vychází silniční přeprava nejvýhodněji. Tento rozdíl je způsobený hlavně hmotností jednotlivých prostředků, hmotnost naloženého nákladního silničního vozidla je cca 40 tun, hmotnost naloženého vlaku 2 150 tun a plně naložená soustava kolem 2 500 tun. Velký vliv mají také jízdní odpory, lodní přeprava musí zdolávat sílu proudu a hydrodynamický odpor, v porovnání s železnicí, kde odpor tvoří vzduch a minimální tření dvojkolí s kolejnicí.



Graf 8 - Spotřeba plně vytíženého prostředku v kWh/km

Pokud ale tyto spotřeby vydělíme maximální kapacitou jednotlivých módů, získáme tak spotřebu na TEU jednotku. Teprve spotřeba v kW/km/TEU jednotku má vypovídací hodnotu a srovnání je smysluplné. Jak je vidět v grafu č. 9 největší spotřebu na TEU jednotku má silniční přeprava a nejnižší spotřebu přeprava železniční. Důvodem tak vysoké spotřeby u silniční přepravy je nízká kapacita v TEU jednotkách. Pokud by byla schválená výjimka na možnost tzv. Road Trains (silniční vlaky) a bylo by možné přepravit 4 TEU jednotky, poté by mohla silniční přeprava ostatním srovnávaným módům lépe konkurovat.



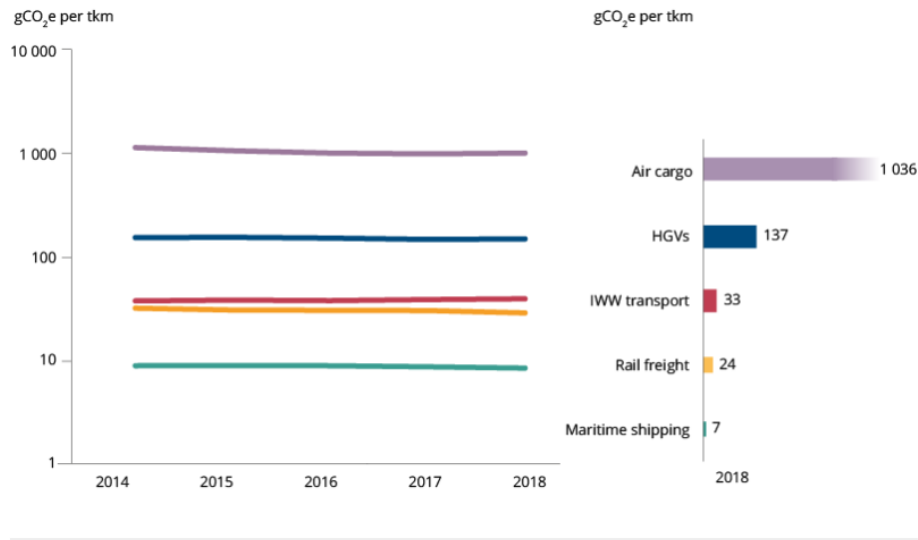
Graf 9 - Spotřeba v kWh/km na TEU jednotku

3.3 Dopad na životní prostředí

V této kapitole jsou porovnávány jednotlivé módy, co se týče dopadu na životní prostředí. Nejprve je důležité zmínit, že všechny tři módy dlouhodobě usilují o snížení emisí a celkového dopadu na životní prostředí, například efektivnějšími hnacími agregáty splňující emisní normy, zvýšením kapacity přepravovaného nákladu, nebo upravováním a výstavbou cest. Jako dopad na životní prostředí si většina čtenářů představí emise neboli oxid uhličitý. Do vlivu na životní prostředí je potřeba zahrnout i faktory jako jsou prašnost, hluk, zabraná plocha dopravní infrastrukturou atd. Prvním porovnávaným a zároveň největším znečišťovatelem je doprava silniční: *„Automobily, dodávky, nákladní automobily a autobusy produkují více než 70 % všech emisí skleníkových plynů z dopravy.“* (eea.europa.eu). Do skupiny skleníkové plyny se řadí plyny, které se vyskytují, či uvolňují do atmosféry Země a přispívají ke skleníkovému efektu. Ten má za následek změnu globálního klimatu. Mezi tyto plyny se řadí například: oxid uhličitý, metan, oxid dusný, vodní pára a další. Ze silniční dopravy také vzniká velká prašnost, například opotřebením pneumatik a brzdového obložení, nebo i další negativní vlivy jako hluk, vibrace a také kvůli vysoké hustotě dopravy srážka s chodci, případně zvěří.

Vodní doprava nezpůsobuje prašnost a srážka s plavcem, či jiným plavidlem je také minimální. Naopak v porovnání na jedno plavidlo oproti jednomu vozidlu je vyšším producentem oxidu uhličitého. Důvodem je vyšší spotřeba oproti silničnímu vozidlu a také slabší inovace v oblasti ekologie, benevolentnější emisní normy, než jsou EURO normy u přepravy silniční. V okamžiku přísnějších regulací emisí, nebo výměně agregátů za elektrický, bude vodní doprava schopna konkurovat elektrifikované železnici v přepočtu na množství přepraveného zboží.

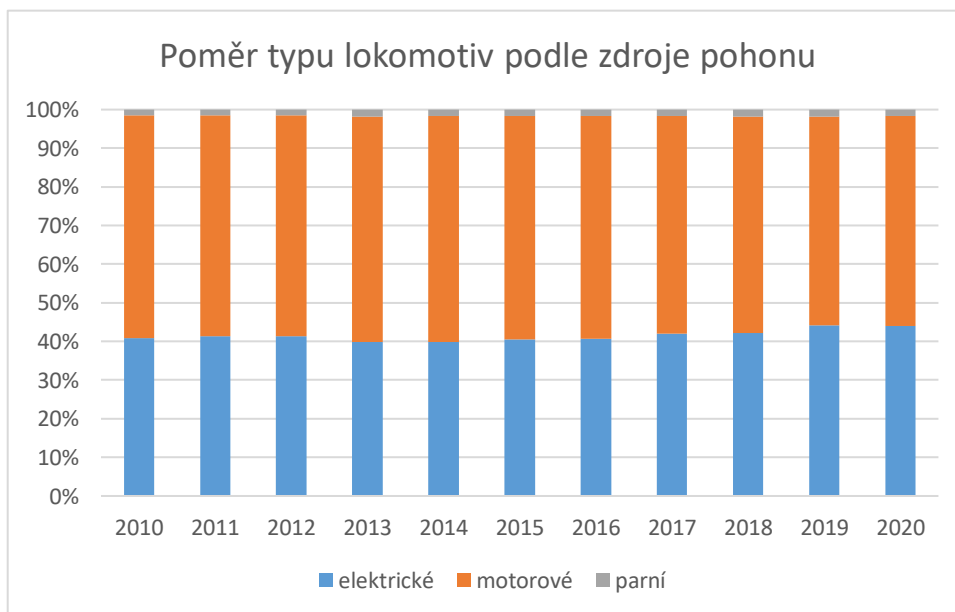
Figure 2: Average GHG emissions by motorised mode of freight transport, EU-27, 2014-2018



Graf 10 - Produkce skleníkových plynů podle módů dopravy

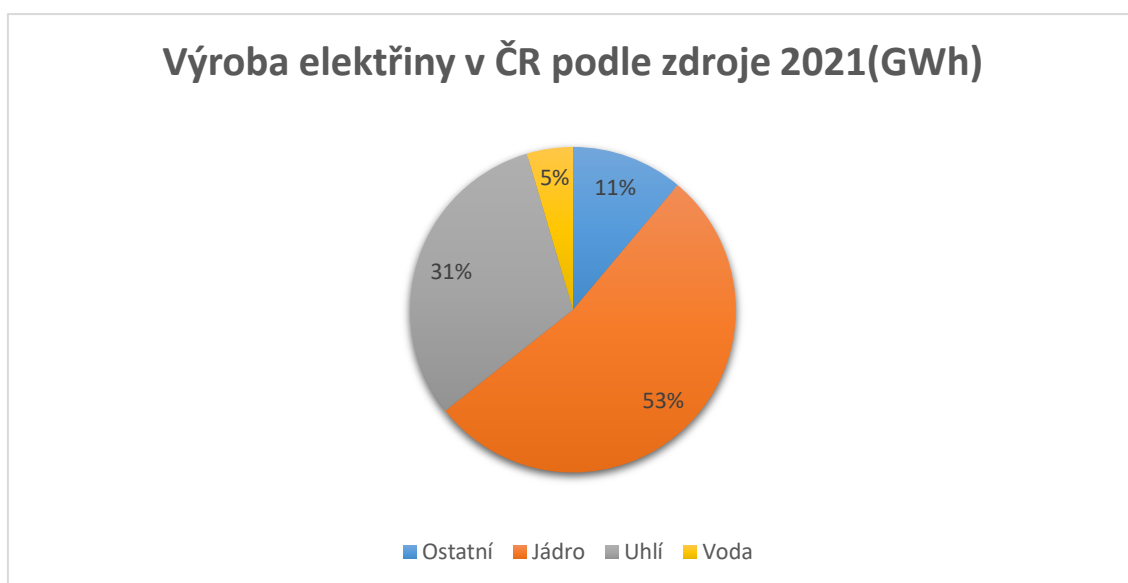
Na grafu č. 10 je znázorněná produkce GHG na tkm na jednotlivé módy dopravy. Nejlépe z porovnávaných módů vychází železniční přeprava díky elektrifikaci kolejí. Nejhorší z porovnávaných módů je přeprava silniční kvůli nízké kapacitě přepravovaného nákladu.

U porovnávané železniční přepravy je největší výhoda v elektrickém napájení, tím odpadá produkce emisí lokomotivou jako takovou, je potřeba ale nezapomínat na produkci emisí při výrobě této elektřiny v elektrárnách. Také je potřeba zmínit, že elektrifikované jsou většinou pouze hlavní železniční cesty a zbytek je nucen stále se spoléhat na lokomotivy dieselové, poměr mezi elektrickými a dieselovými lokomotivami je výjádřev v grafu 2.



Graf 11 - Poměr typu lokomotiv podle zdroje pohonu

Z grafu č. 11 vyplývá, že i přes zvyšující se počet elektrických lokomotiv, jejich poměr stále nepřesáhl ani 50%. V grafu jsou započítané i parní lokomotivy, ale jejich počet se pohybuje kolem 30ti kusů, proto je můžeme zanedbat a porovnávat pouze lokomotivy elektrické a dieselové.



Graf 12 - Výroba elektřiny v ČR podle zdroje 2021 [32]

V grafu č. 12 je znázorněná výroba elektřiny podle zdroje energie v roce 2021 v GWh. Z grafu vyplývá, že 31% elektrické energie je vytvořeno v uhelných elektrárnách, proto nelze tvdit, že elektrifikovaná železnice neprodukuje žádné emise. [8] [28] [13]

3.4 Perspektiva do budoucna

Na základě přehledů stavů techniky a jejich klesající či stoupající tendence a na základě dokumentů a smluv ovlivňující kombinovanou přepravu je vytvořen odhad vývoje přepravy kontejnerů v této relaci. Jedná se pouze o autorovu úvahu na základě informací obsažené v této práci.

Jak již bylo v úvodu práce zmíněno, v současné době se vůbec nevyužívá vodní přeprava k přepravě kontejnerů na trase Mělník-Hamburg. Většinu importu i exportu pokrývá nákladní železniční přeprava, které vypomáhá přeprava po silnici. Z tabulky v kapitole 1.4 Přehled stavů techniky lze nabýt dojmu, že se s vodní dopravou do budoucna vůbec nepočítá a současná

tendence navyšování silniční přepravy k pokrytí nestíhající přepravě železniční bude pokračovat. Velký zásah do této problematiky přináší dva dokumenty: Dohoda o splavnění Labe, která by měla umožnit plynulý provoz vodní dopravy a Green deal, kterým se ČR zavázala k přesunu 75 % objemu silniční přepravy na železnici přepravu a případně přepravu vodní. Jak již bylo zmíněno, železniční přeprava má už nyní kapacitní nedostatky a výstavba železniční sítě do takových rozměrů, aby byla schopna pojmout dvojnásobek současného objemu do roku 2050 je velmi nepravděpodobné. Pokud v budoucnu má dojít k masivnímu snížení objemu silniční přepravy, bude objem přesunut nejen na železniční přepravu, ale bude muset dojít i k znovuoobnovení přepravy vodní. [8] [13]

4 Vliv energetické náročnosti a ceny energií a PHM na dělbu přepravní práce.

V této kapitole je spočtena energetická náročnost pro každý mód celkem za celý rok provozu a spotřeba PHM/trakční energie na TEU jednotku. Spočtená spotřeba PHM/trakční energie je poté přepočtena na finanční náklady na základě zjištěných cen pohonných hmot a trakční energie.

4.1 Energetická náročnost dopravních prostředků

Tabulka č. 11 Spotřeba energie v dopravě podle módů přepravy byla vytvořena z dat ze serveru IODA (informace pro dopravní analýzy) a vyjadřuje roční spotřebu energie v terajoulech (TJ). [29]

Spotřeba energie v dopravě (v TJ) podle módu přepravy											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Železniční přeprava	9 660	9 463	9 365	9 153	9 275	8 619	8 781	8 704	8 636	8 613	7 852
Silniční přeprava	35 355	38 909	39 052	38 934	39 901	40 163	44 860	42 997	45 908	55 153	32 029
Vodní přeprava	139	167	156	85	88	147	97	101	102	143	140
Celkem	45 155	48 539	48 574	48 173	49 264	48 929	53 738	51 801	54 645	63 908	40 021

Tabulka 11 - Spotřeba energie v dopravě (v TJ) podle módu přepravy

Pro další výpočty bylo nutné údaje v joulech převést na watthodiny. Převodem viz vzorec č. 3 byla získána tabulka č. 12.

$$1 \text{ Tj} = 277.8 \text{ MWh}$$

Vzorec 3 – Převod jouů na watthodiny

Spotřeba energie v dopravě (v MWh) podle módu přepravy											
(v tis. MWh)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Železniční přeprava	2 683	2 628	2 602	2 542	2 576	2 394	2 439	2 418	2 399	2 392	2 181
Silniční přeprava	9 821	10 808	10 848	10 815	11 084	11 156	12 461	11 943	12 752	15 320	8 897
Vodní přeprava	39	46	43	24	25	41	27	28	28	40	39
Celkem	12 543	13 483	13 493	13 381	13 685	13 592	14 927	14 389	15 179	17 752	11 117

Tabulka 12 - Spotřeba energie v dopravě (v MWh) podle módu přepravy

	Kapacita plně vytíženého prostředku	Spotřeba PHM/trakční energie	
	počet TEU /prostředek	plně vytížený dopravní prostředek	1 TEU
Železniční přeprava (el. trakce)	92	43.00 kWh/km	0.47 kWh/km
Silniční přeprava	2	0.3 l/km	0.15 l/km
Vodní přeprava	115	7.5 l/km	0.07 l/km

Tabulka 13 - Spotřeba PHM/ trakční energie

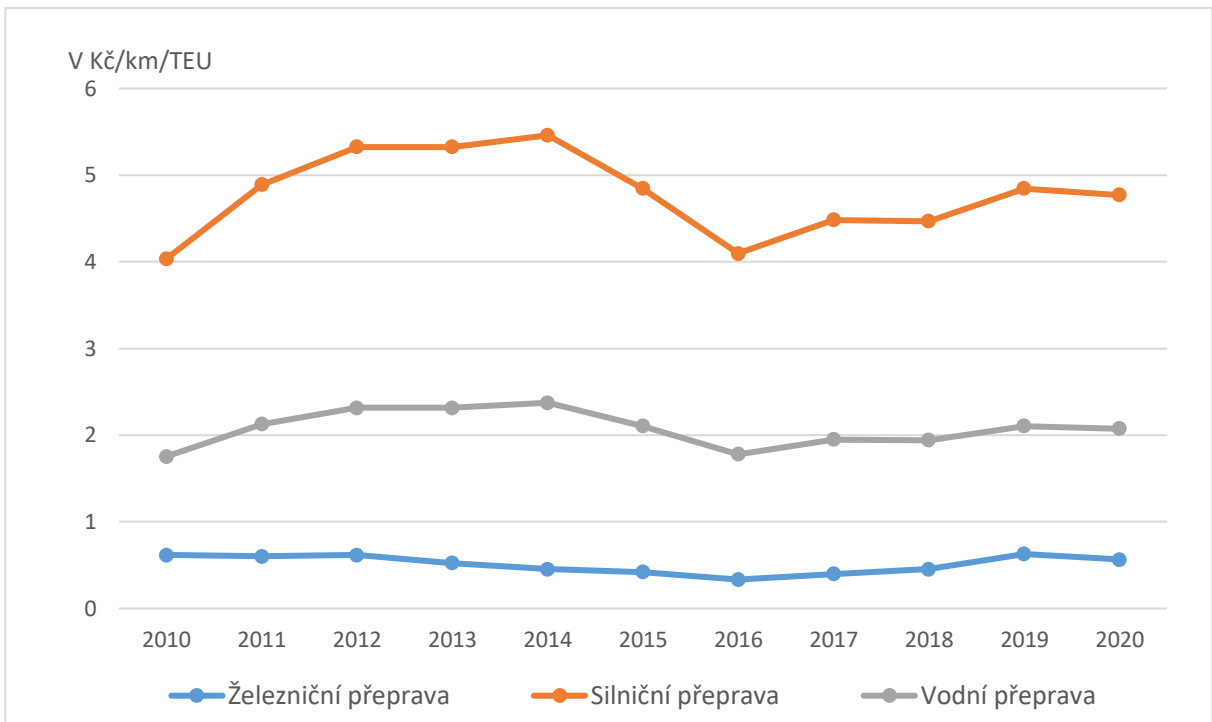
V tabulce c. 13 je na základě spočtených kapacit a spočtených spotřeb PHM/trakční energie dopočtena spotřeba na jednotku TEU na jeden kilometr přepravy. Spotřeba trakční energie není srovnatelná se spotřebou PHM, proto je tato hodnota převedena v další části na peněžní vyjádření.

4.2 Vliv cen energií a PHM

V tabulce č. 14 je výpočet spotřeby pohonných hmot a energií na přepravu jedné TEU jednotky na jeden kilometr. Ceny PHM i trakční energie jsou ze serveru Kurzy.cz a to vždy k 1.1. daného roku. Nejprve je spočtena cena jednoho kilometru na plně vytížený prostředek, pro možné srovnání je tato cena vydělena kapacitou prostředku v TEU. Přehledné porovnání je v grafu č. 13.

	Cena (k 1.1.)		Jednotkové náklady na PHM/energii pro plně vytížený dopravní prostředek			Jednotkové náklady na PHM/energii pro 1 TEU		
	Trakční energie	PHM	železniční přeprava	silniční přeprava	vodní přeprava	železniční přeprava	silniční přeprava	vodní přeprava
	Kč/MWh	Kč/l	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km
2010	1317,90	26,90	56,67	8,07	201,75	0,62	4,04	1,88
2011	1290,60	32,60	55,50	9,78	244,50	0,61	4,89	2,28
2012	1315,80	35,50	56,58	10,65	266,25	0,62	5,33	2,49
2013	1123,30	35,50	48,30	10,65	266,25	0,53	5,33	2,49
2014	969,50	36,40	41,69	10,92	273,00	0,46	5,46	2,55
2015	898,30	32,30	38,63	9,69	242,25	0,42	4,85	2,26
2016	714,80	27,30	30,74	8,19	204,75	0,34	4,10	1,91
2017	849,80	29,90	36,54	8,97	224,25	0,40	4,49	2,09
2018	971,10	29,80	41,76	8,94	223,50	0,46	4,47	2,09
2019	1345,20	32,30	57,84	9,69	242,25	0,63	4,85	2,26
2020	1210,80	31,80	52,06	9,54	238,50	0,57	4,77	2,23

Tabulka 14 - Výpočet jednotkových nákladů na PHM/energii



Graf 13 - Jednotkové náklady na PHM/energii na TEU

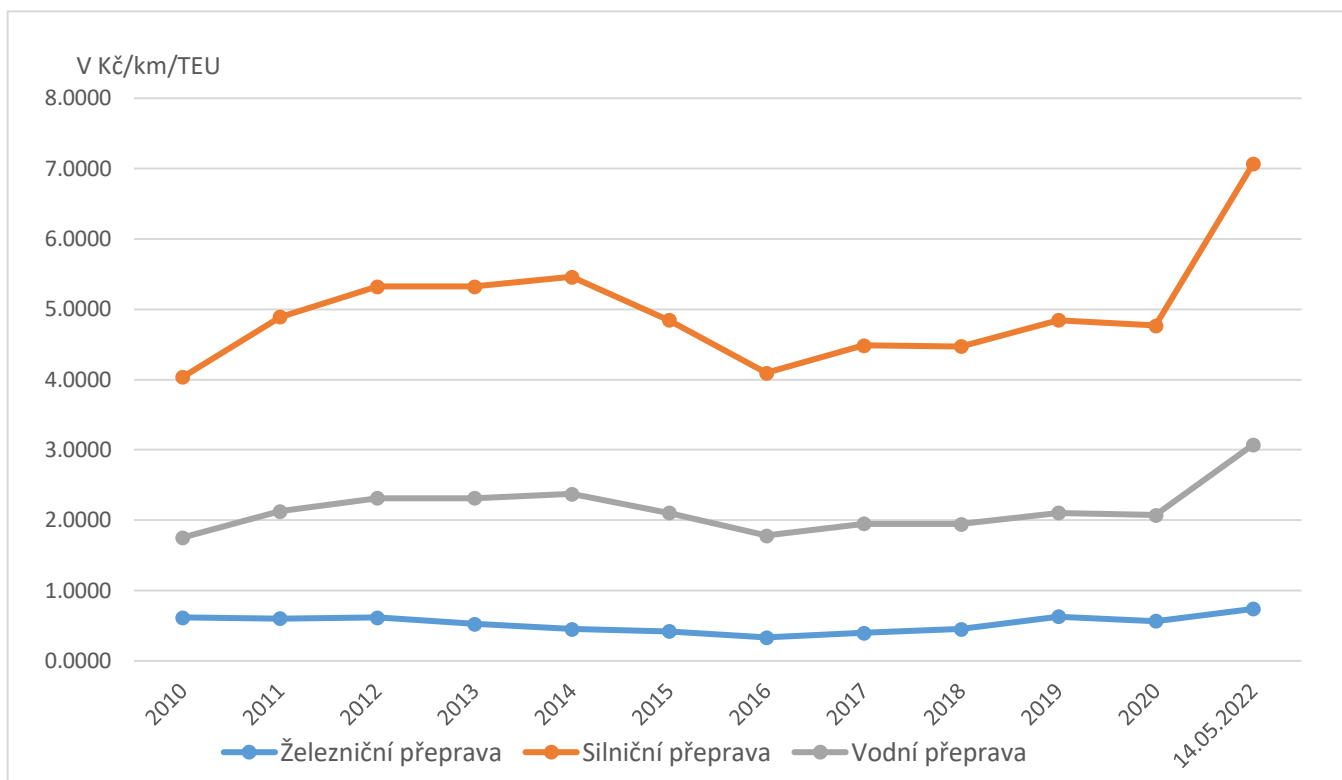
Z grafu č. X13 je patrné, že dlouhodobě nejlevnější jednotkové náklady na PHM/trakční energii má železniční přeprava. Na silniční přepravě je mezi lety 2014 až 2016 rozdíl cca 1,5 Kč/km/TEU, při rozdílu cen PHM 9 Kč. U přepravy vodní je na stejném rozmezí cenový rozdíl pouhých 0,6 Kč/km/TEU, při stejném cenovém rozdílu PHM. Silniční přeprava je nejcitlivější mód na změnu ceny PHM/ trakční energie, což je způsobenou nízkou přepravní kapacitou tohoto prostředku.

4.2.1 Aktuální cena PHM/trakční energie

Při dosazení posledních dostupných dat z 14.5.2022 ze serveru Kurzy.cz do výpočtu z kapitoly 4.2 jsme získali aktuální cenu PHM/trakční energie viz graf. 14. Za předpokladu zvyšujících se cen ve stejném poměru PHM/trakční energie lze prohlásit, že je železniční přeprava ještě výhodnější.

	Cena (k 1.1.)		Jednotkové náklady na PHM/energii pro plně vytižený dopravní prostředek			Jednotkové náklady na PHM/energii pro 1 TEU		
	Trakční energie	PHM	železniční přeprava	silniční přeprava	vodní přeprava	železniční přeprava	silniční přeprava	vodní přeprava
	Kč/MWh	Kč/l	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km	Kč/km
2010	1317,90	26,90	56,67	8,07	201,75	0,62	4,04	1,88
2011	1290,60	32,60	55,50	9,78	244,50	0,61	4,89	2,28
2012	1315,80	35,50	56,58	10,65	266,25	0,62	5,33	2,49
2013	1123,30	35,50	48,30	10,65	266,25	0,53	5,33	2,49
2014	969,50	36,40	41,69	10,92	273,00	0,46	5,46	2,55
2015	898,30	32,30	38,63	9,69	242,25	0,42	4,85	2,26
2016	714,80	27,30	30,74	8,19	204,75	0,34	4,10	1,91
2017	849,80	29,90	36,54	8,97	224,25	0,40	4,49	2,09
2018	971,10	29,80	41,76	8,94	223,50	0,46	4,47	2,09
2019	1345,20	32,30	57,84	9,69	242,25	0,63	4,85	2,26
2020	1210,80	31,80	52,06	9,54	238,50	0,57	4,77	2,23
14.5.2022	1581,00	47,1	67,98	14,13	353,25	0,73	7,06	3,07

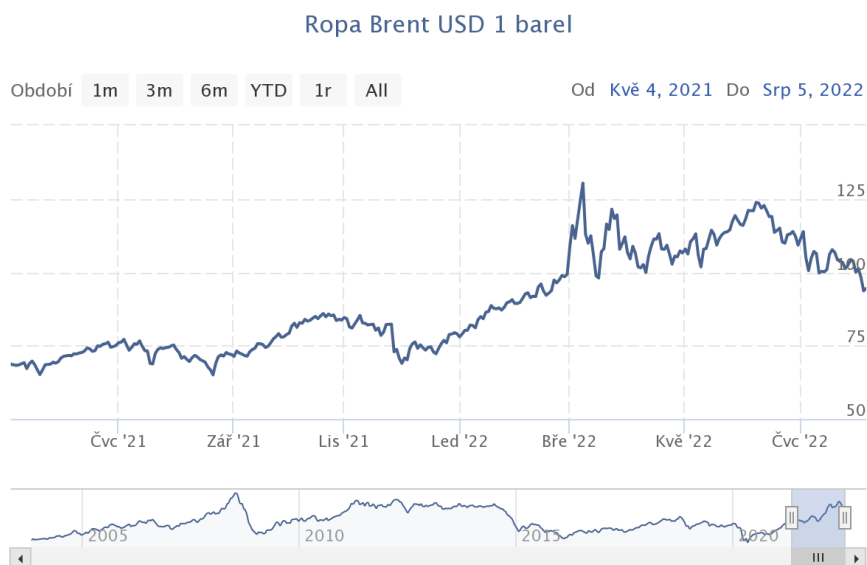
Tabulka 15 - Jednotkové náklady na PHM/energii - aktuální



Graf 14 - Jednotkové náklady na PHM/energii - aktuální

4.3 Možné budoucí dopady

Hlavním faktorem vývoje cen PHM/ trakční energie je inflace a celosvětové zdražování vlivem geopolitických událostí. Nejlépe je toto zdražení vidět na změně ceny Ropy Brent. Od července 2021 do července 2022 se cena ropy téměř zdvojnásobila z 65 USD/barel na 125 USD/barel. Cena ropy ovlivňuje jak cenu PHM, tak i cenu výroby elektřiny, tudíž i energie trakční, proto je srovnání zdražení ukázáno na burzovní ceně ropy.

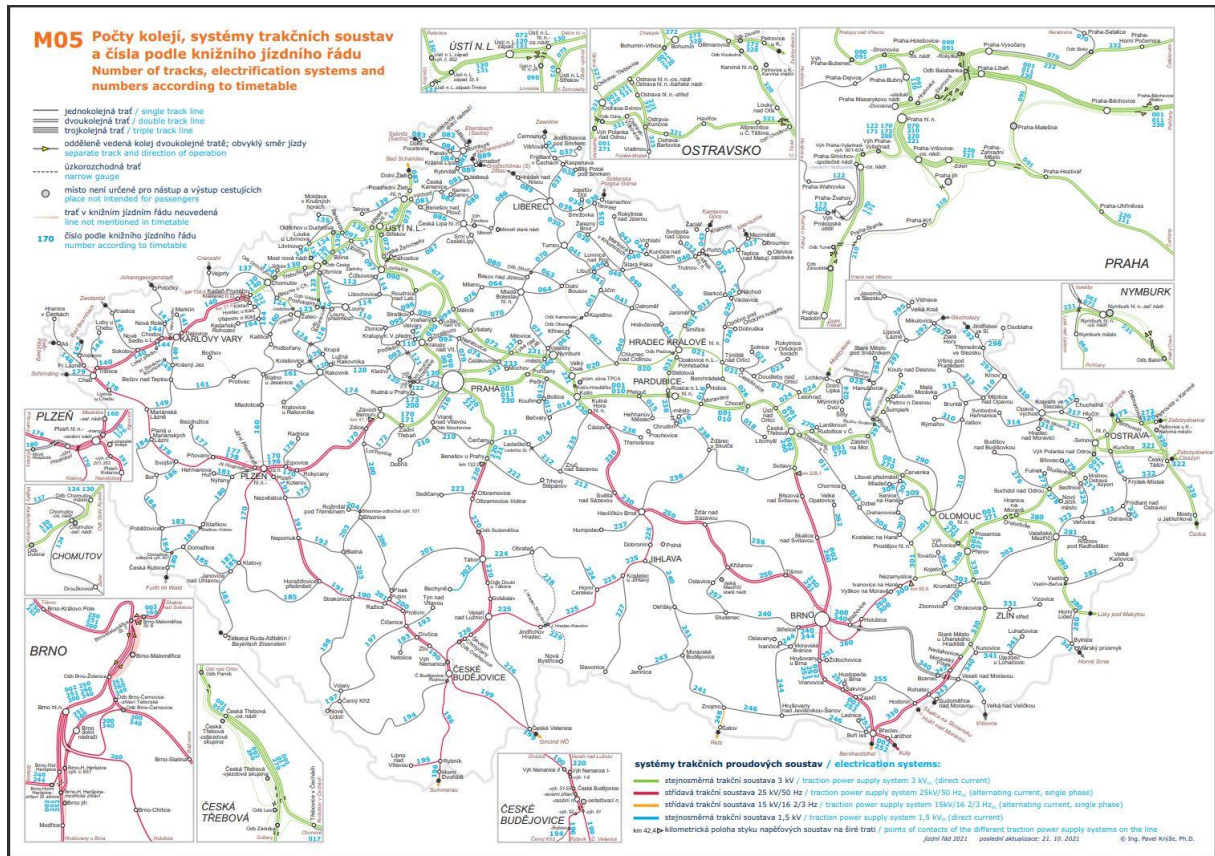


Graf 15 - Vývoj ceny ropy Brent

Jediným způsobem, jak snížit dopady zdražení PHM/trakční energie je snížení spotřeby prostředků, například obměnou vozového parku, výměnou hnacích agregátů v případě vodní přepravy, nebo konverzí napěťové soustavy na dráze.

Konverze napěťové soustavy

Cílem projektu je přechod ze stejnosměrného napětí 3kV na střídavé 25kV, tím dojde k výraznému omezení ztrát při provozu vlaků a zlepšení propustnosti trati díky vyšší výkonnosti napájení hnacích vozidel a možnosti hustšího provozu. Tato konverze také eliminuje výskyt bludných proudů stejnosměrné trakce na kovová úložná zařízení v blízkosti železnice. Tato konverze probíhá na části druhého tranzitního železničního koridoru mezi Břeclaví a Petrovicemi u Karviné. Další plánované úseky změny trakce jsou v oblastech Ostravsko/Přerovsko a Ústecko/Mělnicko, kde jsou již schválené studie proveditelnosti. Díky snížení ztrát při provozu dojde k snížení celkové spotřeby trakční energie, a tak i ke snížení ceny za přepravu.



Obrazek 9 - Mapa konverze napěťové soustavy

Závěr

Cílem této práce bylo provést srovnání přepravních módů v několika faktorech jako jsou kapacita prostředků, jejich rychlost, energetická náročnost, vliv na životní prostředí a jednotkové náklady na PHM/trakční energii.

Výsledky z kapitoly 1.2 Objemy dopravy v ČR potvrdili předpoklad rozdělení módů mezi import/export a vnitrostátní dopravou. Z grafů je zřejmá dominance silniční přepravy ve vnitrostátním přepravě, právě kvůli krátkým dopravním relacím. Při srovnání exportu a importu je poměr objemu silniční a železniční přepravy téměř shodný. Objem přepraveného zboží po vodě je minimální, důvodem je stav vodních cest, které neposkytují dostatečnou splavnost.

Pro výpočty spotřeby energie jednotlivých přepravních módů byl nadefinován pro každý mód vzorový dopravní prostředek, který se reálně využívá ve zvolené relaci. Pro tyto prostředky byla dopočítána jejich kapacita v TEU jednotkách a z dohledané spotřeby v l(WH)/km dopočítána energetická náročnost jak pro plně vytížený prostředek, tak pro jednu TEU jednotku.

Hlavní výhodou vyjádření spotřeby v kWh je jejich dlouhodobá platnost, pokud nedojde k velké technologické změně, například změna pohonného agregátu (vodík, LNG, CNG), nebo většímu zefektivnění dopravních cest, budou výsledky stále aktuální. Na druhou stranu, vyjádření v kWh není dobře představitelné pro všechny čtenáře, proto byla spotřeba přepočítána na finanční ukazatele Kč/km a Kč/km/TEU.

Při porovnání jednotkových nákladů na PHM/energii pro 1 TEU jednotku vychází nejlépe železniční přeprava, nejdražším a na změnu cen nejnáchylnějším módem je přeprava silniční.

Zdroje

- [1] Flotila ČSPL - Rhenus Group. In: *Rhenus Group* [online]. Pardubice: eBRÁNA s.r.o., 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://www.cspl.cz/flotila>
- [2] *Vodní cesty a plavba*. Praha: PRESTO s.r.o., 2021, . ISSN 1211-2232.
- [3] SŽ - ETCS. In: *Správa železnic* [online]. Praha: Správa železnic, 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/digitalizace/etcs>
- [4] Kombinovaná doprava. In: *Ministerstvo dopravy* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2021 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: [https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Kombinovana-doprava-\(2\)/kombinovana-doprava-\(1\)?returl=/Dokumenty/Kombinovana-doprava-\(2\)](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Kombinovana-doprava-(2)/kombinovana-doprava-(1)?returl=/Dokumenty/Kombinovana-doprava-(2))
- [5] RoLa - RailCargo. In: *RoLa-RailCargoGroup* [online]. Brenner: Rail Cargo Group, 2021 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://rola.railcargo.com/en/service>
- [6] Trajekty RoRo. In: *Navis* [online]. Praha: CRNET s.r.o., 2015 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: http://naviscz.eu/trajekty-ro-ro_17.html
- [7] *Ročenka dopravy MDČR* [online]. Praha: Centrum dopravního výzkumu, 2021, [cit. 2021-11-21]. ISSN 1801-3090. Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2020.pdf
- [8] Green deal. In: *European commission* [online]. Brusel: European Union, 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en
- [9] *USNESENÍ VLÁDY ČESKÉ REPUBLIKY č. 57: Koncepce nákladní dopravy pro období 2017-2023*. In: . Praha: Vláda ČR, 2017, ročník 2017, číslo 57. Dostupné také z: https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/uv_57_25_01_2017.pdf
- [10] *USNESENÍ VLÁDY ČESKÉ REPUBLIKY č. 389: Program rozvoje rychlých železničních spojení v České republice*. In: . Praha: Vláda ČR, 2017, ročník 2017, číslo 389. Dostupné také z: https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/usn_389_2017.pdf
- [11] *Dopravní politika ČR pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Dopravni-politika-a-MFDI/Dopravni-politika-CR-pro-obdobi-2014-2020-s-vyhled/Dopravni_Politika_CR_CZ.pdf.aspx
- [12] *Koncepce nákladní dopravy pro období 2017-2023 s výhledem do roku 2030* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2017 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Koncepce-nakladni-dopravy-pro-obdobi-2017-2023-s-v/MD_Koncepce_nakladni_dopravy_w.pdf.aspx

- [13 *Ekonomika dopravního systému*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Oeconomica, 2011. ISBN] 978-80-245-1759-9.
- [14 Přístav Mělník. In: *České Přístavy a.s.* [online]. Praha: české přístavy a.s., 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.ceskepristavy.cz/index.php?typ=CBA&showid=66>
- [15 Terminál Mělník. In: *RailCargoGroup* [online]. Wien: Rail Cargo Austria AG, 2021 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.railcargo.com/cs/sluzby/intermodalni-logistika/terminaly/mezinarnodni-mista/melnik>
- [16 Kontejnerové terminály Přístav Hamburg. In: *Port of Hamburg* [online]. Hamburg: Port of Hamburg, 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.hafen-hamburg.de/de/terminals/>
- [17 Kontejnerový terminál Altenwerder. In: *Port of Hamburg* [online]. Hamburg: HHLA, 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.hafen-hamburg.de/en/address/hhla-container-terminal-altenwerder-gmbh-7944/>
- [18 *ŽESNAD: sdružení železničních dopravců* [online]. Praha: zesnad, 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.zesnad.cz/zprava/cesko-potrebuje-dalsi-dvoukolejny-elektrifikovany-prechod-do-nemecka>
- [19 Plavební stupeň Děčín. In: *Ředitelství vodních cest* [online]. Praha: ŘVC ČR, 2015 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.rvccr.cz/strategicke-zamery-a-stavby/zlepseni-splavnosti-dolni-labe/plavebni-stupen-decin>
- [20 Srovnávací test tahačů aneb Boj o každý cent. In: *Dopravní noviny* [online]. Praha: České dopravní vydavatelství, s.r.o., 2009 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.dnoviny.cz/silnicni-doprava/srovnavaci-test-tahacu-aneb-boj-o-kazdy-cent-4106>
- [21 D-Tec Combitrailer CT-511-S. In: *D-Tec* [online]. Kesteren: D-TEC, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.d-tec.nl/combitrailer-ct-511-s/itm/77135>
- [22 Nosič kontejnerů Multilift. In: *Hiab* [online]. Malmö, Sweden: Hiab, 2020 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.hiab.com/en/product-finder/demountables/multilift/multilift-ultima-21s-commander>
- [23 Vanhool - kontejnerové návěsy. In: *Vanhool* [online]. Konigshooikt: Van Hool NV, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.vanhool.be/en/industrial/containerchassis>
- [24 Man TGX. In: *MAN Truck* [online]. Praha: MAN Truck & Bus Czech Republic s.r.o., 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://www.man.eu/cz/cz/nakladni-automobil/vsechny-modely/man-tgx/prehled/prehled-tgx.html>
- [25 Provozování dráhy: Správa železnic. In: *Portál provozování dráhy* [online]. Praha: Správa železnic, 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/portal/viewarticle.aspx?oid=594598>
- [26 Lokomotiva TRAXX F140 MS2e: 186/386. In: *Atlas Lokomotiv* [online]. Praha: Spolek ŽelPage, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-186.html>

- [27 *TRAXX 4 Environment* [online]. MannHeim: Bombardier Transportation, 2006 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20150211152044/http://csr.bombardier.com/pdf/Bombardier-Transportation-EPD-TRAXX-F140MS-en.pdf>
- [28 Rail and waterborne - best for low-carbon transport. In: *European environment agency* [online]. Copenhagen: EEA Web Team, 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/rail-and-waterborne-transport>
- [29 IODA - informace pro dopravní analýzy. In: *IODA* [online]. Praha: IODA, z.s., 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <http://www.vyrocenky.cz/>
- [30 Bombardier TRAXX F140MS. In: *RailRoadPics.net* [online]. RailRoadPics.Net: RailRoadPics.net, 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: https://www.railroadpics.net/photo/56/Bombardier-TRAXX-F140-MS_286-940/
- [31 Kontejnerová loďní sestava. In: *PxFuel* [online]. pxfuel.com: pxfuel, 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.pxfuel.com/en/free-photo-xxtdm>
- [32 *ČEZ - Prezentace k výsledkům hospodaření 2021* [online]. Praha: ČEZ a.s., 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport-s/pro-investory/informacni-povinnost-emitenta/2021-08/cz-tk-2q-2021-prezentace.pdf>
- [33 Kontejnerový nakladač KALMAR DRG450-65S6. In: *Machineryline* [online]. Nowy Sacz: Linemedia, 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://machineryline.cz/-/prodej/kontejnerove-nakladace/KALMAR-DRG450-65S6--21012815321196270100>
- [34 Nakládka třídy Panamax v Přístavu Hamburg. In: *MarasiNews* [online]. Dubai: Tactics Cretive Communication, 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.marasinews.com/dredging/federal-shipping-and-waterways-administration-and-hpa-complete-joint-dredging-operations>
- [35 Přístavy - České přístavy. In: *České Přístavy a.s.* [online]. Praha: české přístavy a.s., 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.ceskepristavy.cz/index.php?typ=CBA&showid=78>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Kontejnerový terminál Mělník [15].....	23
Obrázek 2 - Přístavní jeřáby v terminálu Mělník - Autor	24
Obrázek 3 - Nakládka loďní třídy Panamax v Přístavu Hamburg [34]	25
Obrázek 4 - Kontejnerový terminal Altenwerder [17]	26
Obrázek 5 - MAN TGX [24]	30
Obrázek 6 - Bombardier TRAXX F140 MS 286 940 [30]	31
Obrázek 7 - Tlačná sestava s kontejnery [31]	33
Obrázek 8 - Kontejnerový nakladač [33]	36
Obrázek 9 - Mapa konverze napěťové soustavy	49

Seznam grafů

Graf 1 - Import zboží do ČR	12
Graf 2 - Import zboží do ČR [7]	12
Graf 3 - Vnitrostátní přeprava zboží v ČR	14
Graf 4 - Počet přepravených kontejnerů po železnici	15
Graf 5 - Přepravní proudy z ČR do DE	20
Graf 6 - Přepravní proudy z DE do ČR	21
Graf 7 - Porovnání export/import mezi ČR a DE	21
Graf 8 - Spotřeba plně vytiženého prostředku v kWh/km	38
Graf 9 - Spotřeba v kWh/km na TEU jednotku	38
Graf 10 - Produkce skleníkových plynů podle módů dopravy	40
Graf 11 - Poměr typu lokomotiv podle zdroje pohonu	40
Graf 12 - Výroba elektřiny v ČR podle zdroje 2021 [32]	41
Graf 13 - Jednotkové náklady na PHM/energii na TEU	45
Graf 14 - Jednotkové náklady na PHM/energii - aktuální	47
Graf 15 - Vývoj ceny ropy Brent	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výhody a nevýhody jednotlivých přepravních módů	9
Tabulka 2 - Import zboží do ČR	11
Tabulka 3 - Export zboží z ČR	12
Tabulka 4 - Vnitrostátní přeprava zboží v ČR	13
Tabulka 5 - Počet přepravených kontejnerů po železnici	14
Tabulka 6 - Přehled stavů techniky	18
Tabulka 7 - Objem importní a exportní přepravy mezi ČR a DE	19
Tabulka 8 - Terminály v ČR	22
Tabulka 9 - Technické parametry TR 610 + TČ 1150 + TČ 500	33
Tabulka 10 - Parametry TEU jednotky	35
Tabulka 11 - Spotřeba energie v dopravě (v TJ) podle módu přepravy	42
Tabulka 12 - Spotřeba energie v dopravě (v MWh) podle módu přepravy	43
Tabulka 13 - Spotřeba PHM/ trakční energie	43
Tabulka 14 - Výpočet jednotkových nákladů na PHM/energii	44
Tabulka 15 - Jednotkové náklady na PHM/energii - aktuální	46

Seznam vzorců

Vzorec 1 – Výpočet hmotnosti vlaku	32
Vzorec 2 - Objemová kapacita TČ 500 - celkem	35
Vzorec 3 – Převod joulů na watthodiny	43