

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



## **Diplomová práce**

**Metodologie návrhu optimalizace sítě logistických center  
v České republice**

**Bc. Veronika Loudová**

© 2023 ČZU v Praze



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Veronika Loudová

Informatika

Název práce

**Metodologie návrhu optimalizace sítě logistických center v České republice**

Název anglicky

**Project methodology for optimization of logistics centers' network in the Czech Republic**

---

### Cíle práce

Vznik podkladů pro aplikaci optimalizačních úloh nad tuzemskou sítí logistických center, coby nejefektivnějšího způsobu distribuce přepravních výkonů zaměřených na dopravu zboží a surovin s využitím „čistých“ dopravních cest tj. železnice a vodní dopravy.

### Metodika

- Definice úlohy optimalizace sítě LC (nalezení optimalizačních kritérií);
- Analýza současného stavu LC v ČR (exkurze do jednoho či dvou LC);
- Průzkum sítí LC v zahraničí (nejlépe v sousedních zemích s podobnou stávající dopravní infrastrukturou – Německo, Rakousko, popř. Polsko);
- Shrnutí nashromážděných informací a formulace doporučení na jejich základě;
- Proces rozpoznání systému: sítě LC na území ČR
- Definice uzlů: stávající LC + velkokapacitní průmyslové, výrobní a energetické objekty (hutě, velkotovárny, elektrárny, překladová nádraží a sklady);
- Definice spojnic (tras): stávající dopravní cesty se zaměřením na železnici popř. vodní cesty;
- Vytvoření matematického modelu na základě rozpoznání systému (sítě) LC ve formě grafů a matic;
- Aplikace úloh vícekritériální optimalizace pomocí nástrojů operačního výzkumu, teorie grafů a operační analýzy;
- Interpretace výsledků analytických a optimalizačních procesů (úloh) = syntéza; – Doporučení vypracovaná na základě bodu;
- Popis vědeckého přínosu závěrečné práce.

## Doporučený rozsah práce

60-80 stran

## Klíčová slova

logistické centrum, optimalizace, teorie grafů, operační výzkum

---

## Doporučené zdroje informací

Ekonomicko-matematické metody, Šubrt, Tomáš a kol., ISBN: 978-80-7380-762-7

Logistická centra, Pírek, V., Kampf, R., Logistika 2002, roč. VIII, č. 3, s. 27. ISSN 1211-0957



---

## Předběžný termín obhajoby

2022/23 ZS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Vít Malinovský, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 26. 11. 2022

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 28. 11. 2022

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Metodologie návrhu optimalizace sítě logistických center v České republice jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Vítu Malinovskému, Ph.D. za vedení práce a čas strávený nad mou závěrečnou prací. Dále rodině za pevné nervy, Háně za hodiny strávené u matice vzdáleností a speciálně Andy za trpělivost, bez vás všech by to opravdu nešlo.

# Metodologie návrhu optimalizace sítě logistických center v České republice

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu současného stavu logistické sítě v České republice a porovnání se situací v Německu. Cílem práce je zlepšit efektivitu logistické sítě v České republice pomocí multikriteriálního matematického modelu. Analýza stávajícího stavu logistické sítě se zaměřuje na železniční, silniční a vodní infrastrukturu, stejně jako na výkonnost dopravy pro rok 2021. Do logistické sítě byly zahrnuty logistická centra v České republice s plochou větší než 35 000 m<sup>2</sup>, aktivní uhelné doly na domácím území, doly dovážející uhlí z Polska do České republiky a elektrárny, které používají uhlí jako palivo. Všechna tato data také tvoří základ pro možnou další optimalizaci.

Optimalizace logistické sítě zvažuje dvě kritéria, a to množství vytvořených emisí a náklady, přičemž první kritérium je důležitější než druhé. Model je vyhodnocen pouze v Ústeckém kraji kvůli omezené výpočetní kapacitě a velkému množství dat. Výsledky modelu jsou poté porovnány s výsledky transportního problému, při kterém byla nalezena nejkratší cesta. Na základě těchto výsledků jsou stanovena obecná doporučení pro Českou republiku k zefektivnění využívání logistické sítě.

**Klíčová slova:** distribuční síť, dopravní problém, logistické centrum, logistika, matematický model, operační výzkum, optimalizace, optimalizační model, vícekritériální lineární programování, zelené logistika

# Project methodology for optimization of logistics centers network in the Czech Republic

## Abstract

This thesis focuses on analysing the current state of the logistics network in the Czech Republic and comparing it with the situation in Germany. The goal of the thesis is to improve the efficiency of the logistics network in the Czech Republic through a multicriteria mathematical model. The analysis of the current state of the logistics network focuses on rail, road, and water infrastructure, as well as transport performance for the year 2021. Logistic centers in the Czech Republic were included in the logistics network, which have an area greater than 35,000 m<sup>2</sup>, active coal mines in the domestic territory, mines that import coal from Poland to the Czech Republic, and power plants that use coal as fuel. All this data also forms the basis for possible further optimization.

The optimization of the logistics network considers two criteria, namely, the amount of emissions created and costs, with the first criterion being more important than the second. The model is evaluated only in the Ústí Region due to limited computing capacity and a large amount of data. The results of the model are then compared with the results of the transportation problem, through which the shortest path was found. Based on these results, general recommendations for the Czech Republic are established to streamline the use of the logistics network

**Keywords:** distribution network, green logistics, logistic centre, logistics, mathematical model, multi-criteria linear programming, optimization, optimization model, operational research, transportation problem



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>13</b>
2.1 Cíl práce .....	13
2.2 Metodika .....	13
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>14</b>
3.1 Definice pojmu „logistika“ .....	14
3.1.1 Historie logistiky.....	14
3.1.2 Vývoj logistiky na území ČR.....	14
3.1.3 Členění logistiky .....	15
3.1.4 Logistické cíle.....	17
3.2 Zelená logistika .....	17
3.2.1 Strategie zelené logistiky .....	18
3.2.2 Porovnání normální a zelené logistiky.....	19
3.3 Logistické centrum.....	20
3.3.1 Veřejná logistická centra .....	21
3.3.2 Soukromá logistická centra.....	23
3.4 Simplexový algoritmus .....	24
3.5 Dopravní problém .....	25
3.5.1 Dvou a vícerozměrné dopravní problémy .....	26
3.5.2 Dvoustupňová dopravní úloha .....	28
3.6 Model vícekriteriálního lineárního programování .....	28
3.6.1 Řešení úloh vícekriteriálního programování pomocí Agregace kriteriálních funkcí	30
<b>4 Vlastní práce .....</b>	<b>31</b>
4.1 Aktuální stav logistiky v ČR.....	31
4.1.1 Dopravní infrastruktura v ČR .....	31
4.1.1.1 Celostátní sčítání dopravy .....	31
4.1.1.2 Silniční nákladní doprava v ČR.....	33
4.1.2 Železniční infrastruktura v ČR .....	34
4.1.2.1 Modernizace tranzitních železničních koridorů .....	36
4.1.2.2 Železniční nákladní doprava v ČR .....	37
4.1.3 Vodní infrastruktura v ČR .....	37
4.1.3.1 Plavební síť ČR .....	38
4.1.3.2 Vodní nákladní doprava v ČR .....	39

4.1.4	Síť LC v ČR .....	40
4.2	Logistika v Německu.....	41
4.2.1	Dopravní infrastruktura v Německu .....	41
4.2.1.1	Hustota dopravy v Německu .....	42
4.2.1.2	Silniční nákladní doprava v Německu .....	42
4.2.2	Železniční infrastruktura v Německu.....	43
4.2.2.1	Modernizace železniční sítě v Německu .....	44
4.2.2.2	Železniční nákladní doprava v Německu .....	45
4.2.3	Vodní infrastruktura v Německu.....	46
4.2.3.1	Nákladní vodní doprava v Německu .....	47
4.2.4	Síť LC v Německu .....	47
4.3	Porovnání logistiky v ČR a v Německu .....	49
4.3.1	Porovnání logistických sítí v Německu a ČR .....	51
4.4	Tvorba modelu .....	52
4.4.1	Identifikace uzlů.....	52
4.4.2	Definice spojnic .....	58
4.5	Úvod do problému.....	59
4.6	Výběr vhodných kritérií .....	59
4.7	Formulace optimalizačního problému.....	60
4.8	Identifikace možných překážek.....	61
4.9	Očekávané výsledky.....	61
4.10	Omezení výpočtu.....	62
4.11	Výpočet dvoustupňové dopravní úlohy.....	62
4.11.1	Výpočet dopravní úlohy v programu Excel .....	63
4.12	Matematický model.....	66
4.12.1	Hodnoty konstant matematického modelu.....	67
4.12.2	Dílčí optimalizační model minimalizující celkové náklady na distribuci. 68	
4.12.2.1	Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci nákladů .....	71
4.12.3	Dílčí optimalizační model minimalizující celkovou produkci CO <sub>2</sub> při distribuci 74	
4.12.3.1	Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci produkce CO <sub>2</sub> .....	76
4.12.4	Agregovaný model.....	79
4.12.4.1	Zdrojový kód výsledného modelu .....	81
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse .....</b>	<b>85</b>
5.1	Výsledky dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci nákladů .....	85
5.2	Výsledky dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci produkce CO <sub>2</sub> ....	86
5.3	Výsledky modelu agregovaných kritériálních funkcí .....	86

5.4	Porovnání jednotlivých výsledků modelů.....	88
5.5	Formulace doporučení pro optimalizaci logistické sítě v ČR.....	89
5.6	Diskuse.....	90
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk.....</b>	<b>97</b>
8.1	Seznam obrázků .....	97
8.2	Seznam tabulek .....	97
8.3	Seznam grafů.....	98
8.4	Seznam použitých zkratk.....	98
<b>Přílohy.....</b>		<b>99</b>

# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu současného stavu logistické sítě v České republice a jejího srovnání se situací v Německu. Cílem práce je zlepšit efektivitu využití logistické sítě v České republice prostřednictvím vícekriteriálního matematického modelu.

Analýza současného stavu logistické sítě se zaměřuje na železniční, silniční a vodní infrastrukturu, jakož i na přepravní výkony za rok 2021. Do logistické sítě byla zahrnuta logistická centra v České republice, která mají rozlohu větší než 35 000 m<sup>2</sup>, aktivní uhelné doly na tuzemském území, doly, které z Polska dováží uhlí do České republiky a elektrárny, které používají uhlí jako palivo. Všechna tato data tvoří i podklad pro případnou další optimalizaci.

Při optimalizaci sítě jsou uvažována dvě kritéria, a to množství vytvořených emisí a náklady. První kritérium má větší váhu než druhé. Model je evaluován pouze na ústeckém kraji kvůli omezené výpočetní kapacitě a velkému množství dat. Výsledky modelu jsou pak porovnány s výsledky dopravní úlohy, díky které byla nalezena nejkratší cesta. Na základě těchto výsledků jsou stanovena obecně platná doporučení pro Českou republiku na zefektivnění využití logistické sítě.

Optimalizace sítě logistických center by mohla vést ke snížení emisí, nákladů, zkrácení čekací doby pro zákazníka a tím i zlepšení zákaznického servisu. To vše přispěje k celkovému zlepšení konkurenceschopnosti a udržitelnosti českého hospodářství. Vzhledem k aktuálně platnému „Green Dealu“ je navíc důležité neustále snižovat emise a dbát na ochranu životního prostředí. Optimalizace logistické sítě spojené s rozvozem uhlí by mohla pomoci dosáhnout těchto cílů.

Výsledky této diplomové práce by mohly posloužit jako podklad pro další výzkum v oblasti logistiky a pro praktické využití v oblasti plánování a řízení logistických aktivit v České republice.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem práce je vytvoření podkladů pro aplikaci optimalizačních úloh nad tuzemskou sítí logistických center. Podklady vytvořené touto prací by tedy měly pomoci s lepší využitím čistých dopravních cest jako jsou železnice a vodní doprava. Další cíl této práce je zhodnocení aktuálního stavu logistické sítě v České republice a porovnání jejího stavu se stavem logistické sítě v Německu. Zhodnocení aktuálního stavu a následné porovnání bude provedeno za pomoci dat Českého statistického úřadu, Eurostatu a Německého statistického úřadu. U obou zemí bude porovnána železniční, vodní a silniční infrastruktura a stejně tak přepravní výkony.

Dalším cílem práce je vytvoření modelu vícekriteriálního lineárního programování. Tento model bude sloužit k optimalizaci sítě na základě předem stanovených kritérií. Na základě porovnání výsledků tohoto modelu a dvoustupňové dopravní úlohy budou vytvořena doporučení pro Českou republiku. Cílem těchto doporučení bude snížení produkce emisí v porovnání s aktuálním stavem, a tedy přispění ke zlepšení stavu životního prostředí. Doporučení by dále měla vést ke zefektivnění přepravy zboží, což by mělo být dosaženo kombinací různých dopravních prostředků za účelem snížení množství málo vytížených jízd a celkového počtu jízd. Dalším očekávaným účinkem by měla být identifikace hlavních/důležitých uzlů v této síti, což je klíčové pro údržbu a investice do rozvoje těchto objektů.

### 2.2 Metodika

Data pro výpočty byla získána z volně dostupných internetových stránek. Délka tras mezi jednotlivými subjekty byla určena pomocí oficiálního portálu Českých drah a plánovače tras od firmy Seznam. Vždy byla zvolena nejrychlejší trasa. Pro výpočet byla použita pouze část všech dat, konkrétně ústecký kraj. Dopravní úloha byla vypočtena v software Microsoft Excel pomocí simplexové metody. Model vícekriteriálního rozhodování byl vypočten v software Xpress-Ive od společnosti FICO s použitím agregace kriteriálních funkcí.

## **3 Teoretická východiska**

### **3.1 Definice pojmu „logistika“**

Logistikou se rozumí proces plánování, implementace a řízení pohybu a skladování zboží, služeb a souvisejících informací z místa původu do místa spotřeby za účelem splnění požadavků zákazníků. Zahrnuje koordinaci a pohyb zdrojů, jako jsou suroviny, hotové výrobky a vybavení, stejně jako řízení toku informací souvisejících s pohybem zboží. Součástí logistiky je také řízení zpětného toku zboží, které je známé jako reverzní logistika. Jedná se o kritickou funkci v řízení dodavatelského řetězce a je často odpovědná za zajištění toho, aby bylo zboží doručeno na správné místo ve správný čas a za správnou cenu. [14]

#### **3.1.1 Historie logistiky**

Logistika má dlouhou historii sahající až do starověkých civilizací. Koncept logistiky lze vysledovat až k vojenským strategiím starověkých civilizací, jako byli Peršané, Řekové a Římané. Vyvinuli sofistikované logistické systémy na podporu svých armád, včetně výstavby silnic, mostů a zásobovacích skladů. Ve středověku vedl rozvoj obchodu a obchodu k růstu logistiky jako profese s obchodníky a obchodníky odpovědnými za přepravu a skladování zboží. V 19. století vedla průmyslová revoluce ke vzniku moderní logistiky, přičemž rozvoj železnic a parníků umožnil efektivnější přepravu zboží. Dnes je logistika kritickou součástí moderního řízení dodavatelského řetězce a hraje zásadní roli v globální ekonomice. [8]

#### **3.1.2 Vývoj logistiky na území ČR**

Zásadním obdobím pro logistiku byla průmyslová revoluce. Do té doby byla dostačující distribuce hotových výrobků. Toto však selhávalo a bylo žádoucí zavádět koncentraci výrobních kapacit hromadným zaváděním strojů do výroby. První zmínky o logistice můžeme tedy v České republice zasadit do období padesátých let devatenáctého století.

Výsledkem přechodu od trhu výrobce k trhu zákazníka byla vysoká potřeba produkovat široký sortiment výrobků. Tento fakt byl základním kamenem pro rozvoj logistiky.

V České republice se logistika začala masivně uplatňovat v devadesátých letech 20. století. Konkrétně v roce 1995 si společnosti uvědomovaly, jak důležitá je vyspělost skladových technologií. O opravdový boom logistiky v České republice se postarala společnost Tesco, která v roce 1998 ve Zličíně otevřela první hypermarket. Začaly se také stavět moderní komerční zóny, budovat se další logistická centra a logistické principy se staly nedílnou součástí systému řízení mnoha podniků. Existuje řada spedičních a dopravních společností, které stávajícímu trendu přizpůsobily své podnikání a dokázaly plně přepravu podřídit požadavkům partnerů v logistických řetězcích. Spousta dopravců získalo certifikaci systému řízení jakosti podle mezinárodní normy ISO 9000. Nejlepší z nich v souladu s potřebami zákazníků dokázali nabízet komplexní služby. Ty zahrnují mimo vlastní přepravu i skladování, distribuci, celní služby, konsolidaci zásilek a jiné žádané činnosti, které kvalitou dosahují potřebám i těch nejnáročnějších zákazníků.

Česká republika vstoupila 1. května 2004 do EU. To přineslo zvýšení konkurenčního boje díky jednotnému vnitřnímu trhu, ale na straně druhé i velikou příležitost pro nadnárodní spolupráci. [3]

### 3.1.3 Členění logistiky

Členění logistiky můžeme chápat různými způsoby. Její dělení se liší podle subjektů, které do logistiky vstupují. Pro moji práci jsem si zvolila dělení logistiky podle materiálových toků. Budeme tak rozlišovat makrologistiku, mikrologistiku a metalogistiku.

Z mikrologistiky dále vychází podniková logistika, kterou dělíme na zásobovací, distribuční, výrobní a reverzní. Toto dělení vychází z místa uplatnění.

- **Makrologistika** – se zabývá globálními aspekty logistiky, což jsou vzájemné vazby mezi jednotlivými podniky. Jedná se o „celohospodářské koordinační úkoly na vyšší agregační úrovni a v odvětví dopravy je ovlivněna také státní dopravní politikou, jako je politika plánování a investování do dopravní

infrastruktury“. Podstatou je tedy globální integrace dopravy, výrobních kapacit a mezinárodní doprava. Úkolem makrologistiky, dle výše popsaného, je řešení celospolečenské neboli nadnárodní logistiky, která překračuje hranice podniku. [27]

- **Mikrologistika** – je protipólem makrologistiky. Její podstatou je řízení logistiky a jejich procesů uvnitř podniku. Tato logistika se zabývá „optimalizačními úkoly v dílčích odvětvích průmyslu, obchodu a poskytování služeb“ (Sixta a Mačát, 2005, s. 5). Můžeme tak vlastně označit jakoukoliv dopravu dovnitř a ven z podniku. Dále se jedná o dílčí skladovací a manipulační procesy uvnitř podniku. [24]

#### **Podnikovou logistiku dělíme na:**

- **Zásobovací** – zajišťuje nákup základního i pomocného materiálu, polotovarů i dílčích výrobků od subdodavatelů. Bez zásobovací logistiky by nemohla proběhnout realizace plánovaných podnikových úkolů a cílů. Je tedy základem pro fungování logistiky podniku.
- **Distribuční** – jedná se o cestu vyrobeného zboží, polotovarů či náhradních dílů k zákazníkovi. Z pohledu zákazníka je tato logistika velmi důležitá, a proto se klade velký důraz na dodržení dodacích lhůt a zejména na uspokojení zákaznických požadavků.
- **Výrobní** – je spojnicí mezi logistikou zásobovací a distribuční. Jejím úkolem je zásobení nositelů potřeby, tedy výrobních procesů, výrobními prostředky diferenciovanými podle množství a druhu v požadovaném čase a prostoru. S tím souvisí i odstranění odpadu. Řídí tedy tok materiálu podnikem.
- **Reverzní** – Její náplní je sběr, třídění, demontáž a zpracování použitých součástí, výrobků, vedlejších produktů, obalového materiálu a nadbytečných zásob. Zprostředkovává tak šetrné chování firem k životnímu prostředí a zároveň nachází ekonomicky zajímavé cesty pro nové využití, již použitých nebo nespotřebovaných materiálů. [24]



- **Metalogistika** – zabývá se logistickými procesy dodavatelsko-odběratelských vztahů. Sleduje vzájemné logistické propojení zahrnující jednotlivé podniky i celé hospodářství. [27]

### 3.1.4 Logistické cíle

Základem pro stanovení cílů logistiky jsou podnikové strategie, ze kterých by měly cíle vycházet. V neposlední řadě musí být sestaveny také podle potřeb zákazníků. Ty musí být uspokojeny v požadované kvalitě s co nejnižšími náklady. Pro moji práci jsem si vybrala členění z dvou úhlů pohledu na logistické cíle podniku. První je z pohledu konkurenceschopnosti a druhý z pohledu marketingu.

Základní členění logistických cílů dle konkurenceschopnosti je následující:

- **Vnější** – cílem je zákazník, kdy se orientujeme na uspokojení jeho požadavků. Podstatou jsou věci, které jsou pro zákazníka nejdůležitější. Jde například o co nejrychlejší dodání zboží, spolehlivost dodávek či jakékoli zlepšení služeb logistiky podle toho, co zákazník preferuje a co si přeje.
- **Vnitřní** – cílem je minimalizace nákladů. Těmito cíli mohou být například optimalizace jednotlivých činností uvnitř podniku nebo snižování zásob ve skladech. [9]

Podle Málka a Čujana se rozlišují ještě cíle z výkonové a ekonomické:

- **Výkonové** – úkolem je zabezpečit optimální úroveň služeb, tak aby zboží či materiál bylo ve správný čas na správném místě a v požadované kvalitě.
- **Ekonomické** – jejich cílem je zajistit služby a výrobky za správnou cenu a s přiměřenými náklady.

## 3.2 Zelená logistika

Zelená nebo také udržitelná logistika se týká ekologicky šetrného řízení a optimalizace zboží, informací a zdrojů v rámci dodavatelského řetězce. Zaměřuje se na snižování dopadu logistických činností na životní prostředí, jako je přeprava a skladování, při zachování nebo zlepšení provozní efektivity a služeb zákazníkům. To zahrnuje postupy, jako je snižování emisí, používání vozidel na alternativní paliva, optimalizace tras a harmonogramů dodávek, snižování odpadu a recyklace materiálů. Cílem zelené logistiky je vytvořit udržitelnější dodavatelský řetězec, který

minimalizuje svůj dopad na životní prostředí a podporuje dlouhodobou ekologickou stabilitu. [7]

### 3.2.1 Strategie zelené logistiky

Zelená neboli udržitelná logistika je aktuálně velmi probírané téma a zahrnuje několik strategií a nástrojů, jedná se například o:

- **Vozidla s nízkou spotřebou paliva a alternativní paliva:** Používání vozidel s nízkou spotřebou paliva a alternativních paliv, jako jsou elektrická nebo hybridní vozidla, může snížit emise skleníkových plynů a snížit uhlíkovou stopu dopravy.
- **Optimalizace trasy:** Optimalizací dodacích tras mohou společnosti snížit spotřebu paliva a emise a zároveň snížit dobu cestování a náklady.
- **Udržitelné obaly:** Používání obalových materiálů šetrných k životnímu prostředí, jako jsou biologicky rozložitelné nebo recyklované materiály, může snížit množství odpadu a chránit životní prostředí.
- **Energetická účinnost skladů:** Implementace opatření na úsporu energie ve skladech, jako je účinné osvětlení a systémy regulace teploty, může snížit spotřebu energie a emise.
- **Kolaborativní logistika:** Spolupráce s dodavateli a zákazníky na optimalizaci dodavatelského řetězce může snížit počet jednotlivých cest, snížit emise a zlepšit efektivitu.
- **Recyklace a nakládání s odpady:** Implementace programů recyklace a účinných strategií nakládání s odpady může minimalizovat odpad produkovaný logistickými operacemi a podporovat udržitelnost.

To je jen několik příkladů z mnoha praktik a strategií používaných v zelené logistice. Cílem je minimalizovat dopad logistických činností na životní prostředí při zachování či zlepšení provozní efektivity a služeb zákazníkům. [7]

### 3.2.2 Porovnání normální a zelené logistiky

Zelená logistika a normální logistika se liší v přístupu k řízení dodavatelského řetězce a optimalizaci pohybu zboží, informací a zdrojů. Zde jsou některé klíčové rozdíly:

- **Zaměření na životní prostředí:** Zelená logistika upřednostňuje snižování dopadu logistických činností na životní prostředí, zatímco běžná logistika se zaměřuje na efektivitu nákladů a služby zákazníkům.
- **Udržitelnost:** Udržitelná logistika si klade za cíl vytvořit udržitelný dodavatelský řetězec, který minimalizuje svůj dopad na životní prostředí a podporuje dlouhodobou ekologickou stabilitu, zatímco běžná logistika upřednostňuje krátkodobou provozní efektivitu.
- **Operace:** Operace zelené logistiky se zaměřují na snižování emisí, odpadu a spotřeby energie a zároveň optimalizují trasy a harmonogramy dodávek. Normální logistické operace upřednostňují hospodárnost, rychlost a přesnost dodávky.
- **Technologie:** Zelená logistika často zahrnuje nové technologie, jako jsou alternativní paliva a energeticky účinné skladové systémy, aby se snížil její dopad na životní prostředí. Normální logistika obvykle spoléhá na konvenční technologie a procesy.

Stručně řečeno, zelená logistika upřednostňuje udržitelnost a snižování dopadu na životní prostředí, zatímco běžná logistika upřednostňuje provozní efektivitu a nákladovou efektivitu. [29]

### 3.3 Logistické centrum

Logistická centra, někdy také označovaná jako „Dopravně zbožová centra“ nebo „Dopravně logistická centra“, představovala nová řešení logistických problémů v době jejich zřizování v západní Evropě. V průběhu zřizování a výstavby byla diskutována otázka jejich postavení s ohledem na vývoj dopravní logistiky. Na základě těchto skutečností bylo jejich postavení směřováno do dopravně přerodělovacích center s následujícími znaky:

- Vstup dopravců, speditérů, podnikatelů v logistických službách a logistickém průmyslu, obchodních pojišťovacích a bankovních organizací, celních orgánů, orgánů státní správy
- Dosažení synergických efektů prosazením kooperačních projektů zúčastněných firem
- Napojení na nejméně dva druhy dopravy prostřednictvím kombinované přepravy [12]

V dalším průběhu jejich provozování se transformovaly s ohledem na nabídku logistických služeb do tzv. logistických center. Jejich činnost se soustřeďuje především do těchto oblastí:

- modalita dopravy (napojení na nejméně dva druhy dopravy) a modality dopravních výkonů (převedení výkonů z přetížených dopravních sítí určitého druhu dopravy na méně využívané dopravní sítě jiného druhu dopravy)
- logistická obsluha regionu
- vstup lehkého průmyslu

Cílem zřizování logistických center bylo minimalizovat dopravní kongesce, zastavit nadproporcionální zatěžování životního prostředí a snižovat hospodářské škody neřízenou dopravou. Dopravní potřeba je odvozená potřeba, to znamená že nevzniká samostatně ale jako důsledek potřeby zboží, např. surovin. Jedná se tedy o vynucenou poptávku po přepravních výkonech. Podnikatelské subjekty zapojené do ekonomických procesů jsou od sebe místně vzdálené, a proto vzniká ještě silnější potřeba dopravy. [12]

Logistická centra mohou být klasifikována dle jejich účelu:

- **Firemní logistická centra**

Tento typ používají obchodní řetězce nebo velké firmy.

- **Logistická centra logistických firem**

Tato logistická centra jsou provozována poskytovateli logistických služeb, která jsou k dispozici vybraným smluvním zákazníkům. Nabízené služby jsou reakcí na požadavky smluvních partnerů, tvoří pro ně nová řešení logistické obsluhy.

- **Logistické areály**

Jde o soubor několika logistických firem poskytujících služby soustředěných v jednom sdíleném areálu.

- **Logistická centra sítě poskytovatelů kurýrních, expresních a balíkových služeb.**

Tato forma logistických center je speciální formou poskytovatelů logistických služeb. Jde o menší i velké specializované firmy nebo firmy nabízející zároveň i skladovací služby, přepravní, spediční, skladovací služby, přepravu kusových zásilek a další logistické služby.

- **Logistická centra internetových obchodů**

Logistická centra internetových obchodů jsou záležitostí posledních let. Koupí produktu nabízejí prostřednictvím katalogů a velkou výhodou je, že jsou většinou schopni toto zboží zákazníkovi dodat v průběhu krátkého časového úseku. Tato centra mají charakter jak firemních logistických center, tak částečně i prvky logistických center logistických firem. [19]

### 3.3.1 Veřejná logistická centra

Veřejná logistická centra jsou zařízení poskytující služby skladování, manipulace a distribuce většímu množství zákazníků ve sdíleném prostředí. Je přístupná veřejnosti a principem fungování je platba poplatků za služby, což otevírá podnikům možnost outsourcovat své logistické potřeby, aniž by bylo nutné vynaložit prostředky do vlastní infrastruktury. Tato centra jsou většinou spravována poskytovateli logistiky třetích stran a ke správě zboží a skladování, je použita optimalizace operací řetězce dodavatelů a zjednodušení efektivní distribuce zboží zákazníkům.

Aby mohla tato centra vzniknout a být vhodně umístěna, je žádoucí existence dostatečné výroby/spotřeby a výhodné napojení kapacitní dopravní infrastruktury na více druhů dopravy. Zájmem/přínosem pro veřejnost je co nejpropracovanější a nejefektivnější dopravní obsluha daného území a snížení neblahých vlivů zvýšené silniční dopravy na veřejné zdraví a životní prostředí. Pro vznik a vývoj sítě zmíněných center, je nutná jednotná koncepce na regionální úrovni a podpora ze státního veřejného rozpočtu, a to včetně zdrojů EU. [4]

Ve veřejných logistických centrech je důležité dodržovat zásadu, že každý zákazník musí mít totožné podmínky pro nákup za předem danou cenu. Z tohoto důvodu je povinnost řídicího orgánu veřejného logistického centra zveřejnit základní informace jako jsou smluvní podmínky nebo ceník, aby bylo zamezeno případné diskriminaci mezi zákazníky.

Výhody veřejného logistického centra:

- Zvyšování skladového prostoru (sezonní přizpůsobivost) – tento fakt je důležitý pro podniky, které potřebují v určitých částech ročního období (sezónách) potřebu navýšit skladovou kapacitu. V tomto případě je veřejné logistické centrum schopné poskytnout na toto období dostatečný pronájem.
- Kapitálová nenáročnost – Uživatelé nemusí investovat svůj kapitál do skladování, manipulační techniky, správy budov, pozemků aj. Tím, se podnik vytvoří finanční prostředky navíc, kterými může disponovat do jiných atributů podnikání.
- Daňové výhody – jestliže nejsme majitelem skladu, ale pouze jeho uživatelem, nemáme povinnost platit daň z nemovitosti. Tu platí majitel veřejného skladu. Majitelé ale tuto částku rozdělují mezi pronajímatele v rámci sazby uskladnění zboží. Některé státy využívají tzv. „free – port, který umožňuje skladování zboží do 1 roku bez zdanění.
- Pružnost – veřejná logistická centra mají ve většině případů krátkodobé smlouvy. V případě, že dojde k jakýmkoliv změnám (například přepravních podmínek), má podnik možnost se bez komplikací přesunout. Jedná se tedy o krátkodobý závazek.

Nevýhody veřejného logistického centra:

- Komunikační problémy – všechna logistická veřejná centra mají své počítačové systémy a terminály, u kterých se občas objevuje problém vzájemné nekompatibility.
- Nedostatek prostoru – skladové prostory jsou mnohdy zcela naplněny a může se stát, že nebudou k dispozici ve chvíli, kdy to podnik potřebuje. [4]

### 3.3.2 Soukromá logistická centra

V české republice převyšují soukromá logistická centra. Od veřejných logistických center se liší v tom, že nemají tak velké rozpětí služeb a jejich hlavním cílem je zejména skladování a následný prodej. Další rozdíl je doprava. Soukromá logistická centra nejsou umístěna na hlavních dopravních uzlech, využívají tedy většinou silniční dopravu a kombinovaná doprava je praktikována v minimální míře.

Výhody soukromého logistického centra:

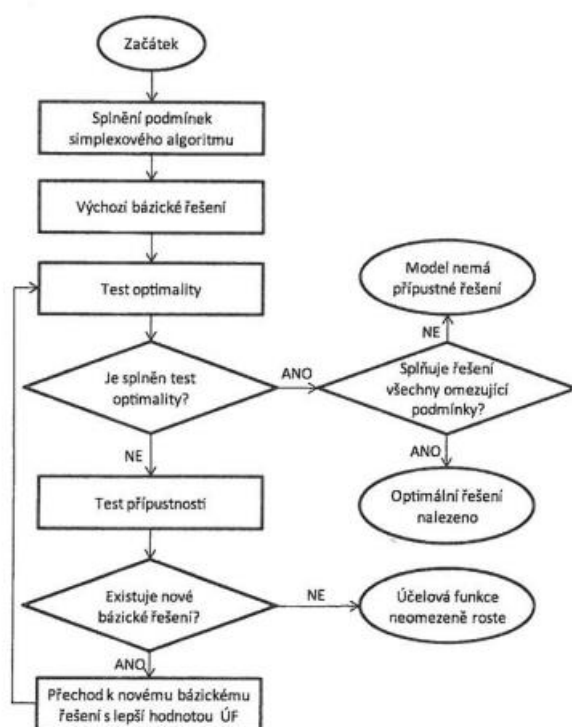
- Využití vlastních lidských zdrojů – ve skladu jsou naši přímí zaměstnanci, kteří skladování věnují vyšší pozornost.
- Zodpovědnost a přímá kontrola – zboží máme pod kontrolou až do konečné fáze, kdy přijde konečnému zákazníkovi.
- Daňové přínosy – nižší náklady. Jestliže jsme majiteli skladu, uplatňujeme daňové zvýhodnění, které snižují daňovou povinnost.

Nevýhody soukromého logistického centra:

- Finanční omezení – sklad se může ukázat jako velmi nákladná složka podnikání, a ne každý podnik si ho může dovolit.
- Nutnost vlastní investice – na sklady je potřeba nakoupit pozemky, budovy, manipulační jednotky atd. Důležitým faktorem je návratnost případné investice.

### 3.4 Simplexový algoritmus

Obecný postup řešení modelu lineárního programování je založen na řešení soustavy lineárních rovnic a nerovnic, která odpovídá omezujícím podmínkám tak, aby účelová funkce nabývala své minimální nebo maximální hodnoty. Simplexová metoda je nejznámější univerzální metoda pro řešení úloh LP. Tato metoda je založená na iteracích a využívá Jordanovy eliminační metody. Tato metoda je ještě doplněna o dvě kritéria umožňující nalézt optimální řešení. [28]



Obrázek 1 - Aplikace simplexové metody na model LP

Zdroj:[28]

Obrázek výše popisuje aplikaci simplexové metody na model lineárního programování. Jak bylo zmíněno výše, pro aplikaci simplexového algoritmu je nutné dodržení několika podmínek, jedná se o podmínku nezáporných hodnot ve vektoru pravých stran a kánonický tvar matice soustavy. Aby byla matice v kánonickém tvaru, musí obsahovat úplnou jednotkovou matici.

Pokud jsou splněny tyto dvě podmínky postupuje se algoritmem dále a konkrétně k báze řešení. Vzhledem k faktu, že pokud existuje optimální řešení



úlohy LP, existuje i bazické řešení není problém pokračovat druhým krokem algoritmu. Bazické řešení modelu LP, který obsahuje  $n$  proměnných a  $m$  omezujících podmínek, rozumíme takové řešení, které nejvýše v  $m$  proměnných nabývá kladné hodnoty.

Po nalezení výchozího bazického řešení je potřeba vypočítat test optimality. Test optimality je založen na principu zjištění, zda je současná množina bazických proměnných nejlepší z hlediska účelové funkce. Nebo zda existuje jiná množina těchto proměnných, která by zajistila lepší hodnotu kritéria. Řešení modelu LP bude optimální, pokud nebude existovat žádná nebazická proměnná, jejíž zařazení by zlepšilo hodnotu účelové funkce. Pokud řešení není optimální, je nutné přistoupit k testu přípustnosti. Cílem tohoto testu je získání nového bazického řešení. Naopak pokud bylo nalezeno optimální řešení, zkontrolujeme, že toto řešení splňuje omezující podmínky. Pokud jsou tyto podmínky splněny je nalezeno optimální řešení, v opačném případě model nemá přípustné řešení. [28]

### 3.5 Dopravní problém

Dopravní problém můžeme formulovat takto:

Předpokládejme, že je dáno  $m$  dodavatelů  $D_1, D_2, \dots, D_m$ , kteří mají k dispozici  $a_1, a_2, \dots, a_m$  jednotek homogenního zboží. Toto zboží je třeba přepravit k  $n$  odběratelům  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , jejichž požadavky jsou  $b_1, b_2, \dots, b_n$  jednotek zboží. Veličiny  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) a  $b_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) jsou vyjádřeny nezápornými reálnými čísly ve stejných měrných jednotkách. Rovněž máme zadány náklady na přepravu jednotky produktu od  $i$ -tého dodavatele k  $j$ -tému odběrateli, zapsané symbolem  $c_{ij}$ . Tato veličina nejčastěji představuje vzdálenost mezi dodavatelem a odběrateli v km. Přepravované množství od  $i$ -tého dodavatele k  $j$ -tému odběrateli označíme  $x_{ij}$  a vyjádříme ve stejných měrných jednotkách jako veličiny  $a_i$  a  $b_j$ . [11]

Hlavním cílem je zajistit takovou přepravu produktu mezi dodavatelem a odběrateli, abychom plně uspokojili požadavky odběratelů na daný produkt, a přitom aby celkové náklady na přepravu byly minimální. Pomocí matematického vyjádření můžeme formulovat všechny uvedené požadavky následovně.

Máme nalézt taková čísla  $x_{ij}$ , při kterých bude:

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \text{MIN} \quad (1)$$

Za podmíněk:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

Účelová funkce (1) vyjadřuje závislost mezi strukturou přepravy a celkovými přepravními náklady. Soustava omezujících podmínek (2) říká, že součet přepravovaného množství jednotek produktu od  $i$ -tého dodavatele ke všem odběratelům musí být menší nebo roven kapacitě tohoto  $i$ -tého dodavatele. Omezující podmínky (3) rovněž udávají, že součet přepravovaného množství jednotek produktu k  $j$ -tému odběrateli od všech dodavatelů se musí rovnat požadavku tohoto  $j$ -tého odběratele. Tím soustava omezujících podmínek zaručuje nezápornost přepravovaného množství. [11]

### 3.5.1 Dvou a vícerozměrné dopravní problémy

Jednostupňová dopravní úloha patří k základním dopravním problémům. Od obecného vyjádření dopravní úlohy se odlišuje tím, že se její omezující podmínky rovnají. Je dáno  $m$  dodavatelů, kteří nabízejí určité množství jednotek produktu  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) a  $n$  spotřebitelů, kteří požadují tento produkt v množství  $b_j$  jednotek ( $j = 1, 2, \dots, n$ ); přitom kapacity dodavatelů se rovnají požadavkům spotřebitelů, tedy

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Aby byl problém řešitelný musí tento vztah rovnosti platit. Z praxe víme, že tento stav nenastává příliš často. Dopravní úloha je tedy řešitelná, pokud je zadána ve standardním stavu.

Cílem jednostupňového dopravního problému je určit takový plán přepravy, aby:

- a) kapacita každého dodavatele byla vyčerpána,
- b) požadavek každého spotřebitele byl uspokojen,
- c) celkový počet tunokilometrů, popř. celkové náklady spojené s přepravou byly minimální

Podmínky a) a b) jsou tedy vlastní omezení úlohy a podmínka c) představuje kritérium optimálnosti.

	$S_1$	$S_2$	. . .	$S_n$	$a_i$
$D_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	. . .	$x_{1n}$	$a_1$
$D_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	. . .	$x_{2n}$	$a_2$
.	.	.		.	.
.	.	.		.	.
.	.	.		.	.
$D_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	. . .	$x_{mn}$	$a_m$

$b_j$	$b_1$	$b_2$	. . .	$b_n$
-------	-------	-------	-------	-------

Obrázek 2 - Schéma jednostupňové dopravní úlohy

Zdroj: [11]

Účelová funkce dopravního problému představuje Závislost celkového počtu např. tkm na jednotlivých dopravovaných množstvích představuje účelová funkce, kterou můžeme zapsat v tomto tvaru:

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

### 3.5.2 Dvoustupňová dopravní úloha

Dvoustupňová dopravní úloha přidává další mezistupeň přepravy a sice mezisklady. Zboží je tedy přepravováno nikoliv od dodavatele ke spotřebiteli, ale od dodavatele přes mezisklad ke spotřebiteli. K řešení dvoustupňové dopravní úlohy je potřeba znát kapacity dodavatelů a mezistanic, požadavky odběratelů a sazby charakterizující spojení od každého dodavatele ke každému odběrateli přes každou mezistanici. Cíl je velmi podobný dopravnímu problému popsanému v kapitole 3.4.1. Požadujeme, aby kapacita každého dodavatele i mezičlánku byla vyčerpána, aby každý odběratel byl uspokojen, a přitom aby celkový počet tunokilometrů nebo celkových přepravních nákladů byly minimální. Dvoustupňové dopravní úlohy předpokládají nevyváženost, tedy větší kapacity dodavatelů a meziskladů, než jsou požadavky spotřebitelů. Pro řešení je tedy nutné úlohu vyvážit pomocí fiktivního odběratele a následně úlohu převést na jednostupňovou dopravní úlohu.

	MEZISKLADY	SPOTŘEBITELÉ	KAPACITY...
DODAVATELÉ	$x_{ij}$	prohibitivní sazby	...dodavatelů $a_i$
MEZISKLADY	prohibitivní sazby, nuly na hlavní diagonále	$y_{ij}$	...meziskladů $b_j$
POŽADAVKY...	...meziskladů $b_j$	...spotřebitelů $p_k$	

Obrázek 3 - Schéma převodu DDÚ na JDÚ

Zdroj:[29]

Prohibitivní sazby jsou zpravidla o dva až tři řády vyšší než ostatní vzdálenosti mezi subjekty. Tyto sazby teda zajistí nemožnost přesunu mezi jednotlivými mezisklady a přímý převoz zboží mezi dodavatelem a spotřebitelem. Na hlavní diagonále v levém spodním sektoru jsou nulové hodnoty, protože hlavní diagonála značí vzdálenost mezi totožnými mezisklady. Po provedení tohoto převodu se již řeší jednostupňová dopravní úloha popsaná v předchozí kapitole. [11]

### 3.6 Model vícekriteriálního lineárního programování

Obecný vícekriteriální optimalizační model je každý optimalizační model, který má množinu variant přípustných řešení vymezenou soustavou omezujících podmínek a množinou kritérií vyjádřenou několika kriteriálními funkcemi. Cílem

takového modelu je nalezení takového řešení z množiny přípustných řešení, v němž je dosaženo požadovaného extrému jednotlivých kritérií. [28]

Matematický model obecné úlohy vícekritériálního programování s  $m$  omezujícími podmínkami,  $n$  proměnnými a  $p$  kritérii lze formulovat:

Je třeba nalézt extrémy  $p$  kritériálních funkcí

$$\begin{aligned}
 f_1(x) &= c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n \rightarrow MAX \\
 f_2(x) &= c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n \rightarrow MAX \\
 &\vdots \\
 f_p(x) &= c_{p1}x_1 + c_{p2}x_2 + \dots + c_{pn}x_n \rightarrow MAX
 \end{aligned}$$

[29]

Za omezujících podmínek

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\
 &\vdots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m
 \end{aligned}$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

Definice je uvedena pro maximalizační kritérium, protože minimalizační kritérium lze upravit na maximalizační podle vztahu:

$$f(x) \rightarrow MIN \leftrightarrow \bar{f}(x) = -f(x) \rightarrow MAX$$

[28]

### 3.6.1 Řešení úloh vícekriteriálního programování pomocí Agregace kriteriálních funkcí

Pokud známe váhy kriteriálních funkcí je možné vyhledat kompromisní řešení pomocí agregace kriteriálních funkcí.

Kriteriální funkce je nutné agregovat pomocí vhodného operátoru, tento operátor by měl zaručit, že žádné kritérium nebude zvýrazněno nebo potlačeno (vyjma váhy kritérií). Základní formy agregace jsou součinnová/podílová a součtová/rozdílová. Příslušnými operátory jsou součin (podíl) kriteriálních funkcí nebo jejich součet či rozdíl. Součet (součin) se používá, pokud jsou kritéria stejného typu, podíl (rozdíl) se používá, pokud jsou kritéria odlišného typu.

Operátorem agregace je konvexní lineární kombinace kritérií. Při formě agregace předpokládáme, že uvažovaná kritéria mají stanovené váhy  $v_1, v_2, \dots, v_p$ , které vyjadřují jejich důležitost. Součet těchto vah musí být roven 1.

Agregovaná kriteriální funkce má tvar

$$F(x) = \sum_{k=1}^p v_k f_k(x) = \sum_{k=1}^p v_k c_k^T x = v^T Cx$$

Původní optimalizační úlohu

$$\begin{aligned} Cx &\rightarrow MAX \\ x &\in X \end{aligned}$$

Tedy upravíme na základě provedené agregace a řešíme úlohu s původními omezujícími podmínkami a novou účelovou funkcí, kterou lze zapsat

$$\begin{aligned} v^T Cx &\rightarrow MAX \\ x \in X &= \{x \in R^n / Ax \leq b, x \geq 0\} \end{aligned}$$

Vzhledem k tomu, že agregace různorodých kritérií je neinterpretovatelná v praxi, je agregované kritérium kritériem pomocným. Toto kritérium slouží pouze k nalezení kompromisního řešení. Skutečné kriteriální hodnoty je nutné dopočítat nebo musejí být kriteriální funkce do řešeného modelu zařazeny jako speciální typ omezujících podmínek. [28]

## **4 Vlastní práce**

### **4.1 Aktuální stav logistiky v ČR**

#### **4.1.1 Dopravní infrastruktura v ČR**

Díky stále narůstajícímu počtu km provozovaných dálnic a silnic I., II., a III. Třídy lze soudit, že se ČR snaží stále zlepšovat dopravní infrastrukturu. V roce 2010 Ministerstvo dopravy evidovalo 734 km dálnic v provozu, zatímco v roce 2021 se počet km takřka zdvojnásobil – 1346 km dálnic. Pokud se podíváme na počty kilometrů silnice I. Třídy v roce 2010 (6 255) a na počet kilometrů v roce 2021 (5 800) je patrné, že se silnice I. Třídy postupně modernizují na dálnice a tím se doprava zrychluje. ČR je tranzitní zemí, a tedy zajištění kvalitní infrastruktury je klíčové.

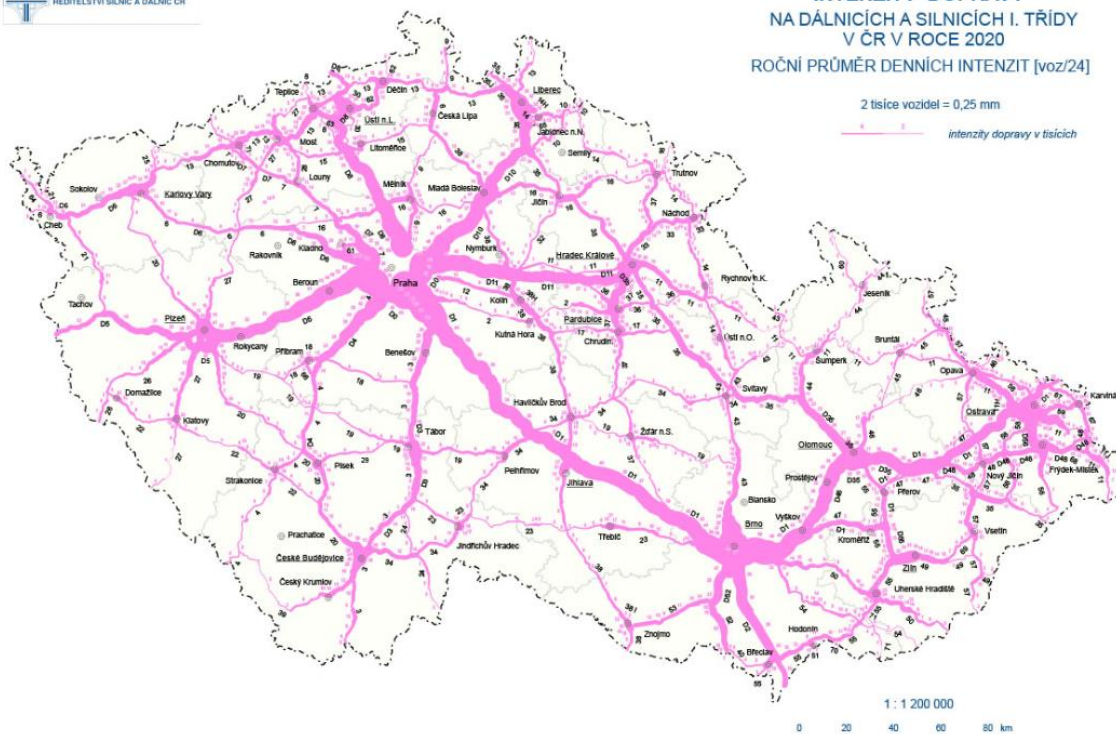
##### **4.1.1.1 Celostátní sčítání dopravy**

Ředitelství silnic a dálnic ČR zajišťuje v pravidelných pětiletých intervalech projekt Celostátního sčítání dopravy (CSD), a to nejen na dálnicích a silnicích I. třídy v jeho správě, ale rovněž i na silnicích II. třídy a vybraných silnicích III. třídy a místních komunikacích některých statutárních měst. Zveřejněné výsledky z CSD2020, že doprava oproti minulému CSD, které bylo prováděno v roce 2016, opět významně narostla, a to v průměru o 10 %. Průběh sčítání i způsob jeho vyhodnocování přitom významně ovlivnila pandemie koronaviru. Dá se tedy předpokládat, že kdyby koronavirus nezasáhl do tohoto sčítání nárůst dopravy by byl ještě o něco vyšší. Původně se sčítání mělo uskutečnit v roce 2020, ale díky přetrvávajícím restrikcím kvůli celosvětové pandemii se část sčítání uskutečnila až v roce 2021.

**INTENZITY DOPRAVY  
NA DÁLNICÍCH A SILNICÍCH I. TŘÍDY  
V ČR V ROCE 2020**  
ROČNÍ PRŮMĚR DENNÍCH INTENZIT [voz/24]

2 tisíce vozidel = 0,25 mm

intenzity dopravy v tisících



Obrázek 4 - Pentlogram sčítání dopravy 2020

Zdroj: [22]

Z pentlogramu je patrné, že mezi nejvíce využívané dálniční úseky v ČR patří dálnice D1, která spojuje Prahu a Brno. Další masivně využívané dálnice spojují Brno a Olomouc (D46), Olomouc a Ostravu (D35), Prahu a Plzeň (D5), Prahu a Ústní nad Labem (D8), Prahu a Liberec (D10) a Prahu a Hradec Králové (D11). Jedná se tedy o hlavní tahy spojující velká česká města.

Z výsledků sčítání vyplývá, že došlo k celkovému růstu dopravních výkonů o 10 %. Pokud se zaměříme na detailnější nárůsty v dálniční síti byl oproti roku 2016 nárůst o 15 % a na silniční síti o 9 %. Při rozdělení na dopravní prostředky se u těžkých vozidel naměřil nárůst o 16 % a u osobních vozidel bylo pozorováno zvýšení dopravy o 9 %. Celkový dopravní výkon na pozorovaných dálniční a silniční síti délky 55 792 km dosáhl v průměru téměř 160 mil. vozokilometrů za den. Průměrná intenzita na dálnicích činí cca 30 700 voz/24 h, na silnicích I. třídy 9100 voz/24 h, na silnicích II. třídy 2900 voz/24 h.

Na výsledcích měření je také patrné, že koronavirus ovlivnil charakter cest. Poklesl počet dlouhých dopravních výkonů u dálkových dopravních vazeb. Tyto vazby mohly být



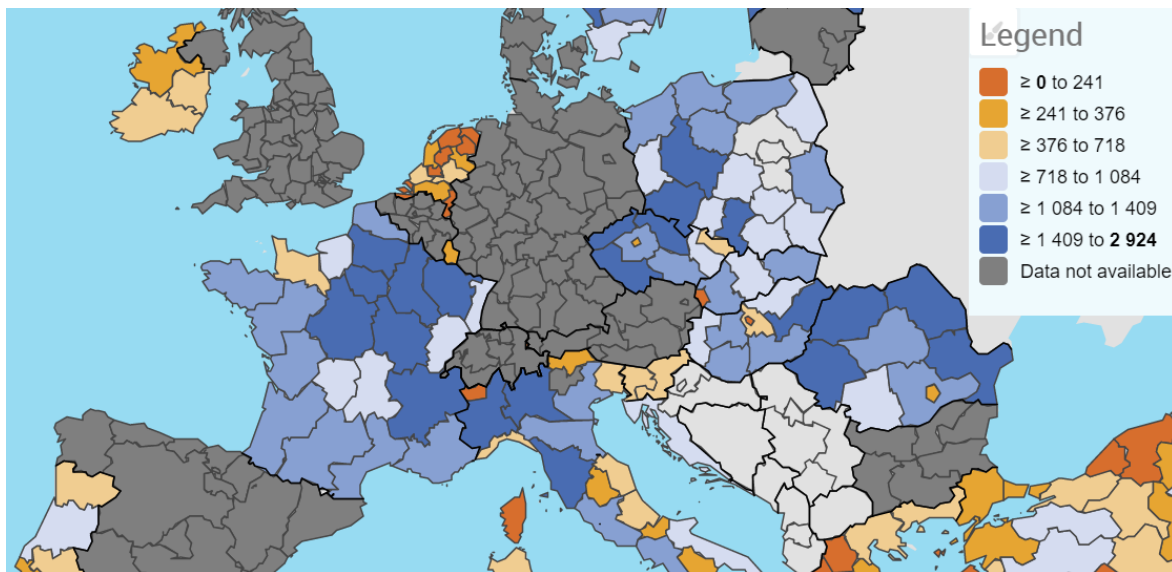
zčásti nahrazeny videokonferencemi a jinými online nástroji. Stejně tak je patrný nárůst u skupiny lehkých nákladních vozů, který pravděpodobně souvisí se zvýšeným nakupováním online, a tedy i se zvýšenou potřebou rozvozu produktů.

#### 4.1.1.2 Silniční nákladní doprava v ČR

Výsledek přepravy (přepravených osob a množství zboží) nám udává přepravní výkon. Tento pojem můžeme matematicky vyjádřit jako součin dopravního výkonu a přepravních objemů. Používají se tedy hlavně dvě jednotky – Osobokilometr a Tunokilometr. Osobokilometr (osbkm) vyjadřuje přepravu jedné osoby na vzdálenost jednoho kilometru. Vypočítá se jako součin dopravního výkonu (tedy vzdálenosti, kterou ujede daný dopravní prostředek) a počtu přepravených osob. Přepravní výkon automobilu, který s jedním cestujícím ujede 100 km, a autobusu, který ujede se 100 cestujícími 1 km, je tak stejný. Obdobně pak funguje i Tunokilometr, který představuje přepravu zboží jedné tuny na vzdálenost jednoho kilometru. Vypočítá se jako součin dopravního výkonu a hmotnosti nákladu.

Český statistický úřad, definuje objem přepravy zboží jako: „v tunách vyjadřuje skutečnou hmotnost zboží, které bylo přepraveno silničními nákladními vozidly (vč. přívěsů a návěsů) registrovanými v České republice. Silniční nákladní doprava se sleduje podle metodiky Eurostatu“. Podle nejnovějších dat od ČSÚ byl v roce 2021 zachován trend zvyšujícího se objemu přepravovaného zboží, stejně tak zvýšení přepravních výkonů. V roce 2010 bylo přes Českou republiku přepraveno celkem 355 911 000 tun zboží. Naproti tomu v roce 2021 hmotnost přepravovaného zboží činila 500 288 000 tun zboží. Tedy za posledních 11 let se zvýšilo množství přepravovaného zboží téměř o jednu čtvrtinu. Při porovnání přepravních výkonů se v roce 2010 dostaneme na 51 832 mil. tnkm zatímco v roce 2021 činily přepravní výkony 63 756 mil. tnkm. I tento ukazatel tedy potvrzuje stoupající tendenci využití silniční dopravy a s tím související nutnost modernizace a správy silničních spojů v ČR. [7]

#### 4.1.2 Železniční infrastruktura v ČR



Obrázek 5 - Hustota železničních sítí v Evropě v přepočtu na 1000 km<sup>2</sup>

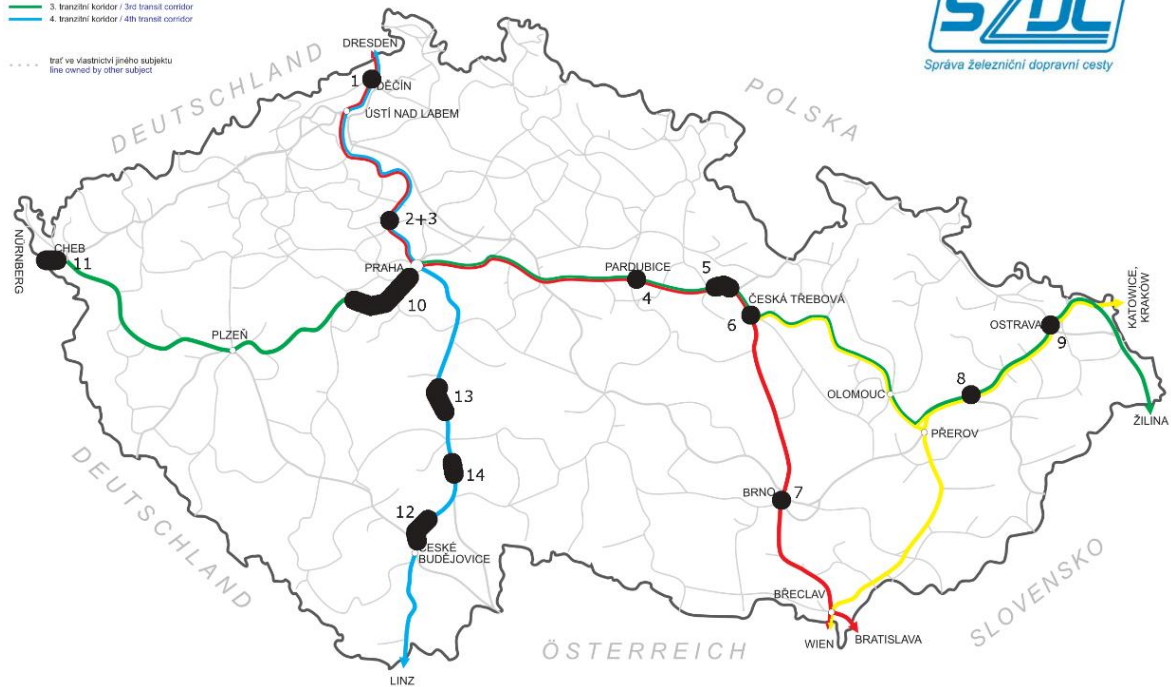
Zdroj: vlastní zpracování na základně dat z Eurostat

Z obrázku výše je patrné, že česká republika patří do zemí s hustší sítí železniční infrastruktury. Konkrétně má druhou nejdelší železniční dopravní síť v EU28 vztaženou na 1 000 km<sup>2</sup> hned po Lucembursku. V přepočtu osobních železničních vlaků je Česká republika dokonce na prvním místě. Pokud se podívám na délku provozovaných elektrizovaných i neelektrizovaných vlakových tratí v roce 2021, najdeme hodnotu 9 523 km. Z trendu posledních 10 let je tedy patrný drobný pokles, v roce 2010 byla totiž délka provozovaných železničních tratí rovna 9 568 km. Délka tratě uzpůsobené k přepravě zboží je rovná celkové hodnotě provozovaných tratí. Tedy na všech aktuálně provozovaných železničních tratích jsou uzpůsobeny pro osobní i nákladní dopravu. [15]

#### Tranzitní koridory / Railway transit corridors

- 1. tranzitní koridor / 1st transit corridor
- 2. tranzitní koridor / 2nd transit corridor
- 3. tranzitní koridor / 3rd transit corridor
- 4. tranzitní koridor / 4th transit corridor

..... trať ve vlastnictví jiného subjektu  
line owned by other subject



Obrázek 6 - Tranzitní železniční koridory ČR

Zdroj: [15]

Česká republika má aktuálně 4 tranzitní železniční koridory, které jsou prioritou pro modernizaci a správu.

#### **Východo – středomořský koridor (červená)**

I. železniční koridor (Berlin – Dresden) - Děčín – Praha - Pardubice - Česká Třebová - Brno - Břeclav - (Wien / Bratislava - Budapest)

#### **Baltsko – jadranský koridor (žlutá)**

II. železniční koridor (Gdaňsk – Warszawa – Katowice) - Petrovice u Karviné – Ostrava – Přerov – Břeclav

#### **Česko-Slovenský koridor (zelená)**

III. železniční koridor (Le Havre – Paris – Frankfurt a.M.) - Cheb – Plzeň - Praha - Ostrava - (Žilina - Košice - Lvov); odbočná větev Plzeň - Domažlice - (Nürnberg)

IV. železniční koridor (modrá) (Stockholm – Dresden) - Děčín – Praha – Tábor - Veselí nad Lužnicí - České Budějovice - Horní Dvořiště - (Linz - Salzburg - Ljubljana - Rijeka - Zagreb)

Modernizace I. Železničního koridoru, který je na obrázku znázorněn červenou barvou a prochází přes města Děčín, Praha a Břeclav byla ukončena v říjnu

roku 2004. II. Železniční koridor spojující Břeclav, Přerov a Petrovice u Karviné byl modernizován v také v roce 2004. Po ukončení modernizace v květnu 2004 byla realizována odbočná větev Přerov – Česká Třebová. Poslední nezmodernizovaná část je tedy mezi Chocní a Ústí nad Orlicí, modernizace by měla být hotová do konce roku 2024 za využití napřímení trasy s pomocí tunelu. I. a II. Železniční koridor je součástí IV., resp. VI. panevropského multimodálního koridoru. Z toho vyplývá jejich upřednostnění při modernizaci. V rámci mezinárodních dohod, ke kterým ČR přistoupila je povinná napojit železniční síť na evropské magistrály, snižování zátěže životního prostředí, zvyšování spolehlivosti a pravidelnosti v nákladní dopravě nebo například zvýšení rychlosti v osobní železniční přepravě. [15]

#### 4.1.2.1 Modernizace tranzitních železničních koridorů

Pro optimalizaci a modernizaci tranzitních železničních koridorů byly stanoveny základní parametry, které jsou totožné s parametry pro modernizaci stávajících železničních tratí. Jedná se tedy o rychlost 160 km/h (podle Dohody AGC 120 km/h), prostorová průchodnost UIC GB, třída zatížení D4 UIC (22,5 Mp/nápravu) a délka předjízdnych kolejí 750 m (podle AGTC 700 m). Podle dohody AGC je však umožněno pro modernizaci stávajících tratí u některých traťových úseků, kde by byla změna jejich trasování příliš obtížná, finančně velmi náročná a někdy dokonce nemožná, nedodržení těchto parametrů. Jedná se tak hlavně o dosažení cílové rychlosti 160 km/h. Naproti tomu je sledována prostorová průchodnost UIC GC, která je zajišťována i na modernizovaných tratích. Modernizace železničních tranzitních koridorů v ČR tedy splňuje podmínky citovaných evropských dohod.

Po technické stránce modernizace zahrnuje elektrifikaci dosud neelektrizovaných tratí, sanaci, zhutnění a izolaci železničního spodku, uvedení umělých staveb do předpisového stavu, výměně železničního svršku nebo výměnu elektrifikačního zařízení. Cílem těchto modernizací je dosažení rychlosti 160 km/h v úsecích, kde je to možné, dosažení prostorové průchodnosti podle norem UIC a třídy zatížení pro nápravovou hmotnost 22,5 tuny, minimální délka předjízdny koleje 750 metrů. Současně rekonstrukcí tratí probíhají i rekonstrukce železničních budov, nástupišť a informačních tabulí, což zvyšuje komfort pro přepravované osoby.

Modernizace I. železničního koridoru, který měří 380 km stála 36,5 miliardy korun. U II. Koridoru se hovoří o částce přesahující 29 miliard korun. Odhad ceny plánované rekonstrukce pro III. a IV. koridor přesahuje 100 miliard korun. [15]

#### 4.1.2.2 Železniční nákladní doprava v ČR

Podle nejaktuálnějších dat Českého Statistického Úřadu se celková přeprava věcí po propadu v roce 2020 znovu vyhoupla zpět na úroveň v toce 2019. Tento propad, který čítal pokles přepraveného zboží z 98 526 000 tun v roce 2019 na 90 836 000 tun v roce 2020 můžeme přičítat celosvětové pandemii koronaviru. Oproti roku 2020 tedy nastalo znovu navýšení v přepravovaném zboží a za rok 2021 bylo přepraveno 97 232 000 tun. V přepravních výkonech můžeme vidět podobnou propad v roce 2020, kdy z hodnoty 16 070 mil. tun v roce 2019 klesly přepravní výkony na 15 136 mil tun zboží. Tento propad tedy jen potvrzuje předchozí zjištění poklesu přepravovaného zboží, který způsobila celosvětová pandemie a s ní vytvořené restriktce. Oproti roku 2020 tedy v roce 2021 nastal znovu nárůst a přepravní výkony se vrátili nad hodnotu 16 000 mil tun, konkrétně 16 126 mil tun. Ze sbíraných dat je také patrné, že průměrná přepravní vzdálenost se výrazně posledních 10 let nemění a pohybuje se neustále kolem hranice 165 km. V roce 2021 byla průměrná přepravní vzdálenost 165,8 km. [18]

#### 4.1.3 Vodní infrastruktura v ČR

Infrastruktura vodních cest je rozdělena na přirozené a upravené splavné říční toky anebo umělé vodní kanály – průplavy, které podporují říční systémy, nebo se napojují na jezera a moře. Vodní cesty mohou mít národní statut pro plavbu uvnitř dané země nebo mezinárodní statut plavby, v případě, že propojují více zemí.

Vodní cesty mají národní nebo mezinárodní parametry stanovené klasifikačními třídami pro obchodní, rekreační nebo sportovní plavbu.

V České republice se vodní doprava realizuje na části vodních toků Labe a Vltavy, popřípadě na uzavřených vodních plochách (nádrže, řeky), které jsou upraveny pro provozování plavby. Úseky Labe a Vltavy s mezinárodním statutem jsou napojeny na evropský systém vodních cest, tj. řekami na námořní přístavy

(Labe – Hamburg) a systémem evropských plavebních kanálů na další řeky a jejich vnitrozemské i námořní přístavy (Magdeburg, Duisburg, Brémy, Rotterdam).

Proti pozemním dopravním cestám je dopravní infrastruktura vodní dopravy na řekách, v provozních vodohospodářských podmínkách, podřízena, či nadřazena i jiným uživatelům (vodní energetika, zásobování vodou, odvádění velkých vod, nalepšování průtoků...) a dále může být ovlivňována vodností a odtokovými poměry řeky.

Splavné řeky jsou svými parametry a objekty zahrnuty do technických a provozních podmínek víceúčelových vodních toků, na kterých se dnes vodní doprava provozuje a tyto musí splňovat technickoprovozní podmínky vodní dopravy, sledovat provozní stav vodních toků i vodních cest a zajišťovat jejich rozvoj.

Dopravní cesta v říčním systému využívá technickou infrastrukturu společných staveb na řece a pro plavbu je tok vybaven dalšími speciálními stavbami (plavební komory, kotviště a přístaviště, přístavy, loděnice) a dále má tato technická infrastruktura splavného vodního toku obecné a speciální provozní podmínky uživatelů a pro ně je vybavena telematickými systémy a pro spolehlivou a bezpečnou funkci jednotlivých uživatelských systémů. [26]

#### 4.1.3.1 Plavební síť ČR

Plavební síť České republiky je tvořena zejména labsko-vltavskou vodní cestou. Tato cesta přísluší ke středoevropskému systému. Její celková činná 302 km a je tvořena úseky:

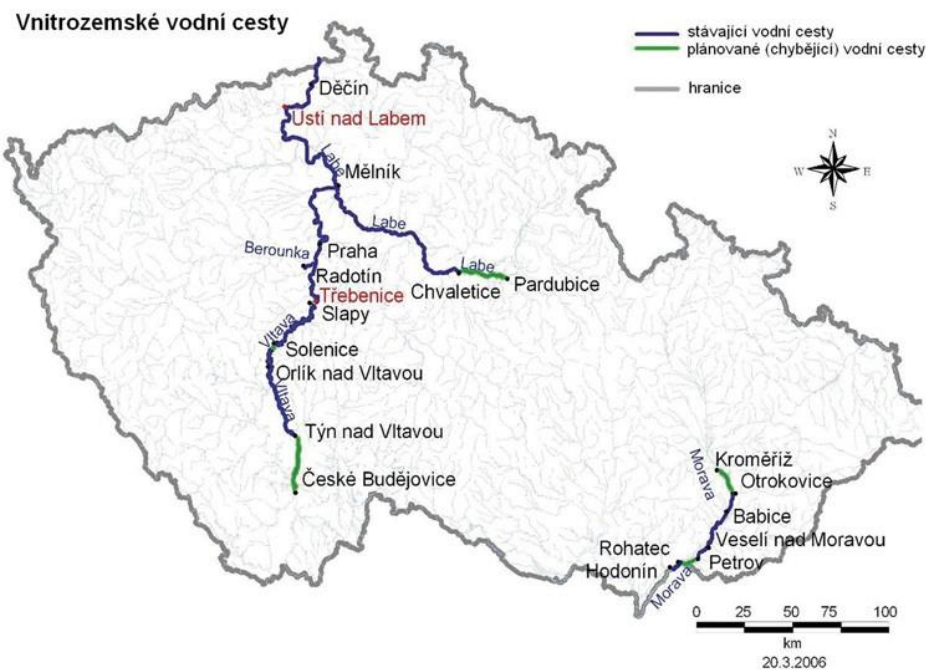
- **Dolní Labe**, tj. Labe od Mělníka po proudu až po státní hranice s Německem (zařazení do třídy Va). Tento úsek je dlouhý 109,2 km a hlavními přístavy na tomto úseku jsou Mělník, Lovosice, Ústí nad Labem a Děčín
- **Střední Labe**, tj. Labe od Mělníka proti proudu až po přístav Chvaletice (zařazení do třídy IV). Délka tohoto úseku je 102 km. Přístavy jsou: Kolín a Chvaletice.
- **Vltava**, splavná od Mělníka po Slapy. Délka tohoto úseku činí 91,5 km (zařazení do třídy IV). Hlavními přístavy jsou v Praze: Holešovice, Libeň, Smíchov a Radotín.

K těmto třem hlavním úsekům můžeme přičíst ještě **krátký úsek Berounky**. Ta je splavná na velmi krátkém úseku bezprostředně při ústí do Vltavy v Lahovicích. Délka tohoto úseku činí 1,2 km. Tento úsek začíná v přístavu

Radotín a končí v Lahovicích. Labsko-vltavská vodní cesta umožňuje svými parametry plavbu lodí s nosností 1 350 tun.

Vedle souvislé labsko-vltavské vodní cesty existuje ještě několik izolovaných úseků, a to:

- Úsek **středního Labe mezi Přeloučí a Sezemicími**, jehož využití brání nedokončený úsek mezi Chvaleticemi a Přeloučí.
- **Přehradní zdrže vltavské kaskády** proti proudu Vltavy od Slap, které jsou odděleny od souvislé splavné trati (a částečně i od sebe navzájem).
- Vodní cesta Otrokovice – Rohatec, tzv. **Batův kanál** na řece Moravě patřící do kategorie regionálních vodních cest. [26]



Obrázek 7 - Tuzemské vodní cesty

Zdroj: [26]

#### 4.1.3.2 Vodní nákladní doprava v ČR

Na rozdíl od silniční a železniční nákladní dopravy je ve vodní nákladní dopravě v ČR vidět klesající trend v celkově převezeném zboží a materiálu. V roce 2010 bylo převezeno po vnitrozemských vodních cestách celkově 1 642 000 tun.

Naopak v loňském roce bylo přepraveno pouze 1 295 000 tun. Od roku 2010 bylo nejvíce transportovaného materiálu po vodních cestách v roce 2011, kdy bylo převezeno přesně 1 895 000 tun. Na rozdíl od železniční a silniční nákladní dopravy vodní nákladní dopravu nepoznamenala celosvětová pandemie koronaviru, a naopak v roce 2020 bylo převezeno více věcí než v roce 2021. Pokud se zaměříme na přepravní výkony, v roce 2010 činila jejich hodnota 679 mil. tkm. V roce 2021 český statistický úřad eviduje hodnotu 517 mil. tkm. Tedy i v přepravních výkonech je dodržen klesající trend z posledních let. Poslední nárůst v přepravních výkonech nastal v roce 2017 (623 mil. tkm) a od té doby přepravní výkony s každým rokem klesají. [17]

#### 4.1.4 Síť LC v ČR

Vzhledem k neexistenci veřejného seznamu logistických center v ČR je nalezení sítě LC v České republice obtížné. Následující obrázek zachycuje hrubé rozmístění logistických center s rozlohou větší než 35 000 m<sup>2</sup> v České republice. Číslo ve žlutém kolečku naznačuje počet logistických center v blízkém okolí tohoto znaku. Logistická centra jsou úzce spjata s hlavními silničními tahy v české republice. Vyšší koncentraci logistických center je možné vidět okolo hlavního města Prahy, u dálnice D5, tedy okolo hlavního dálničního spojení s Německem. Vyšší počet LC vidíme i na severozápadě republiky a v okolí ostravska, vyšší výskyt LC center s těchto oblastech je spjat s rozvinutým průmyslem. Naopak z obrázku níže je patrné, že na dálnici D1, tedy na hlavním silničním tahu Praha-Brno se nenachází žádné LC s rozlohou větší než 35 000 m<sup>2</sup>. Lze tedy říct, že LC centra se nachází v blízkosti hranic a velkých silničních tahů, kolem hlavního města a v místech s rozvinutým průmyslem.





Obrázek 8 - Základní rozmístění LC s rozlohou > 35 000 m<sup>2</sup> v ČR

Zdroj: vlastní zpracování

## 4.2 Logistika v Německu

### 4.2.1 Dopravní infrastruktura v Německu

V Německu je dopravní infrastruktura velmi rozvinutá a silně vytížená. Důvodem je jednak fakt, že Německo je nejlidnatější zemí EU a zároveň má velmi silnou ekonomiku. Další výhodou je poloha země, která je v centru Evropy. Na dopravní síť a rozmístění dopravních cest má vliv několik faktorů. Nejvýraznější vliv má jednoznačně polycentrická struktura osídlení a umístění hlavních hospodářských center. Z tohoto pohledu je významná poloha Berlína. Ta je silně excentrická a neumožňuje tak vytvoření radiální dopravní sítě, jako tomu je v dalších velmi zalidněných zemích Evropy – Francii a Španělsku. Z pohledu přírodních podmínek je na tom velmi dobře severní rovinatá polovina Německa, ve středu země je terén značně členitý a Alpy na jihu často výstavbu komunikace komplikují.

V rámci Evropy je Německo z hlediska silniční přepravy na prvním místě. Z toho vyplývá, že jeho struktura dálnic má význam nejen pro německé hospodářství, ale významně ovlivňuje ekonomiku celé Evropy. Z hlediska nákladní dopravy zajišťuje pohodlné a rychlé vysokokapacitní spojení západoevropských přístavů a významných průmyslových oblastí se zeměmi střední Evropy, které prožívají v posledních deseti letech dominantní hospodářský růst, jemuž je přímo úměrný i nárůst objemu především nákladní dopravy z a do těchto oblastí. [6]



přepravních výkonech v nákladní dopravě v roce 2021 podílely zhruba 72,3 procenta. Podle prognóz se očekává, že podíl zůstane stabilní až do roku 2024. Od roku 2004 má přepravní kapacita v nákladní dopravě na silnici tendenci narůstat. Data za rok 2021 potvrzují stoupající tendenci množství přepravovaného zboží, v tomto roce bylo přepraveno 3 685 000 tis. tun. Pro srovnání v roce 2010 bylo přes Německo transportováno 3 125 200 tis. tun věcí. Pokud se podíváme na přepravní výkony i ty potvrzují stoupající tendenci, když v roce 2020 činily přepravní výkony 487 400 miliónů tnkm v roce 2021 tyto výkony stouply na 505 600 miliónů tnkm. [2]

#### **4.2.2 Železniční infrastruktura v Německu**

Německá železniční síť měří přes 41 000 km železnic, z toho je kolem 1 876 km vysokorychlostních tratí. Deutsche Bahn je největší provozovatel v Německu, spolu s ním působí v zemi dalších 350 železničních přepravců. Po dlouhou dobu význam železniční dopravy klesal, díky čemuž muselo být v rámci racionalizačních opatření mnoho nevyužívaných tratí uzavřeno. Od roku 2005 však význam železniční dopravy roste, a to především v nákladní dopravě. [23]



Obrázek 10 - Největších železničních tratě v Německu

Zdroj: [23]

#### 4.2.2.1 Modernizace železniční sítě v Německu

Kromě cílené expanze je dobrý stav železniční infrastruktury základním předpokladem pro větší provoz na kolejích a skutečné využití potenciálu pro přechod na železnici. Spolková vláda investuje do stávající železniční sítě více než v minulosti, v porovnání s ostatními evropskými zeměmi ale stále zaostává. Při přepočtu investovaných peněz na osobu v zemi se Německo dostane na hodnotu 124 €. V žebříčku střeoevropských států je Německo na 9. místě, když nejvíce peněz v přepočtu na obyvatele investuje do železnice Lucembursko – 607 €. Mezi další země, které se ve srovnání umístili v popředí patří Švýcarsko – 413 € a Norsko 315 €. Podíl elektrifikace se zvyšuje, ale příliš pomalu: Kolem 61 procent federální

železniční síť je elektrifikováno, tedy vybaveno trolejovým vedením a je tak vhodné pro provoz elektrických lokomotiv a elektrických železničních vozů. Spolková vláda si dala za cíl, že do roku 2030 by alespoň 75 procent federální železniční sítě mělo mít trolejové vedení. Částečně elektrifikované trasy lze často používat pouze s diesellovými lokomotivami, protože smíšený provoz není logisticky a ekonomicky životaschopný. V důsledku toho zůstává cenný potenciál nevyužit a železniční společnosti jsou nuceny držet se zastaralé technologie. V letech 2010 až 2020 Německo zvýšilo stupeň elektrifikace státní železniční sítě z 59 na 61 procent. Míra elektrifikace je výrazně vyšší v Rakousku (72 %), Itálii (72 %) a Nizozemsku (76 %). Švýcarsko je průkopníkem v elektromobilitě na kolejích, když má veškeré síť elektrizované. Pouze 28 z 57 hraničních přechodů je vybaveno trolejovým vedením. Elektrifikace železničních hraničních přechodů je důležitá proto, aby zejména železniční nákladní doprava mohla plně využít svých výhod v evropském přeshraničním měřítku a vytlačit kamiony v mezinárodní dopravě. Díky elektrifikaci přeshraničních železničních tras je snazší přesunout mezinárodní nákladní dopravu ze silnice na železnici. Tímto způsobem může Německo spolu se sousedními zeměmi Polskem, Českou republikou a Rakouskem podporovat ochranu klimatu v Evropě. [23]

#### 4.2.2.2 Železniční nákladní doprava v Německu

Nákladní železniční doprava má v Německu od roku 2010 stoupající tendenci a každý rok byl přepraven větší objem zboží. V roce 2020 zaznamenala železniční nákladní doprava v Německu propad, který lze přičítat celosvětové pandemii koronaviru a vládním restrikcím. V roce 2021 je patrný nárůst přepravovaného zboží (387 703 000 tun) oproti roku 2020 (358 783 000 tun). Pro srovnání v roce 2010 bylo množství přepravovaného zboží po železnici 355 715 000 tun. Při srovnání přepravních výkonů se v roce 2021 dostaneme na hodnotu 131 035 mil. tnkm. I zde je patrný pokles v roce 2020 způsobený koronavirem. Rostoucí tendenci potvrzuje i tento ukazatel, když v roce 2010 dosahovali přepravní výkony na železnici 107 317 milionů tnkm. [23]

### 4.2.3 Vodní infrastruktura v Německu



Obrázek 11 - Vodní infrastruktura v Německu

Zdroj:[31]

Síť německých vodních cest má délku přibližně 7 300 km vnitrozemských vodních cest a zahrnuje také přibližně 17 800 kilometrů čtverečních mořských vodních cest. Z toho přibližně 6 550 km tvoří vnitrozemské vodní cesty a přibližně 690 km mořské vodní cesty (bez vnějších oblastí přístupových cest směrem k moři). Podle evropského klasifikačního systému pro vnitrozemské vodní cesty má 70 % německých vodních cest mezinárodní význam, 17 % pouze národní význam. 13 % je nezařazeno nebo není využíváno pro běžný provoz. Rýn je zdaleka nejdůležitější a nejfrekventovanější vnitrozemská vodní cesta v Evropě. Přibližně 80 % nákladní dopravy na vnitrozemských vodních cestách se odehrává na této mezinárodní

magistrále, která spojuje západní námořní přístavy s vnitrozemím. Téměř 200 000 lodí se ročně plaví po Dolním Rýnu. To je v průměru kolem 550 lodí denně. [31]

#### 4.2.3.1 Nákladní vodní doprava v Německu

Stavební materiály, rudy, uhlí a ocel tvoří kolem 70 % celkového objemu přepravovaného vnitrozemského zboží. Ocelářský průmysl náročný na suroviny na Dolním Rýnu se spoléhá na vnitrozemské vodní cesty a přepravuje 40 % svého přepravního objemu po vodě. Dalším důležitým oborem podnikání ve vnitrozemské lodní dopravě je přeprava nebezpečného zboží. Patří sem hořlavé kapalné látky jako benzín, topný olej atd. postupná přestavba lodí s jednoduchým trupem na lodě s dvojitým trupem, která musí být dokončena do konce roku 2018. Již dnes má 75 % lodí přepravujících nebezpečné zboží dvojitý trup. V rámci tohoto logistického řetězce je vnitrozemská lodní doprava spolehlivým partnerem, který je stále oblíbenější. Dnes se čluny přepraví 2,5krát více kontejnerů než v roce 1998. Velká část kontejnerové a vnitrozemské dopravy na vodě stále směřuje do az přístavů ZARA (Zeebrugge, Antverpy, Rotterdam, Amsterdam). Tam má vnitrozemská lodní doprava vysoký podíl na rozdělení dopravy. Pokud se podíváme na konkrétní čísla, v roce 2021 bylo přepraveno 195 093 000 tun zboží po vnitrozemských vodních cestách. Oproti roku bylo teda přepravované množství zvýšeno o více než 7 000 000 tun. Zvyšující se tendenci oproti roku 2020 potvrzuje i ukazatel přepravních výkonů, které v roce 2021 dosahovaly 48 197 mil. tnkm, meziroční nárůst byl tedy o necelé 2 000 mil. tnkm. [31]

#### 4.2.4 Síť LC v Německu

V Německu také neexistuje veřejný seznam všech logistických center, autorka práce se tedy rozhodla jako názornou ukázkou použít síť logistických centra od společnosti Amazon. Amazon v Německu každoročně investuje do rozšíření své logistické sítě a do zlepšení své logistiky obecně. Logistická síť Amazonu byla vybrána, protože je nejrychleji rozvíjející se sítí v Německu. Mapa níže zachycuje všechny logistická centra (červeně) Amazonu (20). Můžeme si všimnout, že v jihovýchodní části Německa je nižší koncentrace logistických center, v porovnání například se západní částí. V západní části jsou logistická centra umístěna u hlavních

silničních tahů spojujících Francii a Německo. Stejně tak si můžeme všimnout, že logistická centra nemají početné zastoupení ani na severu země, kde jsou přístavy. V místech s nižším zastoupením logistických center můžeme vidět zvýšený počet distribučních center, a tedy i snahu zamezení vzniku prázdných míst v logistické síti.

## Amazon-Logistik-Standorte in Deutschland

Stand Oktober 2022

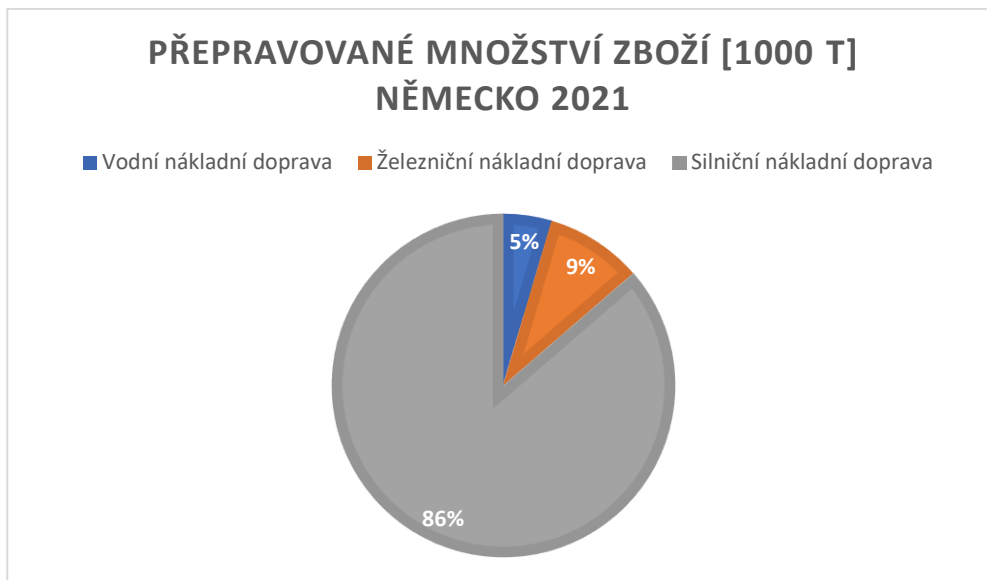


Obrázek 12 - Logistická síť Amazonu v Německu

Zdroj: [23]

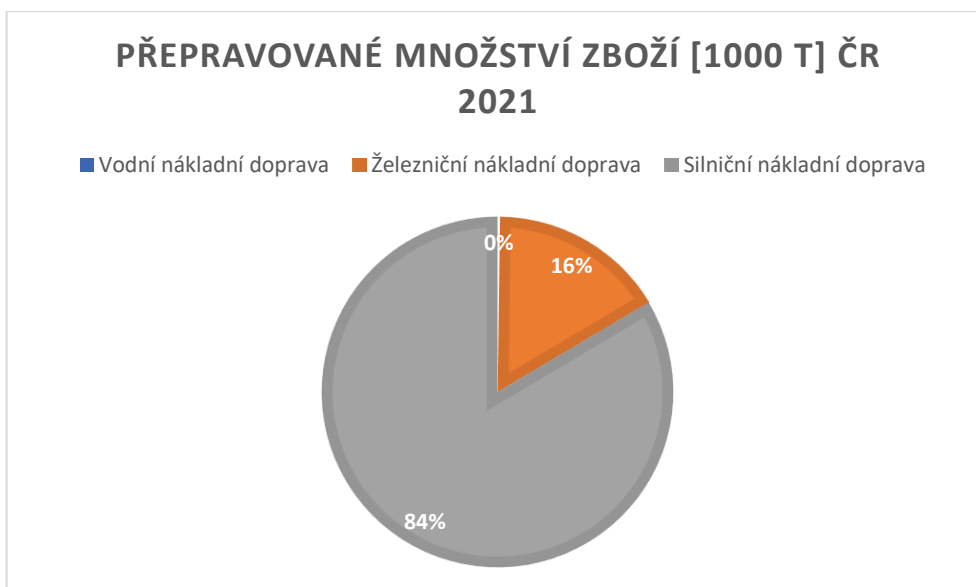


### 4.3 Porovnání logistiky v ČR a v Německu



Graf 1 - Rozložení nákladní dopravy při přepravě zboží v Německu v roce 2021

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 2 - Rozložení nákladní dopravy při přepravě zboží v ČR v roce 2021

Zdroj: vlastní zpracování

<b>Množství přepravovaného zboží [t] v roce 2021</b>	<b>Německo</b>	<b>Česká republika</b>
<b>Silniční nákladní doprava</b>	3 685 000 000	500 288 000
<b>Železniční nákladní doprava</b>	387 703 000	97 232 000
<b>Vodní nákladní doprava</b>	195 093 000	1 642 000

Tabulka 1 - Množství přepravovaného zboží v Německu a v ČR

Zdroj: vlastní zpracování

Na grafech výše je vidět podíl při využívání různých druhů nákladní dopravy v Německu a v České republice. Na první pohled je patrné, že grafy se nejvíce liší ve využití vodní nákladní dopravy. Vodní infrastruktura je v Německu mnohem více rozvinutá a je tedy i více využívána, v roce 2021 byla vodní nákladní doprava využita k přepravě 5 % z celkového objemu přepravovaného zboží. Tento fakt je jistě ovlivněn i ocelářským průmyslem na řece Rýn, po které je dováženo více než 40 % materiálu. Naopak v České republice není vodní nákladní doprava příliš využívána. Většina vodních tras nedosahuje nutné hloubky vody a celkově má plavební síť pro nákladní dopravu v České republice pouhých 302 km. Tedy při přepraveném množství 1 642 000 tun zboží v roce 2021 netvoří nákladní doprava ani 1 %. Vzhledem k málo rozvinuté plavební síti v ČR se nedá předpokládat radikální navýšení využití druhu této dopravy v České republice. Naopak Německo využívá vodní nákladní dopravu k přepravě pouze 5 % z celkového objemu přepravovaného zboží a při stále trvající modernizaci plavební sítě se dá očekávat nárůst ve využití tohoto druhu nákladní dopravy.

Při porovnání využití železniční nákladní dopravy je patrné, že přes Německo se přepraví zhruba 4x větší objem zboží po železnici. Z celkového objemu přepraveného zboží se ale jedná o pouhých 9 %. V České republice se naopak železniční doprava využívá k přepravě zhruba 16 % objemu přepravovaného zboží. Na první pohled je tedy patrné, že železniční doprava je využívána více v ČR než v Německu. V ČR aktuálně probíhají modernizace u III. a IV. Tranzitního koridoru.

Po upravení tratí podle mezinárodních dohod bude možné přepravovat zboží i osoby rychleji a dá se tedy předpokládat nárůst v celkovém přepravovaném množství zboží po železnici. V Německu probíhají modernizace a elektrifikace všech aktuálně využívaných železničních tratí a po modernizaci železničních tratí u hraničních přechodů bude možné zvýšit rychlost a množství přepravovaného zboží po železnici. U obou států se dá tedy předpokládat navýšení využití železniční nákladní dopravy na úkor silniční nákladní dopravy, což je i jedním z cílů Evropské unie.

Při pohledu na silniční dopravu můžeme znovu zhodnotit, že přes obě země putovalo v roce 2021 velké množství zboží. Tento fakt jistě ovlivňuje umístění států ve středu Evropy, a tedy kritické umístění při přepravě zboží po Evropě. Při porovnání procentuálního využití silniční dopravy se dostaneme na podobné hodnoty. V Německu se jedná o 86 % a v České republice o 84 %. Obě země mají velmi dobře rozvinutou silniční infrastrukturu, která je velmi využívána. Nicméně vzhledem k celosvětovému trendu omezování zplodin v ovzduší se dá očekávat vyšší využívání „zelených cest“ v logistice jako je vodní a železniční přeprava. Celkově tedy můžeme říct, že obě země využívají nejvíce silniční nákladní dopravu, následuje železniční nákladní doprava, která je v Německu využívána méně než v ČR. Na úkor železniční nákladní dopravy je totiž v Německu využívána vodní doprava. Naopak v České republice vodní nákladní doprava tvoří ani 1 % z celkového objemu přepravovaného zboží a železniční nákladní doprava tak přebírá větší podíl z celkového přepravovaného zboží než v Německu.

#### **4.3.1 Porovnání logistických sítí v Německu a ČR]**

Jak již bylo zmíněno výše, vzhledem k neexistenci seznamu logistických center, je porovnání logistických sítí velmi obtížné. Zároveň je také nutné si uvědomit, že logistická centra se mohou lišit v hodně faktorech jako např.: velikost, funkce, zboží..., i díky tomu je porovnání logistických sítí 2 zemí velmi obtížné. Podle Eurostatu a dat z roku 2019 má Německo největší počet logistických center v EU. Konkrétně to bylo v roce 2019 více než 2 300 LC, lze tedy předpokládat, že v roce 2023 se počet ještě navýšil. Oproti tomu Česká republika měla v roce 2019 více než 900 LC. Již při porovnání počtu logistických center na území obou zemí se

dá soudit, že i když je Německo větší stát, bude mít logistickou síť rozvinutější než česká republika. Na rozdíl od ČR, kde je na první pohled vidět koncentrace u průmyslových oblastí nebo u hlavního města. Vzhledem ke „shlukování“ LC můžeme v ČR najít velké území, které není spojené s žádným logistickým centrem a vytváří se „hluchá“ místa. Na mapě Německa je také patrné, že v místech s nižším počtem LC, kde by mohla „hluchá“ místa vznikat je zvýšen počet distribučních center, kde se netvoří zásoby a zboží se pouze přerozděluje. Díky přerozdělení se zboží následně efektivněji dostane odběratelům. Naopak u obou zemí je patrné, že se LC vyskytují u hlavních silničních tahů a v blízkosti hranic. Závěrem lze říci, že i když je logistický průmysl v Německu i České republice aktivní a roste, existují určité rozdíly ve velikosti a typech logistických center přítomných v jednotlivých zemích.

## 4.4 Tvorba modelu

### 4.4.1 Identifikace uzlů

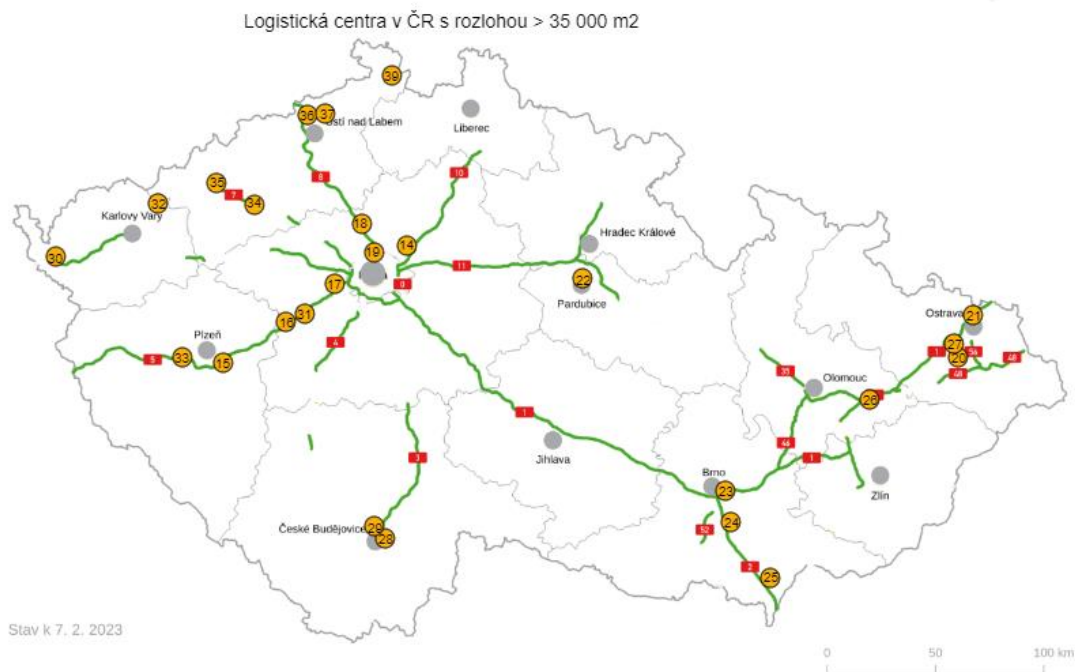
V české republice bylo v roce 2019 více než 900 logistických center, pro tento model, byla vybrána pouze logistická centra a logistické parky s rozlohou větší než 35 000 m<sup>2</sup>. Po uplatnění tohoto velikostního filtru bylo nalezeno 27 uzlů, jejich umístění v ČR zachycuje obrázek 5. Detailní seznam s legendou pak zachycuje tabulka níže.

Označení uzlu	Název	Poloha	Překladová kapacita uhlí [t]
M14	CZPROPERTY, Logistický park P3	Praha – Horní Počernice	3336
M15	Prologis Park Plzeň – Štěnovice	Štěnovice	0
M16	CTPark Cerhovice	Cerhovice	40362
M17	Prologis Park Praha	Rudná	22429
M18	Prologis Park Praha	Úžice	0
M19	P3 park Prague D8	Zdiby	580

<b>M20</b>	Multimodal Logistics Center Mošnov	Mošnov	187655
<b>M21</b>	GLP Park Ostrava Hrušov	Ostrava	143504
<b>M22</b>	Skladové a výrobní prostory DMC Pardubice II	Pardubice	94000
<b>M23</b>	CT Park Brno	Brno	3446
<b>M24</b>	CT Park Blučina	Blučina	0
<b>M25</b>	D2 Logistics Park	Břeclav	85293
<b>M26</b>	CT Park Lipník nad Bečvou	Lipník nad Bečvou	72191
<b>M27</b>	Panattoni Park Ostrava	Mošnov	222497
<b>M28</b>	VGP Park České Budějovice	České Budějovice	93062
<b>M29</b>	Garbe park České Budějovice	České Budějovice	91754
<b>M30</b>	Panattoni Park Cheb	Cheb	40451
<b>M31</b>	Panattoni Park D5 Zdice	Zdice	94892
<b>M32</b>	Panattoni Park Ostrov North	Ostrov	196475
<b>M33</b>	Přehýšov Logistic Park	Přehýšov	97176
<b>M34</b>	CT Park Žatec	Žatec	138340
<b>M35</b>	Panattoni Park Chomutov South	Chomutov	78319
<b>M36</b>	Prostory pro skladování v Dělouši	Dělouš	91887
<b>M37</b>	Prostory pro skladování ve Žďárku	Velké Chvojno	106189
<b>M38</b>	Panattoni Park Rumburk	Rumburk	78783

Tabulka 2 - Seznam LC s rozlohou větší než 35 000 m<sup>2</sup> v ČR

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 13 - Logistická centra zahrnutá v logistické síti

Zdroj: vlastní zpracování

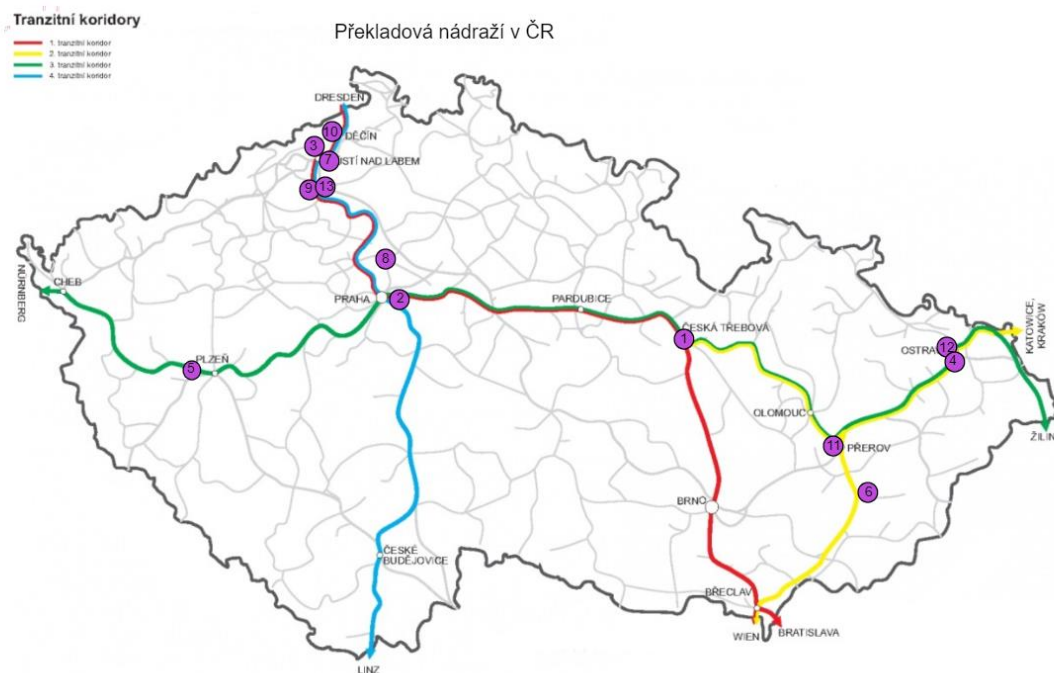
Mezi uzly autorka zařazuje také překladová nádraží. Aktuálně se v české republice nachází 13 překladišť, na kterých je možné změnit mód přepravy. Čtyři přístavy nabízejí možnost i vodní přepravy (tučně), ostatní nabízí silniční a železniční mód dopravy. U přístavů vlastněných společnostmi „České přístavy, a.s.“ nebyla dohledána informace o rozloze a nebylo tedy možné spočítat překladovou kapacitu uhlí. Přehledné umístění těchto překladišť v ČR zachycuje obrázek níže.

Označení uzlu	Název	Poloha	Překladová kapacita uhlí [t]
<b>M1</b>	Metrans, a. s., Terminál Česká Třebová	Česká Třebová	135903
<b>M2</b>	Metrans, a. s., Terminál Praha – Uhřetěves	Praha – Uhřetěves	305783
<b>M3</b>	Metrans, a. s., Terminál Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	13024

<b>M4</b>	Metrans, a. s., Terminál Ostrava	Ostrava	67951
<b>M5</b>	Metrans, a. s., Terminál Plzeň – Nýřany	Plzeň – Nýřany	39638
<b>M6</b>	Metrans, a. s., Terminál Zlín – Želechovice/Lípa	Zlín – Želechovice/Lípa	32447
<b>M7</b>	České přístavy, a. s., Přístav Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	???
<b>M8</b>	České přístavy, a. s., Maersk terminál Mělník	Mělník	???
<b>M9</b>	Česko – Saské přístavy, s. r. o., Přístav Lovosice	Lovosice	???
<b>M10</b>	Česko – Saské přístavy, s. r. o., Přístav Děčín	Děčín	???
<b>M11</b>	Rail Cargo Operator-ČSKD, s. r. o., Terminál Přerov	Přerov	169879
<b>M12</b>	PKP CARGO INTERNATIONAL, Terminál Ostrava – Paskov	Ostrava – Paskov	18120
<b>M13</b>	ČD-DUSS Terminál, a. s., Logistický terminál TSC Lovosice	Lovosice	113253

Tabulka 3 - Překladová nádraží v ČR

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 14 - Překladová nádraží zahrnutá v logistické síti

Zdroj: vlastní zpracování

Jako další druh uzlů byly identifikovány elektrárny a hutě, tedy významní odběratelé uhlí. Těchto objektů bylo identifikováno 17. Seznam identifikovaných uzlů zachycuje tabulka níže. Přehledné rozmístění těchto objektů je zpracováno na následujícím obrázku.

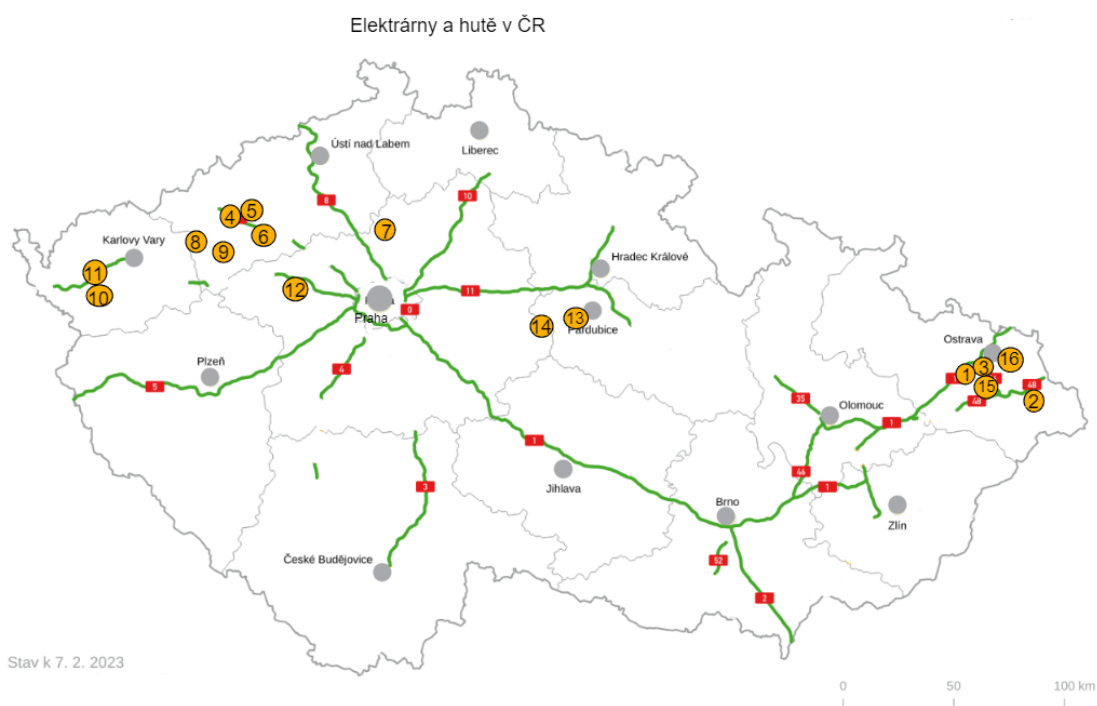
Označení uzlu	Název uzlu	Denní spotřeba uhlí [t]
S1	Nová Huť	3290
S2	Třinecké železárny	2740
S3	Vítkovice Steel	3835
S4	Tepelná elektrárna Komořany	2140
S5	Tepelná elektrárna Ledvice	9865
S6	Tepelná elektrárna Počerady	14400
S7	Tepelná elektrárna Mělník	6940
S8	Tepelná elektrárna Pruněřov	7800
S9	Tepelná elektrárna Tušimice	13015



<b>S10</b>	Tepelná elektrárna Tisová	4700
<b>S11</b>	Elektrárna Vřesová	4800
<b>S12</b>	Teplárna Kladno	3015
<b>S13</b>	Tepelná elektrárna Opatovice	4110
<b>S14</b>	Elektrárna Chvaletice a.s.	10137
<b>S15</b>	Tepelná elektrárna Kunčice	5800
<b>S16</b>	Tepelná elektrárna Dětmarovice	6400

Tabulka 4 - Hutě a elektrárny v ČR

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 15 - Odběratelé v logistické síti

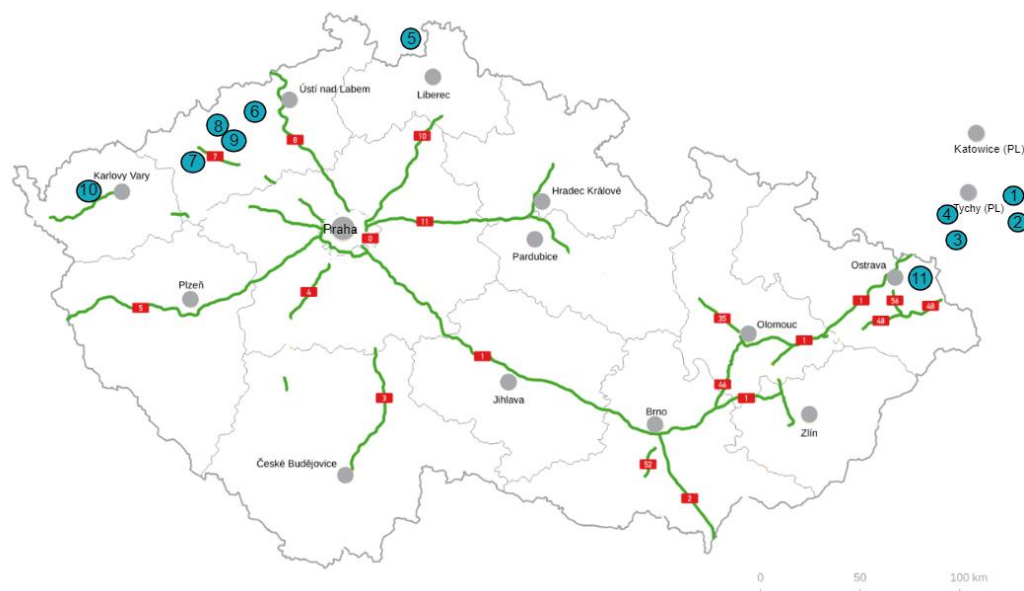
Zdroj: vlastní zpracování

Posledním identifikovaným druhem uzlů byly spotřebitelé. Do logistické sítě byly zahrnuty aktivní hnědouhelné doly a černouhelný důl v České republice a aktivní doly na území Polska, které vyvážejí uhlí. V síti bylo tedy identifikováno 11 dodavatelů uhlí, z nichž 6 se nachází na území ČR. Přehledné rozmístění dolů zachycuje následující obrázek.

Označení uzlu	Název	Denní produkce [t]
D1	Černouhelný Důl Ziemowit	12330
D2	Černouhelný Důl Silesia	8220
D3	Černouhelný Důl Pniówek	15500
D4	Černouhelný Důl Krupiński	8500
D5	Důl Turów	27400
D6	Lom Bílina	24660
D7	Lom Nástup – Tušimice	37000
D8	Lom ČSA	8220
D9	Lom Vršany (do Počerad)	20550
D10	Lom Jiří	21950
D11	Černouhelný důl ČSM	6850

Tabulka 5 - Dodavatelé v logistické síti

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 16 - Dodavatelé v logistické síti

Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.4.2 Definice spojnic

Spojnice mezi uzly byly vytvářeny na základě využití webového portálu [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) a možnosti plánová tras. Vždy byla vybrána nejrychlejší trasa, čímž autorka sledovala nejvyšší možné využití dálnic při přepravě. Pokud nejrychlejší trasa nevedla pouze českou republikou, byla vybrána druhá nejrychlejší trasa. Délka jednotlivých tras byla zaokrouhlována nahoru. Spojnice byly měřeny mezi LC a

překladišti, překladišti a zákaznky (elektrárny, hutě, velkotovárny) a mezi LC a zákaznky. Pokud mezi subjekty existují 2 módy dopravy, byly změřeny oba móda. Seznam naměřených vzdáleností zachycuje tabulka v příloze. Při hledání ujeté vzdálenosti po železničních trasách byl využit webový portál [www.cd.cz](http://www.cd.cz). Vzhledem k tomu, že v ČR neexistují železniční tratě určené pouze pro nákladní dopravu (viz. kapitola železniční infrastruktura v ČR) je možné využít plánovač pro přepravu osob a vzdálenost se nebude lišit.

## 4.5 Úvod do problému

Logistická centra se stávají stále důležitější součástí moderního průmyslu, jelikož představují nejefektivnější způsob distribuce zboží a materiálů. Využití těchto center umožňuje snížení nákladů na skladování a přepravu, zkrácení dodacích lhůt a zlepšení servisu pro zákaznky. Kromě toho, přepravní výkony zaměřené na přepravu zboží a materiálů se stále více soustřeďují na využívání "zelené" dopravy, jako jsou železnice a vnitrozemské vodní cesty. Aktuálně se například v rámci Evropské unie prosazuje plán "Green Deal", který má za cíl podpořit udržitelnou a ekologickou přepravu zboží a materiálů. Tyto trendy v oblasti logistiky a dopravy mají za cíl minimalizovat negativní dopady na životní prostředí, které jsou způsobeny klasickými způsoby dopravy, jako jsou například silniční nákladní doprava a letecká doprava. V kontextu globalizace a růstu mezinárodního obchodu se očekává, že logistika a doprava budou hrát ještě důležitější roli v budoucnu, a to zejména s ohledem na potřeby udržitelného rozvoje a ochrany životního prostředí.

## 4.6 Výběr vhodných kritérií

Pro tento model byly identifikována dvě hlavní kritéria. Jako první a hlavní kritérium byla stanovena produkce  $CO_2$ . Emise jsou v dnešní době stále aktuálnější téma a cílem nejen logistických firem je snížení dopadu na životní prostředí. Vzhledem k tomu, že optimalizace má vést k využívání čistých cest, bylo kritériu přidělena váha 0,7. Jako druhé kritérium byly identifikovány náklady na přepravu. Finanční stránka přepravy je vždy důležitá pro správné

kalkulace a chod firmy. Nicméně v tomto modelu převyšuje snahu ušetřit peníze péče o životní prostředí, a proto je váha tohoto kritéria nižší a sice 0,3.

## 4.7 Formulace optimalizačního problému

V distribuční síti je definována množina dodavatelů  $I$ , kde  $|I| = m$  spotřebitelů  $J$ , kde  $|J| = n$  a meziskladů  $J$ , respektive  $I$  (logistických center a překladišť), kde  $|J| = o$  respektive  $|I| = o$ . Pro každého spotřebitele  $j \in J$  je definován požadavek  $b_j$  na surovinu, pro každého dodavatele  $i \in I$  je definována jeho kapacita (množství vyprodukované suroviny)  $a_i$  a pro každý mezičlánek  $j \in J$  jeho kapacita  $c_j$  (volná kapacita, kterou lze obsadit surovinou). Každý spotřebitel  $j \in J$  může být zásobován více mezičlánek  $i \in I$  a každý mezičlánek  $j \in J$  může být zásobován více dodavateli  $i \in I$ . Přepravu mezi všemi subjekty distribuční sítě zajišťují nákladní vozidla  $nv$  s kapacitou  $24t$  nebo vlakové soupravy  $v_k$  sestavené z vozů typu falls, kapacita jednoho vozu typu falls je  $65t$  (celková kapacita vlakové soupravy tedy je počet vozů typu falls  $K$ , kde  $|K| = l$  vynásobený kapacitou jednoho vozu). Jsou známy distanční matice  $D_{nvA}$  a  $D_vA$ , kde jejich prvky  $d_{nvA_{ij}}$  a  $d_{vA_{ij}}$  reprezentují vzdálenosti mezi dodavateli  $i \in I$  a mezisklady  $j \in J$  pro jednotlivé módy dopravy. Také jsou známy distanční matice  $D_{nvB}$  a  $D_vB$ , kde jejich prvky  $d_{nvB_{ij}}$  a  $d_{vB_{ij}}$  reprezentují vzdálenosti mezi mezisklady  $i \in I$  a spotřebiteli  $j \in J$  pro jednotlivé módy dopravy. Dále jsou známi průměrné náklady na 1 ujetý kilometr nákladním vozidlem označené jako  $l_{nv}$  a průměrné náklady na 1 ujetý kilometr libovolnou vlakovou soupravou  $l_v$ . Jsou známy i průměrné produkce  $CO_2$  na 1 ujetý tunokilometr nákladním vozidlem  $co_{nv}$  a libovolnou vlakovou soupravou  $co_v$ . Pro každého spotřebitele  $j \in J$ , každý mezičlánek  $i \in I$  respektive  $j \in J$  i každého dodavatele  $i \in I$  jsou definovány manipulační náklady na jednu jednotku ( $1t$ )  $e_i, f_j$  respektive  $f_i$  a  $g_j$ .

Úkolem je vybrat vhodné dopravní prostředky a stanovit množství suroviny  $x_{A_{ij}}$  převezené od dodavatelů  $i \in I$  do meziskladů  $j \in J$ , stanovit množství suroviny  $x_{B_{ij}}$  převezené z meziskladů  $i \in I$  ke spotřebitelům  $j \in J$  tak, aby celkové náklady na distribuci a produkce  $CO_2$  byly minimální. Dále je úkolem určit počet jízd  $y_{A_{ij}}$

od dodavatele do meziskladu pomocí nákladního vozidla, počet jízd  $zA_{ijk}$  od dodavatele do meziskladu pomocí jednotlivých typů vlakových souprav, množství suroviny nacházející se v meziskladech  $ch_i$ , počet jízd  $yB_{ij}$  z meziskladu ke spotřebiteli pomocí nákladního vozidla a počet jízd  $zB_{ijk}$  z meziskladu ke spotřebiteli pomocí jednotlivých typů vlakových souprav.

## 4.8 Identifikace možných překážek

Samotná optimalizace sítě logistických center není triviální proces a v případě České republiky může být ovlivněn řadou překážek. Jednou z nich je rychle se měnící počet logistických center, které se otevírají a zavírají v důsledku ekonomických a tržních vlivů. Další výzvou je absence veřejného rejstříku logistických center, který by poskytoval aktuální a spolehlivé informace o umístění a charakteristikách těchto center. To vede k nemožnosti ověření správnosti a aktuálnosti informací o logistických centrech, uhelných dolech a elektrárnách, což může mít vliv na velikost toku v síti a samotné rozmístění toků v této síti.

## 4.9 Očekávané výsledky

Hlavním výsledkem by měl být matematický model, který na základě stanovených kritérií a zadaných vah stanoví optimální trasy pro rozvoz uhlí od dolů až ke spotřebitelům. Stejně tak je očekávané stanovení ideálního dopravního prostředku na všech trasách a u železniční přepravy zvolení ideálního vlaku na přepravu komodity. Očekávaný model bude použitelný pro libovolné množství dat a bude tedy schopen optimalizovat i menší části ČR.

Na základě porovnání nejkratší cesty pomocí dopravní úlohy a výsledků vícekritériálního modelu jsou následně formulována doporučení pro Českou republiku. Tato doporučení by měla vést ke snížení produkce emisí oproti aktuálnímu stavu, a tedy přispět ke zlepšení stavu přírody. Doporučení by dále měla vést k zefektivnění přepravy zboží, které by mělo spočívat hlavně v kombinaci různých dopravních prostředků pro snížení množství málo vytižených jízd a množství

potřebných jízd obecně. Posledním očekávaným efektem by měla být identifikace hlavních/důležitých uzlů pro zkoumanou síť, což je důležité pro údržbu či pro investování do rozvoje těchto objektů. V případě, že by některý z těchto uzlů neměl železniční spojení bylo by vhodné jej začít zvažovat vzhledem k velkému toku surovin.

#### **4.10 Omezení výpočtu**

Vzhledem k velkému objemu nasbíraných dat, která jsou nezbytná pro optimalizaci logistické sítě v ČR, a omezené výpočetní kapacitě volně dostupného výpočetního programu Xpress-IVE od firmy FICO, bylo nutné výpočet omezit. Po pokusu o optimalizaci pro celou ČR se autorka práce rozhodla vypočítat model, který zahrnoval všechny dodavatele a spotřebitele, ale pouze logistická centra, která budou dostupná v roce 2023. Bohužel i tak byl počet objektů v modelu příliš velký pro dostupnou výpočetní kapacitu. Proto byla zvolena data zaměřená na ústecký kraj, který zahrnuje všechny hnědouhelné doly, několik logistických center a překladišť a několik elektráren. Tento kraj obsahuje všechny objekty použité v modelu a na základě optimalizace logistické sítě v tomto kraji budou stanovena obecná doporučení pro celou ČR. V přílohách práce se nachází tabulka obsahující všechna nasbíraná data a tedy vše, co je potřebné pro výpočet modelu na libovolně zvolených datech.

#### **4.11 Výpočet dvoustupňové dopravní úlohy**

Nejprve byla vypočtena dvoustupňová dopravní úloha, která měla za cíl nalézt nejkratší vzdálenost po silnici. Tato dopravní úloha byla řešena pomocí celočíselného lineárního programování. Pro výpočet této úlohy bylo nutné stanovit kapacity meziskladů. Kapacita logistických center byla vypočtena na základě největší volné plochy v samostatné hale v logistickém centru a obsahu základny standardního kontejneru (16,64 m<sup>2</sup>) pro přepravu uhlí. Počet kontejnerů byl následně vynásoben ložnou hmotností těchto kontejnerů (28,2 t), čímž byla získána kapacita uhlí v tunách. U překladišť byla známa uskladňovací plocha, avšak vzhledem k nemožnosti zjistit

aktuální volnou plochu byla použita pouze polovina této plochy. Následně byl postup totožný s kapacitou logistických center.

Pro výpočet dopravní úlohy bylo také nutné určit velikost produkce a poptávku odběratelů. Vzhledem k tomu, že všichni dodavatelé jsou uhelné doly, bylo množství denní produkce přímo nalezeno na internetových stránkách dolů nebo bylo vypočteno z ročního objemu produkce dolu. U spotřebitelů byla stanovena denní potřeba uhlí na základě roční spotřeby uhlí nebo průměrné spotřeby stejně výkonné elektrárny v cizině. Je důležité zdůraznit, že objem vyprodukovaného i spotřebovaného zboží byl vypočítáván na den. V případě potřeby výpočtu jiného časového období slouží denní spotřeba a produkce jako minimální jednotka, ze kterého bude snadné dosáhnout požadovaného časového úseku.

#### 4.11.1 Výpočet dopravní úlohy v programu Excel

Úloha byla nejprve převedena z DDÚ na JDÚ podle postupu zmíněného v kapitole 3.5.2.

Výchozí tabulka pro řešení DDÚ tedy vypadala takto:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Posláno
D1	40	33	34	40	107	40	42	27	100000	100000	100000	100000	100000	100000	24660
D2	26	7	75	82	137	70	71	68	100000	100000	100000	100000	100000	100000	37000
D3	42	35	38	41	111	56	60	55	100000	100000	100000	100000	100000	100000	8220
D4	21	4	71	76	124	58	59	51	100000	100000	100000	100000	100000	100000	20550
M1	0	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	32	39	18	34	36	0	138339
M2	100000	0	100000	100000	100000	100000	100000	100000	18	39	32	16	18	0	78319
M3	100000	100000	0	100000	100000	100000	100000	100000	47	24	45	83	85	0	91886
M4	100000	100000	100000	0	100000	100000	100000	100000	62	39	60	89	91	0	106293
M5	100000	100000	100000	100000	0	100000	100000	100000	118	96	116	145	143	0	78782
M6	100000	100000	100000	100000	100000	0	100000	100000	51	29	50	79	81	0	6512
M7	100000	100000	100000	100000	100000	100000	0	100000	54	31	52	81	83	0	7927
M8	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	0	51	45	41	83	81	0	56626
Požadavek	138339	78319	91886	106293	78782	6512	7927	56626	2140	9865	14400	7800	13015	43210	

Tabulka 6 - Výchozí data pro DDÚ – Ústecko

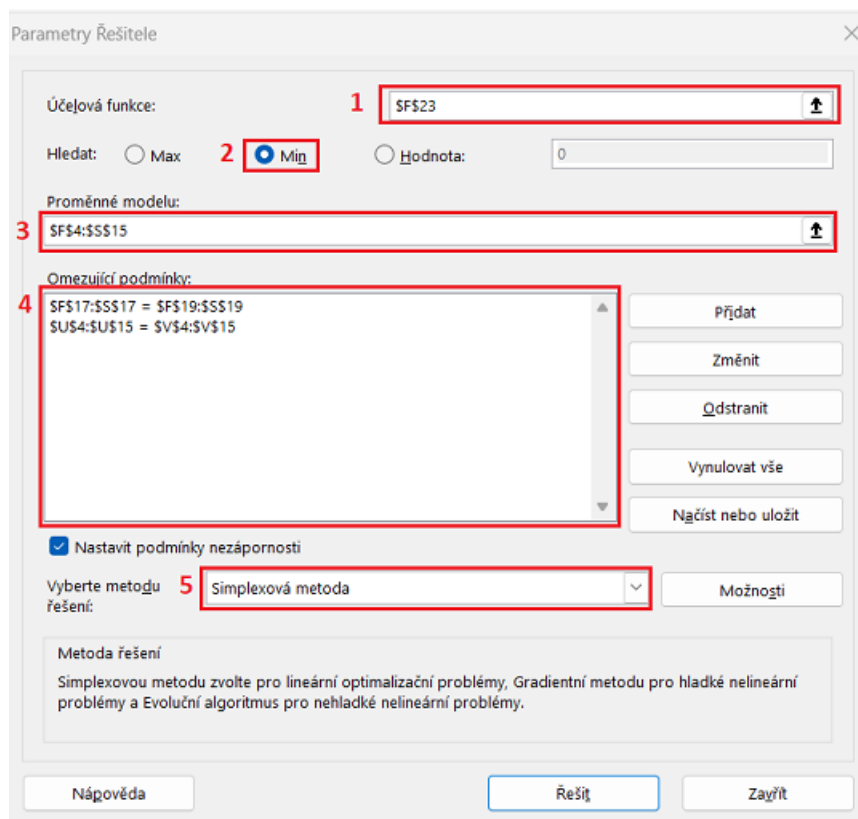
Zdroj: vlastní zpracování

Seznam dodavatelů: D1 – Lom Bílina, D2 – Lom Nástup – Tušimice, D3 – Lom ČSA, D4 – Lom Vršany.

Seznam meziskladů a překladišť: M1 – CT Park Žatec M2 – Panattoni Park Chomutov South. M3 – Prostory pro skladování v Dělouši, M4 – Prostory pro skladování ve Žďárku, M5 – Panattoni Park Rumburk, M6 – Metrans, a. s., Terminál Ústí nad Labem, M7 – České přístavy, a. s., Přístav Ústí nad Labem M8 - ČD-DUSS Teminal, a. s., Logistický terminál TSC Lovosice.

Seznam spotřebitelů: S1 – Tepelná elektrárna Komořany, S2 – Tepelná elektrárna Ledvice, S3 – Tepelná elektrárna Počerady, S4 – Tepelná elektrárna Prunéřov, S5 – Tepelná elektrárna Tušimice, SF – Fiktivní spotřebitel pro vybalancování úlohy.

Na první pohled je patrné, že jak je u dvoustupňové dopravní úlohy běžné, kapacita dodavatelů a mezikladišť značně převyšuje potřeby spotřebitelů. Pro vyrovnaní tohoto rozdílu byl vytvořen fiktivní spotřebitel, jehož množství požadavků je rovno rozdílu mezi kapacitami dodavatelů + mezikladišť a spotřebitelů. Aby bylo zamezeno přímé přepravě zboží mezi dodavatelem a spotřebitelem, byla vybrána sazba 100000, která zajišťuje nevyužití této trasy, ta stejná sazba zajišťuje nemožnost přepravy zboží mezi jednotlivými mezikladišty. Jednotlivé hodnoty v tabulce byly získány způsoby uvedenými v předchozí kapitole. Poslední sloupec obsahuje jednotlivé množství suroviny od dodavatele a poslední řádek obsahuje požadavky spotřebitele. V programu excel byla dopravní úloha vyřešena pomocí Simplexu. Principy simplexové metody jsou vysvětleny v teoretické části. Pro vyřešení této úlohy byl využit doplněk „Řešitel“, který měl takto nastavené parametry:



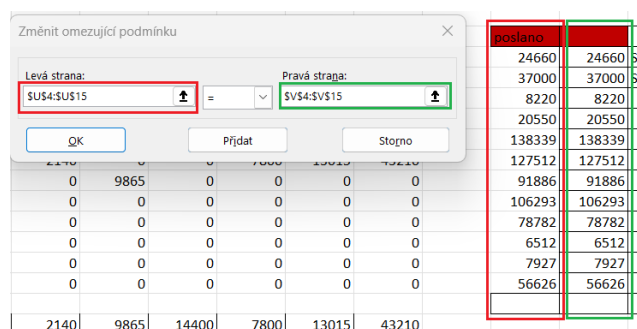
Obrázek 17 - Nastavení doplňku "Řešitel" v programu Excel

Zdroj: vlastní zpracování



Doplňku musí být dodány buňky, které představují proměnné (3), omezující podmínky (4), buňka na vložení výsledku kriteriální funkce (1) a musí se specifikovat, zda je kriteriální funkci maximalizovat nebo minimalizovat (2). V neposlední řadě je nutné specifikovat jakou metodu má „Řešitel“ použít, tedy v našem případě – Simplexovou metodu (5).

K použití takto nastaveného „Řešitele“ bylo nejprve nutné všechny hodnoty z tabulky č.1 (vyobrazené výše) vyjmout a přesunout mimo tuto tabulku a tím vytvořit tabulku č.2. Následně byla tabulka č.1 vyplněna hodnotami „0“. Jako další byla vytvořena tabulka č.3, kde se hodnoty v buňkách rovnali součinu totožných buněk v tabulce 1 a tabulce 2, tedy tabulka hodnota ukazující spojení mezi D1 a M1 z tabulky č.1 \* hodnota D1 a M1 z tabulky č.2 = hodnota D1 a M1 v tabulce č.3. Následně byla vybrána buňka, která představuje hodnotu kriteriální funkce. Hodnota této funkce je nastavena jako funkce SUMA tabulka č.3. Jako další bylo nutné vytvořit omezující podmínky, poslední sloupec v tabulce č. 1, který představoval součty kapacit jednotlivých dodavatelů byl posunut o několik sloupců vpravo (zelená) a zároveň byl vytvořen stejný sloupec s hodnotami 0 s názvem „posláno“ (červená) jak je vidět na obrázku níže.



Obrázek 18 - Omezující podmínky v doplňku "Řešitel"

Zdroj: vlastní zpracování

Analogicky s touto omezující podmínkou byla vytvořena omezující podmínka pro poslední řádek tabulky, který představoval souhrn požadavků spotřebitelů. Tabulka po výpočtu „Řešitele“ tedy vypadala takto:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	S1	S2	S3	S4	S5	SF		Posláno
D1	6180	8615	9865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24660
D2	0	37000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37000
D3	8220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8220
D4	0	20550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20550
M1	123939	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14400	0	0	0	0	138339
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	2140	0	0	7800	13015	43210	0	78319
M3	0	0	82021	0	0	0	0	0	0	9865	0	0	0	0	0	91886
M4	0	0	0	106293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106293
M5	0	0	0	0	78782	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78782
M6	0	0	0	0	0	6512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6512
M7	0	0	0	0	0	0	7927	0	0	0	0	0	0	0	0	7927
M8	0	0	0	0	0	0	0	56626	0	0	0	0	0	0	0	56626
Požadavek	138339	78319	91886	106293	78782	6512	7927	56626	2140	9865	14400	7800	13015	43210		

Tabulka 7 - Výsledek DDÚ

Zdroj: vlastní zpracování

Hodnota účelové funkce, tedy minimální vzdálenost, kterou je potřeba v úloze urazit je 2 446 895 km. Pro připomenutí je dobré zmínit, že dopravní úloha nezahrnuje maximální možný objem, který je schopen přepravit nákladního prostředek a řeší převoz všech surovin najednou. Z výsledků je patrné, že všechny suroviny od dodavatelů byly rozvezeny pouze do mezi skladů M1, M2 a M3. Ostatní mezisklady nebyly zahrnuty do optimálního řešení, které program Excel vypočítal. Hodnoty na hlavní diagonále v levé spodní části tabulky ukazují nevyužitou kapacitu těchto meziskladů. Tedy u mezi skladů: M4, M5, M6, M7 a M8 se tato hodnota na diagonále rovná celkové kapacitě.

Z výsledků je tedy patrné, že spotřebitelé S1 (Tepelná elektrárna Komořany), S4 (Tepelná elektrárna Prunéřov) a S5 (Tepelná elektrárna Tušimice) jsou zásobovány s využitím meziskladu M2 (Panattoni Park Chomutov South). Do tohoto meziskladu posílají své zásoby dodavatelé: D1 (Lom Bílina), D2 (Lom Nástup – Tušimice) a D4 (Lom Vršany). Spotřebitel S2 (Tepelná elektrárna Ledvice) je zásobován z Lomu Bílina za využití meziskladu M3 (Prostory pro skladování v Dělouši). Spotřebitel S3 je zásobován dodavatelem D1 (Lom Bílina) a D3 (Lom ČSA) s využitím meziskladu M1 (CT Park Žatec).

## 4.12 Matematický model

Pro tvorbu modelu byla vybrána metoda využívající agregace kritériálních funkcí. Nejprve jsou tedy sestaveny dílčí optimalizační modely, minimalizující celkové náklady na distribuci a minimalizující vyprodukované CO<sub>2</sub>.

Na rozdíl do dopravní úlohy nemusí být matematický model vybalancovaný a tedy v modelech níže již není zahrnut fiktivní spotřebitel. V modelu je počítáno se 4 druhy nákladních vlaků. Kapacita největšího vlaku byla získána vydělením nejdelší možné jedoucí soupravy délkou vagónu Falls a následně vynásobena jeho ložným objemem (65 t). Všechny parametry vagónů Falls, které jsou speciálně určené k převozu uhlí jsou získány z oficiálních stránek Českých drah.

Pokud mezi objekty neexistuje železniční spojení, byla dosazena hodnota 10000, tedy prohibitivní sazba, která zajišťuje nemožnost využití tohoto spojení podobně jako v DDÚ.

#### 4.12.1 Hodnoty konstant matematického modelu

Při výpočtu je použito několik konstant, jejichž hodnoty jsou zjištěny podle dostupných informací na internetu. Je důležité připomenout, že hodnoty konstant se dají kdykoliv přepsat a nijak neovlivňují funkčnost modelu, tedy změnila by se nějaká hodnota konstant stačí ji pouze přepsat ve zdrojovém kódu u příslušné proměnné.

1. Manipulační náklady u dodavatelů, spotřebitelů a meziskladů – sazba manipulačního poplatku byla nalezena na webových stránkách severočeských dolů a činila 30 Kč/t. Vzhledem k tomu, že u jiných objektů nebyla tato sazba nalezena, byla tato částka plošně nechána u všech spotřebitelů a dodavatelů. U meziskladů byla tato částka zvýšena o 10 % - 15 %, vzhledem k tomu, že manipulační poplatek bude jeden z výrazných příjmů meziskladů.
2. Náklady na 1tkm u nákladního vozidla / nákladního. Obě hodnoty vznikly přepočtem z průměrných nákladů na 1 tunomíli, které uvádí studie „Pricing Freight Transport to Account for External Costs“ [1] od D. Austina, kterou vytvořil v roce 2015 pro Congressional Budget Office. Tato studie uvádí průměrné náklady na převoz 1 t zboží ve vzdálenosti 1 míle u nákladního vozidla ve výši 2,61\$ a 0,82\$ u nákladního vlaku. Tyto hodnoty pak byly přepočteny na 12,81 Kč u nákladního vlaku a 38,81 Kč u nákladního vozu. Celková suma nákladů se skládá z:
  - a. poplatku za poškození vozovky/železnice převozem nadměrného nákladu

- b. nákladu, který vznikne v důsledky dopravní zácpy, a tedy zvýšení mezd pracovníku nebo spotřeby paliva
  - c. částkou, která reflektuje riziko dopravní nehody
  - d. mzdy řidičů
  - e. spotřeby paliva
3. Průměrné množství  $CO_2$  vyprodukovaného nákladním vozidlem / libovolnou nákladní vlakovou soupravou. Tyto hodnoty byly získány z německé studie [21] z roku 2018, která porovnávala vyprodukované množství  $CO_2$  u nákladních aut a nákladních vlaků. Tato studie vyčíslila průměrnou produkci  $CO_2$  u nákladního auta na  $111 \text{ g } CO_2 / \text{tkm}$  a u nákladního vlaku  $17,5 \text{ g } CO_2 / \text{tkm}$ .

#### 4.12.2 Dílčí optimalizační model minimalizující celkové náklady na distribuci

Vstupy modelu:

$m$ ... počet dodavatelů (D)

$n$ ... počet spotřebitelů (S)

$o$ ... počet meziskladů (LC + překladiště) (MS)

$l$ ... počet druhů vlakových souprav

$nv$ ... kapacita nákladního vozidla [ $t$ ]

$v_k$ ...kapacita jednotlivých druhů vlakových souprav [ $t$ ]  $v = 1, \dots, l$

$lnv$ ... náklady na jeden ujetý km po silnici

$lv$ ... náklady na jeden ujetý km po železnici

$a_i$ ... kapacita dodavatele  $i = 1, \dots, m$

$b_j$ ... požadavek spotřebitelů  $j = 1, \dots, n$

$c_j$ ... volná kapacita meziskladů  $j = 1, \dots, o$

$d_{nvA}$ ... vzdálenosti mezi D  $i = 1, \dots, m$  - MS  $j = 1, \dots, o$  silnice

$dvA$ ... vzdálenosti mezi D  $i = 1, \dots, m$  - MS  $j = 1, \dots, o$  železnice

$d_{nvB}$ ... vzdálenosti mezi MS  $i = 1, \dots, o$  - S  $j = 1, \dots, n$  silnice

$dvB$ ... vzdálenosti mezi MS  $i = 1, \dots, o$  - S  $j = 1, \dots, n$  železnice

$e_i$ ... manipulační náklady na 1  $t$  u dodavatelů

$f_j$  respektive  $f_i$ ... manipulační náklady na 1  $t$  u meziskladů

$g_j$ ... manipulační náklady na 1  $t$  u spotřebitelů

Výstupy modelu:

$x_{A_{i,j}}$ ... proměnná modelující počet převezených jednotek mezi D-MS

$y_{A_{i,j}}$ ... proměnná modelující počet jízd nákladního vozidla mezi D-MS

$z_{A_{i,j,k}}$ ... proměnná modelující počet jízd jednotlivých typů vlakových souprav mezi D-MS

$ch_i$ ... proměnná modelující množství suroviny dostupné v meziskladech (po převezení od dodavatelů)

$x_{B_{i,j}}$ ... proměnná modelující počet převezených jednotek mezi MS-S

$y_{B_{i,j}}$ ... proměnná modelující počet jízd nákladního vozidla mezi MS-S

$z_{B_{i,j,k}}$ ... proměnná modelující počet jízd jednotlivých typů vlakových souprav mezi MS-S

Dílejší optimalizační model minimalizující celkové náklady na distribuci:

$$\begin{aligned}
 \min f(x_A, y_A, z_A, ch, x_B, y_B, z_B) \\
 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o d_{nv} A_{i,j} \cdot y_{A_{i,j}} \cdot l_{nv} \\
 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^l d_{v} A_{i,j} \cdot z_{A_{i,j,k}} \cdot l_v + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n d_{nv} B_{i,j} \cdot y_{B_{i,j}} \cdot l_{nv} \\
 + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{v} B_{i,j} \cdot z_{B_{i,j,k}} \cdot l_v + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o x_{A_{i,j}} \cdot e_i \\
 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o x_{A_{i,j}} \cdot f_j + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n x_{B_{i,j}} \cdot f_i + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n x_{B_{i,j}} \cdot g_j
 \end{aligned} \tag{1}$$

Za podmíněk:

$$\sum_{i=1}^m x_{A_{i,j}} \leq c_j \quad j = 1, \dots, o \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^o x_{A_{i,j}} \leq a_i \quad i = 1, \dots, m \tag{3}$$

$$x_{A_{i,j}} \leq nv \cdot y_{A_{i,j}} + v_k \cdot z_{A_{i,j,k}} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \\ k = 1, \dots, l \end{array} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{A_{i,j}} = ch_j \quad j = 1, \dots, o \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^o x_{B_{i,j}} = b_j \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{A_{i,j}} = ch_i \quad i = 1, \dots, o \quad (7)$$

$$x_{B_{i,j}} \leq nv \cdot y_{B_{i,j}} + v_k \cdot z_{B_{i,j,k}} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \\ k = 1, \dots, l \end{array} \quad (8)$$

$$x_{A_{i,j}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (9)$$

$$y_{A_{i,j}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (10)$$

$$z_{A_{i,j,k}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (11)$$

$$ch_i \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, o \quad (12)$$

$$x_{B_{i,j}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (13)$$

$$y_{B_{i,j}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (14)$$

$$z_{B_{i,j,k}} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (15)$$

Funkce (1) reprezentuje optimalizační kritérium – minimální celkové náklady na distribuci. První část reprezentuje přepravní náklady, druhá část pak reprezentuje manipulační náklady. Skupina omezujících podmínek (2) zajistí nepřekročení volné kapacity v mezičláncích (nerovnost je použita z důvodu nevybilancovanosti části úlohy mezi D a MS). Skupina omezujících podmínek (3) zajistí nepřecherpaní kapacity dodavatelů, jelikož se

jedná o nevybilancovanou úlohu s přebytky kapacit dodavatelů, nemusí být vyčerpána všechna surovina). Skupina omezujících podmínek (4) zajistí přepočtení převezených jednotek mezi D a MS na počty jízd nákladních vozidel a jednotlivých vlakových souprav (je povolen převoz pomocí libovolných kombinací dopravních prostředků, ale vždy model vybere kombinaci tak, aby docházelo k minimalizaci celkových nákladů). Pomocí skupina omezujících podmínek (5) je určena množství suroviny nacházející se v jednotlivých meziskladech. Skupina omezujících podmínek (6) zajistí splnění požadavků spotřebitele. Skupina omezujících podmínek (7) zajistí vyčerpání kapacity meziskladů. Skupina omezujících podmínek (8) zajistí přepočtení převezených jednotek mezi MS a S na počty jízd nákladních vozidel a jednotlivých vlakových souprav (opět je povolen převoz pomocí libovolných kombinací dopravních prostředků, ale vždy model vybere kombinaci tak, aby docházelo k minimalizaci celkových nákladů). Skupiny omezujících podmínek (9-15) formulují definiční obory proměnných použitých v modelu.

#### 4.12.2.1 Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci nákladů

```
model DP_celkove_naklady_realna_sit
```

```
uses "mmxprs";
```

```
declarations
```

```
m=4
```

```
n=5
```

```
o=8
```

```
l=4
```

```
nv=24
```

```
lnv=38.81
```

```
lv=12.18
```

```
a:array(1..m) of real
```

```
e:array(1..m) of real
```

```
c:array(1..o) of real
```

```
f:array(1..o) of real
```

```
dnvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
dvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
dnvB:array(1..o,1..n) of real
```

*dvB:array(1..o,1..n) of real*

*b:array(1..n) of real*

*g:array(1..n) of real*

*v:array(1..l) of real*

*xA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*yA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*zA:array(1..m,1..o,1..l) of mpvar*

*ch:array(1..o) of mpvar*

*xB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*yB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*zB:array(1..o,1..n,1..l) of mpvar*

*end-declarations*

*a::[24660,37000,8220,20550]*

*e::[30,30,30,30]*

*c::[138339,78319,91886,106293,78782,6512,7927,56626]*

*f::[35,40,36,37,38,39,38,40]*

*b::[2140,9865,14400,7800,13015]*

*g::[30,30,30,30,30]*

*v::[325,650,975,1625]*

*dnvA::[40,33,34,40,107,40,42,27,  
26,7,75,82,137,70,71,68,  
42,35,38,41,111,56,60,55,  
21,4,71,76,124,58,59,51]*

*dvA::[100000,100000,100000,100000,100000,34,36,68,  
100000,100000,100000,100000,100000,76,78,87,  
100000,100000,100000,100000,100000,57,59,78,  
100000,100000,100000,100000,100000,68,70,88]*

*dnvB::[32,39,18,34,36,  
18,39,32,16,18,  
47,24,45,83,85,  
62,39,60,89,91,  
118,96,116,145,143,*



51,29,50,79,81,  
54,31,52,81,83,  
51,45,41,83,81]

dvB::[100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
59,32,59,93,95,  
57,33,61,92,96,  
57,55,41,87,91]

forall(i in 1..m,j in 1..o) xA(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..m,j in 1..o) yA(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..m,j in 1..o,k in 1..l) zA(i,j,k) is\_integer

forall(i in 1..o,j in 1..n) xB(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..o,j in 1..n) yB(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..o,j in 1..n,k in 1..l) zB(i,j,k) is\_integer

forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)<=c(j)  
forall(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)<=a(i)  
forall(i in 1..m, j in 1..o, k in 1..l)xA(i,j)<=nv\*yA(i,j)+v(k)\*zA(i,j,k)  
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)=ch(j)

forall(j in 1..n)sum(i in 1..o)xB(i,j)=b(j)  
forall(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)=ch(i)  
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l)xB(i,j)<=nv\*yB(i,j)+v(k)\*zB(i,j,k)

soucet:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv\*yA(i,j)\*dnvA(i,j)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)v(k)\*zA(i,j,k)\*dvA(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv\*yB(i,j)\*dnvB(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)\*zB(i,j,k)\*dvB(i,j)

celkove\_naklady:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)dnvA(i,j)\*yA(i,j)\*lnv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)dvA(i,j)\*zA(i,j,k)\*lv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)\*e(i)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)\*f(j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)dnvB(i,j)\*yB(i,j)\*lnv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)dvB(i,j)\*zB(i,j,k)\*lv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)\*f(i)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)\*g(j)

```
minimize(celkove_naklady)
```

```
writeln("Minimalni naklady jsou: ",getobjval," Kc")
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(xA(i,j))>0)writeln("xA(",i,",",j,")=",getsol(xA(i,j)))
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(yA(i,j))>0)writeln("yA(",i,",",j,")=",getsol(yA(i,j)))
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o,k in 1..l|getsol(zA(i,j,k))>0)writeln("zA(",i,",",j,",",k,")=",getsol(zA(i,j,k)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(xB(i,j))>0)writeln("xB(",i,",",j,")=",getsol(xB(i,j)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(yB(i,j))>0)writeln("yB(",i,",",j,")=",getsol(yB(i,j)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l|getsol(zB(i,j,k))>0)writeln("zB(",i,",",j,",",k,")=",getsol(zB(i,j,k)))
```

```
forall(i in 1..o|getsol(ch(i))>0)writeln("ch(",i,")=",getsol(ch(i)))
```

```
writeln("Celkovy pocet ujetych km je: ",getsol(soucet))
```

```
end-model
```

#### 4.12.3 Dílčí optimalizační model minimalizující celkovou produkci CO<sub>2</sub> při distribuci

Vstupy modelu:

Nově přibývají veličiny *conv* a *cov*, které jsou vysvětleny níže. Kromě nově zavedených veličin je význam ostatních veličin totožný s předchozím modelem.

*conv*... průměrné množství CO<sub>2</sub> vyprodukovaného nákladním vozidlem [CO<sub>2</sub>/km]

*cov*... průměrné množství CO<sub>2</sub> vyprodukovaného libovolnou vlakovou soupravou [CO<sub>2</sub>/km]

Výstupy modelu:

Žádné výstupy nově nepřibývají, význam výstupů je totožný s předchozím modelem.

Dílčí optimalizační model minimalizující celkovou produkci CO<sub>2</sub> při distribuci:

$$\min f(xA, yA, zA, ch, xB, yB, zB)$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o dnvA_{i,j} \cdot yA_{i,j} \cdot nv \cdot conv + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^l dvA_{i,j} \cdot zA_{i,j,k} \cdot v_k \cdot cov \quad (16)$$

$$+ \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n dnvB_{i,j} \cdot yB_{i,j} \cdot nv \cdot conv + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l dvB_{i,j} \cdot zB_{i,j,k} \cdot v_k \cdot cov$$

Za podmínek:

$$\sum_{i=1}^m xA_{i,j} \leq c_j \quad j = 1, \dots, o \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^o xA_{i,j} \leq a_i \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$xA_{i,j} \leq nv \cdot yA_{i,j} + v_k \cdot zA_{i,j,k} \quad i = 1, \dots, m$$

$$j = 1, \dots, o \quad (4)$$

$$k = 1, \dots, l$$

$$\sum_{i=1}^m xA_{i,j} = ch_j \quad j = 1, \dots, o \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^o xB_{i,j} = b_j \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n xA_{i,j} = ch_i \quad i = 1, \dots, o \quad (7)$$

$$xB_{i,j} \leq nv \cdot yB_{i,j} + v_k \cdot zB_{i,j,k} \quad i = 1, \dots, o$$

$$j = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$k = 1, \dots, l$$

$$xA_{i,j} \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, m$$

$$j = 1, \dots, o \quad (9)$$

$$yA_{i,j} \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, m$$

$$j = 1, \dots, o \quad (10)$$

$$zA_{i,j,k} \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, m$$

$$j = 1, \dots, o \quad (11)$$

$$ch_i \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, o \quad (12)$$

$$xB_{ij} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (13)$$

$$yB_{ij} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (14)$$

$$zB_{ij,k} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (15)$$

Funkce (16) reprezentuje optimalizační kritérium – minimální celkovou produkci  $CO_2$  při distribuci. Skupiny omezujících podmínek (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14) a (15) mají stejný význam, jako u předchozího modelu.

#### 4.12.3.1 Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci produkce $CO_2$

*model DP\_produkce\_CO2*

*uses "mmxprs";*

*declarations*

*m=4*

*n=5*

*o=8*

*l=4*

*nv=24*

*conv=111*

*cov=17.5*

*a:array(1..m) of real*

*c:array(1..o) of real*

*dnvA:array(1..m,1..o) of real*

*dvA:array(1..m,1..o) of real*

*dnvB:array(1..o,1..n) of real*

*dvB:array(1..o,1..n) of real*

*b:array(1..n) of real*

*v:array(1..l) of real*

*xA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*yA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*zA:array(1..m,1..o,1..l) of mpvar*

*ch:array(1..o) of mpvar*

*xB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*yB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*zB:array(1..o,1..n,1..l) of mpvar*

*a::[24660,37000,8220,20550]*

*c::[138339,78319,91886,106293,78782,6512,7927,56626]*

*b::[2140,9865,14400,7800,13015]*

*v::[325,650,975,1625]*

*dnvA::[40,33,34,40,107,40,42,27,  
26,7,75,82,137,70,71,68,  
42,35,38,41,111,56,60,55,  
21,4,71,76,124,58,59,51]*

*dvA::[100000,100000,100000,100000,100000,34,36,68,  
100000,100000,100000,100000,100000,76,78,87,  
100000,100000,100000,100000,100000,57,59,78,  
100000,100000,100000,100000,100000,68,70,88]*

*dnvB::[32,39,18,34,36,  
18,39,32,16,18,  
47,24,45,83,85,  
62,39,60,89,91,  
118,96,116,145,143,  
51,29,50,79,81,  
54,31,52,81,83,  
51,45,41,83,81]*

*dvB::[100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
59,32,59,93,95,  
57,33,61,92,96,  
57,55,41,87,91]*

```

forall(i in 1..m,j in 1..o) xA(i,j) is_integer
forall(i in 1..m,j in 1..o) yA(i,j) is_integer
forall(i in 1..m,j in 1..o,k in 1..l) zA(i,j,k) is_integer

forall(i in 1..o,j in 1..n) xB(i,j) is_integer
forall(i in 1..o,j in 1..n) yB(i,j) is_integer
forall(i in 1..o,j in 1..n,k in 1..l) zB(i,j,k) is_integer

forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)<=c(j)
forall(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)<=a(i)
forall(i in 1..m, j in 1..o, k in 1..l)xA(i,j)<=nv*yA(i,j)+v(k)*zA(i,j,k)
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)=ch(j)
forall(j in 1..n)sum(i in 1..o)xB(i,j)=b(j)
forall(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)=ch(i)
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l)xB(i,j)<=nv*yB(i,j)+v(k)*zB(i,j,k)
soucet:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv*yA(i,j)*dnvA(i,j)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in
1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv*yB(i,j)*dnvB(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in
1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)

celkova_produkce:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv*yA(i,j)*dnvA(i,j)*conv+sum(i in 1..m)sum(j in
1..o)sum(k in 1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)*cov+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv*yB(i,j)*dnvB(i,j)*conv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)*cov
minimize(celkova_produkce)

writeln("Minimalni produkce CO2 je: ",getobjval," jednotek")
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(xA(i,j))>0)writeln("xA(",i,",",j,")=",getsol (xA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(yA(i,j))>0)writeln("yA(",i,",",j,")=",getsol (yA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o,k in 1..l|getsol(zA(i,j,k))>0)writeln("zA(",i,",",j,",",k,")=",getsol (zA(i,j,k)))

forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(xB(i,j))>0)writeln("xB(",i,",",j,")=",getsol (xB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(yB(i,j))>0)writeln("yB(",i,",",j,")=",getsol (yB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l|getsol(zB(i,j,k))>0)writeln("zB(",i,",",j,",",k,")=",getsol (zB(i,j,k)))
forall(i in 1..o|getsol(ch(i))>0)writeln("ch(",i,")=",getsol (ch(i)))
writeln("Celkovy pocet ujetych km je: ",getsol (soucet))

end-model

```

#### 4.12.4 Agregovaný model

Vstupy modelu:

Nově přibývají veličiny  $v1$  a  $v2$ , které jsou vysvětleny níže. Kromě nově zavedených veličin je význam ostatních veličin totožný s předchozím modelem.

$v1$ ... váha kritéria 1

$v2$ ... váha kritéria 2

Výstupy modelu:

Žádné výstupy nově nepřibývají, význam výstupů je totožný s předchozím modelem.

Agregovaný model:

$$\begin{aligned}
 & \max f(xA, yA, zA, ch, xB, yB, zB) \\
 & = v1 \\
 & \cdot \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o dnvA_{ij} \cdot yA_{ij} \cdot lnv \right. \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^l dvA_{ij} \cdot zA_{ij,k} \cdot lv + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n dnvB_{ij} \cdot yB_{ij} \cdot lnv \\
 & + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l dvB_{ij} \cdot zB_{ij,k} \cdot lv + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o xA_{ij} \cdot e_i \\
 & \left. + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o xA_{ij} \cdot f_j + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n xB_{ij} \cdot f_i + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n xB_{ij} \cdot g_j \right) + v2 \tag{17} \\
 & \cdot \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o dnvA_{ij} \cdot yA_{ij} \cdot nv \cdot conv \right. \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^l dvA_{ij} \cdot zA_{ij,k} \cdot v_k \cdot cov + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n dnvB_{ij} \cdot yB_{ij} \cdot nv \\
 & \left. \cdot conv + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l dvB_{ij} \cdot zB_{ij,k} \cdot v_k \cdot cov \right)
 \end{aligned}$$

Za podmínek:

$$\sum_{i=1}^m xA_{ij} \leq c_j \quad j = 1, \dots, o \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^o xA_{i,j} \leq a_i \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$xA_{i,j} \leq nv \cdot yA_{i,j} + v_k \cdot zA_{i,j,k} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \\ k = 1, \dots, l \end{array} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m xA_{i,j} = ch_j \quad j = 1, \dots, o \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^o xB_{i,j} = b_j \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n xA_{i,j} = ch_i \quad i = 1, \dots, o \quad (7)$$

$$xB_{i,j} \leq nv \cdot yB_{i,j} + v_k \cdot zB_{i,j,k} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \\ k = 1, \dots, l \end{array} \quad (8)$$

$$xA_{i,j} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (9)$$

$$yA_{i,j} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (10)$$

$$zA_{i,j,k} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, o \end{array} \quad (11)$$

$$ch_i \in Z_0^+ \quad i = 1, \dots, o \quad (12)$$

$$xB_{i,j} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (13)$$

$$yB_{i,j} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (14)$$

$$zB_{i,j,k} \in Z_0^+ \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (15)$$

Funkce (17) reprezentuje optimalizační kritérium – maximalizaci hodnoty agregované kritérium, které slouží k nalezení kompromisního řešení. První část násobena koeficientem  $v_1$  reprezentuje vyčíslení celkových nákladů na distribuci (přepravní náklady



+ manipulační náklady). Druhá část reprezentuje množství vyprodukovaného  $CO_2$  při procesu distribuce. Při řešení modelu pomocí Xpress jsou váhové koeficienty zadány jako záporná čísla, důvodem je převod původních minimalizačních funkcí na maximalizační (podmínkou pro použití vícekriteriálního programování s agregovanou účelovou funkcí je maximalizace této funkce). Skupiny omezujících podmínek (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14) a (15) mají stejný význam, jako u předchozího modelu. Po zjištění agregované hodnoty kritéria jsou nalezené hodnoty výstupů modelu zadány do dílčích modelů a tímto způsobem jsou nalezeny hodnoty celkových nákladů a celkové produkce  $CO_2$  na distribuci v zadané síti.

#### 4.12.4.1 Zdrojový kód výsledného modelu

```
model DP_agregovana_fce_realna_sit
```

```
uses "mmxprs";
```

```
declarations
```

```
    m=4
```

```
    n=5
```

```
    o=8
```

```
    l=4
```

```
    nv=24
```

```
    lnv=38.81
```

```
    conv=111
```

```
    cov=17.5
```

```
    v1=-0.3
```

```
    v2=-0.7
```

```
    lv=12.18
```

```
    a:array(1..m) of real
```

```
    e:array(1..m) of real
```

```
    c:array(1..o) of real
```

```
    f:array(1..o) of real
```

```
    dnvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
    dvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
    dnvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
    dvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
    b:array(1..n) of real
```

*g:array(1..n) of real*

*v:array(1..l) of real*

*xA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*yA:array(1..m,1..o) of mpvar*

*zA:array(1..m,1..o,1..l) of mpvar*

*ch:array(1..o) of mpvar*

*xB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*yB:array(1..o,1..n) of mpvar*

*zB:array(1..o,1..n,1..l) of mpvar*

*end-declarations*

*a::[24660,37000,8220,20550]*

*e::[30,30,30,30]*

*c::[138339,78319,91886,106293,78782,6512,7927,56626]*

*f::[35,40,36,37,38,39,38,40]*

*b::[2140,9865,14400,7800,13015]*

*g::[30,30,30,30,30]*

*v::[325,650,975,1625]*

*dnvA::[40,33,34,40,107,40,42,27,  
26,7,75,82,137,70,71,68,  
42,35,38,41,111,56,60,55,  
21,4,71,76,124,58,59,51]*

*dvA::[100000,100000,100000,100000,100000,34,36,68,  
100000,100000,100000,100000,100000,76,78,87,  
100000,100000,100000,100000,100000,57,59,78,  
100000,100000,100000,100000,100000,68,70,88]*

*dnvB::[32,39,18,34,36,  
18,39,32,16,18,  
47,24,45,83,85,  
62,39,60,89,91,  
118,96,116,145,143,  
51,29,50,79,81,  
54,31,52,81,83,*

51,45,41,83,81]

dvB::[100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
59,32,59,93,95,  
57,33,61,92,96,  
57,55,41,87,91]

forall(i in 1..m,j in 1..o) xA(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..m,j in 1..o) yA(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..m,j in 1..o,k in 1..l) zA(i,j,k) is\_integer  
forall(i in 1..o) ch(i) is\_integer  
forall(i in 1..o,j in 1..n) xB(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..o,j in 1..n) yB(i,j) is\_integer  
forall(i in 1..o,j in 1..n,k in 1..l) zB(i,j,k) is\_integer

forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)<=c(j)  
forall(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)<=a(i)  
forall(i in 1..m, j in 1..o, k in 1..l)xA(i,j)<=nv\*yA(i,j)+v(k)\*zA(i,j,k)  
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)=ch(j)  
forall(j in 1..n)sum(i in 1..o)xB(i,j)=b(j)  
forall(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)=ch(i)  
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l)xB(i,j)<=nv\*yB(i,j)+v(k)\*zB(i,j,k)

soucet:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv\*yA(i,j)\*dnvA(i,j)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)v(k)\*zA(i,j,k)\*dvA(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv\*yB(i,j)\*dnvB(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)\*zB(i,j,k)\*dvB(i,j)

agregovana\_fce:=v1\*(sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)dnvA(i,j)\*yA(i,j)\*lnv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)dvA(i,j)\*zA(i,j,k)\*lv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)\*e(i)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)\*f(j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)dnvB(i,j)\*yB(i,j)\*lnv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)dvB(i,j)\*zB(i,j,k)\*lv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n-1)xB(i,j)\*f(i)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)\*g(j))+v2\*(sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv\*yA(i,j)\*dnvA(i,j)\*conv+sum(i in 1..m)sum(j in

```

1..o)sum(k in 1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)*cov+sum(i in 1..o)sum(j in
1..n)nv*yB(i,j)*dnvB(i,j)*conv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)*cov)
maximize(agregovana_fce)

```

```
writeln("Hodnota agregovane funkce je: ",getobjval,"")
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o/getsol(xA(i,j))>0)writeln("xA(",i,"",j,"")=",getsol (xA(i,j)))
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o/getsol(yA(i,j))>0)writeln("yA(",i,"",j,"")=",getsol (yA(i,j)))
```

```
forall(i in 1..m, j in 1..o,k in 1..l/getsol(zA(i,j,k))>0)writeln("zA(",i,"",j,"",k,"")=",getsol (zA(i,j,k)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n/getsol(xB(i,j))>0)writeln("xB(",i,"",j,"")=",getsol (xB(i,j)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n/getsol(yB(i,j))>0)writeln("yB(",i,"",j,"")=",getsol (yB(i,j)))
```

```
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l/getsol(zB(i,j,k))>0)writeln("zB(",i,"",j,"",k,"")=",getsol (zB(i,j,k)))
```

```
forall(i in 1..o/getsol(ch(i))>0)writeln("ch(",i,"")=",getsol (ch(i)))
```

```
writeln("Celkovy pocet ujetych km je: ",getsol (soucet))
```

```
end-model
```

## 5 Výsledky a diskuse

V této kapitole budou probrány výsledky modelů zmíněných v předcházející kapitole. Dále budou stanovena doporučení plynoucí z těchto výsledků.

Výsledky modelů byly pro větší přehlednost přepsány do tabulky. Samotné textové výstupy ze zdrojových kódu, které sloužily jako podklady k vytvoření těchto tabulek jsou přiloženy v přílohách. V textových výstupech modelu je i možné zjištění i přesného počtu jednotlivých typů vlaků využitých k převozu uhlí.

### 5.1 Výsledky dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci nákladů

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	S1	S2	S3	S4	S5
D1	0	0	0	0	0	6488	7927	9706	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	15275	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	7800	0	0	0	0	0
D4	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3238	0	0	3250
M7	0	0	0	0	0	0	0	0	1300	6627	0	0	0
M8	0	0	0	0	0	0	0	0	840	0	14400	7800	9741

Tabulka 8 - Výsledek dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci nákladů

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka výše ukazuje výsledek dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci nákladů. Jedná se o výsledek před vypočítáním agregační funkce. Tedy výsledek popisuje, jak by bylo zboží transportováno za použití nejmenších nákladů. Minimální náklady jsou 7 033 366,38 Kč a celková ujetá vzdálenost je 24 690 128 km. Buňky se šedým pozadím signalizují využití železniční nákladní dopravy. Převozy všech surovin jsou realizovány pomocí železniční sítě až na převoz od dodavatele D4 do meziskladu M2 a následný přesun z tohoto meziskladu k odběrateli S5. Celý tento transport je realizován pomocí jednoho nákladního automobilu.

## 5.2 Výsledky dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci produkce CO<sub>2</sub>

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	S1	S2	S3	S4	S5
D1	0	0	0	0	0	4875	4875	0	0	0	0	0	0
D2	0	16920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D4	0	20550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	2140	115	14400	7800	13015
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4875	0	0	0
M7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4875	0	0	0
M8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 9 - Výsledek dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci produkce CO<sub>2</sub>

Zdroj: vlastní zpracování

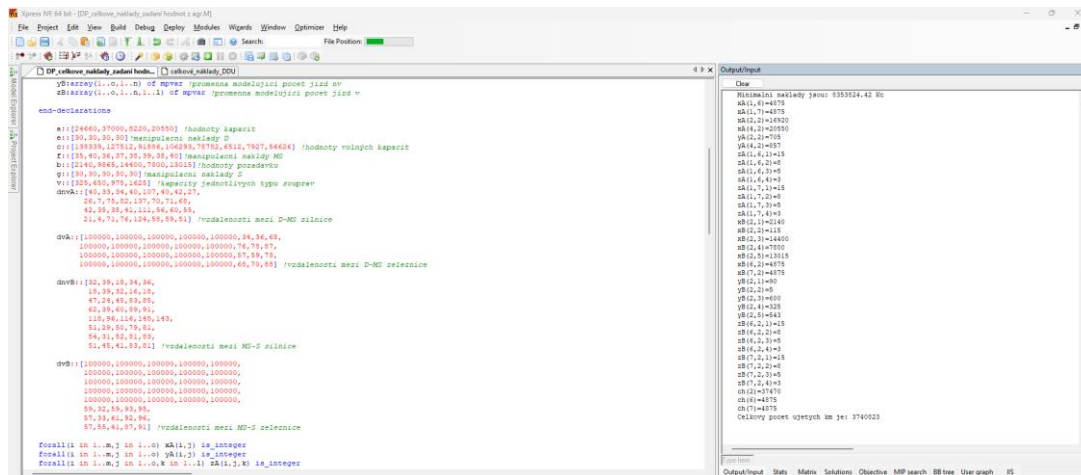
Tabulka č. 6 zachycuje výsledek dílčího modelu, který se zaměřoval na minimální hodnotu produkce CO<sub>2</sub>. Minimální vyprodukované CO<sub>2</sub> bylo stanoveno na 164 990 290,50 g a ujetá vzdálenost čítala 3 740 823 km. Jak je z tabulky patrné ve výsledcích tohoto modelu převažuje silniční doprava a převoz pomocí železniční sítě je realizován pouze od dodavatele D1 do meziskladů M6, M7 a od nich ke spotřebiteli S2.

## 5.3 Výsledky modelu agregovaných kritériálních funkcí

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	S1	S2	S3	S4	S5
D1	0	0	0	0	0	4875	4875	0	0	0	0	0	0
D2	0	16920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D4	0	20550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	2140	115	14400	7800	13015
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4875	0	0	0
M7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4875	0	0	0
M8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

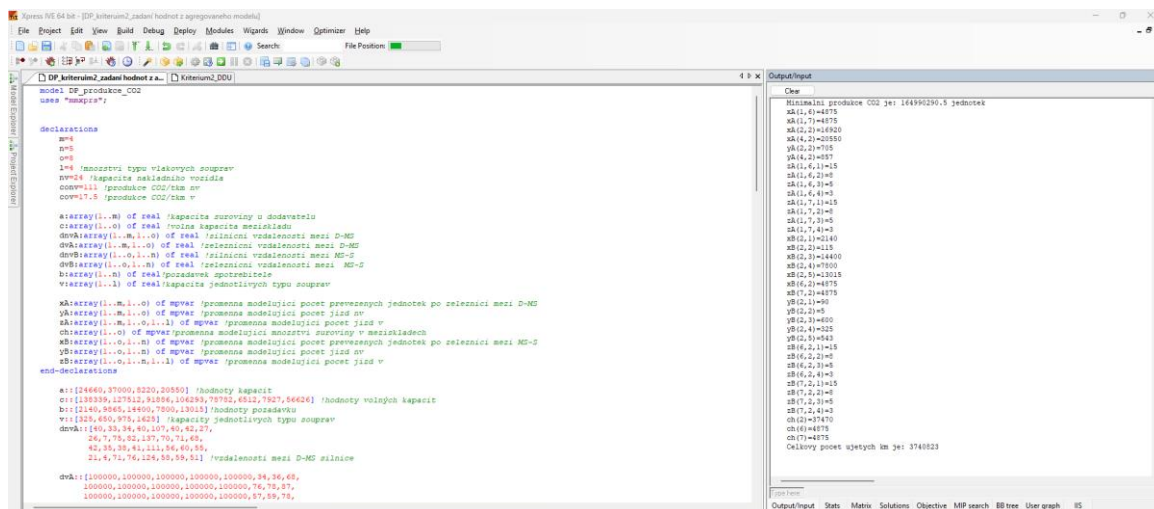
Tabulka 10 - Výsledek modelu agregovaných kritériálních funkcí

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 19 - Výsledek dílčího modelu na minimalizaci nákladů po dosažení z agregované funkce – Xpress-Ive  
Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky agregovaného modelu nám stanoví optimální způsob převozu s přihlédnutím k váhám oběma kritérii. Hodnota kritériální funkce je -117 843 170,70 a minimální ujetá vzdálenost je 3 740 823 km. Pro zjištění kritériálních hodnot je nutné výsledky této agregované funkce dosadit zpět do dílčích modelů. Po dosažení prvního modelu dostáváme hodnotu nákladů, která je 8 353 824,42 Kč. Hodnota vyprodukovaného CO<sub>2</sub> je pak 164 990 290,50 g.



Obrázek 20 - Výsledek dílčího modelu na minimalizaci produkce CO<sub>2</sub> po dosažení z agregované funkce – Xpress-Ive  
Zdroj: vlastní zpracování

Pokud se zaměříme na porovnání výsledků agregovaného modelu a dopravního problému, zjistíme, že nejkratší cesta, kterou našel dopravní problém je o 1 293 928 km kratší oproti ujeté vzdálenosti, kterou stanovil agregovaný model.

Z výsledů je tedy patrné, že pro převoz surovin byly využity pouze mezičlánky M2, M6 a M7. Mezisklad M2 je zásobován od dodavatelů D2 a D4. A mezisklady M6 a M7 jsou zásobovány dodavatelem D1. Tedy dodavatel D3 nebyl pro převoz využit. Z textového výsledku modelu je také patrné, že distribuce uhlí od dodavatele D1 do meziskladů M6 a M7 probíhá pouze po železniční trati a jsou využity všechny druhy dostupných vlaků. Naopak zásobování od obou dodavatelů do meziskladu M2 je realizováno za pomoci silniční dopravy a vysokého počtu nákladních vozidel, která jsou pro přepravu potřeba. Důvod pro využití nákladních aut je krátká vzdálenost mezi dodavatelem a meziskladem. Z výsledků je patrné, že spotřebitel S1 je zásobován z meziskladu M2 za využití nákladních aut. Spotřebitel S2 je jako jediný ze všech spotřebitelů zásobován z více meziskladů, konkrétně z meziskladu M2 pomocí nákladních aut a z meziskladů M6 a M7 je shodně zásobován pouze železničními nákladními vlaky, kde pro převoz byly využity všechny dostupné druhy vlaků. Vzhledem k tomu, že se jedná o převoz shodného množství z obou meziskladů (4875 t) byl vybrán i totožný počet jednotlivých vlaků pro tento převoz. Spotřebitelé S3, S4 a S5 jsou stejně jako spotřebitel S1 zásobován z meziskladu M2. Veškerý převoz k těmto spotřebitelům je realizován pomocí nákladních vozidel. Jak je patrné z výsledků, mezisklad M2 je tedy jedním z vytížených meziskladů a v rámci optimalizace by se mělo zvážit jeho připojení do železniční sítě.

#### **5.4 Porovnání jednotlivých výsledků modelů**

Na první pohled je patrné, že optimální rozvoz byl určen již submodelem, zaměřujícím se pouze na minimalizaci CO<sub>2</sub>. Dá se předpokládat, že pokud by váha u kritéria na minimalizaci CO<sub>2</sub> byla nižší a tím by se zvětšila váha u druhého kritéria, celkový výsledek modelu by se od výsledků dílčích modelů lišil. Z výsledků je patrné, že v případě samotné minimalizace nákladů byla vybrána jiná kombinace skladů než u výsledného a dílčího modelu na minimalizaci emisí. Tato odlišná kombinace meziskladů zajišťovala větší možnost využití železniční sítě a tím i následné snížení nákladů. V porovnání s minimálními náklady (7 033 366,38 Kč), které stanovil dílčí model jsou náklady u celkového výsledku (8 353 824,42 Kč) vyšší o 1 320 458,04 Kč. Zajímavé je srovnání ujeté vzdálenosti při převozech, dílčí optimalizační model na minimalizaci nákladů, který stanovil minimální náklady na



7 033 366,38 Kč totiž při těchto nákladech urazí vzdálenost 24 690 128 km což je zhruba 8x více než vzdálenost kterou stanovil finální model složený z agregovaných kritériálních funkcí. Produkce CO<sub>2</sub> u takto stanoveného rozvozu je 432 126 608 g CO<sub>2</sub>. Což je markantní rozdíl oproti množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>, které stanovil dílčí model na minimalizaci produkce tohoto plynu po dosažení výsledků agregovaného modelu. Je tedy patrné, že při zaměření se pouze na finanční optimalizaci je množství vyprodukovaných splodin několikanásobně větší než při vícekritériální optimalizaci.

## **5.5 Formulace doporučení pro optimalizaci logistické sítě v ČR**

Jak je patrné z předchozí kapitoly, efektivní využití logistických center a jejich zapojení do přepravy zboží může pomoci snížit náklady a emise CO<sub>2</sub>, tím že minimalizuje počet jízd mezi jednotlivými skladovacími prostory a tím optimalizuje plán přepravy. Doporučení plynoucí ze této práce pro optimalizaci sítě ČR jsou:

1. Optimalizace sítě jako celku: Vždy je důležité optimalizovat logistickou síť jako celek, nikoli jako jednotlivé části. Při optimalizaci menších úseků může docházet k vytváření problémů při optimalizaci většího celku.
2. Větší využití intermodální dopravy: K lepšímu využití intermodální dopravy je nutné rozšířit železniční síť a při tvorbě nových logistických center dbát na jejich napojení do železniční sítě pomocí vleček. V ČR se momentálně nachází logistické centrum s vlečkou pouze v Ostravě, a tak s nárůstem počtu logistických center s vlečkou nebude nutné pro převoz zboží po železnici využívat pouze překladiště, ale i tyto logistická centra. Tím, že budou logistická centra napojena na železniční síť, bude možné zkrátit celkovou přepravní vzdálenost nebo počet jízd mezi skladovacími prostory a tím optimalizovat logistickou síť.
3. Umístění nových LC: Při výběru místa pro výstavbu nového logistického centra je nutné na logistickou síť nahlížet jako na celek a nestavět logistická centra v místech, kde jsou logistická centra s volnou kapacitou. Naopak je nutné do sítě zahrnout místa, která aktuální síť nezahrnuje a tím zmenšit přepravní vzdálenost.
4. Modernizace stávající železniční sítě: Modernizace železniční sítě je stále nezbytně nutná, jak ukazuje posouzení aktuálního stavu logistické sítě v České republice.

Hlavním cílem modernizace by mělo být dokončení modernizace koridorů I a II, následované modernizací koridorů III a IV. Kromě toho by mělo být pokračováno v elektrifikaci neelektrifikovaných tratí a modernizaci technických aspektů, které jsou nezbytné k dodržení evropských dohod, které Česká republika přijala. Splnění těchto kroků povede ke zvýšení rychlosti přepravy a zkrácení doby přepravy.

5. Modernizace silniční sítě: Česká republika je tranzitní zemí, kde silniční síť hraje klíčovou roli pro mezinárodní transport. Avšak vysoké využití této sítě vede k rychlému opotřebení a omezením. Proto je nezbytné modernizovat a rozšiřovat síť, což povede k celkovému zlepšení přepravy zboží a osob i logistiky.

Optimalizace tras a využití logistických center jsou důležitými aspekty v rámci optimalizace logistické sítě. Je však nutné zohlednit i další faktory, jako jsou moderní technologie, potřeby zákazníků nebo spolupráce s ostatními subjekty.

## 5.6 Diskuse

Tato práce vytvořila komplexní podklady pro optimalizaci logistické sítě v ČR. Byla sbírána data a vytvořen model, který optimalizuje logistickou síť na základě 2 kritérií. Tento model může sloužit jako výchozí bod pro další a podrobnější optimalizaci, která by zahrnovala více kritérií. Model je sestaven na základě agregací kritériálních funkcí, což umožňuje snadné rozšiřování. I když jsou v této práci sbíraná data zaměřena na převoz uhlí, model může být použit pro optimalizaci jakéhokoliv jiného zboží.

Mezi hlavní nedostatky modelu patří nezahrnutí faktoru času, což má za následek vysoké a těžko realizovatelné počty nákladních aut potřebné pro převoz uhlí. Zahrnutí časového hlediska by tedy zlepšilo přesnost optimalizace. Další nepřesnost modelu je v hodnotách průměrné produkce CO<sub>2</sub> u vlaků, kde jsou u všech počítaných vlaků stanoveny stejné hodnoty. Tato práce se zabývá progresivním a rychle se měnícím oborem, a proto je třeba brát v úvahu, že data se mohou rychle změnit a být zastaralá. Také je důležité uvést, že část informací nebyla k dispozici a hodnoty konstant v modelu se mohou lišit od reality. Před další optimalizací je tedy nutné tyto hodnoty zkontrolovat a případně upravit.

Posledním faktorem, který je nutné zmínit, je skutečnost, že model byl vypočten pouze pro určitou část dat, a pro výpočet optimalizace celé logistické sítě je třeba disponovat velkým výpočetním výkonem a placeným softwarem.

## 6 Závěr

Tato diplomová práce se zaměřovala na analýzu současného stavu logistické sítě v České republice a porovnání se situací v Německu, s cílem většího využití čistých dopravních cest, tedy vodních a železničních tras.

V teoretické části byly definovány základní pojmy a teorie nutná k praktické části. V praktické části byla provedena analýza současného stavu logistické sítě, která zahrnovala železniční, silniční a vodní infrastrukturu, jakož i přepravní výkony za rok 2021. Následně byla identifikována logistická síť. Do této logistické sítě byla zahrnuta aktuálně stojící i plánovaná logistická centra v České republice o rozloze větší než 35 000 m<sup>2</sup>, aktivní uhelné doly na tuzemském území, doly, které dovážejí uhlí z Polska a elektrárny, které používají uhlí jako palivo. Pro optimalizaci byla zvolena dvě kritéria: minimalizace nákladů a minimalizace produkce CO<sub>2</sub>. Váha druhého kritéria převyšovala váhu prvního kritéria. Následně byl vytvořen model vícekritériálního lineárního programování, který agregoval obě kritériální funkce. Vzhledem k velkému množství dat a nedostatečné výpočetní kapacitě bylo nutné ověřit funkčnost modelu pouze na vybrané části dat. Pro tyto účely byl vybrán Ústecký kraj, který disponuje dodavateli, mezisklady i spotřebiteli. Na datech z ústeckého kraje byla následně vypočítána dopravní úloha, která určila nejkratší možnou cestu. Následně byly vypočteny jednotlivé modely, tedy dílčí optimalizační modely zaměřené na jednotlivá kritéria i celkový agregovaný model. Výsledek agregovaného modelu byl následně zpětně dosazen do dílčích modelů pro zjištění hodnot jednotlivých kritérií. V závěru praktické části byly jednotlivé výsledky modelů porovnány a na jejich základě byla stanovena obecně platná doporučení pro zefektivnění využití logistické sítě v České republice.

Vzhledem k tomu, že pro tvorbu modelu byla zvolena metoda agregace je jednoduché model rozšířit o další kritéria a optimalizaci zpřesnit, další rozšíření modely by mohlo vést k zahrnutí hlediska času. Všechny vytyčené cíle byly splněny a výsledky této práce by nadále mohly posloužit jako podklady pro další výzkum v této oblasti.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Austin, David. (2015). Pricing Freight Transport to Account for External Costs. 10.13140/RG.2.1.1122.7040.
- [2] Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern - Statistisches Bundesamt. [online]. Copyright © [cit. 05.02.2023]. Dostupné z: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html>
- [3] CEMPÍREK, Václav. Jaký význam a postavení mají v praxi logistická centra? [online]. 23/2007. České dopravní vydavatelství. c2004. [cit. 28.01.2023]. Dostupné z: <http://www.dnoviny.cz/Logistika/Logisticka-centra-3185/>
- [4] CEMPÍREK, Václav. Veřejná logistická centra v Evropě. <https://logistika.ekonom.cz/> [online]. 2011, 11.07.2011 [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://logistika.ekonom.cz/c1-52253750-verejna-logisticka-centra-v-evrope>
- [5] ČUJAN, Zdeněk. MÁLEK, Zdeněk. Výrobní a obchodní logistika. 1. vyd. Zlín – Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, 200 s. ISBN 978-80-7318-730-9.
- [6] Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf den Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten seit 1985. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg [online]. Copyright © Statistisches Landesamt Baden [cit. 05.02.2023]. Dostupné z: <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/DTV.jsp>
- [7] Green logistics: What is it and why it matters | SAP Insights. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <https://www.sap.com/insights/green-logistics.html>
- [8] History of Logistics, Distribution and Supply Chain Management Warehouse Distribution | 3PL Logistics | Public Warehousing | Contract Warehousing [online]. Copyright © 2012 [cit. 28.01.2023]. Dostupné z: <https://www.hdcusa.com/news/history-of-logistics-distribution-and-supply-chain-management/>
- [9] HOBZA, Milan; ŠAFAŘÍK, Ladislav. Logistika. 1. Vyd. Hradec Králové: Gaudeamus, 2002. 161 s. ISBN: 80-7041-053-1.
- [10] KAMPF R JR., ROUDNÁ J.: The Benchmarking in Logistic Centres Environment. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty, 2008, 14, s. 215-225, (2009) 1211-6610.

- [11] Kučerová, Lucie. UPLATNĚNÍ METOD OPERAČNÍ ANALÝZY PŘI OPTIMALIZACI DOPRAVY [online]. České Budějovice, 2008 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/976yig/401199>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita, Ekonomická fakulta. Ing. Jana Friebelová, Ph.D.
- [12] Logistická centra, Pírek, V., Kampf, R., Logistika 2002, roč. VIII, č. 3, s. 27. ISSN 1211-0957
- [13] Logistics Center Definition. EUROPLATFORMS EEIG: The European Logistic Platforms Association [online]. Brusel: Europlarforms EEIG, 2020 [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: <http://europlatforms.eu/Logistic%20CenterDefinition.html>
- [14] Logistics Center Definition. The Economic Times: What is 'Logistics' [online]. Brusel: The Economic Times, 2021 [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: <https://economictimes.indiatimes.com/defaultinterstitial.cms>
- [15] Ministerstvo dopravy ČR – Tranzitní železniční koridory. Ministerstvo dopravy ČR – Domovská stránka [online]. Copyright © 2023 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 04.02.2023]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Tranzitni-zeleznicni-koridory>
- [16] Nákladní doprava – časové řady: Silniční nákladní doprava [online]. Praha: Český Statistický Úřad, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni\\_doprava\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni_doprava_casove_rady)
- [17] Nákladní doprava – časové řady: Vodní nákladní doprava [online]. Praha: Český Statistický Úřad, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni\\_doprava\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni_doprava_casove_rady)
- [18] Nákladní doprava – časové řady: Železniční nákladní doprava [online]. Praha: Český Statistický Úřad, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni\\_doprava\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni_doprava_casove_rady)
- [19] PASTOR, O., Logistická centra, [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: [http://studium.fd.cvut.cz/html/logisticka\\_centra.html](http://studium.fd.cvut.cz/html/logisticka_centra.html)
- [20] Roudná, Jana. Prostorová lokalizace logistických center v ČR. Pardubice, 2011. disertační práce (Ph.D.). Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera
- [21] Rail freight produces 6 times less CO2 than truck. Rail freight [online]. Německo: mweltbundesamt, 2020, 08.01.2020 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z:

- <https://www.railfreight.com/policy/2020/01/08/rail-freight-produces-6-times-less-co2-than-truck/>
- [22] Sčítání dopravy – ŘSD ČR. Ředitelství silnic a dálnic České republiky – ŘSD ČR [online]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/silnice-a-dalnice/scitani-dopravy#zalozka-celostatni-scitani-dopravy-2020>
- [23] Schienennetz Deutschland: Die Bahnstrecken im Überblick. Allianz pro Schiene - Das Verkehrsbündnis für mehr Schienenverkehr [online]. Copyright © Allianz pro Schiene e. V. [cit. 05.02.2023]. Dostupné z: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/>
- [24] SIXTA, Josef. MAČÁT, Václav. Logistika: teorie a praxe. Vyd. 1. Brno: CP Books 2005, 315 s. Praxe manažera (CP Books). ISBN 80-251-0573-3.
- [25] SVOBODA, Vladimír. Doprava jako součást logistických procesů. Praha: Radix 2006. 152 s. ISBN 80-86031-68-3.
- [26] ŠIROKÝ, Jaromír. Technologie dopravy. Třetí upravené vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016. ISBN 978-80-7560-017-2
- [27] ŠTŮSEK, Jaromír. Řízení provozu v logistických řetězcích. Vyd. 1. Praha: C. H. Beck, 2007, xi, 227 s. C. H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.
- [28] ŠUBRT, Tomáš. Ekonomicko-matematické metody. 3. upravené a rozšířené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2019. ISBN 978-80-7380-762-7.
- [29] Was ist Grüne Logistik? Definitionen & Erklärungen | Saloodo!. Saloodo! Your Digital Freight Platform [online]. Copyright © 2020 All rights reserved [cit. 29.01.2023]. Dostupné z: <https://www.saloodo.com/de/logistik-lexikon/gruene-logistik/>
- [30] Wasserstraße – BDB. BDB – Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. [online]. Copyright © 2023 Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. [cit. 06.02.2023]. Dostupné z: <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/>
- [31] Wasserstraße – BDB. BDB – Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. [online]. Copyright © 2023 Bundesverband der

Deutschen Binnenschiffahrt e.V. [cit. 06.02.2023].

Dostupné z: <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/wasserstrasse/>



## 8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Aplikace simplexové metody na model LP.....	24
Obrázek 2 Schéma jednostupňové dopravní úlohy.....	27
Obrázek 3 Schéma převodu DDÚ na JDÚ .....	28
Obrázek 4 Pentlogram sčítání dopravy 2020.....	32
Obrázek 5 Hustota železničních sítí v Evropě v přepočtu na 1000 km <sup>2</sup> .....	34
Obrázek 6 Tranzitní železniční koridory ČR.....	35
Obrázek 7 Tuzemské vodní cesty .....	39
Obrázek 8 Základní rozmístění LC s rozlohou > 35 000 m <sup>2</sup> v ČR .....	41
Obrázek 9 Průměrný denní objem dopravy v Německu.....	42
Obrázek 10 Největších železničních tratě v Německu .....	44
Obrázek 11 Vodní infrastruktura v Německu.....	46
Obrázek 12 Logistická síť Amazonu v Německu.....	48
Obrázek 13 Logistická centra zahrnutá v logistické síti .....	54
Obrázek 14 Překladová nádraží zahrnutá v logistické síti.....	56
Obrázek 15 Odběratelé v logistické síti.....	57
Obrázek 16 Dodavatelé v logistické síti .....	58
Obrázek 17 Nastavení doplňku "Řešitel" v programu Excel.....	64
Obrázek 18 Omezující podmínky v doplňku "Řešitel" .....	65
Obrázek 19 Výsledek dílčího modelu na minimalizaci nákladů po dosazení z agregované funkce – Xpress-Ive .....	87
Obrázek 20 Výsledek dílčího modelu na minimalizaci produkce CO <sub>2</sub> po dosazení z agregované funkce – Xpress-Ive.....	87

### 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Množství přepravovaného zboží v Německu a v ČR .....	50
Tabulka 2 Seznam LC s rozlohou větší než 35 000 m <sup>2</sup> v ČR.....	53
Tabulka 3 Překladová nádraží v ČR .....	55

Tabulka 4 Hutě a elektrárny v ČR .....	57
Tabulka 5 Dodavatelé v logistické síti .....	58
Tabulka 6 Výchozí data pro DDÚ – Ústecko .....	63
Tabulka 7 Výsledek DDÚ .....	66
Tabulka 8 Výsledek dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci nákladů .....	85
Tabulka 9 Výsledek dílčího optimalizačního modelu na minimalizaci produkce CO <sub>2</sub> .....	86
Tabulka 10 Výsledek modelu agregovaných kritériálních funkcí .....	86

### 8.3 Seznam grafů

Graf 1 Rozložení nákladní dopravy při přepravě zboží v Německu v roce 2021 .....	49
Graf 2 Rozložení nákladní dopravy při přepravě zboží v ČR v roce 2021 .....	49

### 8.4 Seznam použitých zkratk

LC – logistické centrum

DDÚ – dvoustupňová dopravní úloha

JDÚ – jednostupňová dopravní úloha

## Přílohy

1) Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci nákladů po dosažení výsledků z agregovaného modelu

```
model DP_celkove_naklady_realna_sit  
uses "mmaxprs";
```

```
declarations
```

```
    m=4
```

```
    n=5
```

```
    o=8
```

```
    l=4
```

```
    nv=24
```

```
    lnv=38.81
```

```
    lv=12.18
```

```
    a:array(1..m) of real
```

```
    e:array(1..m) of real
```

```
    c:array(1..o) of real
```

```
    f:array(1..o) of real
```

```
    dnvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
    dvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
    dnvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
    dvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
    b:array(1..n) of real
```

```
    g:array(1..n) of real
```

```
    v:array(1..l) of real
```

```
    xA:array(1..m,1..o) of mpvar
```

```
    yA:array(1..m,1..o) of mpvar
```

```
    zA:array(1..m,1..o,1..l) of mpvar
```

```
    ch:array(1..o) of mpvar
```

```
    xB:array(1..o,1..n) of mpvar
```

```
    yB:array(1..o,1..n) of mpvar
```

```
    zB:array(1..o,1..n,1..l) of mpvar
```

```
end-declarations
```

*a*::[24660,37000,8220,20550]  
*e*::[30,30,30,30]  
*c*::[138339,78319,91886,106293,78782,6512,7927,56626]  
*f*::[35,40,36,37,38,39,38,40]  
*b*::[2140,9865,14400,7800,13015]  
*g*::[30,30,30,30,30]  
*v*::[325,650,975,1625]  
*dnvA*::[40,33,34,40,107,40,42,27,  
 26,7,75,82,137,70,71,68,  
 42,35,38,41,111,56,60,55,  
 21,4,71,76,124,58,59,51]

*dvA*::[100000,100000,100000,100000,100000,34,36,68,  
 100000,100000,100000,100000,100000,76,78,87,  
 100000,100000,100000,100000,100000,57,59,78,  
 100000,100000,100000,100000,100000,68,70,88]

*dnvB*::[32,39,18,34,36,  
 18,39,32,16,18,  
 47,24,45,83,85,  
 62,39,60,89,91,  
 118,96,116,145,143,  
 51,29,50,79,81,  
 54,31,52,81,83,  
 51,45,41,83,81]

*dvB*::[100000,100000,100000,100000,100000,  
 100000,100000,100000,100000,100000,  
 100000,100000,100000,100000,100000,  
 100000,100000,100000,100000,100000,  
 59,32,59,93,95,  
 57,33,61,92,96,  
 57,55,41,87,91]

*forall*(*i* in 1..*m*,*j* in 1..*o*) *x*A(*i*,*j*) is\_integer  
*forall*(*i* in 1..*m*,*j* in 1..*o*) *y*A(*i*,*j*) is\_integer

*forall(i in 1..m,j in 1..o,k in 1..l) zA(i,j,k) is\_integer*

*forall(i in 1..o,j in 1..n) xB(i,j) is\_integer*

*forall(i in 1..o,j in 1..n) yB(i,j) is\_integer*

*forall(i in 1..o,j in 1..n,k in 1..l) zB(i,j,k) is\_integer*

*xA(1,6)=4875*

*xA(1,7)=4875*

*xA(2,2)=16920*

*xA(4,2)=20550*

*yA(2,2)=705*

*yA(4,2)=857*

*zA(1,6,1)=15*

*zA(1,6,2)=8*

*zA(1,6,3)=5*

*zA(1,6,4)=3*

*zA(1,7,1)=15*

*zA(1,7,2)=8*

*zA(1,7,3)=5*

*zA(1,7,4)=3*

*xB(2,1)=2140*

*xB(2,2)=115*

*xB(2,3)=14400*

*xB(2,4)=7800*

*xB(2,5)=13015*

*xB(6,2)=4875*

*xB(7,2)=4875*

*yB(2,1)=90*

*yB(2,2)=5*

*yB(2,3)=600*

*yB(2,4)=325*

*yB(2,5)=543*

*zB(6,2,1)=15*

*zB(6,2,2)=8*

*zB(6,2,3)=5*

*zB(6,2,4)=3*

*zB(7,2,1)=15*

*zB(7,2,2)=8*

```

zB(7,2,3)=5
zB(7,2,4)=3
ch(2)=37470
ch(6)=4875
ch(7)=4875
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)<=c(j)
forall(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)<=a(i)
forall(i in 1..m, j in 1..o, k in 1..l)xA(i,j)<=nv*yA(i,j)+v(k)*zA(i,j,k)
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)=ch(j)

forall(j in 1..n)sum(i in 1..o)xB(i,j)=b(j)
forall(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)=ch(i)
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l)xB(i,j)<=nv*yB(i,j)+v(k)*zB(i,j,k)
soucet:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv*yA(i,j)*dnvA(i,j)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv*yB(i,j)*dnvB(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)

celkove_naklady:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)dnvA(i,j)*yA(i,j)*lnv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in 1..l)dvA(i,j)*zA(i,j,k)*lv+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)*e(i)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)*f(j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)dnvB(i,j)*yB(i,j)*lnv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)dvB(i,j)*zB(i,j,k)*lv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)*f(i)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)*g(j)
minimize(celkove_naklady)

writeln("Minimalni naklady jsou: ",getobjval," Kc")
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(xA(i,j))>0)writeln("xA(",i,",",j,")=",getsol(xA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(yA(i,j))>0)writeln("yA(",i,",",j,")=",getsol(yA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o,k in 1..l|getsol(zA(i,j,k))>0)writeln("zA(",i,",",j,",",k,")=",getsol(zA(i,j,k)))

forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(xB(i,j))>0)writeln("xB(",i,",",j,")=",getsol(xB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(yB(i,j))>0)writeln("yB(",i,",",j,")=",getsol(yB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l|getsol(zB(i,j,k))>0)writeln("zB(",i,",",j,",",k,")=",getsol(zB(i,j,k)))
forall(i in 1..o|getsol(ch(i))>0)writeln("ch(",i,")=",getsol(ch(i)))
writeln("Celkovy pocet ujetych km je: ",getsol(soucet))

end-model

```

2) Zdrojový kód dílčího modelu na minimalizaci produkce CO<sub>2</sub> po dosažení výsledků z agregovaného modelu

```
model DP_produkce_CO2
```

```
uses "mmxprs";
```

```
declarations
```

```
m=4
```

```
n=5
```

```
o=8
```

```
l=4
```

```
nv=24
```

```
conv=111
```

```
cov=17.5
```

```
a:array(1..m) of real
```

```
c:array(1..o) of real
```

```
dnvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
dvA:array(1..m,1..o) of real
```

```
dnvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
dvB:array(1..o,1..n) of real
```

```
b:array(1..n) of real
```

```
v:array(1..l) of real
```

```
xA:array(1..m,1..o) of mpvar
```

```
yA:array(1..m,1..o) of mpvar
```

```
zA:array(1..m,1..o,1..l) of mpvar
```

```
ch:array(1..o) of mpvar
```

```
xB:array(1..o,1..n) of mpvar
```

```
yB:array(1..o,1..n) of mpvar
```

```
zB:array(1..o,1..n,1..l) of mpvar
```

```
a::[24660,37000,8220,20550]
```

```
c::[138339,78319,91886,106293,78782,6512,7927,56626]
```

```
b::[2140,9865,14400,7800,13015]
```

```
v::[325,650,975,1625]
```

```
dnvA::[40,33,34,40,107,40,42,27,
```

26,7,75,82,137,70,71,68,  
42,35,38,41,111,56,60,55,  
21,4,71,76,124,58,59,51]

dvA::[100000,100000,100000,100000,100000,34,36,68,  
100000,100000,100000,100000,100000,76,78,87,  
100000,100000,100000,100000,100000,57,59,78,  
100000,100000,100000,100000,100000,68,70,88]

dnvB::[32,39,18,34,36,  
18,39,32,16,18,  
47,24,45,83,85,  
62,39,60,89,91,  
118,96,116,145,143,  
51,29,50,79,81,  
54,31,52,81,83,  
51,45,41,83,81]

dvB::[100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
100000,100000,100000,100000,100000,  
59,32,59,93,95,  
57,33,61,92,96,  
57,55,41,87,91]

*forall(i in 1..m,j in 1..o) xA(i,j) is\_integer*  
*forall(i in 1..m,j in 1..o) yA(i,j) is\_integer*  
*forall(i in 1..m,j in 1..o,k in 1..l) zA(i,j,k) is\_integer*

*xA(1,6)=4875*  
*xA(1,7)=4875*  
*xA(2,2)=16920*  
*xA(4,2)=20550*  
*yA(2,2)=705*  
*yA(4,2)=857*  
*zA(1,6,1)=15*



$zA(1,6,2)=8$   
 $zA(1,6,3)=5$   
 $zA(1,6,4)=3$   
 $zA(1,7,1)=15$   
 $zA(1,7,2)=8$   
 $zA(1,7,3)=5$   
 $zA(1,7,4)=3$   
 $xB(2,1)=2140$   
 $xB(2,2)=115$   
 $xB(2,3)=14400$   
 $xB(2,4)=7800$   
 $xB(2,5)=13015$   
 $xB(6,2)=4875$   
 $xB(7,2)=4875$   
 $yB(2,1)=90$   
 $yB(2,2)=5$   
 $yB(2,3)=600$   
 $yB(2,4)=325$   
 $yB(2,5)=543$   
 $zB(6,2,1)=15$   
 $zB(6,2,2)=8$   
 $zB(6,2,3)=5$   
 $zB(6,2,4)=3$   
 $zB(7,2,1)=15$   
 $zB(7,2,2)=8$   
 $zB(7,2,3)=5$   
 $zB(7,2,4)=3$   
 $ch(2)=37470$   
 $ch(6)=4875$   
 $ch(7)=4875$

*forall*( $i$  in  $1..o$ ,  $j$  in  $1..n$ )  $xB(i,j)$  is\_integer  
*forall*( $i$  in  $1..o$ ,  $j$  in  $1..n$ )  $yB(i,j)$  is\_integer  
*forall*( $i$  in  $1..o$ ,  $j$  in  $1..n$ ,  $k$  in  $1..l$ )  $zB(i,j,k)$  is\_integer

*forall*( $j$  in  $1..o$ )  $sum(i$  in  $1..m$ )  $xA(i,j) \leq c(j)$

```

forall(i in 1..m)sum(j in 1..o)xA(i,j)<=a(i)
forall(i in 1..m, j in 1..o, k in 1..l)xA(i,j)<=nv*yA(i,j)+v(k)*zA(i,j,k)
forall(j in 1..o)sum(i in 1..m)xA(i,j)=ch(j)
forall(j in 1..n)sum(i in 1..o)xB(i,j)=b(j)
forall(i in 1..o)sum(j in 1..n)xB(i,j)=ch(i)
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l)xB(i,j)<=nv*yB(i,j)+v(k)*zB(i,j,k)
soucet:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv*yA(i,j)*dvnA(i,j)+sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)sum(k in
1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)nv*yB(i,j)*dvnB(i,j)+sum(i in 1..o)sum(j in
1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)

celkova_produkce:=sum(i in 1..m)sum(j in 1..o)nv*yA(i,j)*dvnA(i,j)*conv+sum(i in 1..m)sum(j in
1..o)sum(k in 1..l)v(k)*zA(i,j,k)*dvA(i,j)*cov+sum(i in 1..o)sum(j in
1..n)nv*yB(i,j)*dvnB(i,j)*conv+sum(i in 1..o)sum(j in 1..n)sum(k in 1..l)v(k)*zB(i,j,k)*dvB(i,j)*cov
minimize(celkova_produkce)

writeln("Minimalni produkce CO2 je: ",getobjval," jednotek")
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(xA(i,j))>0)writeln("xA(",i," ",j,")=",getsol (xA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o|getsol(yA(i,j))>0)writeln("yA(",i," ",j,")=",getsol (yA(i,j)))
forall(i in 1..m, j in 1..o,k in 1..l|getsol(zA(i,j,k))>0)writeln("zA(",i," ",j," ",k,")=",getsol (zA(i,j,k)))

forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(xB(i,j))>0)writeln("xB(",i," ",j,")=",getsol (xB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n|getsol(yB(i,j))>0)writeln("yB(",i," ",j,")=",getsol (yB(i,j)))
forall(i in 1..o, j in 1..n,k in 1..l|getsol(zB(i,j,k))>0)writeln("zB(",i," ",j," ",k,")=",getsol (zB(i,j,k)))
forall(i in 1..o|getsol(ch(i))>0)writeln("ch(",i,")=",getsol (ch(i)))
writeln("Celkovy pocet ujetych km je: ",getsol (soucet))

end-model

```

3) Textové výsledky modelu na minimalizaci nákladů před zadáním výsledku agregované funkce

Minimalni naklady jsou: 7 033 366.38 Kc

$x_A(1,6)=6488$	$x_B(2,5)=24$
$x_A(1,7)=7927$	$x_B(6,2)=3238$
$x_A(1,8)=9706$	$x_B(6,5)=3250$
$x_A(2,8)=15275$	$x_B(7,1)=1300$
$x_A(3,8)=7800$	$x_B(7,2)=6627$
$x_A(4,2)=24$	$x_B(8,1)=840$
$y_A(4,2)=1$	$x_B(8,3)=14400$
$z_A(1,6,1)=20$	$x_B(8,4)=7800$
$z_A(1,6,2)=10$	$x_B(8,5)=9741$
$z_A(1,6,3)=7$	$y_B(2,5)=1$
$z_A(1,6,4)=4$	$z_B(6,2,1)=10$
$z_A(1,7,1)=25$	$z_B(6,2,2)=5$
$z_A(1,7,2)=13$	$z_B(6,2,3)=4$
$z_A(1,7,3)=9$	$z_B(6,2,4)=2$
$z_A(1,7,4)=5$	$z_B(6,5,1)=10$
$z_A(1,8,1)=30$	$z_B(6,5,2)=5$
$z_A(1,8,2)=15$	$z_B(6,5,3)=4$
$z_A(1,8,3)=10$	$z_B(6,5,4)=2$
$z_A(1,8,4)=6$	$z_B(7,1,1)=4$
$z_A(2,8,1)=47$	$z_B(7,1,2)=2$
$z_A(2,8,2)=24$	$z_B(7,1,3)=2$
$z_A(2,8,3)=16$	$z_B(7,1,4)=1$
$z_A(2,8,4)=10$	$z_B(7,2,1)=21$
$z_A(3,8,1)=24$	$z_B(7,2,2)=11$
$z_A(3,8,2)=12$	$z_B(7,2,3)=7$
$z_A(3,8,3)=8$	$z_B(7,2,4)=5$
$z_A(3,8,4)=5$	$z_B(8,1,1)=3$

$$zB(8,1,2)=2$$

$$zB(8,1,3)=1$$

$$zB(8,1,4)=1$$

$$zB(8,3,1)=45$$

$$zB(8,3,2)=23$$

$$zB(8,3,3)=15$$

$$zB(8,3,4)=9$$

$$zB(8,4,1)=24$$

$$zB(8,4,2)=12$$

$$zB(8,4,3)=8$$

$$zB(8,4,4)=5$$

$$zB(8,5,1)=30$$

$$zB(8,5,2)=15$$

$$zB(8,5,3)=10$$

$$zB(8,5,4)=6$$

$$ch(2)=24$$

$$ch(6)=6488$$

$$ch(7)=7927$$

$$ch(8)=32781$$

4) Textové výsledky modelu na minimalizace produkce CO<sub>2</sub> před zadáním výsledku agregované funkce

Minimalni produkce CO2 je: 164990290.5 jednotek

$x_A(1,6)=4875$	$z_B(6,2,2)=8$
$x_A(1,7)=4875$	
$x_A(2,2)=16920$	$z_B(6,2,3)=5$
$x_A(4,2)=20550$	$z_B(6,2,4)=3$
$y_A(2,2)=705$	$z_B(7,2,1)=15$
$y_A(4,2)=857$	$z_B(7,2,2)=8$
$z_A(1,6,1)=15$	$z_B(7,2,3)=5$
$z_A(1,6,2)=8$	$z_B(7,2,4)=3$
$z_A(1,6,3)=5$	$ch(2)=37470$
$z_A(1,6,4)=3$	$ch(6)=4875$
$z_A(1,7,1)=15$	$ch(7)=4875$
$z_A(1,7,2)=8$	
$z_A(1,7,3)=5$	
$z_A(1,7,4)=3$	
$x_B(2,1)=2140$	
$x_B(2,2)=115$	
$x_B(2,3)=14400$	
$x_B(2,4)=7800$	
$x_B(2,5)=13015$	
$x_B(6,2)=4875$	
$x_B(7,2)=4875$	
$y_B(2,1)=90$	
$y_B(2,2)=5$	
$y_B(2,3)=600$	
$y_B(2,4)=325$	
$y_B(2,5)=543$	
$z_B(6,2,1)=15$	

5) Textové výsledky agregovaného modelu

Hodnota agregovane funkce je: -116462987.

$$x_A(1,6)=4875$$

$$x_A(1,7)=4875$$

$$x_A(2,2)=16920$$

$$x_A(4,2)=20550$$

$$y_A(2,2)=705$$

$$y_A(4,2)=857$$

$$z_A(1,6,1)=15$$

$$z_A(1,6,2)=8$$

$$z_A(1,6,3)=5$$

$$z_A(1,6,4)=3$$

$$z_A(1,7,1)=15$$

$$z_A(1,7,2)=8$$

$$z_A(1,7,3)=5$$

$$z_A(1,7,4)=3$$

$$x_B(2,1)=2140$$

$$x_B(2,2)=115$$

$$x_B(2,3)=14400$$

$$x_B(2,4)=7800$$

$$x_B(2,5)=13015$$

$$x_B(6,2)=4875$$

$$x_B(7,2)=4875$$

$$y_B(2,1)=90$$

$$y_B(2,2)=5$$

$$y_B(2,3)=600$$

$$y_B(2,4)=325$$

$$y_B(2,5)=543$$

$$z_B(6,2,1)=15$$

$$z_B(6,2,2)=8$$

$$z_B(6,2,3)=5$$

$$z_B(6,2,4)=3$$

$$z_B(7,2,1)=15$$

$$z_B(7,2,2)=8$$

$$z_B(7,2,3)=5$$

$$z_B(7,2,4)=3$$

$$ch(2)=37470$$

$$ch(6)=4875$$

$$ch(7)=4875$$

6) Textové výsledky modelu na minimalizaci nákladů po zadání výsledků agregované funkce

Minimalni naklady jsou: 8353824.42 Kc

$x_A(1,6)=4875$	$x_B(6,2)=4875$
$x_A(1,7)=4875$	$x_B(7,2)=4875$
$x_A(2,2)=16920$	$y_B(2,1)=90$
$x_A(4,2)=20550$	$y_B(2,2)=5$
$y_A(2,2)=705$	$y_B(2,3)=600$
$y_A(4,2)=857$	$y_B(2,4)=325$
$z_A(1,6,1)=15$	$y_B(2,5)=543$
$z_A(1,6,2)=8$	$z_B(6,2,1)=15$
$z_A(1,6,3)=5$	$z_B(6,2,2)=8$
$z_A(1,6,4)=3$	$z_B(6,2,3)=5$
$z_A(1,7,1)=15$	$z_B(6,2,4)=3$
$z_A(1,7,2)=8$	$z_B(7,2,1)=15$
$z_A(1,7,3)=5$	$z_B(7,2,2)=8$
$z_A(1,7,4)=3$	$z_B(7,2,3)=5$
$x_B(2,1)=2140$	$z_B(7,2,4)=3$
$x_B(2,2)=115$	$ch(2)=37470$
$x_B(2,3)=14400$	$ch(6)=4875$
$x_B(2,4)=7800$	$ch(7)=4875$
$x_B(2,5)=13015$	

Celkovy pocet ujetych km je: 3740823

7) Textové výsledky modelu na minimalizaci produkce CO<sub>2</sub> po zadání výsledků agregované funkce

Minimalni produkce CO2 je: 164990290.5 jednotek

$x_A(1,6)=4875$	$x_B(6,2)=4875$
$x_A(1,7)=4875$	$x_B(7,2)=4875$
$x_A(2,2)=16920$	$y_B(2,1)=90$
$x_A(4,2)=20550$	$y_B(2,2)=5$
$y_A(2,2)=705$	$y_B(2,3)=600$
$y_A(4,2)=857$	$y_B(2,4)=325$
$z_A(1,6,1)=15$	$y_B(2,5)=543$
$z_A(1,6,2)=8$	$z_B(6,2,1)=15$
$z_A(1,6,3)=5$	$z_B(6,2,2)=8$
$z_A(1,6,4)=3$	$z_B(6,2,3)=5$
$z_A(1,7,1)=15$	$z_B(6,2,4)=3$
$z_A(1,7,2)=8$	$z_B(7,2,1)=15$
$z_A(1,7,3)=5$	$z_B(7,2,2)=8$
$z_A(1,7,4)=3$	$z_B(7,2,3)=5$
$x_B(2,1)=2140$	$z_B(7,2,4)=3$
$x_B(2,2)=115$	$ch(2)=37470$
$x_B(2,3)=14400$	$ch(6)=4875$
$x_B(2,4)=7800$	$ch(7)=4875$
$x_B(2,5)=13015$	

Celkovy pocet ujetych km je: 3740823



8) Tabulka zachycující vzdálenosti [km] po silnici mezi dodavateli a mezisklady v celé logistické síti

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
M1	291	358	223	236	201	266	273	268	267	317	205
M2	469	429	402	414	131	124	125	126	122	166	384
M3	526	486	458	472	93	41	70	58	58	140	442
M4	113	96	45	57	57	442	480	482	476	527	28
M5	588	548	520	534	536	189	120	190	117	103	504
M6	237	160	148	162	433	410	408	411	405	455	126
M7	525	488	460	474	95	39	71	60	59	141	446
M8	485	425	398	412	115	93	98	94	92	154	382
M9	503	462	435	449	96	50	65	50	49	135	418
M10	468	508	465	494	70	64	93	70	82	162	465
M11	192	152	124	138	302	392	391	381	388	438	108
M12	124	77	56	68	68	444	481	451	478	529	27
M13	501	463	437	451	98	49	68	55	51	136	416
M14	434	393	366	380	382	112	117	108	106	175	349
M15	574	534	506	520	235	175	172	170	165	125	490
M16	537	494	467	483	199	137	136	141	142	160	452
M17	494	453	426	440	156	96	94	100	78	141	410
M18	463	423	395	409	144	88	93	84	81	149	379
M19	453	412	385	399	399	97	102	101	98	158	368
M20	134	94	65	78	79	424	461	428	450	508	60
M21	107	76	39	52	382	447	485	451	476	531	29
M22	344	303	275	291	149	214	219	216	204	273	258
M23	277	236	208	224	335	311	309	314	299	356	202
M24	290	249	221	237	346	323	321	319	310	368	215
M25	330	289	262	278	386	363	361	359	358	408	255
M26	180	139	112	150	308	372	410	376	401	457	95
M27	136	96	67	80	81	426	463	421	453	510	61
M28	489	448	420	436	436	252	250	248	241	249	404
M29	490	450	422	434	438	254	253	251	238	250	405
M30	650	613	586	602	602	129	95	131	86	33	569
M31	520	480	453	472	186	125	123	128	118	172	440
M32	618	577	550	566	207	74	41	76	37	32	533
M33	594	553	526	542	256	194	126	198	111	98	509
M34	567	527	499	516	144	40	26	42	21	91	484
M35	581	540	513	529	166	33	7	35	4	76	496
M36	512	490	463	504	98	34	75	38	71	144	447
M37	507	500	470	490	499	40	82	41	76	150	452
M38	422	446	419	413	413	107	137	111	124	206	426

9) Tabulka zachycující vzdálenosti [km] po silnici mezi mezisklady a spotřebiteli v celé logistické síti

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
M1	184	212	180	262	257	253	180	282	283	333	323	214	70	103	185	204
M2	363	390	358	110	105	108	59	139	140	182	172	62	100	96	365	383
M3	416	445	412	51	29	50	63	79	81	144	133	82	182	178	418	437
M4	10	58	5	435	428	454	383	486	488	529	518	409	241	274	12	25
M5	480	506	476	184	181	166	164	120	119	92	87	121	219	211	481	500
M6	131	118	136	408	407	390	361	421	420	460	453	343	216	263	108	130
M7	420	446	416	54	31	52	65	81	83	146	136	92	184	176	421	440
M8	375	402	379	86	80	76	11	105	107	157	147	47	140	132	377	396
M9	394	421	399	49	43	39	40	81	83	146	133	66	159	150	395	414
M10	444	470	440	78	56	77	56	105	103	171	160	109	208	200	445	464
M11	85	112	87	388	387	369	341	401	398	444	433	318	170	188	87	106
M12	15	43	14	477	433	458	387	490	488	533	523	405	246	264	13	37
M13	395	422	401	51	45	41	43	83	81	148	135	68	161	153	398	416
M14	326	352	324	107	100	97	55	126	124	169	159	48	90	82	327	346
M15	464	491	466	169	165	150	146	106	104	112	104	103	104	195	466	485
M16	426	452	424	130	127	112	107	143	141	148	130	66	165	161	427	446
M17	386	412	389	91	88	73	68	104	106	147	137	27	125	121	387	406
M18	354	380	350	83	76	73	30	102	105	153	143	37	119	111	356	375
M19	344	369	342	92	86	83	40	111	109	163	153	46	108	104	345	364
M20	26	53	28	420	413	439	367	470	472	513	503	393	226	259	24	46
M21	10	57	4	437	430	456	385	488	485	531	521	410	243	264	11	17
M22	234	260	237	210	204	200	158	229	225	280	270	160	13	25	236	213
M23	169	195	175	306	305	287	259	318	320	362	351	240	157	162	170	190
M24	182	208	180	319	318	300	272	332	335	375	365	255	170	175	183	202
M25	222	248	220	259	358	340	312	372	370	415	405	295	210	215	223	242
M26	72	98	76	406	357	387	360	418	420	463	451	345	170	203	73	92
M27	25	52	27	419	411	437	366	468	470	511	501	390	224	257	23	44
M28	383	408	385	247	244	229	198	262	260	241	235	185	218	171	384	403
M29	382	407	383	245	240	228	197	260	259	239	233	186	216	169	382	401
M30	545	571	547	180	135	127	181	81	84	23	43	152	278	270	547	565
M31	415	441	418	120	116	101	97	133	137	160	142	55	156	145	416	435
M32	510	536	512	60	81	72	140	30	33	36	26	115	246	234	511	530
M33	500	525	503	204	187	172	168	130	133	85	106	140	239	227	501	520
M34	460	492	463	32	39	18	86	34	36	96	86	61	192	180	461	480
M35	473	505	474	18	39	32	93	16	18	81	71	75	206	195	474	493
M36	422	454	426	47	24	45	67	83	85	148	138	87	187	175	423	442
M37	428	460	430	62	39	60	73	89	91	154	144	93	193	181	429	448
M38	403	438	408	118	96	116	84	145	143	210	200	121	168	167	399	423

10) Tabulka zachycující vzdálenosti [km] po železnici mezi dodavateli a mezisklady v celé logistické síti

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
M1	283	348	225	240	205	241	258	258	271	30	210
M2	461	425	398	418	140	128	125	131	115	181	392
M3	520	479	461	480	98	34	76	57	68	154	451
M4	88	101	41	61	55	450	480	490	483	531	30
M5	565	550	523	548	538	193	120	186	120	108	510
M6	220	163	156	170	438	420	408	414	410	461	135
M7	520	493	457	481	101	36	78	59	70	148	450
M8	456	428	400	415	112	95	98	98	96	164	390
M9	528	459	421	453	93	68	87	78	88	141	415
M10	543	511	471	501	75	68	93	67	87	173	470
M11	175	154	128	141	298	397	391	386	398	450	110
M12	105	75	55	72	70	450	481	461	486	531	31
M13	528	467	440	459	101	68	87	78	88	138	420
M14											
M15											
M16											
M17											
M18											
M19											
M20	122	97	67	83	81	431	470	435	467	511	68
M21	111	85	41	55	60	449	493	462	480	543	36
M22											
M23											
M24											
M25											
M26											
M27											
M28											
M29											
M30											
M31											
M32											
M33											
M34											
M35											
M36											
M37											
M38											

11) Tabulka zachycující vzdálenosti [km] po železnici mezi mezisklady a spotřebiteli v celé logistické síti

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
M1	191	220	187	271	263	260	187	275	279	341	336	221	74	108	197	213
M2	381	399	361	112	108	114	67	148	146	190	185	63	98	101	374	389
M3	421	453	418	56	34	58	69	84	87	151	138	87	189	186	425	443
M4	15	63	7	441	432	461	390	489	492	536	521	413	251	284	16	31
M5	491	510	470	189	173	169	174	118	123	96	91	123	214	213	492	506
M6	135	125	147	410	416	397	374	426	428	476	442	348	219	257	112	135
M7	421	453	418	56	34	58	69	84	87	151	138	87	189	186	425	443
M8	384	410	383	91	86	81	13	114	119	167	153	52	136	138	386	401
M9	401	431	402	53	49	40	45	87	86	151	196	69	164	152	403	421
M10	451	476	450	81	53	72	59	111	108	186	167	115	209	213	451	469
M11	89	124	91	394	392	351	330	415	403	451	440	326	162	178	89	106
M12	26	50	16	481	446	462	394	498	496	540	531	406	247	268	15	39
M13	401	431	402	53	49	40	45	87	86	151	196	69	164	152	403	421
M14																
M15																
M16																
M17																
M18																
M19																
M20	31	56	26	428	419	450	367	474	480	521	521	408	234	267	29	36
M21	18	51	12	437	428	461	381	483	486	533	518	412	241	265	17	20
M22																
M23																
M24																
M25																
M26																
M27																
M28																
M29																
M30																
M31																
M32																
M33																
M34																
M35																
M36																
M37																
M38																

12) Tabulka zachycující informace o logistických centrech zahrnutých v logistické síti

Identifikace uzlu	Název	Umístění	Módy dopravy	Rozloha [m2]	Volné Misto [m2]	Datum dokončení stavby
M14	CZPROPERTY_Logistic	Praha - Horní Počernice	S	407 031	1732	
M15	Prologis Park Plzeň - Štěp	Štěnovice	S	59 000	0	
M16	CTPark Cerhovice	Cerhovice	S	40 000	20954	leden 24
M17	Prologis Park Praha	Rudná	S	163 000	11644	
M18	Prologis Park Praha	Úžice	S	97 500	0	
M19	P3 park Prague D8	Zdíby	S	146 340	301	
M20	Multimodal Logistics Cer	Mošnov	S-Ž	234 000	97421	leden 24
M21	GLP Park Ostrava Hrušc	Ostrava	S-Ž	92 000	74500	duben 23
M22	Skladové a výrobní prost	Pardubice	S	48 800	48800	leden 24
M23	CT Park Brno	Brno	S	104 665	1789	
M24	CT Park Blučina	Blučina	S	51 054	0	
M25	D2 Logistics Park	Břeclav	S	56 000	44280	březen 24
M26	CT Park Lipník nad Bečv	Lipník nad Bečvou	S	63 773	37478	leden 24
M27	Panattoni Park Ostrava	Mošnov	S	115 509	115509	červen 24
M28	VGP Park České Budějov	České Budějovice	S	119 082	48313	březen 24
M29	Garbe park České Budějov	České Budějovice	S	206 812	47634	leden 24
M30	Panattoni Park Cheb	Cheb	S	95 527	21000	
M31	Panattoni Park D5 Zdice	Zdice	S	59 263	49263	červenec 24
M32	Panattoni Park Ostrov N	Ostrov	S	121 000	102000	
M33	Přehýšov Logistic Park	Přehýšov	S	55 449	50449	září 23
M34	CT Park Žatec	Žatec	S	89 264	71819	leden 24
M35	Panattoni Parch Chomut	Chomutov	S	66 198	40659	květen 24
M36	Prostory pro skladování v	Dělouš	S	90 237	47703	leden 24
M37	Prostory pro skladování v	Velké Chvojno	S	147 783	55128	leden 24
M38	Panattoni Park Rumburk	Rumburk	S	50 900	40900	červenec 24