

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
PODNIKOVĽOHOSPODÁRSKA FAKULTA
SO SÍDLOM V KOŠICIACH**

Evidenčné číslo: 107005/I/2024/36122163738408452

**APLIKÁCIA VYBRANEJ KVANTITATÍVNEJ
METÓDY V LOGISTIKE PODNIKU**

Diplomová práca

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
PODNIKOVĽOHOSPODÁRSKA FAKULTA
SO SÍDLOM V KOŠICIACH**

**APLIKÁCIA VYBRANEJ KVANTITATÍVNEJ
METÓDY V LOGISTIKE PODNIKU**

Diplomová práca

Študijný program:	podnikový obchod a marketing
Študijný odbor:	ekonómia a manažment
Školiace pracovisko:	Katedra obchodného podnikania
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Jozef Gajdoš, PhD.

Košice 2024

Bc. Matej Krmeský

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že záverečnú prácu som vypracoval(a) samostatne a že som uviedol (uviedla) všetku použitú literatúru.

Dátum: 11.02.2024

.....

(podpis študenta)

Podakovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Jozefovi Gajdošovi, PhD. za jeho cenné poznatky, rady a pripomienky, ktoré mi boli nápomocné pri tvorbe tejto práce.

ABSTRAKT

KRMESKÝ, Matej: Aplikácia vybranej kvantitatívnej metódy v logistike podniku – Ekonomická univerzita v Bratislave. Podnikovohospodárska fakulta so sídlom v Košiciach; Katedra obchodného podnikania. – Vedúci záverečnej práce: Ing. Jozef Gajdoš, PhD.. – Košice: PHF EU, 2024, počet strán 66.

Cieľom záverečnej práce je: Pomocou kvantitatívnych metód navrhnúť postup pre zlepšenie procesov súvisiacich s logistikou vybraného podniku. Práca je rozdelená do piatich kapitol. Obsahuje 24 obrázkov, 7 tabuliek a 2 príloh. Prvá kapitola je venovaná: významu logistiky ako v minulosti tak aj v súčasnosti. Následne rozoberá metódy aplikovateľné pri problémoch, ktorých riešením sa zaoberá.

V ďalšej časti sa charakterizuje: cieľ práce určený zadáním tejto inžinierskej práce. Metodika práce a metódy skúmania obsahujú v súčasnosti dostupné spôsoby riešenia vybraného problému.

Záverečná kapitola sa zaoberá: aplikáciou zvolených prostriedkov na riešený problém.

Výsledkom riešenia danej problematiky je: návrh opatrení vedúcich k finančným úsporám vybraného podniku.

Kľúčové slová:

Logistika, kvantitatívne metódy, špeditárske spoločnosti.

ABSTRACT V AJ

KRMESKÝ, Matej: Application of the selected quantitative method in a logistics company - University of Economics in Bratislava. Faculty of Business Administration based in Košice; Department of business entrepreneurship. – Supervisor of the final thesis: Ing. Jozef Gajdoš, PhD.. – Košice: PHF EU, 2024, number of pages 3.

The aim of the final thesis is: Using quantitative methods to propose a procedure for improving the processes related to the logistics of the selected company. The work is divided into 5 chapters. Contains 24 pictures, 7 tables and 2 appendices. The first chapter is dedicated to: the importance of logistics both in the past and in the present. Subsequently, it discusses the methods applicable to the problems whose solution it deals with

In the next part, it is characterized: the goal of the work determined by the assignment of this engineering work. The work methodology and research methods contain currently available ways of solving the selected problem.

The final chapter deals with: the application of the selected means to the solved problem.

The result of solving the given issue is: a proposal for measures leading to financial savings for the selected company.

Keywords:

Logistics, quantitative methods, forwarding companies.

OBSAH

Úvod	10
1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí.....	11
1.1 Logistika	11
1.2 Kvantitatívne metódy v logistike.....	15
1.3 Lineárne programovanie	17
1.4 Distribučné problémy	19
1.4.1 Dopravné úlohy.....	20
1.4.2 Prirad'ovacie problémy	22
1.4.3 Okružné problémy	23
2 Cieľ práce	26
3 Metodika práce a metódy skúmania	27
3.1 Použité aplikačné vybavenie.....	27
3.2 Finančné ukazovatele firmy.....	<i>Chyba! Záložka nie je definovaná.</i>
4 Výsledky práce	32
4.1 Súčasný stav	35
4.2 Prvá alternatíva.....	41
4.3 Druhá alternatíva	44
4.4 Tretia alternatíva.....	50
5 Diskusia.....	54
Záver	62
Bibliografické zdroje	64

Zoznam ilustrácií a zoznam tabuliek

Obrázok 1 Tržby spoločnosti	29
Obrázok 2 Zisk spoločnosti	30
Obrázok 3 Aktíva spoločnosti.....	30
Obrázok 4 Pasíva spoločnosti	31
Obrázok 5 Formulár pre jednokružný dopravný problém	33
Obrázok 6 Zdrojový kód so vstupnými údajmi	34
Obrázok 7 Príklad výstupu z OR-Tools.....	34
Obrázok 8 Grafické znázornenie súčasného stavu	37
Obrázok 9 Formulár 1. okruhu súčasného stavu.....	38
Obrázok 10 Formulár 2. okruhu súčasného stavu.....	39
Obrázok 11 Formulár 3. okruhu súčasného stavu.....	40
Obrázok 12 Formulár 4. okruhu súčasného stavu.....	41
Obrázok 13 Grafické znázornenie prvej alternatívy	42
Obrázok 14 Formulár 1. okruhu prvej alternatívy	43
Obrázok 15 Formulár 2. okruhu prvej alternatívy	43
Obrázok 16 Formulár 3. okruhu prvej alternatívy	44
Obrázok 17 Grafické znázornenie druhej alternatívy	46
Obrázok 18 Formulár 2. okruhu druhej alternatívy	47
Obrázok 19 Formulár 3. okruhu druhej alternatívy	48
Obrázok 20 Formulár 4. okruhu druhej alternatívy	48
Obrázok 21 Formulár 7. okruhu druhej alternatívy	49
Obrázok 22 Grafické znázornenie tretej alternatívy	51
Obrázok 23 Formulár 1. regiónu tretej alternatívy	52
Obrázok 24 Formulár 2. regiónu tretej alternatívy	53

Tabuľka 1 Matica vzdialeností medzi mestami Slovenska.....	35
Tabuľka 2 Porovnanie vypočítaných hodnôt.....	50
Tabuľka 3 Náklady pri spotrebe 20l/100km.....	56
Tabuľka 4 Náklady pri spotrebe 23l/100km.....	57
Tabuľka 5 Náklady pri spotrebe 27l/100km.....	58
Tabuľka 6 Kalkulácia nákladov tretej alternatívy.....	60
Tabuľka 7 Porovnanie súčasného stavu a všetkých alternatív.....	61

Úvod

Touto prácou budeme pomocou kvantitatívnych metód skúmať logistiku špedičnej firmy XYZ s.r.o. Zhodnotíme súčasný stav a navrhujeme alternatívy, ktorých aplikovanie povedie k úspore nákladov. Analýzu uskutočníme za pomoci nami navrhnutého programového kódu v súčinnosti s existujúcimi programovými prostriedkami.

Práca obsahuje päť na seba nadväzujúcich kapitol.

Prvá kapitola analyzuje kvantitatívne metódy využívané pri riešení logistických problémov. Jednotlivé podkapitoly sa venujú hlbšej analýze špecifických metód roztriedených podľa skúmanej problematiky.

Druhá kapitola sa bude venovať cieľom, ktorých dosiahnutie prispieva k posilneniu pozície firmy na trhu.

V tretej kapitole budeme analyzovať postupy, ktoré použijeme pri analýze skúmanej firmy. Zároveň si predstavíme skúmanú firmu a jej hlavné finančné ukazovatele.

V štvrtej kapitole aplikujeme nami vybrané postupy na súčasný stav a navrhujeme alternatívy. Predstavíme si ich z geografického hľadiska a za pomoci programových prostriedkov kvantifikujeme dosiahnuté výsledky.

Piata kapitola analyzuje výsledky štvrtej kapitoly, ktoré transformuje do finančnej podoby. Poukáže na výhody prípadne problémy súvisiace s aplikáciou alternatív. Nakoniec zhodnotí nami navrhnutý programový prostriedok z hľadiska jeho limitov a možností ďalšej úpravy.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

V súčasnej dobe, kedy konkurencia v podnikaní dosahuje nové úrovne, úspech spoločnosti je úzko spojený s dosahovaním zisku, ktorý je jej hlavným cieľom. Zvyšovanie ziskov je priamo spojené s rastom príjmov a súvisí s účinným riadením nákladov. Aj keď konkurenčný tlak môže obmedziť rast príjmov, snaha znížiť náklady na úroveň, ktorá neovplyvní kvalitu ponúkaných výrobkov a služieb, je nevyhnutná a často kľúčová pre dlhodobú udržateľnosť podniku.

Špedičné spoločnosti zaoberajúce sa prepravou tovarov využívajú logistiku a metódy späté s problémami ňou riešenými na znižovanie svojich nákladov. Tieto metódy sú predovšetkým zamerané na zníženie množstva kilometrov prejazdených dopravnými prostriedkami používaných za účelom prepravy tovarov, čo v konečnom dôsledku prináša úsporu finančných nákladov na pohonné hmoty, servisné úkony dopravných prostriedkov a pod. Časová náročnosť výpočtu pri jednotlivých metódach často závisí od počtu premenných, ktoré do nej vstupujú. V prípade špedičných spoločností, kde premenné zahŕňajú počet miest, ktoré dopravný prostriedok navštívi, je táto závislosť často polynomiálna, čo znamená, že časová náročnosť sa zvyšuje v závislosti od exponenciálneho nárastu týchto premenných. Moderná výpočtová technika umožňuje zvládnuť výrazne väčšie množstvo výpočtových úkonov ako to bolo v minulosti, avšak aj tu existujú limity. Výpočet musí byť zvládnuteľný bežnými výpočtovými prostriedkami, nakoľko sa často jedná výpočet, ktorého vstupné údaje sa v čase môžu meniť.

Je k dispozícii niekoľko aplikácií zaoberajúcich sa takýmito výpočtami. Mnohé z nich spadajú do sféry komerčných produktov a ich cena sa môže líšiť v závislosti od kvality výpočtu. Existujú aj voľne šíriteľne aplikácie, ktoré zvyčajne riešia iba samotný výpočet. Takýmto príkladom je aj OR-Tools od spoločnosti Google, ktorý využijeme v tejto práci.

1.1 Logistika

Logistika je dôležitým odvetvím, ktoré sa zaoberá riadením toku materiálu, tovaru, informácií a služieb od miesta výroby alebo počiatočného bodu k miestu spotreby alebo konečnému zákazníkovi. Je zásadná pre úspešné fungovanie mnohých odvetví, od výroby až po maloobchod a e-commerce. Efektívna logistika má kľúčový vplyv

na konkurencieschopnosť spoločností a môže pomôcť dosiahnuť nižšie náklady, lepšiu kvalitu a vyššiu spokojnosť zákazníkov. Správne navrhnutý a vykonávaný logistický proces môže pomôcť firmám dosiahnuť konkurenčnú výhodu a zvýšiť efektivitu svojich operácií. Logistika je komplexná a dynamická oblasť, ktorá sa vyvíja s ohľadom na rôzne faktory, vrátane technologických inovácií, zmien v spotrebiteľských preferenciách a globálnych trendov. (Jacobs a kol. 2017)

História logistiky siaha do ďalekej minulosti, kedy ľudia začali rozvíjať systémy na organizáciu a riadenie pohybu tovarov a zdrojov. Hoci pôvodne logistika nebola formálne definovaná ako samostatný obor, jej princípy sa postupne vyvinuli a stali sa neoddeliteľnou súčasťou obchodu a hospodárstva. Staroveké civilizácie, ako napríklad Egypt, Grécko a Rím, vyvinuli systémy na správu zásob, organizáciu dopravy a distribúciu tovarov. Príklady zahŕňali stavbu obchodných ciest, kanálov a systémov skladovania. V stredoveku sa logistika stala dôležitou súčasťou obchodu a hospodárstva, najmä počas obdobia obchodných ciest a výmeny tovarov medzi Európou, Áziou a Afrikou. Organizácia dopravy, skladovanie a obchodné vzťahy sa stali kľúčovými aspektmi obchodu. Rím zaviedol pokročilé systémy zásobovania a dopravy na podporu svojho impéria. Budovanie ciest, logistika armády a organizácia zásobovania mali kľúčový význam pre udržanie rímskej moci. S príchodom priemyselnej revolúcie v 18. a 19. storočí sa logistika stala ešte dôležitejšou. Výrobné procesy, ako aj distribúcia a doprava tovarov, začali vyžadovať lepšiu organizáciu a riadenie. V 20. storočí sa logistika stala formálnym oborom a začali sa rozvíjať moderné princípy riadenia zásob, logistických operácií a dodávateľských reťazcov. Vznikla potreba efektívnejšieho riadenia zásob, rýchlejšej dopravy a lepšieho plánovania distribúcie. (Jacobs a kol. 2017)

Logistika zahŕňa nasledujúce kľúčové aspekty: (Jacobs a kol. 2017)

- **Distribúcia a doručovanie:** Logistika sa zaoberá distribúciou tovaru zo skladu do obchodov, predajní alebo priamo k zákazníkovi. To zahŕňa plánovanie optimálnej trasy a metód doručovania, aby boli náklady čo najnižšie a doručenie čo najrýchlejšie.
- **Doprava a preprava:** Logistika zahŕňa aj výber správnych dopravných prostriedkov a dopravcov, aby sa tovar dostal na miesto určenia. To môže zahŕňať cestnú, železničnú, leteckú alebo námornú prepravu, v závislosti od povahy tovaru a vzdialenosti.

- **Skladovanie a správa zásob:** Sklady sú centrálnym bodom pre logistiku. Logistickí sa snažia minimalizovať skladové náklady a zároveň zabezpečiť, že tovar je vždy k dispozícii, keď je potrebný. To zahŕňa správu zásob, určovanie optimálnej úrovne zásob a riadenie dodávok.
- **Vrátenie tovaru a spracovanie reklamácií:** Logistika nezahŕňa len tok tovaru smerom k zákazníkovi, ale aj spätný tok tovaru, ak zákazník vráti tovar alebo podá reklamáciu. Efektívne spracovanie týchto situácií je dôležité pre zachovanie spokojnosti zákazníkov.
- **Balné systémy:** Správne balenie tovaru je neoddeliteľnou súčasťou logistiky. Kvalitné a efektívne balenie môže chrániť tovar pred poškodením a znižovať náklady na prepravu.
- **Kombinovaná doprava:** Tento logistický koncept sa zaoberá použitím viacerých druhov dopravy pre jeden náklad. Napríklad kombinácia železničnej a cestnej prepravy môže byť efektívnym spôsobom, ako dosiahnuť nižšie náklady a menšie emisie CO₂.
- **Logistický reťazec:** Tento koncept zahŕňa všetky kroky a aktivity, ktoré sú zapojené v priebehu výroby a dodávky tovaru od počiatočného dodávateľa až po konečného zákazníka. Optimálna správa logistického reťazca môže viesť k väčšej efektívnosti a nižším nákladom.
- **Krízový manažment v logistike:** Plánovanie pre rôzne krízové situácie, ako sú prírodné katastrofy, politické nepokoje alebo problémy so zásobami, je nevyhnutné pre nepretržitý chod logistických operácií.
- **Informačné technológie:** Moderná logistika je často podporovaná pokročilými informačnými technológiami. Systémy na sledovanie zásob, riadenie skladových operácií a optimalizáciu trás sú kľúčovými nástrojmi pre efektívnu logistiku.
- **Logistický personál:** Kľúčovým prvkom efektívnej logistiky je kvalifikovaný personál. Logistickí musia mať znalosti v oblasti plánovania, riadenia zásob, dopravy a informačných systémov.
- **Udržateľnosť a ekologická logistika:** S ohľadom na stále rastúce environmentálne obavy sa stále viac firiem snaží o udržateľné riadenie

logistiky. To zahŕňa snahu minimalizovať emisie CO₂, znižovať odpad a optimalizovať trasy pre nižší environmentálny dopad.

- **Spolupráca v logistike:** V dnešnej dobe často vidíme spoluprácu medzi spoločnosťami a ich logistickými partnermi, ako sú dopravcovia a logistické služby. Táto spolupráca pomáha optimalizovať procesy a znižovať náklady.
- **Náklady a efektívnosť:** Väčšina spoločností sleduje a analyzuje logistické náklady, aby dosiahli efektívnosť a minimalizovali náklady. To zahŕňa správu nákladov na dopravu, skladovanie, balenie a ďalšie operácie. Z hľadiska plánovania môžeme definovať logistiku ako: (Jacobs a kol. 2017)
 - **Strategická logistika:** Tento prístup k logistike sa zameriava na plánovanie a riadenie celkového logistického systému spoločnosti. Zahrňuje strategické rozhodnutia, ako napríklad umiestnenie skladov a distribučných centier, výber dodávateľov a rozvoj dlhodobých logistických stratégií.
 - **Taktická logistika:** Tento prístup k logistike sa zameriava na plánovanie a riadenie celkového logistického systému spoločnosti. Zahrňuje strategické rozhodnutia, ako napríklad umiestnenie skladov a distribučných centier, výber dodávateľov a rozvoj dlhodobých logistických stratégií.
 - **Operatívna logistika:** Operatívna logistika zahŕňa každodenné rozhodnutia a aktivity, ktoré sa týkajú plánovania a riadenia toku tovaru a informácií. Táto úroveň logistiky sa zaoberá konkrétnymi úlohami, ako sú plánovanie trás, správa skladov alebo spracovanie objednávok.

Globalizácia obchodu a dodávateľských reťazcov si vyžaduje komplexnú medzinárodnú logistiku. To zahŕňa riadenie medzinárodných prepravcov, colných a dovozných predpisov a rôznych kultúrnych faktorov.

Súčasná doba a predovšetkým rozvoj moderných informačných technológií prináša ďalšie aspekty, ktoré treba zohľadniť: (Christopher a kol. 2022)

- **E-logistika a e-commerce:** Rastúci online obchod viedol k rozvoju e-logistiky. Táto oblasť sa zaoberá riadením a dodávkami tovaru priamo z internetových obchodov k zákazníkom, čo vyžaduje rýchlu a spoľahlivú logistiku.

- **Technologické inovácie:** Logistika sa neustále mení vďaka technologickým inováciám. Dôležitými technologickými trendmi sú automatizované skladové systémy, použitie robotov na manipuláciu s tovarom, internet vecí pre sledovanie a správu zásob v reálnom čase a umelá inteligencia pre optimalizáciu trás a plánovanie.
- **Prediktívna analýza:** Moderné logistické spoločnosti čoraz viac využívajú prediktívnu analýzu a umelú inteligencia na predpovedanie dopytu a optimalizáciu trás. Toto pomáha minimalizovať náklady a zlepšiť efektivitu.
- **Globálna logistika:** Logistické operácie sa stále viac globalizujú, pričom spoločnosti čelia výzvam spojeným s medzinárodným obchodom, cezhraničnou dopravou a riadením dodávateľských reťazcov na medzinárodnej úrovni. To si vyžaduje komplexné plánovanie a riadenie logistických tokov po celom svete.
- **Flexibilita a adaptabilita:** S neustálymi zmenami na trhu a neistotou vo svete, logistické spoločnosti musia byť schopné rýchlo reagovať a prispôbiť sa novým podmienkam. Flexibilné a adaptívne logistické stratégie sú kľúčové pre úspech v premenlivom prostredí.
- **Digitálna transformácia:** Digitalizácia procesov a údajov je nevyhnutná pre modernú logistiku. Digitálne nástroje a platformy umožňujú lepšiu komunikáciu medzi rôznymi časťami dodávateľskej reťazca, zefektívňujú správu zásob a umožňujú lepšiu analýzu dát pre informované rozhodovanie.
- **Udržateľnosť:** S narastajúcim povedomím o životnom prostredí a ekologickom dopade logistických operácií sa stáva udržateľnosť kľúčovým faktorom. Spoločnosti sa snažia minimalizovať svoj ekologickú stopu tým, že využívajú ekologicky šetrné dopravné možnosti, znižujú odpad a optimalizujú svoje procesy.

1.2 Kvantitatívne metódy v logistike

Kvantitatívne metódy v logistike sú matematické a štatistické nástroje a techniky, ktoré sa používajú na analýzu, plánovanie, riadenie a optimalizáciu logistických operácií. Tieto metódy poskytujú kvantitatívne riešenia pre komplexné problémy v oblasti zásobovania, dopravy, skladovania a riadenia logistických sietí.

Tieto metódy môžeme zatriediť do nasledujúcich kategórií: (Christopher a kol. 2022)

- **Optimalizačné metódy:** Tieto metódy sú zamerané na hľadanie najlepších riešení v rámci daných obmedzení. Môžu byť použité na plánovanie trás prepravy, optimalizáciu zásob, rozmiestovanie skladov, a iné logistické problémy. Príklady zahŕňajú lineárne programovanie, celočíselné programovanie a dynamické programovanie.
- **Simulačné metódy:** Simulácia umožňuje modelovanie logistických procesov v kontrolovanom prostredí. Tieto modely môžu byť použité na predpovedanie výsledkov, testovanie rôznych scenárov a analýzu vplyvu zmien v logistických operáciách. Napríklad, simulácia môže byť použitá na optimalizáciu toku materiálu v sklade alebo na plánovanie kapacity vozových parkov. Typickým príkladom je metóda Monte Carlo. Táto metóda sa využíva na modelovanie náhodných procesov v logistike. Simulácia Monte Carlo generuje náhodné udalosti na základe definovaných pravdepodobnostných rozdelení, čo umožňuje predpovedať výsledky a riziká v rôznych logistických scenároch.
- **Stochastické metódy:** Stochastické modely zohľadňujú náhodné premenné a neistotu v logistických procesoch. Pomáhajú modelovať pravdepodobnostné rozdelenia dopytu, dodacích časov a iných faktorov, ktoré ovplyvňujú logistiku. Tieto metódy sa často používajú pri plánovaní bezpečnostných zásob a riadení rizika v logistických reťazcoch.
- **Heuristické metódy:** Tieto prístupy sa používajú na nájdenie suboptimálnych riešení v krátkom čase pre veľmi komplexné logistické problémy. Heuristiky sú rýchle, ale nemusia nájsť najlepšie riešenie.
- **Metódy riadenia skladových zásob:** Skladovanie a riadenie zásob sú kľúčovými faktormi v logistike. Kvantitatívne metódy, ako je ABC analýza, metóda just-in-time (JIT) alebo riadenie dopytu (DRP), pomáhajú určovať, kedy a ako objednať, uchovávať a rozdeľovať zásoby.
- **Metódy teórie hier:** Teória hier sa používa na analýzu interakcií a rozhodnutí medzi rôznymi aktérmi v logistických systémoch. Môže byť použitá na modelovanie situácií, kde existuje konflikt alebo súťaž medzi rôznymi

členmi dodávateľského reťazca alebo na plánovanie spolupráce medzi nimi. Patrí sem Bayesov princíp, Waldovo kritérium a Savageovo kritérium.

- **Metódy projektového manažmentu:** Projektový manažment je disciplína, ktorá zahŕňa riadenie projektov od ich začiatku po ukončenie, s cieľom dosiahnuť stanovené ciele a splniť predpoklady úspešného ukončenia projektu. Existuje mnoho metód a rámcov pre projektový manažment, z ktorých niektoré sú špecializované na konkrétne odvetvia alebo typy projektov. Medzi najznámejšie metódy patria CPM, PERT a Kanban.

1.3 Lineárne programovanie

Lineárne programovanie je matematická metóda, ktorá sa používa na riešenie optimalizačných problémov, pri ktorých sa snažíme nájsť najlepšie možné riešenie za dodržania určitých obmedzení. Tieto problémy majú svoje aplikácie v mnohých oblastiach, vrátane logistiky, ekonómie, inžinierstva, výroby, financií a mnohých ďalších. Základom lineárneho programovania je lineárna algebra. (Drahotský a kol. 2003)

Hlavnými komponentami lineárneho programovania sú: (Drahotský a kol. 2003)

- **Účelová funkcia:** Účelová funkcia je matematický výraz, ktorý vyjadruje cieľ problému. Môže to byť maximalizácia množstva vyrobenej produkcie, zisku, produktivity práce, rentability, využitia strojovej kapacity, využitia materiálu, množstva prepraveného materiálu resp. minimalizácia celkových nákladov, mzdových nákladov, odpadu z produkcie, doby návratnosti, prepravných nákladov, najazdených kilometrov a pod. Táto funkcia je typicky definovaná ako lineárna kombinácia premenných, ktoré sa snažíme nájsť.
- **Premenné:** Premenné predstavujú neznáme, ktoré chceme určiť. Sú to často kvantitatívne hodnoty, ktoré ovplyvňujú účelovú funkciu. Lineárne programovanie predpokladá, že tieto premenné majú lineárny vzťah s účelovou funkciou.
- **Obmedzenia:** Obmedzenia sú podmienky, ktoré musia byť splnené pri hľadaní optimálneho riešenia. Tieto obmedzenia môžu byť lineárne alebo nelineárne a obmedzovať premenné alebo ich kombinácie. Napríklad,

obmedzenie môže zakazovať prekročenie určitého objemu, času alebo kapacity.

- **Optimalizačný problém:** Cieľom je nájsť hodnoty premenných, ktoré minimalizujú alebo maximalizujú hodnotu účelovej funkcie za dodržania všetkých obmedzení.

Špeciálnymi kategóriami lineárneho programovania sú: (Drahotský a kol. 2003)

- **Celočíselné programovanie:** Celočíselné programovanie je rozšírením lineárneho programovania, kde niektoré alebo všetky premenné musia byť celočíselné. Táto metóda je často používaná v problémoch, kde rozhodnutia musia byť diskrétné, napríklad pri plánovaní počtu vozidiel alebo rozmiestňovaní distribučných centier.
- **Dynamické programovanie:** Dynamické programovanie sa používa na riešenie problémov s optimalizačnými rozhodnutiami v čase, kde rozhodnutia v jednom časovom kroku ovplyvňujú budúce kroky. V logistike sa používa na plánovanie dlhodobých stratégií, ako aj krátkodobých operácií, ako je plánovanie zásob a doručovania.

Výsledkom lineárneho programovania sú nasledujúce druhy riešení.

Prípustné riešenie spĺňa všetky obmedzenia (rovnice a nerovnice) daného lineárneho programu čo znamená, že všetky hodnoty premenných sú také, že vyhovujú všetkým obmedzeniam a podmienkam nezápornosti.

Bázické (základné) riešenie je prípustné riešenie, pri ktorom je určitý počet premenných rovný nule, zatiaľ čo všetky ostatné premenné majú nenulové hodnoty. Počet nenulových kladných premenných je toľko, koľko je lineárne nezávislých obmedzujúcich podmienok.

Optimálne riešenie je prípustné riešenie, ktoré maximalizuje alebo minimalizuje hodnotu účelovej funkcie, t.j. dosahuje najlepšiu možnú hodnotu tejto funkcie z hľadiska daných obmedzení. V prípade, že lineárne programovanie má viacero optimálnych riešení, hovoríme o optimálnej množine. Môže nastať prípad, že úloha lineárneho programovania nemá optimálne riešenie, ale má prípustné riešenie. Najhorším scenárom je, keď úloha nemá ani prípustné riešenie. V prípade, že úloha má optimálne riešenie, toto riešenie môže byť práve jedno (jednoznačné) alebo ich môže byť viac (mnohoznačné).

Existuje množstvo metód zaoberajúcich sa riešením úloh lineárneho programovania. Medzi najzakladanejšie a najpoužívanéjšie patrí simplexová metóda. Základom tejto metódy je Gaussova eliminačná metóda, pomocou ktorej môžeme nájsť základné riešenie. Jej nedostatkom je, že nezaručuje jeho prípustnosť. Tento problém eliminuje simplexová metóda, ktorá je jej modifikáciou v tom význame, že z bázičného riešenia každé ďalšie riešenie získané iteráciou bude prípustné. Zároveň každé ďalšie riešenie je z hľadiska účelovej funkcie lepšie ako to predchádzajúce. Postupnými iteráciami sa môžeme dopracovať k optimálnemu riešeniu alebo zistiť, že ho nie je možné dosiahnuť. Simplexová metóda je veľmi efektívna pre stredné až veľmi veľké úlohy lineárneho programovania, avšak pre niektoré špeciálne prípady môže mať problémy s výkonom. Duálna simplexová metóda je variantom simplexovej metódy, pričom využíva duálnu formu problému. Duálna forma obsahuje duálne premenné a duálne obmedzenia, ktoré sa odvíjajú od pôvodných primárnych premenných a obmedzení. Ak je pôvodná úloha maximalizačná, bude duálna minimalizačná resp. naopak. Zároveň obmedzenia menia svoju nerovnosť opačným smerom za dodržania podmienky nezápornosti premenných. Postup riešenia je obdobný ako u simplexovej metódy. Duálna simplexová metóda je obzvlášť užitočná pre úlohy, kde je veľa obmedzení a len málo premenných.

1.4 Distribučné problémy

Distribučné problémy predstavujú významnú časť práce manažéra pri tvorbe logistiky podniku. Riešenie týchto problémov výrazne napomáha rozhodovaniu riadenia dopravy medzi dodávateľmi a odberateľmi, pri zaraďovaní zamestnancov na jednotlivé strediská, pri presune materiálov medzi skladmi a pod. Výsledkom riešenia distribučného problému musí byť stav, pri ktorom sa minimalizujú dopravné prípadne iné náklady.

História riešenia distribučných problémov dopravných spoločností sa vyvíjala s postupným rozvojom dopravy a technológií. V minulosti sa distribúcia nákladu a riadenie dopravy často spoliehala na ručné plánovanie a riadenie. Dispečeri a manažéri využívali skúsenosti a znalosti o miestnych podmienkach na optimalizáciu trás a plánovanie dodávok. S nárastom potreby prepravy tovarov a ľudí vznikli dopravné spoločnosti, ktoré sa špecializovali na riešenie distribučných problémov. Tieto spoločnosti začali využívať špecializované vozidlá a technológie na zlepšenie efektivity a spoľahlivosti dopravy. S nástupom počítačov a informačných technológií sa začali používať sofistikované

softvérové systémy na plánovanie trás, riadenie zásob a monitorovanie dopravy. Tieto systémy umožnili lepšie riadenie distribúcie a zvýšili efektivitu dopravy. GPS a sledovacie technológie umožnili dopravným spoločnostiam presnejšie sledovanie a riadenie svojich vozidiel. To viedlo k zlepšeniu správy trás, zvýšeniu bezpečnosti a rýchlosti doručenia. S nárastom dát a analytických nástrojov dopravné spoločnosti začali využívať dáta o prevádzke, trhových trendoch a spotrebiteľských preferenciách na lepšie plánovanie a riadenie distribúcie. Moderné technológie ako drony, autonómne vozidlá a elektrické vozidlá začínajú meniť spôsob ako dopravné spoločnosti riešia distribučné problémy. Tieto inovácie môžu ponúkať nové možnosti pre efektívnejšiu a udržateľnejšiu dopravu. (Mervart a kol. 2022)

Môžeme ich rozdeliť na nasledujúce kategórie:

- Dopravné úlohy – zahŕňajú riadenie dopravy medzi dodávateľmi a odberateľmi, či už surovín alebo hotových výrobkov.
- Prirad'ovacie problémy – presun výrobných prostriedkov do nových lokácií.
- Okružné problémy – rozvoz prípadne zvoz tovarov do resp. z vopred určených miest.

1.4.1 Dopravné úlohy

Problém dopravných úloh (anglicky Vehicle Routing Problem, skratene VRP) je klasický optimalizačný problém v oblasti logistiky a dopravy. Jeho cieľom je nájsť najefektívnejšie trasy pre vozidlá, ktoré majú za úlohu doručiť tovar od dodávateľov k odberateľom alebo ku koncovým zákazníkom. Tento problém môže mať rôzne varianty, ale základná koncepcia je rovnaká: optimalizovať rozvrhnutie trás vozidiel tak, aby sa minimalizovali celkové náklady alebo čas potrebný na dokončenie všetkých dodávok.

Základným faktorom pri riešení dopravných úloh je určenie optimálneho počtu vozidiel potrebných na uskutočnenie všetkých dodávok. Nemenej dôležitým faktorom je plánovanie trás, čo v sebe zahŕňa nájdenie najkratšej alebo najrýchlejšej trasy pre každé vozidlo s ohľadom na miesta doručenia, dopravné obmedzenia a ďalšie faktory. Je nevyhnutné klásť dôraz na časové obmedzenie, čiže zohľadniť časové okná, v ktorých majú byť doručené zásielky a minimalizovať oneskorenia. Osobitný dôraz sa kladie na kapacitu vozidiel, aby mali dostatočnú kapacitu na prepravu všetkých zásielok, pričom sa zároveň

minimalizujú prázdne kilometre. Ďalším faktorom môžu byť doplnkové obmedzenia, ktoré môžu zahŕňať obmedzenia na prístup k určitým oblastiam, obmedzenia rýchlosti, prioritné dodávky a pod. (Mervart a kol. 2022)

Každá dopravná úloha má svoje optimálne riešenie. Dosiahnutie tohto riešenia býva mnohokrát prácne a preto sa často uspokojujeme s riešením, ktoré je pre nás vyhovujúce hoci nemusí byť optimálne. Úloha môže byť nevyvážená, ak kapacity dodávateľov nie sú rovné kapacitám odberateľov. Riešením je pridanie fiktívneho dodávateľa resp. odberateľa. Existuje množstvo metód, ktoré môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín: (Mervart a kol. 2022)

- Približné metódy, ktoré vedú k východiskovému prípadne vyhovujúcemu riešeniu. Výsledkom týchto metód môže byť optimálne riešenie prípadne riešenie k nemu blízke. V prípade, že nie sme s výsledkom spokojní, môžeme pokračovať presnou metódou, pričom približná metóda plní účel metódy východiskovej. Medzi tieto metódy patrí metóda severozápadného rohu, indexová metóda, frekvenčná metóda.
- Presné metódy vedúce k optimálnemu riešeniu.

Základnou metódou na získanie východiskového resp. vyhovujúceho riešenia je metóda severozápadného rohu. Používa sa na riešenie problému prepravy alebo distribúcie s pevnými dodávkovými a dopytovými bodmi. Princíp metódy severozápadného rohu spočíva v tom, že sa zohľadnia najsevernejšie a najzápadnejšie body v mriežke (v prípade geografických problémov), ktoré predstavujú počiatočné body trás. Následne sa plánujú trasy z týchto bodov na základe požiadaviek na prepravu a kapacity vozidiel. Postupne sa pridávajú ďalšie body v mriežke na východ a na juh, pričom sa zohľadňujú obmedzenia a požiadavky.

Ďalšou približnou metódou je indexová metóda. Táto na rozdiel od metódy severozápadného rohu zohľadňuje cenu dopravy. Jej princíp spočíva v postupnom využití trás s najmenšou cenou dopravy pri rešpektovaní kapacít dodávateľov a odberateľov resp. spotrebiteľov.

Metódou, ktorá vo všeobecnosti dáva lepšie výsledky je frekvenčná metóda. Táto berie do úvahy vzťah ceny dopravy k ostatným cenám dopravy pre príslušného dodávateľa resp. odberateľa.

Nevýhodou predchádzajúcich dvoch metód je, že výrazne uprednostňujú trasy s najvýhodnejšou cenou dopravy, čo nemusí viesť k vyhovujúcemu riešeniu. Vogelova aproximačná metóda patriaca do kategórie približných metód uprednostňuje trasy, ktorých cena prepravy je výrazne nižšia ako najbližšia vyššia cena prepravy pre príslušného dodávateľa resp. odberateľa.

Kategória presných metód umožňuje nájsť takú metódu, ktorá vedie k optimálnemu riešeniu a overiť či toto riešenie je skutočne optimálne a či takéto riešenie je jediné prípadne ich existuje viac. Typickým príkladom takýchto metód je metóda potenciálov nazývaná aj metóda riadkových a stĺpcových čísiel resp. modifikovaná metóda. Metódu aplikujeme na riešenie dosiahnuté niektorou z približných metód formou iterácií, pri ktorých získavame ďalšie prípustné riešenia. V každom kroku je možné overiť, či sme našli optimálne riešenie, či to riešenie je len jedno prípadne nie sme schopní ho nájsť touto metódou, hoci môže existovať. Takúto úlohu nazývame degenerovanou a môžeme ju riešiť maďarskou metódou vyvinutou Kuhnom na základe matematických prác matematika Egerváryho. Inou presnou metódou je metóda vetvenia a hraníc.

1.4.2 Prirad'ovacie problémy

Jedná sa o špeciálne prípady dopravných úloh. Týkajú sa prirad'ovania zdrojov k cieľom tak, aby sa minimalizovali celkové náklady alebo maximalizovala efektivita. Na rozdiel od dopravných úloh, je počet dodávateľov rovný počtu odberateľov, kapacity dodávateľov a odberateľov sú rovné jednej. Z uvedeného vyplýva, že prirad'ovacie problémy je možné riešiť metódami na riešenie dopravných úloh.

Medzi minimalizačné úlohy môžeme zaradiť problém presunu prostriedkov z určitých lokácií na lokácie nové s cieľom minimalizovať množstvo prejazdených kilometrov a tým pádom minimalizovať náklady s tým spojené.

Maximalizačnou úlohou môže byť priradenie pracovníkov na pracoviská za účelom maximalizácie celkového výkonu za predpokladu, že ich výkonnosť na jednotlivých pracoviskách je rôzna.

Vzhľadom na silnú degenerovanosť týchto úloh boli vyvinuté špeciálne úlohy. Jedným z príkladov je maďarská metóda vyvinutá matematikmi Egervárym a Konigom.

1.4.3 Okružné problémy

Okružný problém alebo tiež problém obchodného cestujúceho je úloha, pri ktorej sa snažíme nájsť taký okruh spájajúci vopred definované miesta a vrátiť sa na pôvodné miesto, ktorého celková dĺžka dosiahne čo najmenšiu hodnotu. V prípade problému priradovania vozidiel je cieľom nájsť optimálne trasy pre viacero vozidiel navštevujúcich množinu miest. V praxi sa môže jednať o zvoz prípadne rozvoz tovaru, materiálu a pod. Poznáme dva typy okružných problémov:

- Jednookruhový problém – musíme navštíviť všetky miesta a nie sme obmedzení nosnou kapacitou vozidla prípadne množstvom prejdených kilometrov. Patrí sem metóda najbližšieho suseda, vkladacia metóda, metóda výhodnostných čísiel, Vogelova aproximačná metóda a iné.
- Viacokruhový problém – vzhľadom na obmedzenú kapacitu vozidla resp. limitom prejdených kilometrov sme nútení rozdeliť trasu na niekoľko menších trás. Typickým príkladom riešenia tohto problému je Mayerova metóda.

Metóda najbližšieho suseda je jednoduchá heuristická metóda, ktorá sa často používa na riešenie problému obchodného cestujúceho. Táto metóda sa snaží nájsť blízku aproximáciu optimálneho riešenia tým, že postupne pridáva do trasy ďalšie mestá podľa ich vzdialenosti od posledného navštíveného mesta. Metóda je jednoduchá a rýchla na implementáciu, čo ju robí populárnou pre rýchle riešenie problému pre malé alebo stredne veľké inštancie problému. Avšak, nemusí vždy produkovať optimálne riešenia a môže sa dostávať do lokálnych optimálnych riešení. Pre väčšie inštancie problému sú často potrebné sofistikovanejšie algoritmy a heuristiky.

Vkladacia metóda je založená na postupnom vkladaní nových miest do existujúcej trasy tak, aby sa minimalizovala celková dĺžka cesty. Metóda začína nájdením najkratšej trasy z východzieho miesta. Postupne do trasy vkladáme miesta a trasy k nim vedúce tak, aby nová vzniknutá trasa bola čo najkratšia. Vkladacia metóda je jednoduchá a intuitívna heuristika, ktorá môže byť účinná pre rýchle nájdenie pomerne dobrých riešení.

Metóda výhodnostných čísiel spočíva v nájdení takej spojnice dvoch miest, do ktorej je maximálne nevýhodne vložiť iné miesto. Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch metód postup jej riešenia nezačína trasou z východzieho miesta. Riešenia uskutočnené touto

metódou sú z hľadiska optimálnosti tie najlepšie a veľmi časti optimálne, čoho dôkazom je príloha tejto práce.

Vogelova aproximačná metóda používa podobný princíp ako pri dopravnej úlohe upravený o špecifiká tohto problému, ktorými sú rovnaký počet miest vedených ako zdrojové a cieľové a tiež symetria podľa diagonály vedenej zo severozápadu na juhovýchod tabuľky výpočtu.

Porovnaním metód z hľadiska množstva výpočtových operácií a zložitosti algoritmizácie pri programovaní dospievame k nasledujúcim tvrdeniam:

1. Metóda najbližšieho suseda

- množstvo výpočtových operácií je založené na zotriedení vzdialeností od najmensej po najväčšiu pre každý uzol a to môže pri veľkom počte uzlov predstavovať relatívne veľký počet matematických operácií
- je tu riziko predčasného uzavretia okruhu počas výpočtu a z tohto dôvodu nestačí len vyhľadať najmenšiu vzdialenosť v predchádzajúcom bode
- algoritmus programu bude veľmi jednoduchý, je potrebné len sledovať, aby sme predčasne neuzavreli okruh. V tom prípade je potrebné vo výpočte uvažovať nasledujúcu väčšiu vzdialenosť.

2. Vkladacia metóda

- počet výpočtových operácií je relatívne malý a jedná sa len o časovo nenáročné operácie súčtov dvoch čísiel, avšak vstupné hodnoty do týchto výpočtov závisia aj od práve vloženého uzla t. z. že nie je možné vykonať všetky výpočty naraz na začiatku
- riziko predčasného uzavretia okruhu je vzhľadom na postup výpočtu úplne vylúčené
- algoritmus programu bude z uvažovaných metód najjednoduchší.

3. Metóda výhodnostných čísiel

- množstvo výpočtových operácií je z porovnávaných metód najnižšie a opäť sa jedná len o súčtové operácie
- je tu riziko predčasného uzavretia okruhu
- algoritmus bude z tých zložitejších nakoľko pri výpočte nám s veľkým počtom uzlov bude vznikať veľký počet čiastkových okruhových, ktoré bude potrebné v neskoršom štádiu vhodným spôsobom spojiť pri dodržaní podmienky ich predčasného neuzavretia.

4. Vogelova aproximačná metóda

- množstvo výpočtových operácií je pomerne veľké, ale na rozdiel od predchádzajúcich dvoch metód ich prírastok so zvyšujúcim sa počtom uzlov je výrazne menší
- riziko predčasného uzavretia okruhu aj pri tejto metóde existuje
- algoritmus bude obsahovať značné množstvo diametrálne odlišných výpočtov ako napr. výpočet rozdielu hodnôt čísiel, zneplatňovanie riadkov, stĺpcov aj buniek.

Nutnosť rozdeliť jeden okruh na viac okruhových nastáva v prípade rozvozu resp. zvozu väčšej kapacity komodít ako je kapacita jedného vozidla. V tomto prípade je nutné zdefinovať centrálny sklad ako miesto kde sa jednookruhové trasy začínajú a aj končia. Na rozdiel od jednookruhového problému do výpočtu vstupuje ďalší parameter a to je požiadavka miesta voči centrálnemu skladu. Aby bola úloha riešiteľná, je nevyhnutné, aby každá požiadavka bola menšia ako je kapacita vozidla. Metódou, ktorá zohľadňuje tieto aspekty je Mayerova metóda. Výsledkom riešenia nie sú konkrétne okruhy ale len zoznamy miest do nich patriace. Jednotlivé okruhy získame aplikovaním jednej z jednookruhových metód na tieto zoznamy.

2 Cieľ práce

Cieľom tejto práce je pomocou kvantitatívnych metód navrhnúť postup pre zlepšenie procesov súvisiacich s logistikou vybraného podniku. Diplomová práca vychádza z charakteristiky špecifik rozhodovacích problémov v logistike. Prezentované sú kvantitatívne základy postupov používaných pre riešenie úloh súvisiacich s logistikou. Vybrané metódy sú implementované v podmienkach konkrétneho podniku a následne sú dosiahnuté výsledky vyhodnotené.

Za účelom dosiahnutia nášho cieľa sme formulovali niekoľko parciálnych cieľov. Prvým bolo špecifikovať relevantné kvantitatívne metódy. Ďalším cieľom bolo identifikovať logistickú oblasť, na ktorú sa zameriame. Tretím čiastkovým cieľom bolo nájsť vhodný prístup k riešenie problému. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli vytvoriť programové vybavenie, ktoré užívateľsky prívetivým spôsobom umožní riešenie zníženia nákladov spojených s prevádzkou motorových vozidiel znížením počtu prejazdených kilometrov pri dodržaní podmienky stanovujúcej obsluhu požadovaných lokalít. Táto úspora v konečnom dôsledku povedie k zvýšeniu zisku firmy a upevneniu jej postavenia na trhu so špedičnými službami.

3 Metodika práce a metódy skúmania

Pri získavaní informácií sme sa najprv venovali teoretickým poznatkom, ktoré sme získali z knižných a internetových zdrojov. Pre prípravu tejto diplomovej práce sme využili nasledovné zdroje:

- Informácie o hospodárení spoločnosti získané z verejne dostupných zdrojov na internete.
- Teoretické postupy riešenia distribučných problémov uverejnených v literatúre.
- Možné aplikačné riešenia z hľadiska existujúcich softvérov na komerčných webových stránkach.
- Voľne stiahnuteľné programové časti kódov riešiacich iba samotný výpočet na základe zvolených metód dostupných na internete.

Tieto poznatky využijeme pri návrhu programového vybavenia, ktorého výsledkom budú zmeny vedúce k zníženiu nákladov. Toto programové vybavenie bude zahŕňať niektoré z nasledujúcich komerčných resp. voľne šíriteľných programových vybavení riešiacich okružné problémy, ktoré bude v prípade potreby doplnené o ďalšie softvérové vybavenie. V prípade použitia nekomerčných programových prostriedkov bude zrejme nevyhnutné naprogramovať užívateľské grafické rozhranie.

3.1 Použité aplikačné vybavenie

Riešenie okružného problému (taktiež známeho ako problém obchodného cestujúceho) sa vyznačuje tým, že pre veľké inštanície môže byť časovo náročné nájsť exaktné riešenie. Existuje viacero softvérov a knižníc, ktoré nám môžu pomôcť riešiť tento problém:

- **Google OR-Tools:** Google poskytuje knižnicu s názvom OR-Tools, ktorá obsahuje nástroje na riešenie rôznych optimalizačných problémov vrátane problému obchodného cestujúceho. Je to silný nástroj na jeho riešenie s rôznymi algoritmami a možnosťami konfigurácie.

- **Concorde TSP Solver:** Concorde je veľmi výkonný nástroj na riešenie okružných problémov. Je to bezplatný softvér, ktorý bol vyvinutý pre výskumné účely. Tento softvér je však už 20 rokov neaktualizovaný a preto v dnešnej dobe nepoužiteľný.
- **LKH (Lin-Kernighan Heuristic):** LKH je voľne šíriteľný softvér, ktorý obsahuje implementáciu Lin-Kernighan heuristiky na riešenie okružných problémov. Je rýchly a má dobré výsledky pre veľké inštancie. Softvér je napísaný v jazyku C ale možnosti jeho výpočtu sú obmedzené.
- **Gurobi:** Gurobi je komerčný optimalizačný softvér, ktorý je schopný riešiť širokú škálu optimalizačných problémov, vrátane problému obchodného cestujúceho. Poskytuje efektívne riešenia pre veľké inštancie. Získanie skúšobnej verzie je však spojené s množstvom problémov.
- **CPLEX:** Podobne ako Gurobi, CPLEX je ďalší komerčný optimalizačný softvér, ktorý je schopný riešiť okružné problémy a ďalšie problémy spojené s optimalizáciou. Jeho získanie je spojené s rovnakými problémami ako pri softvéri Gurobi.
- **Python Libraries:** Jedná sa o knižnice napísané v jazyku Python,

Na základe uvedeného sme sa rozhodli pre použitie nástroja OR-Tools s dodatočným programovým vybavením uvedeným v nasledujúcej kapitole.

3.2 Charakteristika objektu skúmania

Nami sledovaná firma zaoberajúca sa špedičnými službami pôsobí na území Slovenskej republiky. Jej základné identifikačné údaje sú:

IČO XXX34498

DIČ XXX1648739

IČ DPH SK2021648739, podľa §4,

registrácia od 10.12.2003

Sídlo XYZ SK s.r.o. Pri letisku 5 821 04 Bratislava - mestská časť Ružinov

Dátum vzniku štvrtok, 4. apríla 2002

SK NACE 53200 Ostatné poštové služby a služby kuriérov podľa účtovnej závierky a Štatistického úradu SR

Počet zamestnancov 2023: 250-499 zamestnancov (Zdroj: Štatistický úrad)

Finančné výsledky reprezentujúce poslednú zverejnenú účtovnú závierku sú:

Celkové výnosy 69 549 603 €

Strata -917 155 €

Aktíva 42 250 056 €

Vlastný kapitál 10 850 241 €

Celková zadlženosť 81,75% €

Hrubá marža 25,564%

Tržby spoločnosti majú za posledné roky rastúci charakter, ktorý sa výrazne prejavil v post covidovom období.



Obrázok 1 Tržby spoločnosti

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa <https://finstat.sk/35834498>

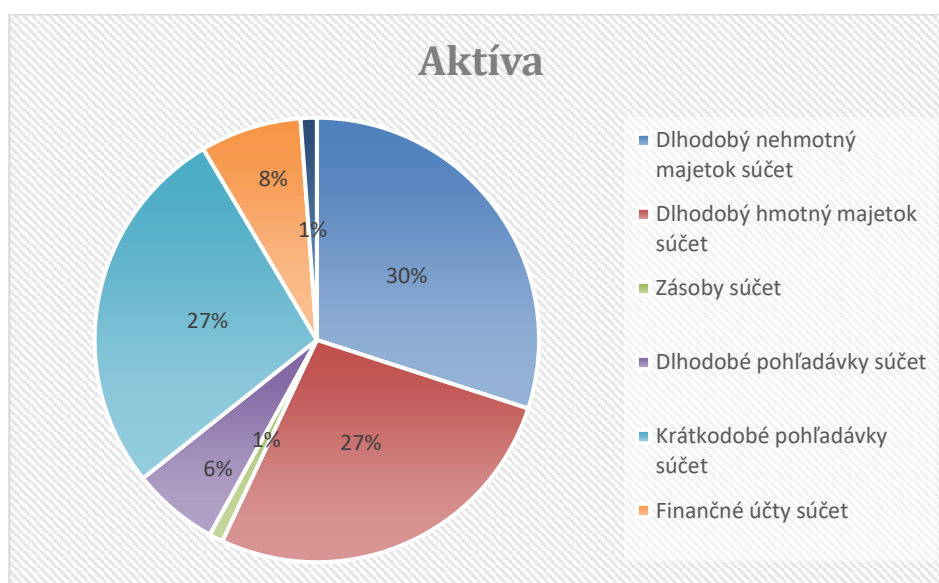
Zisk mal podobný charakter s výnimkou roku 2022, kedy firma vykázala stratu. Z účtovnej závierky vyplýva, že firma vykázala výrazne vyššiu hodnotu odpisov a opravných položiek k dlhodobému nehmotnému a dlhodobému hmotnému majetku. Spolu s výrazným nárastom mzdových nákladov to naznačuje možnosť snahy o expanziu na trhu so špedičnými službami.



Obrázok 2 Zisk spoločnosti

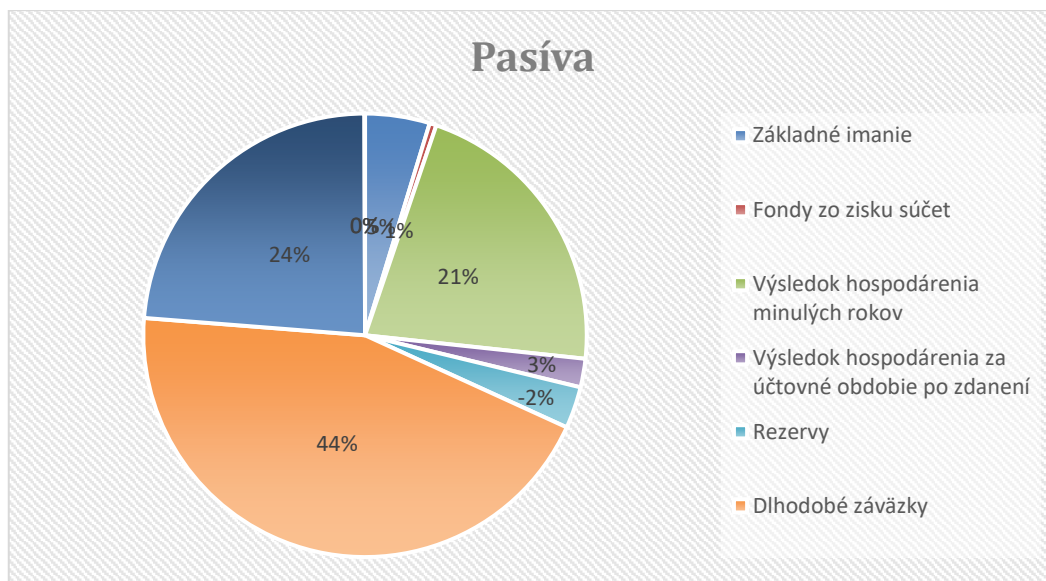
Zdroj: Vlastné spracovanie podľa <https://finstat.sk/35834498>

Štruktúru aktív a pasív prinášajú obrázky 3 a 4.



Obrázok 3 Aktíva spoločnosti v roku 2022

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa <https://finstat.sk/35834498>



Obrázok 4 Pasíva spoločnosti v roku 2022

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa <https://finstat.sk/35834498>

4 Výsledky práce

V tejto časti zanalyzujeme súčasný stav v kuriérskej spoločnosti XYZ s.r.o. Zoznam distribučných centier a pobočiek odráža skutkový stav reálne fungujúcej spoločnosti na Slovensku. Spoločnosť sa zaoberá distribúciou malorozmerného tovaru pre fyzické a právnické osoby. Prepravné aktivity spoločnosti sa delia na:

- Vývoz a dovoz tovaru zo zahraničia do štyroch distribučných centier v Bratislave, Žiline, Zvolene a Košiciach.
- Rozvoz a zvoz tovaru v rámci distribučných centier a pobočiek s pôsobnosťou na Slovensku.
- Doručenie tovaru k zákazníkovi a vyzdvihnutie zásielok na odoslanie.

Zameriame sa rozvoz a zvoz tovaru v rámci distribučných centier a pobočiek s pôsobnosťou na Slovensku, kde vidíme rezervy na zlepšenie. Spoločnosť okrem štyroch distribučných centier využíva služby 22 pobočiek. Ich zoznam a súčasné zaradenie v rámci distribučných centier je uvedený v nasledujúcej podkapitole.

Nami vybraný spôsob výpočtu pomocou Google OR-Tools zahŕňa použitie nasledovných softvérových komponentov:

- Google OR-Tools. Tento vysoko výkonný voľne šíriteľný softvér obsahuje množstvo nástrojov na riešenie rôznych optimalizačných problémov vrátane problému obchodného cestujúceho. Samotný softvér nemá naprogramované žiadne grafické rozhranie. Jeho úlohou je len výpočet jednotlivých úloh ako je lineárne programovanie, jedno a viac okruhové problémy či už bez obmedzenia, alebo s časovým prípadne hmotnostným obmedzením. Jeho zdrojový kód je napísaný vo štyroch programovacích jazykoch: C, C++, Python a Java. Nakoľko vstupné dáta sú priamo súčasťou zdrojového kódu, je potrebné pri výpočte daný program opätovne preložiť. Spomenuté na prvý pohľad nevýhody prinášajú so sebou jednu veľkú výhodu a to je prenositeľnosť programu medzi jednotlivými platformami ako sú Windows, Linux a podobne. Tie pri preklade použijú svoje vlastné knižnice a tým zabezpečia korektný preklad na danej platforme. My sme sa rozhodli pre použitie programu napísaného v jazyku Java.

- Java JDK (Java development kit). Keďže je potrebné program opätovne preložiť pri zadaní nových vstupných údajov, musíme použiť Java JDK, ktorého súčasťou je aj prekladač programového kódu napísaného v jazyku Java. Tento vývojový prostriedok je voľne šíriteľný za predpokladu nekomerčného použitia.
- Apache Maven. Jedná sa o voľne šíriteľný nástroj na automatizáciu buildov používaný primárne pre Java projekty. Pomocou Mavenu sa charakterizuje ako sa má program zostaviť a rieši sa zoznam závislostí na externých moduloch a komponentoch. Tieto informácie sa nastavujú v konfiguračnom súbore pom.xml.
- Microsoft Excel. Pre grafické rozhranie na zadanie údajov a zobrazenie výsledkov sme sa rozhodli použiť Visual Basic implementovaný v produkte Microsoft Excel. Pomocou neho sme naprogramovali užívateľské rozhranie, ktorého kód je uvedený v prílohe. To zahŕňa oblasť pre zadávanie vstupných údajov (distribučné centrum a zoznam pobočiek) formou ComboBoxov a oblasť vypočítaných hodnôt (počet uzlov, matica vzdialeností medzi mestami, dĺžka trasy, výsledná trasa a poradie miest tejto trasy).

Obrázok 5 Formulár pre jednokružný dopravný problém

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Po otvorení nami vytvoreného súboru v Microsoft Exceli sa zobrazia dva hárky. Na jednom je matica vzdialeností jednotlivých miest na Slovensku a na druhom sú tlačidlá

na spustenie samotného programu. Ten po výbere miest a zadaní príkazu „Vypočítaj“, vyplní maticu vzdialeností vybraných miest. Následne modifikuje zdrojový kód, ktorý bude obsahovať nami zadané údaje v presne definovanej štruktúre. Príklad časti zdrojového kódu obsahujúci vstupné dáta je na obrázku 6.

```
// [START data_model]
static class DataModel {
    public final long[][] distanceMatrix = {
        {0, 2451, 713, 1018, 1631, 1374, 2408, 213, 2571, 875, 1420, 2145, 1972},
        {2451, 0, 1745, 1524, 831, 1240, 959, 2596, 403, 1589, 1374, 357, 579},
        {713, 1745, 0, 355, 920, 803, 1737, 851, 1858, 262, 940, 1453, 1260},
        {1018, 1524, 355, 0, 700, 862, 1395, 1123, 1584, 466, 1056, 1280, 987},
        {1631, 831, 920, 700, 0, 663, 1021, 1769, 949, 796, 879, 586, 371},
        {1374, 1240, 803, 862, 663, 0, 1681, 1551, 1765, 547, 225, 887, 999},
        {2408, 959, 1737, 1395, 1021, 1681, 0, 2493, 678, 1724, 1891, 1114, 701},
        {213, 2596, 851, 1123, 1769, 1551, 2493, 0, 2699, 1038, 1605, 2300, 2099},
        {2571, 403, 1858, 1584, 949, 1765, 678, 2699, 0, 1744, 1645, 653, 600},
        {875, 1589, 262, 466, 796, 547, 1724, 1038, 1744, 0, 679, 1272, 1162},
        {1420, 1374, 940, 1056, 879, 225, 1891, 1605, 1645, 679, 0, 1017, 1200},
        {2145, 357, 1453, 1280, 586, 887, 1114, 2300, 653, 1272, 1017, 0, 504},
        {1972, 579, 1260, 987, 371, 999, 701, 2099, 600, 1162, 1200, 504, 0},
    };
    public final int vehicleNumber = 1;
    public final int depot = 0;
}
// [END data_model]
```

Obrázok 6 Zdrojový kód so vstupnými údajmi

Zdroj: Vlastné spracovanie

V ďalšom kroku je spustený Apache Maven, ktorý tento súbor obsahujúci zdrojový kód v programovacom jazyku Java preloží do binárneho kódu a tento následne spustí. Vzhľadom na jeho obmedzenia so spustením pomocou batch skriptu, je potrebné jednotlivé fázy (preklad, spustenie a spracovanie výstupu) od seba oddeliť a ponechať im čas na ich dokončenie. Príklad výstupu z programu OR-Tools preloženého prekladačom Java za pomoci Apache Maven je na obrázku 7.

```
[INFO] Scanning for projects...
[INFO] -----< com.google.ortools:TspCities >-----
[INFO] Building com.google.ortools:TspCities 9.7.2996
[INFO] from pom.xml
[INFO] -----[ jar ]-----
[INFO]
[INFO] --- exec:3.1.0:java (default-cli) @ TspCities ---
okt 17, 2023 8:37:06 PM com.google.ortools.constraintsolver.samples.TspCities printSolution
INFO: Objective: 394miles
okt 17, 2023 8:37:06 PM com.google.ortools.constraintsolver.samples.TspCities printSolution
INFO: Route:
okt 17, 2023 8:37:06 PM com.google.ortools.constraintsolver.samples.TspCities printSolution
INFO: 0 -> 4 -> 3 -> 5 -> 2 -> 1 -> 6 -> 0
okt 17, 2023 8:37:06 PM com.google.ortools.constraintsolver.samples.TspCities printSolution
INFO: Route distance: 394miles
[INFO] -----
[INFO] BUILD SUCCESS
[INFO] -----
[INFO] Total time: 0.753 s
[INFO] Finished at: 2023-10-17T20:37:06+02:00
[INFO] -----
```

Obrázok 7 Príklad výstupu z OR-Tools

Zdroj: Vlastné spracovanie

Výsledok je zapísaný do súboru, ktorý je načítaný v Microsoft Exceli. Tento pretransformuje poskytnuté dáta a zobrazí ich vo formulári.

Pre určenie vzdialeností medzi jednotlivými mestami sme použili tabuľku 1, ktorá predstavuje maticu optimálnych vzdialeností medzi vybranými mestami Slovenska.

Tabuľka 1 Matica vzdialeností medzi mestami Slovenska

Vzdialenosti sú udávané v Kilometroch Vzdialenosti v míľach	Žilina	Žiar n. Hronom	Zvolen	Vranov n. Topľou	Veľký Kríš	Trnava	Trenčín	Trebišov	Topoľčany	Svidník	Stará Ľubovňa	Spišská Nová Ves	Senica	Ružomberok	Rožňava	Rimavská Sobota	Považská Bystrica	Poprad	Prievidza	Prešov	Piešťany	Nové Zámky	Nové Mesto n. Váhom	Nitra	Michalovce	Martin	Malacky	Lučenec	Liptovský Mikuláš	Levice	Košice	Humenné	Galanta	Dunajská Streda	Dolný Kubín	Čadca	Bratislava	Bardejov
Banská Bystrica	90	38	21	249	74	169	144	264	111	258	166	144	196	53	146	102	121	119	75	202	145	145	151	116	273	63	225	76	77	91	194	275	166	195	69	120	208	222
Bardejov	247	260	243	73	264	391	324	102	333	34	56	110	396	183	146	199	278	103	297	42	367	367	345	338	106	220	447	225	159	313	75	99	388	417	199	277	430	
Bratislava	198	170	194	457	202	53	121	447	112	464	374	352	77	261	329	267	167	327	158	410	78	95	100	92	456	225	36	241	285	134	390	483	51	51	262	228		
Čadca	30	119	141	304	194	182	107	330	138	311	221	199	179	94	248	222	61	174	92	257	150	210	128	173	337	57	234	196	118	184	283	330	212	241	94			
Dolný Kubín	64	99	90	226	143	216	141	252	136	233	143	121	213	16	170	171	95	96	126	179	184	208	162	177	259	37	268	145	40	160	205	252	227	256				
Dunajská Streda	211	157	181	438	180	66	134	425	109	451	361	339	107	248	307	245	180	314	155	397	91	73	113	79	434	219	90	219	272	121	378	461	29					
Galanta	182	128	152	409	151	37	105	396	80	422	332	310	78	219	278	216	151	285	126	368	62	44	84	37	405	190	71	190	243	92	349	432						
Humenné	300	313	296	26	281	444	377	52	386	99	137	141	449	236	154	216	331	156	357	73	420	388	398	391	27	273	500	242	212	366	83							
Košice	253	238	214	60	198	362	330	47	311	89	98	94	396	189	71	133	184	109	275	34	345	305	351	309	56	226	418	159	165	283								
Levice	154	65	70	340	85	95	139	330	77	347	257	235	136	144	212	150	185	210	102	293	96	64	118	42	339	127	151	124	168									
Liptovský Mikuláš	88	115	98	186	151	240	165	212	188	193	103	81	237	24	130	133	119	56	150	139	208	222	186	193	219	61	292	153										
Lučenec	166	79	55	219	39	203	185	206	152	248	169	147	237	129	88	26	199	122	116	193	186	146	192	150	215	139	259											
Malacky	204	187	211	474	220	64	127	465	130	481	391	369	55	268	347	285	173	344	176	427	96	115	106	109	474	231												
Martin	27	62	84	247	137	179	104	273	135	254	164	142	176	37	191	165	58	117	89	200	147	171	125	140	280													
Michalovce	307	294	270	33	254	418	384	25	367	106	144	148	452	243	127	189	338	163	331	80	401	361	405	365														
Nitra	143	78	102	365	111	53	97	356	35	372	282	260	94	169	238	176	143	235	81	318	54	37	76															
Nové Mesto n. Váhom	98	113	137	372	187	54	21	398	56	379	289	267	51	162	280	218	67	242	76	325	22	108																
Nové Zámky	180	109	124	365	107	81	129	352	72	395	311	289	122	198	234	172	175	264	118	339	86																	
Piešťany	120	107	131	394	165	32	43	392	34	401	311	289	51	184	274	212	89	264	80	347																		
Prešov	227	247	223	47	232	371	304	76	320	56	64	68	376	163	105	157	258	83	284																			
Prievidza	62	37	61	331	114	112	69	322	46	331	241	219	127	126	204	142	93	194																				
Poprad	144	157	140	130	161	288	221	156	230	137	47	25	293	80	74	96	175																					
Považská Bystrica	31	120	144	305	197	121	46	331	123	312	222	200	118	95	249	225																						
Rimavská Sobota	192	105	81	193	65	229	211	180	178	222	143	121	260	155	62																							
Rožňava	218	167	143	131	127	291	273	118	240	160	121	99	325	154																								
Ružomberok	64	91	74	210	127	216	141	236	150	217	127	105	213																									
Senica	149	158	182	423	205	41	72	443	85	430	340	318																										
Spišská Nová Ves	169	182	165	115	186	313	246	141	255	124	72																											
Stará Ľubovňa	191	204	187	111	208	335	268	145	277	90																												
Svidník	281	296	279	73	287	425	358	102	364																													
Topoľčany	108	73	97	367	146	72	57	358																														
Trebišov	302	285	261	29	245	409	377																															
Trenčín	77	106	130	351	183	75																																
Trnava	152	131	155	418	164																																	
Veľký Kríš	164	77	53	258																																		
Vranov n. Topľou	274	287	270																																			
Zvolen	111	24																																				
Žiar n. Hronom	89																																					

Zdroj: <http://www.slovakiasite.com/sk/vzdialenosti.php>

4.1 Súčasný stav

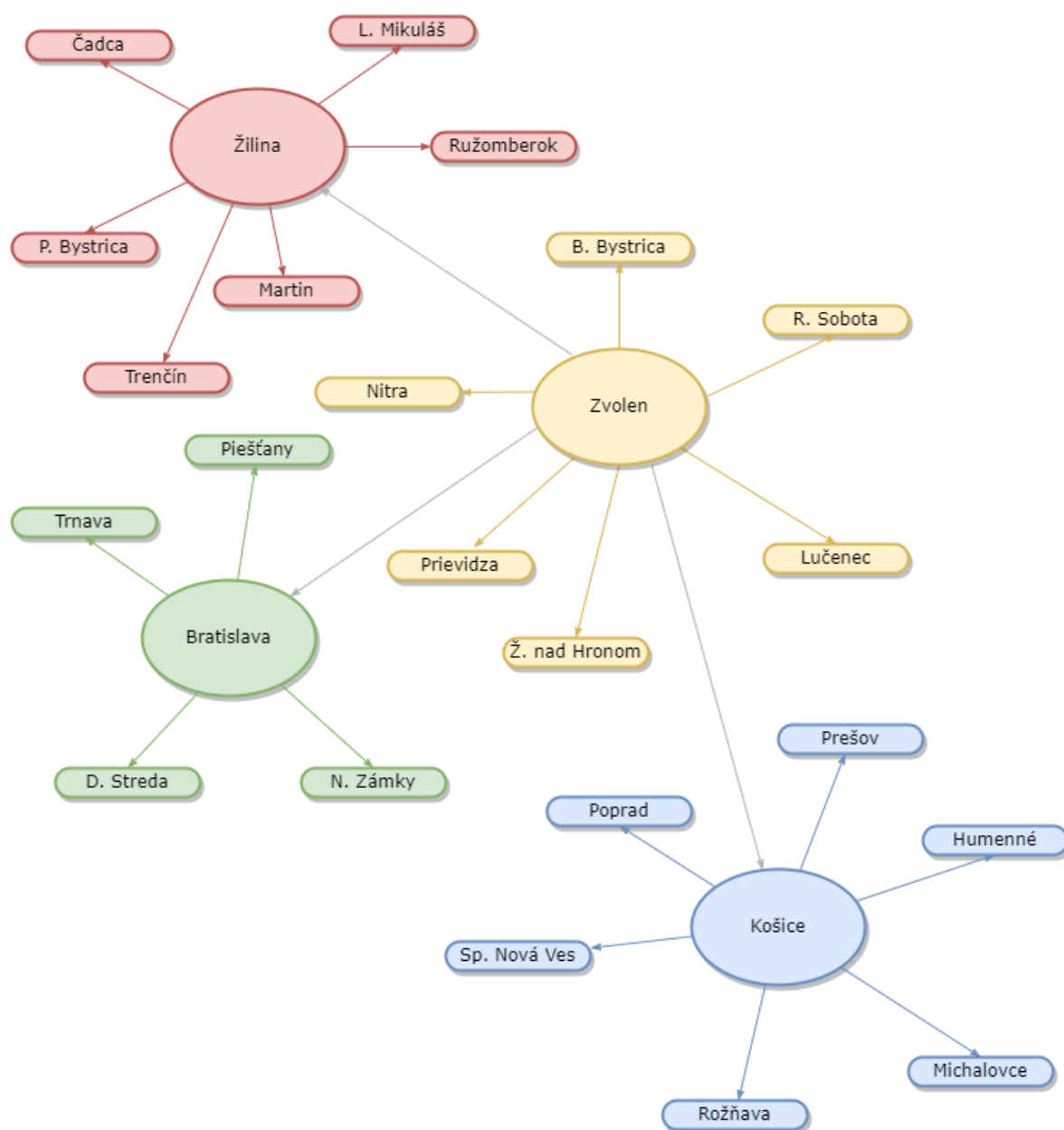
Súčasný model je založený na stromovej štruktúre, kde Zvolen prepája zvyšné tri distribučné centrá, t. z. prevoz tovaru medzi ostatnými centrami je vždy realizovaný prostredníctvom centra vo Zvolene. Na dennej báze je transportovaný tovar medzi centrami:

Zvolen a Žilina, Zvolen a Bratislava, Zvolen a Košice. Vzdialenosť distribučných centier je navrhnutá tak, aby podľa možností čo najmenej prekračovala 400 km na trasu, ktorá je tvorená cestou zo Zvolena do ktoréhokoľvek ďalšieho distribučného centra a naspäť, čo je považované za reálnu vzdialenosť splniteľnú na dennej báze počas všetkých ročných období a každého počasia. Na splnenie tejto úlohy sú dostačujúce tri nákladné automobily. V rámci každého distribučného centra sú vytvorené okruhy, ktorých dĺžka by tiež mala čo najmenej prekračovať 400 km. Na distribúciu v rámci každého distribučného centra je použité jedno nákladné auto. Distribúcia v rámci pobočiek nie je predmetom tejto práce.

Súčasný model pozostáva z nasledujúcich okruhov:

1. okruh
distribučné centrum: Bratislava
pobočky: Dunajská Streda, Piešťany, Trnava, Nové Zámky.
2. okruh
distribučné centrum: Žilina
pobočky: Čadca, Liptovský Mikuláš, Martin, Považská Bystrica, Trenčín, Ružomberok.
3. okruh
distribučné centrum: Zvolen
pobočky: Banská Bystrica, Lučenec, Nitra, Rimavská Sobota, Prievidza, Žiar nad Hronom.
4. okruh
distribučné centrum: Košice
pobočky: Humenné, Prešov, Poprad, Rožňava, Spišská Nová Ves, Michalovce.

Grafické znázornenie tohto modelu je na obrázku 8.



Obrázok 8 Grafické znázornenie súčasného stavu

Zdroj: Vlastné spracovanie programom draw.io

Rozvoz a zvoz tovaru z centier do pobočiek sa vykonáva denne. Keďže jeho množstvo nikdy nenaplní maximálnu kapacitu vozidla, je možné použiť nami vytvorený program na riešenie jednookruhových problémov.

1. okruh.

V prvom okruhu sa z geografického hľadiska distribučné centrum nachádza na juhozápade oblasti. Jednotlivé pobočky sú navzájom pomerne dobre poprepájané

dopravnými komunikáciami, z čoho vyplýva množstvo rôznych možností trás a vyvstáva potreba vyhľadania tej optimálnej.

Vypočítané hodnoty pomocou nášho programu.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum: Bratislava

Pobočka 1: Dunajská Streda

Pobočka 2: Piešťany

Pobočka 3: Trnava

Pobočka 4: Nové Zámky

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov: 5

Trasa: 0 -> 1 -> 4 -> 2 -> 3 -> 0

Dĺžka trasy v km: 295

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	51	78	53	95					
51	0	91	66	73					
78	91	0	32	86					
53	66	32	0	81					
95	73	86	81	0					

Výsledný okruh

Distribučné centrum: Bratislava

1. pobočka v poradí: Dunajská Streda

2. pobočka v poradí: Nové Zámky

3. pobočka v poradí: Piešťany

4. pobočka v poradí: Trnava

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 9 Formulár 1. okruhu súčasného stavu

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z uvedeného vyplýva, že trasa povedie z Bratislavy cez Dunajskú Stredu, Nové Zámky, Piešťany a Trnavu späť do Bratislavy. Jej dĺžka bude 295 km.

2. okruh.

V druhom okruhu sa mesto Žilina, ktoré je distribučným centrom nachádza uprostred oblasti. Množstvo pobočiek je prepojitelných len priamo cez distribučné centrum. Napríklad trasa z Martina do Čadce prechádza cez Žilinu a neexistuje iné kratšie dopravné spojenie týchto miest. V iných prípadoch by sme mohli nájsť kratšie dopravné spojenie, ktoré by však prebiehalo po cestách nižšej triedy, nevyhovujúcich prípadne obmedzujúcich prepravu tovaru.

Výsledná trasa prepočítaná pomocou programu.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum:

Pobočka 1:

Pobočka 2:

Pobočka 3:

Pobočka 4:

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov:

Trasa: 0 -> 3 -> 6 -> 2 -> 1 -> 4 -> 5 -> 0

Dĺžka trasy v km:

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	30	88	27	31	77	64			
30	0	118	57	61	107	94			
88	118	0	61	119	165	24			
27	57	61	0	58	104	37			
31	61	119	58	0	46	95			
77	107	165	104	46	0	141			
64	94	24	37	95	141	0			

Výsledný okruh

Distribučné centrum:

1. pobočka v poradí:

2. pobočka v poradí:

3. pobočka v poradí:

4. pobočka v poradí:

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 10 Formulár 2. okruhu súčasného stavu

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z výsledkov vyplýva, že trasa povedie zo Žiliny cez Martin, Ružomberok, Liptovský Mikuláš, Čadcu, Považskú Bystricu a Trenčín späť do Žiliny. Jej celková dĺžka je 390 km.

3. okruh.

Tretí okruh geografickým rozložením distribučného centra vo Zvolene a pobočiek sa podobá na žilinský okruh. Alternatívne prepojenia jednotlivých pobočiek prakticky neexistujú, z čoho vyplýva malý priestor na nájdenie iného ako optimálneho riešenia.

Trasa prepočítaná programom.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum:

Pobočka 1:

Pobočka 2:

Pobočka 3:

Pobočka 4:

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov:

Trasa:

Dĺžka trasy v km:

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	21	55	102	81	61	24			
21	0	76	116	102	75	38			
55	76	0	150	26	116	79			
102	116	150	0	176	81	78			
81	102	26	176	0	142	105			
61	75	116	81	142	0	37			
24	38	79	78	105	37	0			

Výsledný okruh

Distribučné centrum:

1. pobočka v poradí:

2. pobočka v poradí:

3. pobočka v poradí:

4. pobočka v poradí:

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 11 Formulár 3. okruhu súčasného stavu

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Optimálna trasa pre tretí okruh začína vo Zvolene a vedie cez Banskú Bystricu, Žiar nad Hronom, Prievidzu, Nitru, Lučenec a Rimavskú Sobotu do distribučného centra vo Zvolene. Celková dĺžka trasy je 434 km.

4. okruh.

Geograficky sa distribučné centrum štvrtého okruhu ktoré je v Košiciach nachádza na juhu jeho oblasti. Jeho jednotlivé pobočky sú pomerne dobre poprepájané dopravnými komunikáciami, z čoho vyplýva priestor na hľadanie optimálneho riešenia t.j. čo najkratšej trasy, ktorú získame nasledujúcim výpočtom.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum:

Pobočka 1:

Pobočka 2:

Pobočka 3:

Pobočka 4:

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov:

Trasa:

Dĺžka trasy v km:

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	83	34	109	71	94	56			
83	0	73	156	154	141	27			
34	73	0	83	105	68	80			
109	156	83	0	74	25	163			
71	154	105	74	0	99	127			
94	141	68	25	99	0	148			
56	27	80	163	127	148	0			

Výsledný okruh

Distribučné centrum:

1. pobočka v poradí:

2. pobočka v poradí:

3. pobočka v poradí:

4. pobočka v poradí:

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 12 Formulár 4. okruhu súčasného stavu

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Trasa vypočítaná programom ako optimálna povedie z distribučného centra v Košiciach cez Rožňavu, Poprad, Spišskú Novú Ves, Prešov, Humenné a Michalovce naspäť do Košíc. Jej dĺžka je 394 km.

4.2 Prvá alternatíva

V tejto alternatíve presunieme pobočky Trenčín a Nitra do pôsobnosti distribučného centra v Bratislave.

Prvá alternatíva pozostáva z nasledujúcich okruhov:

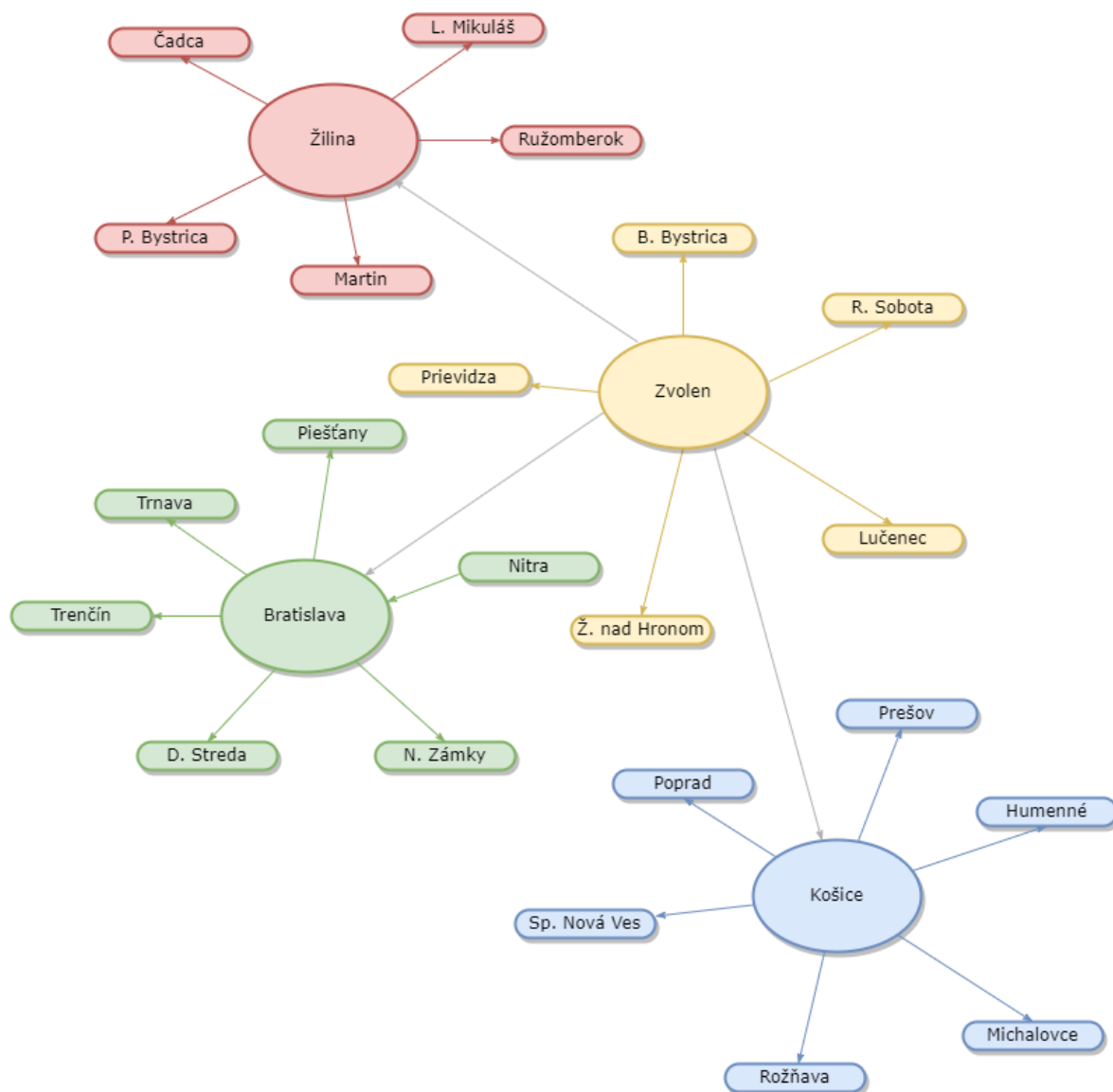
1. okruh
distribučné centrum: Bratislava
pobočky: Dunajská Streda, Piešťany, Trnava, Nové Zámky, Nitra, Trenčín.
2. okruh
distribučné centrum: Žilina
pobočky: Čadca, Liptovský Mikuláš, Martin, Považská Bystrica, Ružomberok.
3. okruh
distribučné centrum: Zvolen

pobočky: Banská Bystrica, Lučenec, Rimavská Sobota, Prievidza, Žiar nad Hronom.

4. okruh

distribučné centrum: Košice

pobočky: Humenné, Prešov, Poprad, Rožňava, Spišská Nová Ves, Michalovce.



Obrázok 13 Grafické znázornenie prvej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom draw.io

1. okruh.

V tomto okruhu pribudli dve pobočky, čo spôsobí zväčšenie jeho dĺžky oproti súčasnému stavu. Trasa prepočítaná programom bude nasledovná.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum: Bratislava

Pobočka 1: Dunajská Streda

Pobočka 2: Piešťany

Pobočka 3: Trnava

Pobočka 4: Nové Zámky

Pobočka 5: Nitra

Pobočka 6: Trenčín

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov: 7

Trasa: 0 -> 1 -> 4 -> 5 -> 6 -> 2 -> 3 -> 0

Dĺžka trasy v km: 386

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	51	78	53	95	92	121			
51	0	91	66	73	79	134			
78	91	0	32	86	54	43			
53	66	32	0	81	53	75			
95	73	86	81	0	37	129			
92	79	54	53	37	0	97			
121	134	43	75	129	97	0			

Výsledný okruh

Distribučné centrum: Bratislava

1. pobočka v poradí: Dunajská Streda

2. pobočka v poradí: Nové Zámky

3. pobočka v poradí: Nitra

4. pobočka v poradí: Trenčín

5. pobočka v poradí: Piešťany

6. pobočka v poradí: Trnava

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 14 Formulár 1. okruhu prvej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z uvedeného vyplýva, že trasa povedie z Bratislavy cez Dunajskú Stredu, Nové Zámky, Nitru, Trenčín, Piešťany a Trnavu späť do Bratislavy. Jej dĺžka bude 386 km.

2. okruh.

Z tohto okruhu sme presunuli pobočku v Trenčíne do prvého okruhu, čoho dôsledkom je skrátenie jeho dĺžky. Jeho štruktúra bude.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum: Žilina

Pobočka 1: Čadca

Pobočka 2: Liptovský Mikuláš

Pobočka 3: Martin

Pobočka 4: Považská Bystrica

Pobočka 5: Ružomberok

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov: 6

Trasa: 0 -> 3 -> 5 -> 2 -> 1 -> 4 -> 0

Dĺžka trasy v km: 298

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	30	88	27	31	64			
30	0	118	57	61	94			
88	118	0	61	119	24			
27	57	61	0	58	37			
31	61	119	58	0	95			
64	94	24	37	95	0			

Výsledný okruh

Distribučné centrum: Žilina

1. pobočka v poradí: Martin

2. pobočka v poradí: Ružomberok

3. pobočka v poradí: Liptovský Mikuláš

4. pobočka v poradí: Čadca

5. pobočka v poradí: Považská Bystrica

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 15 Formulár 2. okruhu prvej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z výsledkov vyplýva, že trasa povedie zo Žiliny cez Martin, Ružomberok, Liptovský Mikuláš, Čadcu a Považskú Bystricu späť do Žiliny. Jej celková dĺžka je 298 km.

3. okruh.

V tomto okruhu bol redukovaný počet pobočiek o Nitru, ktorá patrí teraz pod distribučné centrum v Bratislave. Výpočet programom predstavuje obrázok 16.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum:

Pobočka 1:

Pobočka 2:

Pobočka 3:

Pobočka 4:

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov:

Trasa: 0 → 1 → 5 → 4 → 2 → 3 → 0

Dĺžka trasy v km:

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	21	55	81	61	24				
21	0	76	102	75	38				
55	76	0	26	116	79				
81	102	26	0	142	105				
61	75	116	142	0	37				
24	38	79	105	37	0				

Výsledný okruh

Distribučné centrum:

1. pobočka v poradí:

2. pobočka v poradí:

3. pobočka v poradí:

4. pobočka v poradí:

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 16 Formulár 3. okruhu prvej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Optimálna trasa pre tretí okruh začína vo Zvolene a vedie cez Banskú Bystricu, Žiar nad Hronom, Prievidzu, Lučenec a Rimavskú Sobotu do distribučného centra vo Zvolene. Celková dĺžka trasy je 319 km.

4. okruh.

Oproti súčasnemu modelu nenastala žiadna zmena, čiže výsledky sú identické.

4.3 Druhá alternatíva

V druhej alternatíve, ktorá vychádza z rozdelenia pobočiek v prvej alternatíve, presunieme tri nákladné autá poverené prevozom tovaru medzi distribučnými centrami do pôsobnosti centier v Bratislave, Žiline a Košíc. V týchto centrách vytvoríme po dva okruhy, pričom v jednom z nich bude zahrnuté distribučné centrum vo Zvolene. Výhodou

tohto modelu bude, že automobil pôvodne určený len na prevoz tovaru medzi centrami zároveň navštívi pobočky v blízkosti tejto trasy a tým odľahčí okruhy vytvorené v rámci prvej alternatívy. Napríklad pri štvrtom okruhu automobil prevážajúci tovar medzi Zvolenom a Košicami vyloží a naloží tovar v Rožňave, cez ktorú aj tak vedie dopravná trasa medzi centrami. Tým sa skráti okruh v rámci košického distribučného centra. Výsledný počet vozidiel bude identický ako pri pôvodnom modeli.

Na riešenie pre rozdelenie pobočiek na dva okruhy pre jednotlivé distribučné centrá sa natíska možnosť použitia Mayerovej metódy, ktorá ako limitujúci faktor môže použiť nielen kapacitu vozidla ale aj maximálny počet kilometrov prejdený na danej trase. V našom prípade sa budeme snažiť neprekročiť výrazne vzdialenosť 400 km. V prípade štvrtého okruhu však nastáva problém, kde podľa Mayerovej metódy by sme mali do okruhu k Zvolenu zaradiť pobočku v Poprade, čo nám výrazne navýši dĺžku okruhu. Preto použijeme intuitívnu metódu a prvý okruh navrhujeme ako spojnicu miest Košice, Rožňava a Zvolen. V prípade Zvolena bude okruh identický s okruhom vypočítanom v prvej alternatíve. Okruhy budú vyzeráť nasledovne:

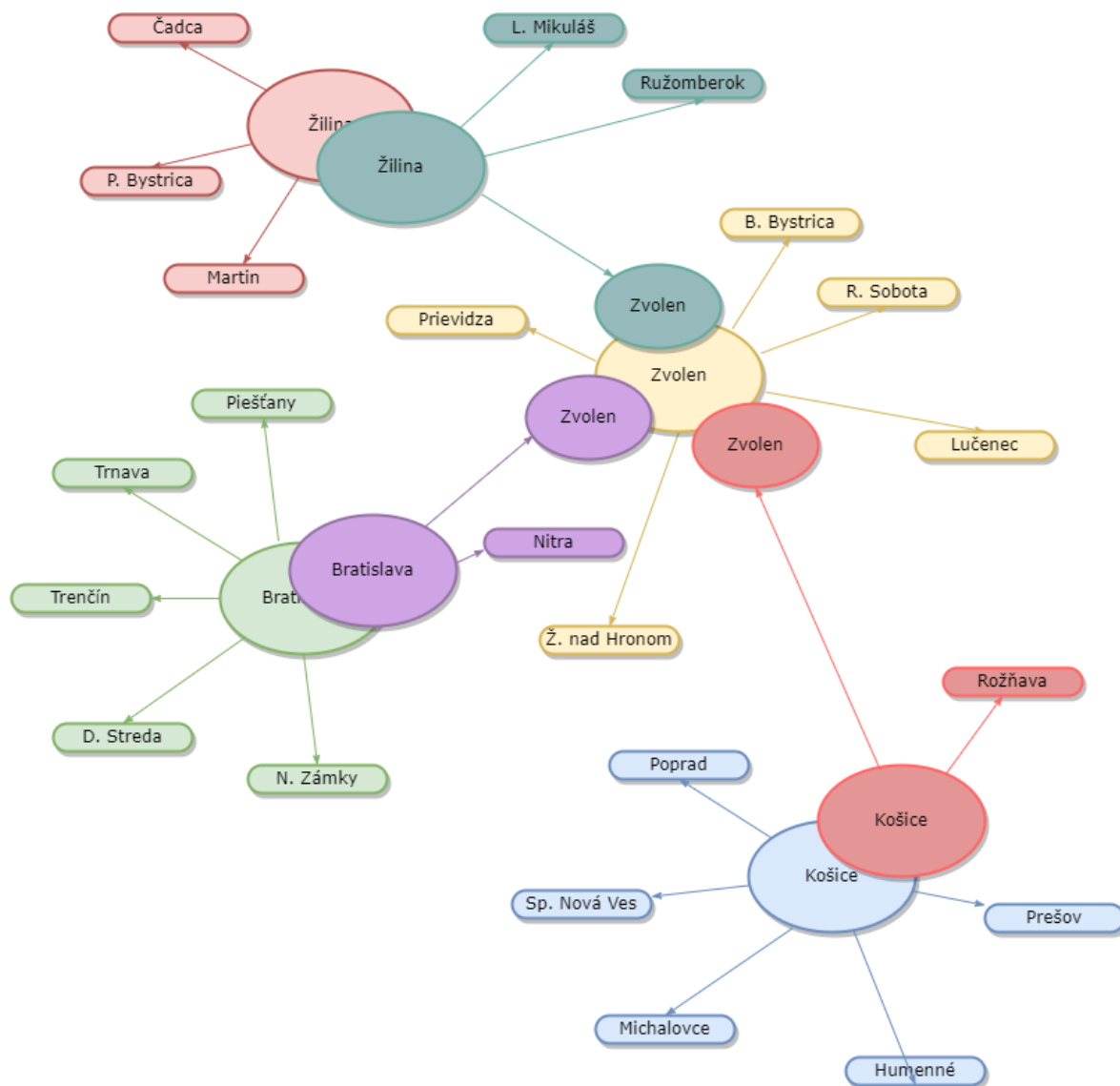
1. okruh
distribučné centrá: Bratislava, Zvolen
pobočky: Nitra.
2. okruh
distribučné centrum: Bratislava
pobočky: Dunajská Streda, Piešťany, Trnava, Nové Zámky, Trenčín.
3. okruh
distribučné centrá: Žilina, Zvolen
pobočky: Liptovský Mikuláš, Ružomberok.
4. okruh
distribučné centrum: Žilina
pobočky: Čadca, Martin, Považská Bystrica.
5. okruh
distribučné centrum: Zvolen
pobočky: Banská Bystrica, Lučenec, Rimavská Sobota, Prievidza, Žiar nad Hronom.
6. okruh
distribučné centrá: Košice, Zvolen

pobočky: Rožňava.

7. okruh

distribučné centrum: Košice

pobočky: Humenné, Prešov, Poprad, Spišská Nová Ves, Michalovce.



Obrázok 17 Grafické znázornenie druhej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom draw.io

1. okruh.

Okruh obsahuje len 3 uzly, pričom Nitra sa nachádza na trase zo Zvolena do Bratislavy. Výsledná dĺžka bude dvojnásobkom súčtov vzdialeností Zvolena a Nitry so vzdialenosťou Bratislavy a Nitry, teda 388 km.

2. okruh.

Druhý okruh na rozdiel od predchádzajúcej alternatívy neobsahuje pobočku v Nitre a jeho výpočet je uvedený v obrázku 18.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum
Bratislava

Pobočka 1
Dunajská Streda

Pobočka 2
Piešťany

Pobočka 3
Trnava

Pobočka 4
Nové Zámky

Pobočka 5
Trenčín

Pobočka 6

Pobočka 7

Pobočka 8

Pobočka 9

Vypočítaj

Počet uzlov
6

Trasa
0 -> 1 -> 4 -> 5 -> 2 -> 3 -> 0

Dĺžka trasy v km
381

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	51	78	53	95	121				
51	0	91	66	73	134				
78	91	0	32	86	43				
53	66	32	0	81	75				
95	73	86	81	0	129				
121	134	43	75	129	0				

Výsledný okruh

Distribučné centrum
Bratislava

1. pobočka v poradí
Dunajská Streda

2. pobočka v poradí
Nové Zámky

3. pobočka v poradí
Trenčín

4. pobočka v poradí
Piešťany

5. pobočka v poradí
Trnava

6. pobočka v poradí

7. pobočka v poradí

8. pobočka v poradí

9. pobočka v poradí

M. Krmeský 2023

Obrázok 18 Formulár 2. okruhu druhej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z uvedeného vyplýva, že trasa povedie z Bratislavy cez Dunajskú Stredu, Nové Zámky, Trenčín, Piešťany a Trnavu späť do Bratislavy. Jej dĺžka bude 381 km.

3. okruh.

Tento okruh obsahuje len 4 uzly, čiže každé riešenie obsahujúce priame prepojenie Ružomberka s Liptovským Mikulášom bude optimálne tak ako to ukazuje obrázok 19.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum

Pobočka 1

Pobočka 2

Pobočka 3

Pobočka 4

Pobočka 5

Pobočka 6

Pobočka 7

Pobočka 8

Pobočka 9

Vypočítaj

Počet uzlov

Trasa
0 -> 2 -> 1 -> 3 -> 0

Dĺžka trasy v km

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	88	64	111						
88	0	24	98						
64	24	0	74						
111	98	74	0						

Výsledný okruh

Distribučné centrum

1. pobočka v poradí

2. pobočka v poradí

3. pobočka v poradí

4. pobočka v poradí

5. pobočka v poradí

6. pobočka v poradí

7. pobočka v poradí

8. pobočka v poradí

9. pobočka v poradí

M. Krmeský 2023

Obrázok 19 Formulár 3. okruhu druhej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z výsledkov vyplýva, že trasa povedie zo Žiliny cez Ružomberok, Liptovský Mikuláš a Zvolen späť do Žiliny. Jej celková dĺžka je 297 km.

4. okruh.

Okruh obsahuje rovnako ako predchádzajúci okruh iba 4 uzly a výsledkom je nasledujúce riešenie.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum

Pobočka 1

Pobočka 2

Pobočka 3

Pobočka 4

Pobočka 5

Pobočka 6

Pobočka 7

Pobočka 8

Pobočka 9

Vypočítaj

Počet uzlov

Trasa
0 -> 2 -> 1 -> 3 -> 0

Dĺžka trasy v km

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	30	27	31						
30	0	57	61						
27	57	0	58						
31	61	58	0						

Výsledný okruh

Distribučné centrum

1. pobočka v poradí

2. pobočka v poradí

3. pobočka v poradí

4. pobočka v poradí

5. pobočka v poradí

6. pobočka v poradí

7. pobočka v poradí

8. pobočka v poradí

9. pobočka v poradí

M. Krmeský 2023

Obrázok 20 Formulár 4. okruhu druhej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Z výsledkov vyplýva, že trasa povedie zo Žiliny cez Martin, Čadcu a Považskú Bystricu späť do Žiliny. Jej celková dĺžka je 176 km.

5. okruh.

Tento okruh je identický ako tretí okruh prvej alternatívy a teda výsledky sú rovnaké.

6. okruh.

Nakoľko okruh obsahuje len 3 uzly, pričom Rožňava sa nachádza priamo na trase zo Zvolena do Košíc, bude výsledná dĺžka rovnaká pre všetky metódy a bude dvojnásobok vzdialenosti Zvolena a Košíc, teda 428 km.

7. okruh.

Posledný okruh tejto alternatívy sa líši od predchádzajúcich alternatív zníženým počtom pobočiek o Rožňavu. Výsledkom výpočtu je stav v obrázku 21.

Jednookružný dopravný problém

Distribučné centrum:

Pobočka 1:

Pobočka 2:

Pobočka 3:

Pobočka 4:

Pobočka 5:

Pobočka 6:

Pobočka 7:

Pobočka 8:

Pobočka 9:

Vypočítaj

Počet uzlov:

Trasa: 0 -> 3 -> 4 -> 2 -> 1 -> 5 -> 0

Dĺžka trasy v km:

Koniec

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	83	34	109	94	56				
83	0	73	156	141	27				
34	73	0	83	68	80				
109	156	83	0	25	163				
94	141	68	25	0	148				
56	27	80	163	148	0				

Výsledný okruh

Distribučné centrum:

1. pobočka v poradí:

2. pobočka v poradí:

3. pobočka v poradí:

4. pobočka v poradí:

5. pobočka v poradí:

6. pobočka v poradí:

7. pobočka v poradí:

8. pobočka v poradí:

9. pobočka v poradí:

M. Krmeský 2023

Obrázok 21 Formulár 7. okruhu druhej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

Trasa vypočítaná programom ako optimálna povedie z distribučného centra v Košiciach cez Poprad, Spišskú Novú Ves, Prešov, Humenné a Michalovce naspäť do Košíc. Jej dĺžka je 358 km.

Tabuľka 2 prináša porovnanie vypočítaných hodnôt pre súčasný stav a obe alternatívy.

Tabuľka 2 Porovnanie vypočítaných hodnôt

	1. okruh	2. okruh	3. okruh	4. okruh	5. okruh	6. okruh	7. okruh	Zvolen <-> Žilina	Zvolen <-> Bratislava	Zvolen <-> Košice	Prejdená vzdialenosť	Celkový výsledok v %
Súčasný stav	295	390	434	394	-	-	-	222	388	428	2551	109
1. alternatíva	386	298	319	394	-	-	-	222	388	428	2435	104
2. alternatíva	388	381	297	176	319	428	358	-	-	-	2347	100

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.4 Tretia alternatíva

Všetky doteraz analyzované modely počítali s distribučnými centrami umiestnenými v Bratislave, Žiline, Zvolene a Košiciach. Z geografického hľadiska sa centrá v Bratislave a Žiline nachádzajú na okraji regiónov, čo nemusí viesť k optimálnym výsledkom dĺžky najazdených kilometrov. Uvažujme preto o zlúčení stredísk v Bratislave, v Žiline a vo Zvolene do jediného strediska v Nitre. Košice vzhľadom na svoju polohu v rámci regiónu zostávajú vhodným miestom pre distribučné centrum. Keďže na každé distribučné centrum pripadá väčšie množstvo pobočiek, je nevyhnutné vytvoriť dva okruhy v rámci každého z nich, aby množstvo denne prejazdených kilometrov zodpovedalo reálnym možnostiam. V našom prípade sme tento limit navýšili na ešte prijateľných 480 km.

Tento model má nasledovnú štruktúru:

1. región

distribučné centrum: Nitra

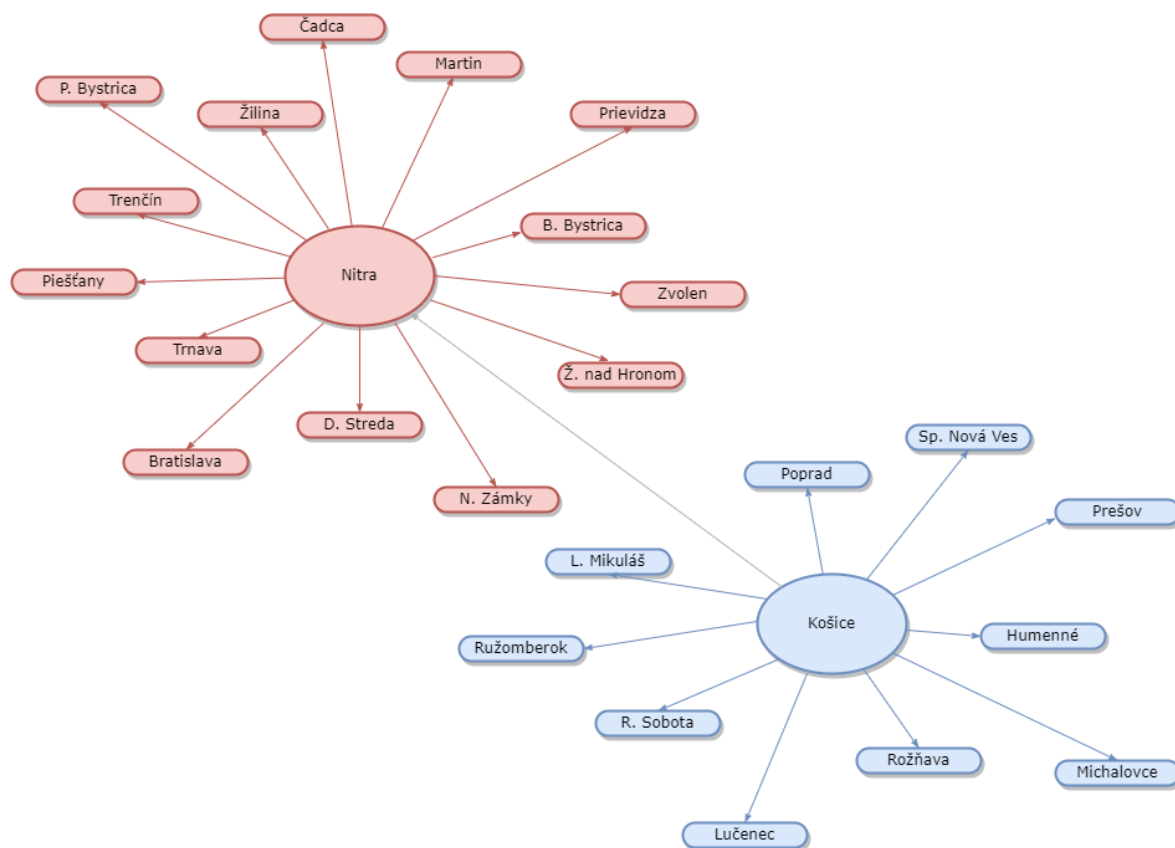
pobočky: Bratislava, Dunajská Streda, Piešťany, Trnava, Nové Zámky, Čadca, Martin, Považská Bystrica, Trenčín, Žilina, Banská Bystrica, Prievidza, Zvolen, Žiar nad Hronom.

2. región

distribučné centrum: Košice

pobočky: Liptovský Mikuláš, Ružomberok, Lučenec, Rimavská Sobota, Humenné, Prešov, Poprad, Rožňava, Spišská Nová Ves, Michalovce.

Grafické znázornenie dokumentuje obrázok 22.



Obrázok 22 Grafické znázornenie tretej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom draw.io

Pre tento model sme vytvorili v Microsoft Exceli nový formulár, ktorý rieši problém viacokruhového dopravného problému. Tento formulár na rozdiel od predchádzajúcich modelov odvolávajúcich sa na modul TspCities z OR-Tools bude používať modul Vrp, ktorý sme upravili pre naše potreby. Tlačidlo pre spustenie formulára s kódom vo Visual Basicu sa nachádza v tom istom hárku ako pre jednookruhový dopravný problém a postup spracovania vstupných údajov je obdobný.

1. región.

Programom navrhnuté rozdelenie do okruhov je nasledovné:

1. okruh – z distribučného centra nachádzajúceho sa v Nitre vedie trasa cez Piešťany, Trenčín, Považskú Bystricu, Žilinu, Čadcu, Martin, Banskú Bystricu, Zvolen a Žiar nad Hronom späť do Nitry. Jeho dĺžka je 447 km.
2. okruh – z Nitry vedie trasa cez Nové Zámky, Dunajskú Stredú, Bratislavu, Trnavu a Prievidzu naspäť do Nitry. Dĺžka tohto okruhu je 407 km.

Z uvedeného vyplýva, že celková vzdialenosť kilometrov v rámci prvého regiónu predstavuje 854 km denne.

Výsledok výpočtu je reprezentovaný obrázkom 23.

Viacokruhový dopravný problém

Distribučné centrum: Nitra

Vzdialenosti medzi vybranými mestami

0	92	79	54	53	37	143	173	140	143	97	102	116	81	78
92	0	51	78	53	95	198	228	225	167	121	194	208	158	170
79	51	0	91	66	73	211	241	219	180	134	181	195	155	157
54	78	91	0	32	86	120	150	147	89	43	131	145	80	107
53	53	66	32	0	81	152	182	179	121	75	155	169	112	131
37	95	73	86	81	0	180	210	171	175	129	124	145	118	109
143	198	211	120	152	180	0	30	27	31	77	111	90	62	89
173	228	241	150	182	210	30	0	57	61	107	141	120	92	119
140	225	219	147	179	171	27	57	0	58	104	84	63	89	62
143	167	180	89	121	175	31	61	58	0	46	144	121	93	120
97	121	134	43	75	129	77	107	104	46	0	130	144	69	106
102	194	181	131	155	124	111	141	84	144	130	0	21	61	24
116	208	195	145	169	145	90	120	63	121	144	21	0	75	38
81	158	155	80	112	118	62	92	89	93	69	61	75	0	37
78	170	157	107	131	109	89	119	62	120	106	24	38	37	0

Vypočítaj

Koniec

Počet uzlov: 15

Celková dĺžka oboch trás v km: 854

Dĺžka 1. trasy v km: 447

Dĺžka 2. trasy v km: 407

Výsledný 1. okruh: Nitra, Piešťany, Trenčín, Považská Bystrica, Žilina, Čadca, Martin, Banská Bystrica, Zvolen, Žiar n. Hronom, Nitra

Výsledný 2. okruh: Nitra, Nové Zámky, Dunajská Streda, Bratislava, Trnava, Prievidza, Nitra

Obrázok 23 Formulár 1. regiónu tretej alternatívy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

2. región.

Tento región s distribučným centrom v Košiciach spracovaný programom ponúka nasledujúce riešenie dopravného problému a to rozdelením do nasledujúcich okruhov:

1. okruh – z distribučného centra v Košiciach vedie trasa cez pobočky v Rožňave, Rimavskej Sobote, Lučenci, Ružomberku, Liptovskom Mikuláši a Poprade späť do Košíc. Dĺžka tohto okruhu je 477 km.
2. okruh – z centra v Košiciach vedie trasa do Spišskej Novej Vsi, Prešova, Humenného a Michaloviec naspäť do Košíc. Jeho dĺžka je 318 km.

Spočítaním dĺžok oboch okruhov dostávame výslednú sumu 795 km.

Tieto výpočty potvrdzuje obrázok 24.

[illegible]

Obrázok 24 Formulár 2. regiónu tretej alternativy

Zdroj: Vlastné spracovanie programom Microsoft Excel

K uvedeným množstvám prejazdených kilometrov je potrebné pripočítať aj vzdialenosť medzi Košicami a Nitrou, ktorá činí 309 kilometrov každým smerom. Vzhľadom na túto dĺžku už musíme uvažovať o potrebe dvoch motorových vozidiel, z ktorých jedno absolvuje jeden deň cestu napr. z Košíc do Nitry a druhý deň sa vráti naspäť. Druhé vozidlo tieto trasy pochopiteľne absolvuje v opačnom poradí. Celkové množstvo kilometrov prejazdených každý deň bude 2267 kilometrov. Z uvedeného vyplýva potreba iba šiestich vozidiel a tým úspora jedného vozidla a nákladov s tým súvisiacich. Na druhej strane bude priemerné množstvo kilometrov prejazdené každým z týchto šiestich motorových vozidiel vyššie, čo do určitej miery navýši náklady spojené so servisnými úkonmi.

5 Diskusia

V tejto kapitole zhodnotíme výsledky navrhovaných zmien jednotlivými alternatívami. Pri výpočtoch sme využili mohutný voľne šíriteľný komplex knižníc OR-Tools portovaný na množstvo operačných systémov pre štyri programovacie jazyky. My sme si vybrali verziu určenú pre operačný systém Windows a programovací jazyk Java. Na výpočet pre súčasný stav a prvé dve alternatívy sme použili modul TcpCities a pre tretiu alternatívu modul Vrp. Oba moduly patria do kategórie heuristických metód. Ako dôkaz kvality týchto modulov slúži príloha 1 tejto práce, kde sú súčasný stav a prvé dve alternatívy podrobené výpočtu štyrmi metódami: metódou najbližšieho suseda, vkladacou metódou, metódou výhodnostných čísiel a Vogelovou aproximačnou metódou. Z výpočtov je zjavné, že metóda výhodnostných čísiel dosahuje najlepšie výsledky pri všetkých výpočtoch, ktorých hodnoty sú zhodné s výpočtami dosiahnutými pomocou nami navrhnutého aplikačného vybavenia a je vysoký predpoklad, že tieto hodnoty vzhľadom na pomerne nižší počet vstupných parametrov dosahujú optimálne hodnoty.

Prvá alternatíva sa od súčasného stavu líši iba presunom pobočiek v Trenčíne a Nitre do pôsobnosti distribučného centra v Bratislave. Táto zmena neovplyvňuje stav vozového parku t.j. že množstvo dopravných prostriedkov potrebných na zabezpečenie rozvozu sa nemení. K úspore dochádza znížením počtu prejazdených kilometrov a z toho vyplývajúceho množstva pohonných hmôt. Číselne sa jedná o sumu približne 9 – 12 000 Eur v závislosti od priemernej spotreby.

Druhá alternatíva, ktorá vychádza z rozdelenia pobočiek v prvej alternatíve, presúva tri nákladné automobily poverené prevozom tovaru medzi distribučnými centrami do pôsobnosti centier v Bratislave, Žiline a Košiciach. V týchto centrách sú vytvorené po dva okruhy, pričom v jednom z nich je zahrnuté distribučné centrum vo Zvolene. Výhodou tohto modelu je, že auto pôvodne určené len na prevoz tovaru medzi centrami zároveň navštevuje pobočky v blízkosti tejto trasy a tým odľahčuje okruhy vytvorené v rámci prvej alternatívy. Počet potrebných dopravných prostriedkov sa opäť nemení, dochádza ale k skráteniu niektorých pôvodných okruhov, čo vedie k úspore pohonných hmôt a tým pádom nákladov vo výške 15 – 21 000 Eur v porovnaní so súčasným modelom.

Finančné zhodnotenie jednotlivých alternatív zahŕňa množstvo aspektov, ktoré v konečnom dôsledku sú všetky výrazne závislé od množstva najazdených kilometrov. Jedná sa predovšetkým o:

- Spotrebované pohonné hmoty. Táto položka predstavuje najpodstatnejšiu časť nákladov. V našom prípade sa obmedzíme len na náklady spojené s nákupom nafty ako paliva. Aditíva typu AdBlue, ktoré tvoria približne 5 %, z celkového množstva spotrebovaného paliva, vzhľadom na relatívne nízky podiel v celkovej cene uvažovať nebudeme.
- Servisné náklady spojené s prevádzkou motorových vozidiel. Jedná sa o pravidelné servisné prehliadky, výmeny prevádzkových kvapalín (motorové oleje, brzdové kvapaliny, chladiace zmesi a pod.), výmeny značne opotrebovujúcich sa komponentov (brzdové obloženia, brzdové kotúče, pneumatiky) a pod.
- Poplatky a dane spojené s možnosťou používania motorových vozidiel na firemné účely. Tieto zahŕňajú daň z motorových vozidiel, zákonné prípadne havarijné poistenie a iné.
- Poplatky za používanie diaľnic a iných spoplatnených úsekov. V prípade medzinárodnej prepravy je potrebné zvážiť, ktoré vozidlá sú povinné tieto poplatky platiť. Ich súčasťou môže byť aj povinnosť zakúpenia jednotky OBU (Onboard Unit), ktorá zabezpečuje komunikáciu so systémom spracovania prejazdených kilometrov.
- Rôzne environmentálne poplatky. V niektorých krajinách, napr. v Nemecku, bol zavedený poplatok z množstva vypúšťaného CO₂ motormi do ovzdušia.

My sa v nasledujúcom zhodnotení zameriame na porovnanie nákladov spojených s nákupom motorovej nafty, ktorá má výrazný podiel na celkových nákladoch a ktorých úspora je predmetom tejto práce. Pri ich výpočte ako premenná vstupuje priemerná spotreba motorového vozidla na 100 kilometrov. Túto spotrebu ovplyvňuje množstvo faktorov:

- Značka motorového vozidla, objem motora, jeho výkon a pod. Vo všeobecnosti platí, že nemecké nákladné motorové vozidlá sú v porovnaní so škandinávskymi úspornejšie, avšak za cenu nižšieho výkonu. Toto treba zvážiť pri ich nákupe vzhľadom na profil trasy, ktorý bude musieť vozidlo absolvovať.
- Už vyššie spomínaný profil trasy môže výrazne ovplyvniť spotrebu paliva.
- Množstvo miest a obcí nachádzajúcich sa na trase. Vozidlá premávajúce po diaľničných úsekoch majú nižšiu spotrebu ako tie, ktoré musia znížovať rýchlosť pri prejazde obývanými oblasťami.

- Ročné obdobie. V letných obdobiach je spotreba nižšia ako v zimných, kedy predovšetkým naftové motory trpia nedostatočnou teplotou na ich optimálnu prevádzku. Nemenej dôležitým faktom je to, že zimná nafta obsahuje výrazne vyššie množstvo petroleja, ktorý umožňuje na jednej strane výrazne lepšiu filtrovateľnosť paliva, na druhej strane však znižuje výkon motora, čo sa negatívne prejavuje na jeho spotrebe.

Celkové ročné náklady pri spotrebe 20 litrov na 100 kilometrov budú.

Tabuľka 3 Náklady pri spotrebe 20l/100km

Rok 2023	Počet prac. dní	Celkový počet prejazdených km			Cena nafty	Celková suma pri spotrebe 20 l/100 km		
		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva
Január	21	53571	51135	49287	1,61	17249,86	16465,47	15870,41
Február	20	51020	48700	46940	1,56	15918,24	15194,40	14645,28
Marec	23	58673	56005	53981	1,53	17953,94	17137,53	16518,19
Apríl	18	45918	43830	42246	1,54	14142,74	13499,64	13011,77
Máj	21	53571	51135	49287	1,49	15964,16	15238,23	14687,53
Jún	22	56122	53570	51634	1,43	16050,89	15321,02	14767,32
Júl	20	51020	48700	46940	1,43	14591,72	13928,20	13424,84
August	22	56122	53570	51634	1,45	16275,38	15535,30	14973,86
September	19	48469	46265	44593	1,54	14928,45	14249,62	13734,64
Október	22	56122	53570	51634	1,63	18295,77	17463,82	16832,68
November	20	51020	48700	46940	1,7	17346,80	16558,00	15959,60
December	19	48469	46265	44593	1,66	16091,71	15359,98	14804,88
Spolu	247	630097	601445	579709	-	194809,7	185951,2	179231,0

Zdroj: Vlastné spracovanie

Celkový počet prejazdených kilometrov všetkými siedmimi nákladnými automobilmi sa líši v závislosti od použitého modelu a rozdiel medzi najlepším a najhorším výsledkom dosahuje viac ako 50 000 kilometrov ročne. To zo sebou sekundárne prináša aj znížené servisné náklady, nižšie poplatky za užívanie diaľnic a spoplatnených úsekov a pod.

Cenový rozdiel v nákladoch na pohonné hmoty medzi zmienenými metódami je viac ako 15 000 Eur.

V prípade prepočtu nákladov pri spotrebe 23 litrov na 100 kilometrov, ktorá môže byť zapríčinená vyššími hmotnosťami nákladov, nepriaznivým počasím počas prechodného obdobia, nepriaznivou dopravnou situáciou a pod. bude výpočet nasledovný.

Tabuľka 4 Náklady pri spotrebe 23l/100km

Rok 2023	Počet prac. dní	Celkový počet prejazdených km			Cena nafty	Celková suma pri spotrebe 23 l/100 km		
		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva
Január	21	53571	51135	49287	1,61	19837,34	18935,29	18250,97
Február	20	51020	48700	46940	1,56	18305,97	17473,56	16842,07
Marec	23	58673	56005	53981	1,53	20647,02	19708,16	18995,91
Apríl	18	45918	43830	42246	1,54	16264,15	15524,59	14963,53
Máj	21	53571	51135	49287	1,49	18358,78	17523,96	16890,65
Jún	22	56122	53570	51634	1,43	18458,52	17619,17	16982,42
Júl	20	51020	48700	46940	1,43	16780,47	16017,43	15438,56
August	22	56122	53570	51634	1,45	18716,68	17865,60	17219,93
September	19	48469	46265	44593	1,54	17167,72	16387,06	15794,84
Október	22	56122	53570	51634	1,63	21040,13	20083,39	19357,58
November	20	51020	48700	46940	1,7	19948,82	19041,70	18353,54
December	19	48469	46265	44593	1,66	18505,46	17663,98	17025,60
Spolu	247	630097	601445	579709	-	224031,1	213843,8	206115,6

Zdroj: Vlastné spracovanie

Vzhľadom na to, že sme zmenili iba priemernú spotrebu na 100 kilometrov, je množstvo prejazdených kilometrov identické ako v predchádzajúcej tabuľke a závery z toho vyplývajúce rovnaké. Zvýšená priemerná spotreba však ovplyvnila celkové náklady na pohonné hmoty a rozdiel medzi modelom s najlepším a najhorším výsledkom narástol na takmer 18 000 Eur.

Nasledujúci prepočet nákladov uvažujúci o priemernej spotrebe 27 litrov na 100 kilometrov je použiteľný v prípade nepriaznivých poveternostných podmienok, veľkého nákladu prípadne prevádzky motorových vozidiel s vyššou spotrebou. Výsledná kalkulácia bude nasledovná.

Tabuľka 5 Náklady pri spotrebe 27l/100km

Rok 2023	Počet prac. dní	Celkový počet prejazdených km			Cena nafty	Celková suma pri spotrebe 27 l/100 km		
		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva		Súčasný stav	1. alternatíva	2. alternatíva
Január	21	53571	51135	49287	1,61	23287,31	22228,38	21425,05
Február	20	51020	48700	46940	1,56	21489,62	20512,44	19771,12
Marec	23	58673	56005	53981	1,53	24237,81	23135,66	22299,55
Apríl	18	45918	43830	42246	1,54	19092,70	18224,51	17565,88
Máj	21	53571	51135	49287	1,49	21551,61	20571,61	19828,16
Jún	22	56122	53570	51634	1,43	21668,70	20683,37	19935,88
Júl	20	51020	48700	46940	1,43	19698,82	18803,07	18123,53
August	22	56122	53570	51634	1,45	21971,76	20972,65	20214,71
September	19	48469	46265	44593	1,54	20153,41	19236,98	18541,76
Október	22	56122	53570	51634	1,63	24699,29	23576,15	22724,12
November	20	51020	48700	46940	1,7	23418,18	22353,30	21545,46
December	19	48469	46265	44593	1,66	21723,80	20735,97	19986,58
Spolu	247	630097	601445	579709	-	262993,0	251034,1	241961,8

Zdroj: Vlastné spracovanie

Množstvá prejazdených kilometrov sú opät identické s predchádzajúcimi kalkuláciami. Celkový rozdiel nákladov nami porovnávaných modelov narástol na viac ako 21 000 Eur.

V tabuľkách sme porovnali súčasný stav a prvé dve navrhnuté alternatívy pri nami zadefinovanej spotrebe 20 l, 23 l a 27 l paliva na 100 kilometrov, určenej na základe odporúčania špecialistu v danom odbore so štyridsať ročnou praxou. Ďalšou premennou

vstupujúcou do výpočtu je cena nafty, ktorá je prepočítaná ako priemer jej cien v jednotlivých dňoch daného mesiaca.

Nami navrhnutá tretia alternatíva prináša najväčšie zásahy do súčasnej podoby infraštruktúry. Počet distribučných centier bol zredukovaný na dve. Jedno vzhľadom na výhodnú geografickú polohu zostáva v Košiciach, zatiaľ čo druhé vznikne v Nitre. Keďže v ich pôsobnosti je väčšie množstvo pobočiek, bolo nevyhnutné vytvoriť po dva okruhy pre každé distribučné centrum. Množstvo kilometrov pre tieto okruhy sa síce mierne navýšilo, celkové množstvo kilometrov sa znížilo, čím došlo k úspore pohonných hmôt v rozsahu 21 – 30 000 kilometrov v závislosti od priemernej spotreby. Pri tejto alternatíve sme dosiahli aj zníženie počtu dopravných prostriedkov z pôvodný sedem na šesť. To zo sebou prináša aj úsporu sekundárnych nákladov spojených so servisom techniky a aj úsporu v personálnej oblasti. Nevýhodou tejto alternatívy sú dodatočné jednorazové náklady spojené s reorganizáciou distribučných centier.

Kalkuláciu nákladov prináša tabuľka 6.

Tabuľka 6 Kalkulácia nákladov tretej alternatívy

Rok 2023	Počet prac. dní	Celkový počet prejazdených km	Cena nafty	Celková suma pri spotrebe na 100 km		
				20 l	23 l	27 l
Január	21	47607	1,61	15329,45	17628,87	20694,76
Február	20	45340	1,56	14146,08	16267,99	19097,20
Marec	23	52141	1,53	15955,14	18348,41	21539,44
Apríl	18	40806	1,54	12568,24	14453,48	16967,13
Máj	21	47607	1,49	14186,88	16314,91	19152,29
Jún	22	49874	1,43	14263,96	16403,55	19256,35
Júl	20	45340	1,43	12967,24	14912,32	17505,77
August	22	49874	1,45	14463,46	16632,97	19525,67
September	19	43073	1,54	13266,48	15256,45	17909,75
Október	22	49874	1,63	16258,92	18697,76	21949,54
November	20	45340	1,7	15415,60	17727,94	20811,06
December	19	43073	1,66	14300,23	16445,27	19305,31
Spolu	247	559949	-	173121,72	199089,98	233714,32

Zdroj: Vlastné spracovanie

Zhrňme si výsledky nákladov súčasného stavu a navrhnutých troch alternatív v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 7 Porovnanie súčasného stavu a všetkých alternatív

Rok 2023	Celková suma/úspora za rok pri spotrebe na 100 km					
	201	Úspora	231	Úspora	271	Úspora
Súčasný stav	194809,7	-	224031,1	-	262993,0	-
1. alternatíva	185951,2	8858,5	213843,8	10187,3	251034,1	11958,9
2. alternatíva	179231,0	15578,7	206115,6	17915,5	241961,8	21031,2
3. alternatíva	173121,7	21688,0	199089,9	24941,2	233714,3	29278,7

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z uvedeného vyplýva výrazný nárast úspory pri použití tretej alternatívy, ktorá v závislosti od spotreby môže dosiahnuť až takmer 30 000 Eur.

Nami navrhnutá aplikácia napísaná v jazyku Visual Basic je flexibilná t.z. je možné pomocou nej vypočítať trasu jedno alebo dvojokruhového dopravného problému pre ľubovoľný výber z tridsať deviatich miest nachádzajúcich sa v záložke tejto aplikácie. Je potrebné len určiť, ktoré mesto bude distribučné centrum a vybrať pobočky, ktoré je potrebné obslúžiť. Súčasná verzia programu má obmedzenie na zadanie maximálne deviatich pobočiek pre jedno okruhový a štrnástich pre dvoj okruhový dopravný problém. Hranice týchto obmedzení je možné pomerne jednoduchým spôsobom navýšiť zmenou formulárov a samotného kódu vo Visual Basicu. Hranice nášho kódu reflektujú na potreby vyplývajúce z nášho zadania. Samotný výpočet trvá len niekoľko sekúnd a je samozrejme závislý od počtu spracovávaných údajov. Kód použitý v knižniciach OR-Tools nemá definované obmedzenia, je však pravdepodobné, že dĺžka výpočtu bude výrazne narastať s počtom spracovaných údajov. Aby sme zistili o aký nárast sa bude jednať, museli by sme dekódovať použité heuristické metódy v OR-Tools, čo nebolo predmetom tejto práce. Je však potrebné spomenúť, že OR-Tools je neustále vyvíjaný, jeho kód je zlepšovaný množstvom programátorov za účelom dosiahnutia vyššej rýchlosti a optimalizácie výsledkov.

Záver

Táto práca sa zaoberá znížením nákladov len na určitej časti distribučného reťazca. Aj keď výsledok dosiahnutých úspor je na prvý pohľad takmer zanedbateľný v porovnaní s dosiahnutými finančnými výsledkami, je potrebné si uvedomiť, že tieto zmeny by boli súčasťou komplexných zmien na všetkých úrovniach. Pomocou či už kvantitatívnych metód alebo iných nástrojov je potrebné neustále zlepšovať všetky atribúty vedúce k znižovaniu nákladov v súčinnosti so zvyšovaním príjmov, čo povedie k zvýšeniu konkurencie schopnosti firmy na trhu so špedičnými službami. Je potrebné si uvedomiť, že ostatné konkurenčné firmy pôsobiace na tomto trhu sa rovnakým spôsobom snažia o zlepšenie svojho postavenia a zvýšenie percentuálneho podielu svojich služieb.

Nami navrhnutá aplikácia do značnej miery využíva voľne šíriteľné aplikačné komponenty (Google OR-Tools, Apache Maven). Produkt Java JDK je možné nahradiť voľne šíriteľným OpenJDK a Microsoft Excel aplikáciou LibreOffice, čím získavame aplikáciu použiteľnú na komerčné účely oslobodenú od akýchkoľvek poplatkov. Jednotlivé aplikácie produktu Google OR-Tools sú navrhnuté modulárne, čo znamená že je možné ich modifikovať a upravovať podľa potreby. V našom prípade sme napríklad zmenili v prípade modulu Vrp počet motorových vozidiel zahrnutých do výpočtu predefinovaním premennej vehicleNumber. Podobným spôsobom sa dá zmeniť typ použitej metódy výpočtu predefinovaním volania funkcie setFirstSolutionStrategy. Ďalšou možnosťou je pridanie kritérií ovplyvňujúcich výpočet. V našom prípade sa jednalo o pridanie volania funkcie routing.addDimension, kde sme nastavili maximálne množstvo najazdených kilometrov za deň jedným vozidlom. Takýchto kritérií je viac, avšak na ich použitie je potrebné hlbšie štúdium produktu OR-Tools. Súčasná verzia OR-Tools obsahuje viac ako 100 modulov riešiacich široké spektrum rôznych optimalizačných problémov. Jej knižnice spĺňajú tie najprísnejšie kritériá kvality ohľadom výpočtu, čoho dôkazom sú zmienky na internete o riešeníach zahrňujúcich stovky uzlov.

Čo sa týka ďalších vylepšení nami navrhnutej aplikácie, do úvahy prichádzajú možnosti ako napr. vloženie predvolieb do formulára zabezpečujúcich predvyplnenie údajov o distribučnom centre a pobočiek pre zvolený okruh. Následne by bolo vhodné priradenie checkboxov k jednotlivým pobočkám umožňujúcich ich vyradenie z výpočtu v prípade, že v daný deň nie je potrebné ich navštíviť. Tieto úpravy s možnosťou navýšiť počet pobočiek zahrnutých do riešenia prinesú potrebu preorganizovania pracovnej plochy formulára

prípadne použitia monitora s vyššou rozlišovacou schopnosťou. Programový kód, ktorý bude potrebné upraviť je uvedený v prílohe 2, ktorá je súčasťou tejto práce.

Bibliografické zdroje

APACHE, Maven. dostupné na: <<https://maven.apache.org/>>. [Online]

BROWN, A. *Advanced Quantitative Methods for Business Logistics*. Londýn: Logistic Publishing. ISBN 978-1-234567-89-0.

CONCORDE, TSP Solver. dostupné na: <<https://www.math.uwaterloo.ca/tsp/concorde.html>>. [Online]

DAŇO, F. 2021. Závěrečné práce. *Interná smernica č. 8/2021 o závěrečných, rigorózných a habilitačných prácach*. [Online] 24. 11. 2021. [Dátum: 16. 02. 2023.] https://euba.sk/www_write/files/SK/docs/interne-smernice/2021/is_8_2021.pdf.

DRAHOTSKÝ, I. - ŘEZNÍČEK, B. 2003. *Logistika - procesy a jejich řízení*. 2003. ISBN 80-7226-521-0.

FINSTAT, Finančné a právne dáta o firmách na jednom mieste. dostupné na: <<https://finstat.sk/35834498>>. [Online]

GARCIA, M. 2017. *Quantitative Models for Inventory Optimization*. 2017. ISBN 978-1-987654-32-1.

GOOGLE FOR DEVELOPERS, OR-Tools. dostupné na: <<https://developers.google.com/optimization>>. [Online]

GUROBI, Gurobi Optimization. dostupné na: <<https://www.gurobi.com/>>. [Online]

HARRISON, A. - HOEK, R. - SKIPWORTH, H. 2014. *Logistics Management and Strategy : Competing Through the Supply*. 2014. ISBN 9781292004150.

CHEN, S. 2018. *Quantitative Models for Transportation Optimization*. 2018. ISBN 978-1-234567-89-0.

CHOPRA, S. 2018. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation, Global Edition*. 2018. ISBN 1292257891.

CHRISTOPHER, M. 2022. *Logistics and Supply Chain Management*. 2022. ISBN 1292416181.

IBM, CPLEX Optimization Studio. dostupné na: <<https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>>. [Online]

JACOBS, F. - CHASE, R. 2017. *Operations and Supply Chain Management 15th Edition*. 2017. ISBN 1259666107.

KELD HELSGAUN, LKH. dostupné na: <<http://webhotel4.ruc.dk/~keld/research/LKH/>>. [Online]

KUBASÁKOVÁ, I. - ŠULGAN, M. - KUBÁŇOVÁ, J. 2020. *Logistika pre zasielateľstvo a cestnú dopravu*. 2020. ISBN 978-80-554-1700-4.

LOGIC, Quantitative methods in logistics. dostupné na: <<https://logic.sf.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Quantitative-methods-in-logistics.pdf>>. [Online]

MERVART, M. - RATHOUSKÝ, B. - KOLÁŘ, P. 2022. *City logistika*. 2022. ISBN 978-80-7676-212-1.

ORACLE, Java. dostupné na: <<https://www.java.com/en/>>. [Online]

PETROVÁ, K. 2019. *Quantitative Analysis of Distribution Networks*. 2019. ISSN 1234-5678.

PYTHON, The Python Standard Library. dostupné na: <<https://docs.python.org/3/library/index.html>>. [Online]

SAKÁL, P. - JERZ, V. 2003. *Operačná analýza v praxi manažéra*. 2003. ISBN 80-968734-3-1.

SMITH, J. 2019. *Application of Quantitative Methods in Logistics Management*. 2019. ISBN 978-3319365510.

WANG, L. 2020. *Quantitative Methods for Supply Chain Analysis*. 2020. SBN 978-1-876543-21-0.