

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Optimalizace výběru způsobu doručení zboží na poslední míli

Sergei Shitov

Bakalářská práce
2025

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Sergei Shitov**
Osobní číslo: **D22646**
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Logistika**
Téma práce: **Optimalizace výběru způsobu doručení zboží na poslední míli**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce bude obsahovat:

- teoretické aspekty způsobů doručení na poslední míli,
- analýzu současného stavu,
- návrh řešení pro optimalizaci výběru způsobu doručení na poslední míli.

Rozsah pracovní zprávy: **35-45 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucí/ho**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:
dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stefan Jovčič, Ph.D.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

Ing. Pavla Lejsková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. dubna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem „Optimalizace výběru způsobu doručení zboží na poslední míli“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 5. 2025

Sergei Shitov v. r.

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, Stefanovi Jovčičovi, Ph.D., za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce. Také bych rád poděkoval všem svým kamarádům, rodině, učitelům a celé fakultě za pomoc a motivaci v mém studiu. Tohle si budu vždy pamatovat.

ANOTACE

Práce se zaměřuje problematikou výběru způsobu doručení zboží na poslední míli. Cílem mé práce je identifikovat a rozpoznat nejefektivnější metody doručení ke konečnému zákazníkovi s ohledem na kritéria, která zvolíme na základě dotazníku specialistů. Práce se také zabývá analýzou různých možností doručování, jako jsou kurýrní služby, drony, autonomní vozidla, výdejní boxy. K hodnocení těchto metod bude využita metoda vícekritériálního rozhodování, která nám umožní porovnat jednotlivé způsoby doručení a jejich efektivnosti. Ve výsledku dostaneme návrh optimálního nebo optimálních způsobů doručení s ohledem na současné technologické trendy, ekologické požadavky a jiná omezení. Výsledkem zároveň bude doporučení pro zlepšení doručení na poslední míli v rámci zelené a udržitelné logistiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Poslední míle, doručování, optimalizace, rozhodování, udržitelná logistika, technologické trendy, metoda

TITLE

Optimization of delivery method selection for the last mile

ANNOTATION

The thesis focuses on the issue of selecting the delivery method for the last mile. The goal of my work is to identify and recognize the most efficient delivery methods to the end customer, considering criteria chosen based on a survey of specialists. The thesis also analyzes various delivery options such as courier services, drones, autonomic vehicles, and parcel lockers. The evaluation of these methods will employ a multi-criteria decision-making approach, which will propose the optimal or most optimal delivery methods, taking into account current technological trends, environmental requirements, and other constraints. The outcome will also include recommendations for improving last-mile delivery within the context of green and sustainable logistics.

KEYWORDS

Last mile, delivery, optimization, decision-making, sustainable logistics, technological trends, method

OBSAH

ÚVOD	8
1 TEORETICKÉ ASPEKTY ZPŮSOBŮ DORUČENÍ	9
1.1 Logistika poslední míle	10
1.1.1 Současné trendy a výzvy v doručování na poslední míli	11
1.2 Možné způsoby doručení na poslední míli	14
1.2.1 Přímé doručení zboží	15
1.2.2 Doručovací boxy	18
1.2.3 Drony	21
1.2.4 Výdejní místa	23
1.2.5 Autonomní vozidla	25
1.3 Metody vícekritériálního rozhodování	27
1.3.1 AHP	27
1.3.2 TOPSIS	30
1.3.3 MARCOS	31
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	34
3 NÁVRH ŘEŠENÍ PRO VÝBĚR ZPŮSOBU DORUČENÍ ZBOŽÍ	35
3.1 Vymezení kritérií	35
3.1.1 Náklady	35
3.1.2 Doba dodání	36
3.1.3 Ekologický dopad	36
3.1.4 Spokojenost zákazníků	36
3.1.5 Flexibilita	37
3.2 Vizualizace problematiky	38
3.3 Implementace metody TOPSIS	38
3.4 Implementace metody MARCOS	43
ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA	48
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM ZKRATEK	52

ÚVOD

Je zcela zřejmé, že v dnešní době, kdy se rozšiřuje digitalizace a rozmach e-commerce, tak se mění i nákupní chování. V tomto případě se logistika poslední míle stává jednou z klíčových oblastí v celém dodavatelském řetězci. Poslední míle, jako pojem, označuje finální nebo poslední část doručení zboží od distribučního centra až ke koncovému zákazníkovi. Představuje také složitou a často finančně nákladnou etapu. Každý podnik by měl mít efektivní správu a optimalizaci tohoto procesu, protože to jsou faktory, které významně ovlivňují celkové náklady firem, spokojenost zákazníků a samozřejmě i ekologický dopad logistických operací.

Dnes se stále zvyšuje poptávka po rychlém a flexibilním doručení, zejména ve městech a oblastech. Logistické společnosti kvůli tomu jsou nuceny zavádět nové technologie a inovativní způsoby doručení. Původně tradiční doručování pomocí kurýrů je doplněno o alternativní metody, jako jsou drony, autonomní vozidla, doručovací boxy a výdejní místa. Každý z těchto způsobů doručení má však specifické výhody a nevýhody, a proto je důležité najít to optimální řešení, které bude odpovídat konkrétním požadavkům jako firmy, tak i požadavkům zákazníka a prostředí, ve kterém doručování probíhá.

Cílem mé práce je analýza různých způsobů doručení na poslední míli a pak prostřednictvím metod vícekriteriálního rozhodování vyhodnotit, který z nich je nejefektivnější za různých podmínek.

Ve své práci nejprve představím teoretickou rovinu problematiky, včetně definice logistiky na poslední míli a specifík jednotlivých způsobů doručení. Pak bude následovat další část, kde popíšu metody vícekriteriálního rozhodování a kritéria, podle nichž budou jednotlivé způsoby hodnoceny. Po aplikaci těchto metod na konkrétní situaci bude možné stanovit optimální způsoby doručení.

Výsledky hodnocení způsobů doručení pomocí vícekriteriálního rozhodování mohou být moc užitečné pro další rozhodování ve společnosti nebo pro plánování budoucích obchodních aktivit.

1 TEORETICKÉ ASPEKTY ZPŮSOBŮ DORUČENÍ

Dnes je dobře vidět, že v posledních letech logistika má dost prudký rozvoj, což určitě celkově ovlivňuje na efektivnost a hospodárnost podnikání.

Na začátku mé práce je potřeba definovat teoretické aspekty způsobů doručení a celého logistického procesu, na jaké etapy se rozděluje a v čem spočívá hlavní role každé z nich. Poprvé definujeme pojem „logistický proces“ a poté vysvětlíme, proč je to tak důležité. V logistice pojem „logistický proces“ označuje určitou posloupnost základních logistických operací a soubor činností, které zajišťují jejich provedení za účelem efektivní součinnosti prvků a optimalizace logistického systému jako celku. V moderní ekonomice logistické procesy hrají velmi důležitou roli a poskytují včasné a spolehlivé dodávky zboží a služeb od dodavatele ke konečnému zákazníkovi. Tyto procesy je možné rozdělit do pěti základních etap:

1. Získávání surovin: Tento proces začíná nákupem a přepravou základních surovin potřebných pro výrobu. To zahrnuje výběr dodavatelů, přepravu a skladování surovin. Důležitým aspektem této fáze je optimalizace nákladů a dodržování časového harmonogramu, aby byl zajištěn hladký průběh výroby.
2. Výroba: V této fázi se suroviny přeměňují na konečný výrobek. Efektivní řízení výroby zahrnuje plánování, kontrolu kvality a včasnou přípravu výrobků pro další fázi. V logistice je důležité vždy zajišťovat plynulý pohyb výrobků a minimalizaci přebytků nebo zásob.
3. Distribuce: Proces distribuce spočívá v přepravě zboží přímo z výrobních závodů do skladů a distribučních center. Zde se klade důraz na volbu vhodného způsobů přepravy (například silniční, železniční, letecká nebo námořní), optimalizaci trasy a časového harmonogramu. Cílem je také zajistit, aby správné zboží bylo ve správném místě, včas a v potřebném stavu.
4. Skladování: Výrobky jsou skladovány v distribučních centrech a čekají na další zpracování nebo dodání. Skladování přitom zahrnuje manipulaci s výrobky, balení, kontrolu kvality a řízení zásob. Zajištění vhodných skladovacích podmínek je nezbytné pro zachování kvality výrobků a jejich připravenosti k rychlému dodání.
5. Poslední míle: Je to závěrečná fáze logistického procesu, která je zaměřena na doručení zboží z distribučního centra nebo skladu ke konečnému klientovi. Tato fáze je často považována za nejsložitější a nejnákladnější část

dodavatelského řetězce, a to především kvůli potřebě efektivně dodat malé množství zboží do vzdálených míst, často také v krátkém čase.

Tím pádem dostáváme pět základních etap každého logistického procesu. Každá z nich by měla být prozkoumána podrobněji. Vzhledem k tomu ale, že moje práce je zaměřena spíše na logistiku poslední míle, je třeba tento bod pro přehlednost a jasnost popsat víc.

1.1 Logistika poslední míle

„Poslední část dodavatelského řetězce zahrnující tok zboží z distribučního centra do místa určení“ (Handbook on City Logistics and Urban Freight).

„Doručování na poslední míli jsou logistické činnosti spojené s distribucí zásilek, balíků se zbožím objednaným online, do domácností soukromých zákazníků v městských oblastech“ (Boysen et al., 2021).

Z historického pohledu pojem „poslední míle“ se do logistiky a dopravy dostal z oblasti telekomunikací. V této oblasti se nejprve používal pro označení kanálu mezi přístupovým bodem telekomunikačního operátora a zařízením zákazníka. Ve vyspělých zemích se zájem o segment poslední míle moc prudce zvýšil na přelomu 80. a 90. let. V tomto období došlo ke značné modernizaci a digitalizaci magistrálních sítí a ústředí, což jistě umožnilo uspokojit poptávku po nových službách.

V logistice se poslední mílí rozumí doručení zboží koncovému zákazníkovi, ať již se jedná o jednotlivého zákazníka, nebo o společnost:

- V B2B logistice je to dodávka surovin do výroby a distribuce zboží do maloobchodních prodejen.
- Poslední míle v B2C logistice je doručení kurýrem až ke dveřím zákazníka a distribuce objednávek na výdejní místa nebo do poštovních schránek.

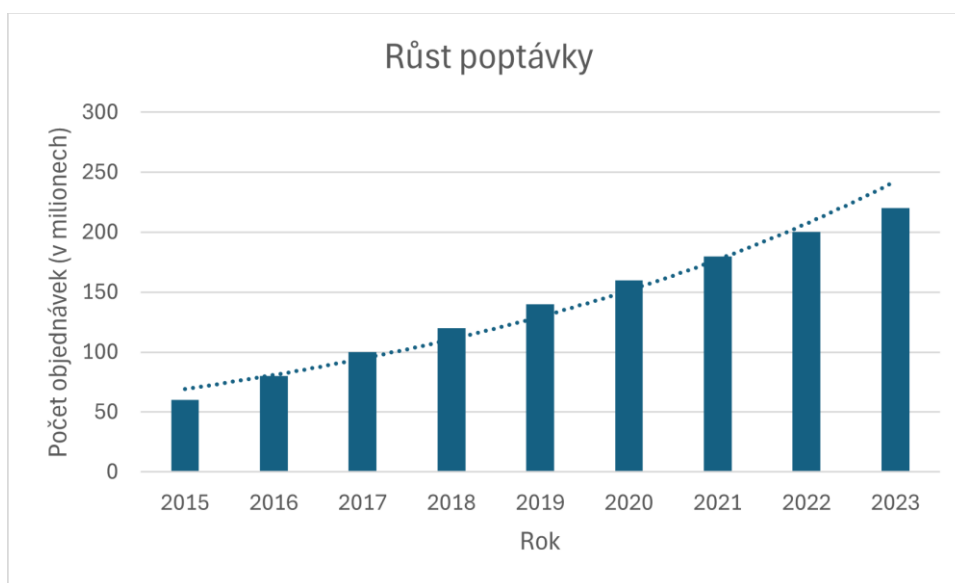
Kromě logistiky „poslední míle“ také má význam ještě ve dvou důležitých sférách:

- V oblasti osobní dopravy se tomu rozumí poslední úsek cesty: když člověk, v daném případě cestující, jede autobusem z práce domů, tak poslední mílí této cesty je právě úsek ze zastávky do bytu.
- Poslední míle při dodávkách energie je komunikace, která spojuje zařízení energetické společnosti se zákazníkem, tj. elektrické vedení a plynovod vedoucí k obytnému domu nebo k nějakému podniku.

1.1.1 Současné trendy a výzvy v doručování na poslední míli

V současné době patří mezi výzvy spojené s logistikou na poslední míle převedším prudký nárůst světové populace, a s tím nárůst po službách a počet objednávek, které vyžadují efektivní logistiku a co nejkratší dodací lhůty, aby určité zboží dorazilo na místo určení. Další výzvou je organizace celého logistického týmu, plynulý přenos informací, který je umožněn moderními monitorovacími systémy a zpracováním dat. Tím pádem, čím více máme objednávek, které vyžadují přepravu za určitých podmínek, tím složitější je logistický proces na poslední míli. To vyžaduje od dopravců flexibilitu a od řidičů plánování tras.

Další graf jasně a názorně ukazuje, jak v posledních letech roste poptávka po službách na poslední míli:



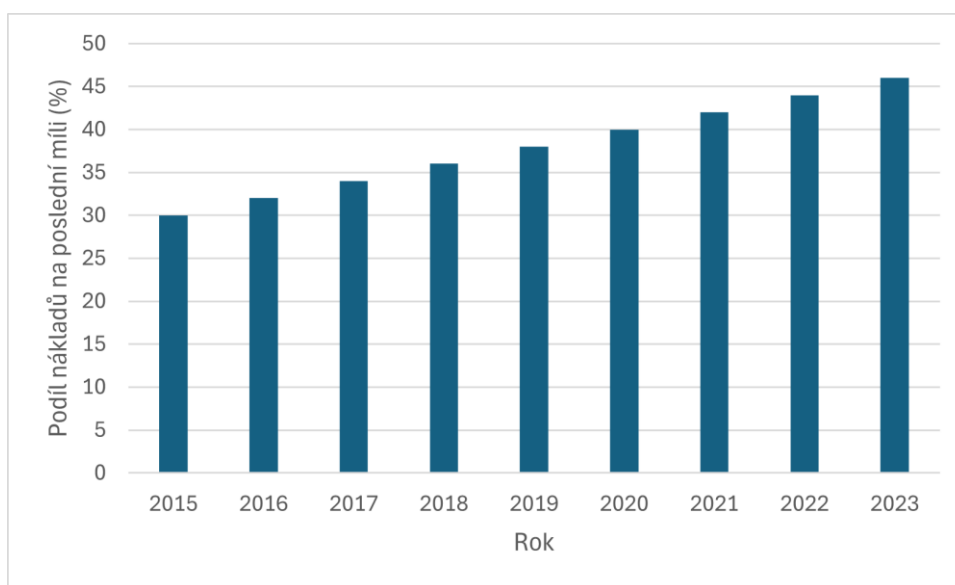
Obrázek 1 Růst poptávky po službách PM (autor)

V současné době se přepravní organizace snaží vyvíjet nejmodernější technologie i experimentální modely dodavatelského řetězce, aby zvýšily objem zásilek, urychlily jejich doručení a potěšily zákazníky. Mezi hlavní úkoly, které je třeba v rámci modelu dodavatelského řetězce řešit, patří: snížení nákladů na dodavatelský řetězec, zrychlení pohybu zboží v řetězci, jak dosáhnout vyšší přesnosti včasného doručení, minimalizace nedostatků a nákladů a samozřejmě jak to lze měřit z hlediska hodnoty. Logistika poslední míle je pro moderní e-commerce a multikanálové dodavatelské řetězce klíčová. Poslední míle se na první pohled nemusí zdát příliš důležitá, ale může představovat přibližně 30 % celkových nákladů na dopravu. Vzestup elektronického obchodování navíc radikálně mění způsob, jakým dopravci přemýšlejí o logistice poslední míle. Abychom pochopili přínosy a výzvy, které logistika poslední míle řeší, je nutné porozumět tomu, co tvoří logistiku poslední míle a jaké

jsou její výzvy – tedy pochopit, jak ovlivňuje elektronický obchod a vícekanálové dodavatelské řetězce, a také proč se vyvíjí a jak vznikají nové technologie.

Podle posledních údajů tvoří náklady na doručení na poslední míli přibližně 53 %, což je téměř polovina nákladů na dopravu a doručení. S rostoucí všudypřítomností „dopravy zdarma“ jsou zákazníci ochotni přepлатit za zboží od jiného prodejce, jen když je doprava zdarma. V současné době je „do jisté míry pravděpodobné“, že 61 % spotřebitelů zruší svůj nákup, pokud není nabízena doprava zdarma, zatímco 24 % nakupujících je ochotno utratit více, aby získali nárok na dopravu zdarma. Výsledkem je, že stále více společností ukusuje ze svých zisků, aby pokryly náklady na dopravu. To nutí dopravce rozvíjet logistickou infrastrukturu, zavádět nové technologie a modernizovat procesy doručování zboží.

V současné době je možné poukázat na některé problémy logistiky na poslední míli a navrhnout způsoby jejich řešení. První problém spočívá v tom, že zákazníci sice chtějí, aby doprava byla bezplatná a rychlá, ale zároveň je to nejdražší a časově nejnáročnější část dopravy – ve skutečnosti tvoří skoro 50 % celkových nákladů na dopravu.



Obrázek 2 Podíl nákladů na doručení na poslední míli z celkových nákladů na dopravu (autor)

Vysoké náklady na doručování na poslední míli se týkají především doručování B2C („business-to-consumer“). B2B („business-to-business“) se obvykle týká hromadných objednávek na jedno místo, proto jsou náklady na doručení vyrovnané. U doručování B2C jsou však částky objednávek obvykle malé a v jeden den je třeba doručit více zásilek. Náklady na pohonné hmoty spolu s časem a úsilím spojeným se zastávkami na více místech tak zvyšují celkové náklady.

Existují však i problémy přímo související se zákazníky, jako je špatná adresa, vzdálené lokality a vrácení objednávky. Ne vždy je možné doručit objednávku okamžitě. Může se stát, že zákazník si zásilku nevyzvedne ve stanovený čas vzhledem k okolnostem – kurýr se musí na adresu několikrát vrátit. Tím se zvyšují náklady na přepravu a snižuje se rychlost. Někdy se také stává, že přeprava není plně naložena. Pokud vozidlo není stoprocentně naplněno zbožím, je třeba se znovu vrátit do skladu a zboží doručit. Tím také vznikají další náklady.

Problém s nesprávným odesláním zásilky: doba doručení je nepředvídatelná, kupující nemusí být v době pokusu o doručení doma. Nesprávné doručení může vést k časovým prodlevám a dodatečným nákladům.

Pandemie COVID-19 také zkomplikovala problém doručování na poslední míli, což vedlo k nárůstu nákupů v elektronickém obchodě, a zákazníci potřebují, aby společnosti doručovaly zásilky co nejrychleji. V důsledku toho jsou problémy s doručováním na poslední míli stále závažnější. Jelikož se sociální dropshipping stává normou, upřednostňuje se bezkontaktní systém doručování. Pandemie donutila podniky k modernizaci své dodavatelské operace, aby splnily nové požadavky zákazníků.

Co se týká řešení těchto problémů, tak za prve můžeme zvýšit blízkost skladu k zákazníkovi, abychom mohli rychleji doručovat zboží. Vždyť umístění skladu blíže místu, odkud pochází většina hromadných objednávek zákazníků, je dobrým způsobem, jak ušetřit pohonné hmoty, čas a náklady na doručení.

Za druhé, můžeme zavést optimalizaci tras dodávkových vozidel a dynamické trasy vozidel. Plánování tras může výrazně zkrátit dobu doručení.

Za třetí, můžeme komunikovat se zákazníky v reálném čase. Dnešní zákazníci vyžadují flexibilní dodávky, protože ne vždy jsou doma, aby mohli převzít své objednávky. Zákazníci by proto měli v průběhu doručování dostávat pravidelná oznámení o tom, co se s jejich zásilkou děje.

No a naposledy, je nutné zavést účinný systém sledování zásilek v reálném čase. Sledování doručení v reálném čase pomůže společnostem a zákazníkům sledovat stav zásilky, dokud nedorazí na místo určení.

1.2 Možné způsoby doručení na poslední míli

Plynule tak přejdeme k tématu metod doručování na poslední míli. Z předchozí části práce vyplývá logický závěr, že moderní poptávka po těchto službách vyžaduje vhodné řešení problémů spojených s růstem počtu objednávek obecně. V současné době se objevili různé inovativní způsoby doručení zboží na poslední míli, které firmy využívají nejčastěji. Mezi tyto způsoby bych zařadil:

1. Tradiční doručení kurýrem: Nejběžnější způsob doručení, při kterém kurýr doručí zásilku přímo na adresu kupujícího. Je flexibilní, ale při velkém počtu objednávek může být časově náročný a drahý, zejména v městských oblastech.
2. Výdejní místa a boxy: Zákazníci si mohou vyzvednout zásilky na výdejních místech nebo v balíkových schránkách umístěných na frekventovaných místech. Tento způsob snižuje náklady na doručení a umožňuje zákazníkům flexibilně si vybrat místo vyzvednutí.
3. Doručování pomocí dronů: Inovativní způsob doručování, který se objevil v posledních letech. Drony jsou schopny doručovat malé zásilky rychle a bez nutnosti zapojení kurýra, což je ideální pro těžko dostupné oblasti. Tato technologie ale ještě není běžně rozšířena, některé firmy ji testují v praxi (např. Amazon, DHL).
4. Autonomní vozidla: Další inovativní způsob doručení. To jsou samojízdná vozidla, která doručují zásilky bez řidiče. Tato technologie je také stále ve fázi testování, ale má potenciál do budoucna snížit náklady na pracovní sílu a zvýšit efektivitu doručování.

Každý z těchto způsobů má své silné a slabé stránky, a proto firmy často volí kombinaci různých metod, aby mohly co nejlépe přizpůsobit doručování specifickým požadavkům zákazníků a místním podmínkám. Pro lepší pochopení je třeba každý způsob definovat podrobněji.

1.2.1 Přímé doručení zboží

Kurýrní a poštovní služby jsou tradičním, ale stále velmi účinným způsobem doručování na poslední míli. Tento způsob doručování zahrnuje doručování zásilek z centrálního nebo místního distribučního centra přímo k zákazníkovi prostřednictvím kurýrů nebo poštovních doručovatelů.

Z historického pohledu Původ kurýrní služby sahá až do starověku. V té době se spolu s rozvojem politického a kulturního života, s pohybem civilizací na cestě pokroku objevil pojem „kurýr“. Ačkoli se jim v těch vzdálených dobách říkalo spíše poslové nebo poslíčci, význam jejich činnosti vypovídá o kontinuitě generací. Samotný pojem se objevil až ve středověku.

K úkolům prvních kurýrů patřilo doručování různých zpráv, hlášení a příkazů. Často se jednalo o cesty na velmi dlouhé vzdálenosti, které vedly přes země, jež nebyly vždy součástí jednoho státu. Území, která bylo třeba překonat, navíc mohla zachvátit válka nebo epidemie. Z toho vyplývalo vysoké riziko těchto pochůzek. Situace se znatelně zlepšila, když si zaměstnavatelé uvědomili, že své posly vybavují koňmi, což jim oproti dosavadní pěší realitě poskytovalo jednoduše nesrovnatelné výhody.

Postupem času vznikaly kurýrní služby po celém světě, od starověké Číny až po západní okraje Evropy.

Skutečný rozkvět kurýrních služeb nastal ve 20. století, kdy průmyslové objevy vedly ke vzniku železniční dopravy. Rozvoj související infrastruktury umožnil výrazně rozšířit rozsah činností a zrychlit proces doručování.

Ještě větším impulsem pro zlepšení byl vznik paroplavby, silniční a poté letecké dopravy. Nyní se komunikační proces stal transatlantickým, lidi již neoddělují moře a oceány.

Nástup internetového věku v mnoha ohledech pomohl zrychlit doručovací služby a snížit náklady. Dnes stačí mít základní znalosti práce s počítačem nebo chytrým telefonem, abyste mohli včas odeslat nebo přijmout zásilku.

Dnes se tyto služby rozvinuly a s jejich pomocí můžete získat nejen poštovní zásilky, ale také doručení různého zboží přímo k vám domů, jako je doručení hotového jídla, potravin, oblečení a tak dále. Osobní doručování se obvykle uskutečňuje pomocí kurýrů, kteří mohou cestovat buď osobním autem, skútreem, na kole, nebo dokonce pěšky (v případě doručování jídla). Některé firmy mohou k doručování velkého množství zásilek využívat také mikrobusy nebo dodávky, kterými pak kurýr rozváží zásilky po městě.

Dál bych rozepsal klíčové vlastnosti, výhody a nevýhody poštovních a kurýrních služeb v současné době.

Mezi jejich klíčové vlastnosti jsem zařadil:

1. Široká dostupnost: Poštovní služby jsou dostupné ve většině regionů a poskytují geografické působení svých služeb i do vzdálených míst. Kromě toho kurýrní služby, jako jsou DHL, FedEx, UPS nebo GLS, nabízejí rychlejší a flexibilnější doručení, často ještě týž den.
2. Flexibilita doručení: Kurýrní služby obvykle nabízejí možnost přizpůsobit doručení, například výběrem časového intervalu, místa určení nebo jiného konkrétního místa. Poštovní služby často využívají pevné časy doručení a doručování do poštovních schránek, které je méně flexibilní, ale stále efektivní.
3. Rozmanitost služeb: Kurýrní služby nabízejí různé typy doručení v závislosti na potřebách zákazníka, například expresní doručení, doručení citlivých nebo objemných zásilek nebo doručení do zahraničí. Poštovní služby zahrnují standardní doručování dopisů a balíků a také doplňkové služby, jako je doporučené doručení nebo dobírka.
4. Technologie a sledování zásilek: Současné kurýrní služby zavádějí moderní technologie, které zákazníkům umožňují v reálném čase sledovat, kde se jejich zásilka nachází. Tento přístup zvyšuje transparentnost procesu a posiluje důvěru zákazníků. Poštovní služby také postupně implementují podobné systémy, avšak jejich technologická vybavenost často nedosahuje úrovně soukromých kurýrních společností.

Výhody přímého doručení zboží:

- Rychlost: Expresní služby mohou doručit zásilky během několika hodin nebo do druhého dne.
- Spolehlivost: Kurýři ručí za bezpečné doručení zásilky přímo zákazníkovi.
- Dostupnost: Poštovní služby fungují téměř v každé obci, což zaručuje široký dosah.
- Efektivita: Kurýrní společnosti optimalizují své trasy pomocí algoritmů, aby šetřily čas a náklady.

Nevýhody přímého doručení zboží:

- Vysoké náklady: Expresní doručení nebo doručování do vzdálenějších lokalit může být nákladné.
- Závislost na externích faktorech: Dopravní situace, počasí nebo sezónní špičky mohou ovlivnit rychlost doručení.
- Ekologický dopad: Časté využívání vozidel zvyšuje uhlíkovou stopu, což je problém zejména u individuálních doručení.

Růst e-commerce výrazně zvyšuje význam kurýrních a poštovních služeb v rámci logistiky poslední míle. Zavádění inovací, jako jsou elektrická vozidla, automatizované sklady nebo drony pro doručování, přispívá k překonání některých jejich slabin. Spojení osvědčených postupů s moderními technologiemi jim zajistí konkurenceschopnost i v nadcházejících letech.



Obrázek 3 Schéma ilustrace kurýrních služeb (autor)

Uvedený diagram znázorňuje proces přepravy zásilky od odesílatele až ke koncovému zákazníkovi prostřednictvím kurýrních nebo poštovních služeb. Obsahuje klíčové fáze, jako je vyzvednutí, třídění, přeprava a doručení, přičemž jednotlivé kroky jsou propojeny šipkami. Tento popis ukazuje, jak důležitou roli hrají kurýrní a poštovní služby v celém logistickém řetězci a proč jsou stále jedním z nejpreferovanějších způsobů doručení na poslední míli.

1.2.2 Doručovací boxy

Doručovací boxy, známé také jako „Parcel lockers“, představují inovativní řešení pro efektivní doručování balíků na poslední míli. Jedná se o samoobslužná zařízení, která umožňují zákazníkům vyzvedávat si balíky podle vlastního rozvrhu a svých plánů. Tento způsob doručování je velmi oblíbený díky své flexibilitě, jednoduchosti a schopnosti snížit náklady na doručování.

Ve světě doručování dlouho neexistovalo nic jiného než poštovní schránky, kurýrní služby a pošty. První plně automatické doručovací boxy se objevily až na samém počátku 21. století, v roce 2001. V Německu je nejprve vyrobila a nainstalovala známá mezinárodní kurýrní služba DHL. Rychle si získaly oblibu, i když ještě nebyly dostatečně automatizované. Pro příjem zásilek bylo nutné se zaregistrovat a získat speciální kartu, pro jejich odeslání bylo nutné zakoupit poštovní známky. To bylo v tehdejší době normálně, jelikož chytré telefony nebyly rozšířené a identifikační SMS ještě nebyly vynalezeny.

Jeden z prvních německých doručovacích boxů vypadal následovně:



Obrázek 4 Parcel locker DHL 2001 (Wikipedie, 2008)

Jak je vidět z obrázků, první doručovací boxy měla docela velké rozměry, a přitom malou kapacitu pro zboží.

Postupně se systém stále více automatizoval – příjemce mohl například e-mailem obdržet čárový kód, který mohl použít k vyzvednutí zásilky bez registrace.

Myšlenku doručovacích boxů s nadšením začali přebírat i jiné země. V roce 2006 byla v Rakousku založena služba Post.24-Station, která byla okamžitě umísťovala své boxy na oblíbených místech, jako jsou supermarkety, čerpací stanice a pošty. Doručovací boxy dál dostali v Evropě moc prudký rozvoj. Během dalších 6 let se začali objevovat v Irsku, Velké Británii, Finsku, Lotyšsku, Polsku, Česku a dalších evropských zemích. Nejprve jich byly desítky, pak stovky a nakonec tisíce.

Po Evropě se doručovací boxy postupně posunuly do Kanady a USA, a pak do celého světa. V dnešní době po celém světě jejich počet činí více než 300 tisíc.

V České republice provozují své boxy několik populárních firem, jako jsou Zásilkovna, Alza, DPD, PPL, GLS a jiné. Někde jsou boxy jedné společnosti využívány i jinými společnostmi.

Jako příklad vezmeme společnost Alza. Podle mě, tento způsob doručování jeden z nejrychlejších a nejpohodlnějších. Stačí jen při zadávání své objednávky na webu nebo v aplikaci zvolit způsob doručení AlzaBox, pak si vyberete vhodné umístění tohoto boxu a tím dokončíte objednávku. Až vaše zboží bude připraveno k vyzvednutí, dostanete oznámení nebo SMS Zprávu o tom, včetně adresy umístění boxu a speciální kód, který zadáte do systému u tohoto boxu pro vyzvednutí objednávky. Dostanete také informaci o době uložení.

Takhle již dnes vypadají AlzaBoxy:



Obrázek 5 AlzaBox (Alza, 2020)

Klíčové charakteristiky doručovacích boxů:

1. Flexibilita a dostupnost: Doručovací místa se nacházejí na veřejných místech, jako jsou nákupní centra, čerpací stanice, nádraží nebo kancelářské komplexy. Díky nepřetržitému provozu mohou zákazníci obdržet své zásilky kdykoli, bez ohledu na pracovní dobu kurýra.
2. Bezpečnost: Každý doručovací box je označen jedinečným kódem nebo QR kódem, který zákazník obdrží při oznámení o doručení. Tento systém zajišťuje, že zásilku může převzít pouze oprávněná osoba.
3. Jednoduché použití: Proces využití doručovacích boxů je intuitivní a skládá se z kroků, které jsem popisoval předtím.
4. Ekologický přínos: Centralizace doručení do boxů snižuje počet jednotlivých zastávek kurýrů, což vede ke snížení emisí CO₂ a zlepšení dopravní situace ve městech.
5. Využití technologií: Moderní doručovací boxy jsou propojeny s mobilními aplikacemi, které umožňují sledování zásilky, přesměrování doručení nebo sdílení přístupu k vyzvednutí s jinou osobou.

Výhody doručovacích boxů:

- Časová nezávislost: Uživatelé nejsou vázáni na konkrétní čas doručení.
- Úspora nákladů: Kurýři doručují více zásilek na jedno místo, což snižuje náklady na logistiku.
- Menší zatížení dopravy: Omezují individuální zastávky kurýrů.
- Široká dostupnost: Boxy jsou dostupné v mnoha městských a příměstských lokalitách.

Nevýhody doručovacích boxů:

- Omezená kapacita: Boxy mají omezený počet schránek a velikostní limity.
- Nedostupnost v odlehlých oblastech: Mimo města není jejich využití běžné.
- Potenciální technické problémy: Výpadky systému nebo poruchy mohou zkomplikovat přístup k zásilkám.

Doručovací boxy jsou významnou inovací v oblasti logistiky poslední míle. Pro svou flexibilitu a ekologické přínosy si získávají rostoucí oblibu jak u zákazníků, tak u logistických společností, které je stále častěji začleňují do svých distribučních modelů.

1.2.3 Drony

Doručování zásilek pomocí dronů patří mezi nejpokročilejší a nejmodernější metody, které zásadně ovlivňují logistiku poslední míle. Tento inovativní přístup využívá bezpilotní létající stroje k rychlému a přímému doručení zboží zákazníkům, čímž odstraňuje závislost na tradičních pozemních dopravních prostředcích. Drony přinášejí do logistického procesu významné výhody, avšak současně představují určité výzvy, jejichž překonání je nezbytné pro jejich plné zapojení do každodenní praxe.

V moderní podobě se první drony na světě objevily v roce 2006, kdy byly uvedeny na trh modely německé společnosti MikroKopter. Ty již měly palubní mikrokontroler, 3 gyroskopy, barometr a akcelerometr a vyznačovaly se dostatečnou stabilitou letu. O něco později byly doplněny modulem GPS pro určování polohy ve vzduchu.

Další důležitou technologií, která přinesla drony na trh, je stabilizovaný závěsný systém, který umožňuje na dron připevnit fotografickou nebo videokameru či jiné zařízení. Servopohony a snímače v něm instalované umožňují kompenzovat vibrace a pohyby dronu podél příslušných os a zajišťují, že připojené zařízení zůstává v prakticky nehybné poloze. Tím se výrazně zlepšila kvalita záběrů z dronů, a právě díky této technologii se drony nyní hojně využívají v reklamě, filmové produkci, armádě atd.

Vrátíme se ale k tématu doručování zásilek. Celá řada velkých obchodních a poštovních společností vážně uvažuje o investicích do vývoje bezpilotních letadel pro doručování balíků, pošty, léků a potravin. Například společnost La Poste ve Francii již takový program doručování zahájila. Švýcarská a finská pošta jsou blízko testování tohoto programu. A čínská pošta již dnes v některých svých provinciích doručuje více než 500 balíků denně. Obchodní giganti Amazon a Walmart již takovou službu svým zákazníkům oznámili a společnost DHL provádí testování doručovací služby malých zásilek pomocí dronů.



Obrázek 6 Doručovací dron DHL (Poslovni dnevnik, 2014)

Klíčové charakteristiky doručovacích dronů:

1. Rychlost a efektivita: Drony mohou doručovat zásilky rychleji než tradiční doručovací metody, protože létají přímo na místo určení bez ohledu na dopravní podmínky. To je užitečné zejména v rušných městech nebo při doručování do těžko dostupných míst, jako jsou venkovské oblasti nebo ostrovy.
2. Ekologický přínos: Drony poháněné elektrickou energií neznečišťují ovzduší a nepříspěvají ke zvyšování emisí CO₂, což z nich činí ekologicky udržitelný způsob dopravy.
3. Autonomní technologie: Moderní drony jsou vybaveny pokročilými navigačními systémy, které jim umožňují autonomní let na základě souřadnic GPS. Díky vestavěným senzorům mohou detekovat překážky a vyhýbat se jim, což zvyšuje bezpečnost přepravy.
4. Specifické využití: Drony se často využívají pro doručení urgentních nebo citlivých zásilek, jako jsou léky, zdravotnický materiál, nebo malé balíčky s vysokou hodnotou.

Z předchozí informace logicky vyplývají výhody doručení pomocí dronů:

- Rychlost doručení
- Snížení nákladů
- Snížení ekologické stopy
- Dostupnost v těžko přístupných lokalitách

Existují samozřejmě také i nevýhody tohoto způsobu doručení:

- Regulace a legislativa: Používání dronů podléhá přísným pravidlům, která se liší v jednotlivých zemích.
- Technologická omezení: Malá kapacita baterie a zvládnutí pouze malé a lehké zásilky kvůli malým rozměrům a držadlům.
- Bezpečnost: Riziko nehody, poruchy nebo zásahu nepříznivými povětrnostními podmínkami může ovlivnit spolehlivost doručení.

Navzdory aktuálním technologickým a legislativním překážkám se předpokládá, že využívání dronů v oblasti doručování bude v následujících letech dynamicky narůstat dál, a to díky rozvoji nových technologií, umělé inteligence a úpravám regulačních předpisů. Tento inovativní způsob dopravy má schopnost zásadně změnit proces doručování zásilek a stát se nepostradatelnou součástí moderní city logistiky.

1.2.4 Výdejní místa

Výdejní místa představují pohodlný a efektivní způsob doručování zboží, který je oblíbený zejména u zákazníků hledajících flexibilitu. V angličtině se tomu říká “pickup points“. Tento model umožňuje doručovat zásilky na předem určené místo, kde si je zákazník může osobně vyzvednout. Místa pro osobní odběr jsou stále častější alternativou k doručování na adresu a významně přispívají k optimalizaci logistiky na poslední míli.

Postup a fungování u výdejních míst je skoro stejný jako u doručovacích boxů. V tomto případě avšak si během online nákupu vyberete nejvhodnější výdejní místo, které je často umístěno na frekventovaných místech, jako jsou nákupní centra, supermarkety, čerpací stanice nebo obchody. V některých případech se jedná o slučování pokladny a výdejního místa v malých obchodech. Následně logistická firma nebo jiná kurýrní služba doručí zásilky hromadně na dané výdejní místo, což jistě snižuje náklady na dopravu a emise CO₂. Po tom společnost oznámí zákazníkovi o doručení a poskytne prostřednictvím zprávy nebo mailu unikátní kód, který je potřebný pro vyzvednutí zásilky. No a zbývá nakonec jenom navštívit výdejní místo, předložit speciální kód a zásilku si osobně vyzvednout. Některá místa také umožňují platbu při převzetí nebo výměnu zboží.

Tento způsob doručení je populární u některých online-obchodu. Jako příklad lze uvést společnost „Ozon“, která operuje v Rusku. Princip je následující: firma provozuje několik velkých skladů po celé zemi a do něj nakupuje různorodé zboží z celého světa, potom velkými dodávkami se toto zboží rozváží do tisíc výdejních míst, kterými firma také operuje. Na výdejních místech můžete zkontrolovat vybavení vaší objednávky a popřípadě reklamovat. V Rusku je to nejpopulárnější způsob doručení a tato výdejní místa jsou nyní otevřena dokonce i v řídko osídlených oblastech. Doba skladování je zdarma 5 dnů, pak následuje doplatek nebo vracení zboží.

V České republice existuje mnoho společností, které provozují výdejní místa jako součást svých služeb v oblasti logistiky, e-commerce a doručování. K těm nejvýznamnějším patří: Zásilkovna, Balíkovna, Česká pošta, Alza, PPL, Rohlík a GLS.

Dále je vhodné ukázat výhody a nevýhody tohoto způsobu doručení na poslední míli.

Výhody doručení pomocí výdejních míst:

- Flexibilita pro zákazníky: Zákazníci si mohou vyzvednout své zásilky v době, která jim vyhovuje, aniž by byli vázáni na konkrétní čas doručení.
- Ekologický přínos: Centralizované doručování snižuje počet jízd kurýrů a tím i emisní zátěž.
- Úspora nákladů: Pro logistické společnosti je doručení více zásilek na jedno místo levnější než individuální doručování na adresu.
- Široká dostupnost: Výdejní místa jsou často strategicky rozmístěna v blízkosti hustě osídlených oblastí, což zajišťuje snadný přístup.

Určitě jsou zde i nevýhody:

- Omezená kapacita: Některá výdejní místa mají omezený prostor a nemusí být schopna pojmout velké množství zásilek, zvláště v období zvýšené poptávky, například před Vánocemi.
- Nedostatečná dostupnost na venkově: Ve venkovských oblastech bývá hustota výdejních míst nízká.
- Nutnost osobní návštěvy: Zákazník musí zásilku vyzvednout osobně, což nemusí být vždy pohodlné.

Výdejní místa představují výhodnou volbu pro zákazníky, kteří oceňují flexibilitu při vyzvedávání svých zásilek a pohodlný přístup k nim. Tento model doručování pomáhá logistickým firmám optimalizovat náklady a zároveň přispívá k ochraně životního prostředí díky nižším emisím z dopravy. S narůstající oblibou online nakupování lze předpokládat, že tato forma doručování bude i nadále expandovat a zdokonalovat se po celém světě.

1.2.5 Autonomní vozidla

V posledních letech roste zájem o autonomní vozidla nejen pro osobní dopravu, ale také pro doručování na poslední míli. Růst elektronického obchodu a zvyšující se poptávka po rychlých a efektivních doručovacích službách podnítily vývoj a zavádění autonomních dodávkových vozidel. Tato vozidla mají potenciál způsobit revoluci ve způsobu doručování zboží, neboť tento proces je rychlejší, nákladově efektivnější a ekologičtější.

Autonomní doručovací vozidla jsou navržena tak, aby se pohybovala po městě a doručovala zákazníkům balíky nebo zboží bez nutnosti lidského zásahu. Využívají kombinaci pokročilých senzorů, kamer, čidel a algoritmů umělé inteligence k vnímání okolí, plánování tras a interakci s dopravou a chodci. Tato vozidla jsou schopna analyzovat data v reálném čase, přizpůsobovat se měnícím se podmínkám na silnici a přijímat informovaná rozhodnutí, aby zajistila bezpečné a efektivní doručování.

V některých zemích již autonomní vozidla doručují zásilky v testovacím provozu. Například americká společnost „Nuro“ vyvinula plně autonomní vozidlo pro doručování menších zásilek. Společnost „Amazon Scout“ dnes má vlastní autonomní robot, který doručuje zásilky ve vybraných oblastech. Dalším příkladem je ruská technologická firma „Yandex“, která testuje autonomní doručování potravin a zboží:



Obrázek 7 Autonomní vozidlo Yandex (Habr, 2023)

Toto autonomní vozidlo dnes doručuje velké množství objednávek po Moskvě. Umí dodržovat pravidla silničního provozu, a dokonce může rozlišit barvu na semaforu, aby mohl přejet silnici bez porušení pravidel.

Dál je možné zformulovat výhody a nevýhody daného způsobu doručení.

Výhody autonomních vozidel:

- Efektivita: Autonomní vozidla mohou fungovat 24/7, což zrychluje doručování a umožňuje flexibilnější časové okno pro zákazníky.
- Ekologická udržitelnost: Mnohá autonomní vozidla využívají elektrický pohon, čímž přispívají ke snížení emisí skleníkových plynů.
- Bezpečnost: Moderní senzory a pokročilé algoritmy minimalizují riziko nehod.
- Úspora nákladů: Nasazení autonomních vozidel snižuje náklady spojené s lidskou pracovní silou, což může být výhodné zejména při doručování v hromadném měřítku.

Autonomní vozidla zároveň s sebou přinášejí i řadu nevýhod, které je třeba zohlednit:

- Vysoké počáteční náklady: Vývoj a výroba autonomních vozidel je technologicky náročná a finančně nákladná.
- Závislost na technologii: Autonomní vozidla se spoléhají na systémy jako GPS, senzory a kamery. Jakákoli porucha nebo selhání těchto systémů může vést k problémům při doručování.
- Bezpečnostní rizika: I přes pokročilé technologie hrozí riziko kybernetických útoků, které by mohly narušit kontrolu nad vozidlem nebo zneužít citlivé údaje.
- Legislativní podmínky: Právní rámec pro provoz autonomních vozidel není ve všech zemích dostatečně vyvinut.
- Společenské otázky: Ztráta pracovních míst pro řidiče a kurýry může mít negativní dopad na zaměstnanost.

Autonomní vozidla jsou inovativním a efektivním způsobem doručování na poslední míli, avšak jejich masové nasazení zatím brzdí technologické, ekonomické a legislativní výzvy. K tomu, aby se tato technologie stala standardní součástí logistických procesů, je nezbytné překonat nejen technické překážky, ale také řešit právní a společenské aspekty.

1.3 Metody vícekritériálního rozhodování

Metody vícekritériálního rozhodování (MCDM) jsou důležitým nástrojem pro řešení složitých problémů, které vyžadují zohlednění více kritérií současně. Umožňují efektivně porovnat různé možnosti na základě předem definovaných požadavků, čímž přispívají k transparentnějšímu a organizovanějšímu rozhodovacímu procesu. V oblasti logistiky i dalších oborech jsou tyto metody nepostradatelné při hledání optimálních řešení, výběru technologií nebo strategií, zejména pokud je třeba skloubit technické, ekonomické a ekologické aspekty.

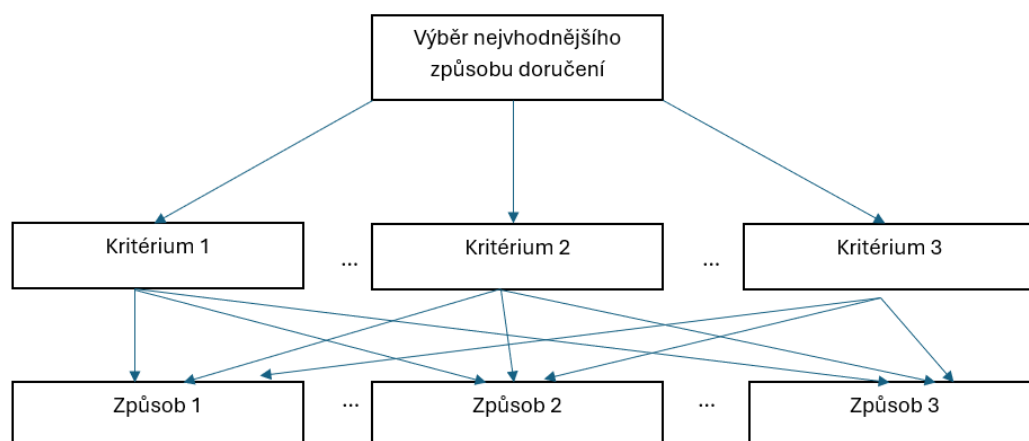
V této práci prozkoumáme podrobněji 3 metody: AHP, TOPSIS a Marcos.

1.3.1 AHP

Metoda AHP byla vyvinuta v roce 1980 americkým matematikem Thomasem Saaty. Tato metoda představuje rámec pro identifikaci důležitých rozhodnutí ve složitém rozhodovacím prostředí. Jejím cílem je zjednodušit a urychlit rozhodovací proces. Je třeba vzít v úvahu všechny prvky, které mohou ovlivnit výsledek analýzy, vztahy mezi těmito prvky a intenzitu vzájemného působení. Jedním ze způsobů, jak rozložit složitý problém na jednodušší části, je vytvoření hierarchické struktury problému. Hierarchická struktura znamená lineární strukturu, která obsahuje více úrovní, přičemž každá úroveň obsahuje více prvků. Složité problémy vícekritériálního rozhodování jsou obvykle víceúrovňové. Zároveň metoda se uplatňuje v různých oblastech, včetně logistiky, kde je využívána například při výběru dodavatelů, optimalizaci distribučních strategií nebo hodnocení způsobů doručení na poslední míli.

AHP metoda má základní tři kroky. Prvním je sestavení hierarchie – na nejvyšší úrovni je stanoven hlavní cíl rozhodování, zatímco nižší úrovně obsahují kritéria ovlivňující rozhodnutí, podkritéria a možné alternativy vedoucí k naplnění stanoveného cíle.

V našem případě hierarchickou strukturu problémů při výběru způsobu doručení lze vizualizovat následovně:



Obrázek 8 Schéma výběrů způsobu doručení dle AHP (autor)

Jednotlivé úrovně jsou uspořádány od obecného ke konkrétnímu. Obecnější prvky se vztahují ke konkrétním prvkům na vyšší úrovni hierarchie. Intenzitu interakce mezi prvky hierarchie lze kvantifikovat. Na nejvyšší úrovni hierarchie je vždy pouze jeden prvek, který definuje cíl rozhodování. Tento prvek je pak sdílen mezi prvky druhé úrovně. Podobný algoritmus se použije pro vyhodnocení všech úrovní. Na nejnižší úrovni lze nalézt vyhodnocení příslušných variant. Normalizovaná hodnota se vypočítá podle vzorce:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

kde:

- n_{ij} je normalizovaný prvek matice,
- a_{ij} je hodnota v párové matici porovnání,
- n je počet kritérií.

Druhým krokem je párové srovnání – odborníci v dané oblasti provádějí párové srovnání prvků na každé úrovni hierarchie. Předpokládá se, že jednotlivé prvky jsou vzájemně nezávislé. Na základě rozhodovacího cíle se hodnotí relativní významnost dvou kritérií na druhé úrovni hierarchie. Stejný postup se aplikuje na podkritéria v rámci jednotlivých kritérií, a to na každé další úrovni hierarchie. Po normalizaci matice se váhy jednotlivých kritérií w_i vypočítají jako aritmetický průměr normalizovaných hodnot v každém řádku:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n n_{ij} \quad (2)$$

Poslední krok spočívá v kontrole konzistence – expertní posudky jsou klíčové pro určení relativní důležitosti jednotlivých kritérií a alternativ při dosahování rozhodovacího cíle:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

kde:

- λ_{max} je největší vlastní číslo párové matice porovnání

Následně se vypočítá poměr konzistence CR:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

kde:

- RI je náhodný index konzistence (z tabulky pro daný počet kritérií).

Vzhledem k tomu, že metoda AHP umožňuje subjektivní hodnocení ze strany rozhodovatelů, nelze zaručit automatickou konzistenci těchto úsudků. Z tohoto důvodu je nezbytné provést kontrolu konzistence, aby byly výsledky co nejpřesnější a optimalizované.

Každá alternativa se hodnotí vůči jednotlivým kritériím a získává svou skórovací hodnotu. Celkové hodnocení alternativy S_i se vypočítá jako vážený součet:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad (5)$$

Výsledkem metody AHP je seřazení alternativ podle jejich celkové priority. Alternativa s nejvyšší hodnotou je považována za nejvhodnější pro dosažení stanoveného cíle.

V oblasti doručování na poslední míli lze metodu AHP efektivně využít pro výběr nejvhodnějšího způsobu doručení. Logistická firma může stanovit kritéria, jako jsou náklady, rychlost doručení, environmentální dopad a zákaznická spokojenost. Mezi možnými alternativami mohou být například doručování kurýry, výdejní boxy, autonomní vozidla nebo drony. Pomocí AHP mohou společnosti vyhodnotit jednotlivé možnosti a určit nejlepší strategii na základě specifických preferencí a priorit cílového trhu.

Metoda AHP má své výhody:

- Umožňuje strukturovat složité problémy a zohlednit více kritérií.
- Poskytuje systematický a transparentní přístup k rozhodování.
- Zahrnuje kontrolu konzistence, což zvyšuje spolehlivost výsledků.

Však, má metoda také i své nevýhody, které mohou ovlivnit celý proces rozhodování:

- Párové porovnání může být časově náročné, zejména při větším počtu kritérií a alternativ.
- Subjektivita při hodnocení může ovlivnit výsledky, pokud nejsou vstupní údaje správně nastavena.

1.3.2 TOPSIS

TOPSIS – metoda třídění možností rozhodovacího procesu podle jejich vzdálenosti od ideální a základní možnosti. Technologii původně vyvinuli Ching-Lai Hwang a Yoon v roce 1981.

Podstatou metody je hledání alternativ, jejichž hodnoty ohodnocení jsou nejbližší ideálnímu pozitivnímu řešení a nejvzdálenější ideálnímu negativnímu řešení. Ideálně pozitivní řešení je vektor maximálních hodnot matice vážených ohodnocení alternativ. Ideálně negativní řešení je naopak vektor minimálních hodnot. Výsledky na konci jsou uspořádány na základě vah kritérií stanovených ve standardním postupu. Optimální řešení je to, které se nachází nejbližší ideálnímu bodu nebo nejdále od anti-ideálního. Konečné souhrnné skóre určuje pořadí jednotlivých alternativ v hodnocení.

Algoritmus pro počítání pomocí metody TOPSIS je následující:

1. V prvním kroku máme za úkol provést normalizaci rozhodovací matice, a to dle vzorce:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij}^2)}} \quad (6)$$

2. Poté se sestrojí matice vážených hodnot kritérií, kde váhové koeficienty jsou $w_i \in [0,1]$. Matici normalizovaných vážených hodnot lze tedy znázornit takto:

$$\tilde{P} = (w_i p_{ij}) = (\tilde{p}_{ij}) \quad (7)$$

3. Z hodnot matice W určete ideální variantu h s vektorem (h_1, \dots, h_m) a bazální variantu vektoru d (d_1, \dots, d_m) .
4. Výpočet vzdáleností ideální varianty d_i^+ a nejhorší varianty d_i^- podle vztahů:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - h_j)^2} \quad (8)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - d_j)^2} \quad (9)$$

5. Výpočet ideálního kladného řešení w:

$$C_i^+ = \frac{d^i}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (10)$$

6. Alternativní hodnocení: Alternativní C_i^+ jsou seřazené od největší hodnoty po nejmenší. Pak se volí varianty s nejvyššími hodnotami tohoto ukazatele, protože to je nejlepší řešení.

Metoda TOPSIS má několik výhod:

- Snadná implementace a výpočetní jednoduchost.
- Umožňuje zohlednit více kritérií najednou.
- Poskytuje jasné a srozumitelné výsledky.

Z jiné strany, jako všechno má určitě i nevýhody:

- Citlivost na způsob stanovení vah kritérií.
- Předpokládá, že všechna kritéria jsou nezávislá, což nemusí vždy odpovídat realitě.

Metoda TOPSIS představuje užitečný nástroj pro logistické společnosti, které usilují o nalezení optimální strategie doručování na poslední míli. Díky své flexibilitě a schopnosti pracovat s kvantitativními i kvalitativními kritérii nabízí ucelenou podporu při rozhodovacím procesu. Celkově je metoda TOPSIS užitečnou a oblíbenou metodou pro hodnocení alternativ v různých oblastech, ale je důležité vzít v úvahu její omezení a možné nevýhody.

1.3.3 MARCOS

MARCOS je nová metodika, která byla vyvinuta v roce 2020. To je metoda s širokou škálou využití a byla vyvinuta na základě ideálního a anti-ideálního řešení. Následně se měří užitek jednotlivých alternativ a na základě hodnot užítku alternativ se vypočítají různé užítkové funkce. Tyto výpočty nakonec vedou k určení váhy alternativ a jejich seřazení. (Stević et al. 2020).

Hlavní kroky metody MARCOS:

1. krok. Stanovení kritérií a alternativ: Na začátku procesu je nutné identifikovat klíčová kritéria, která ovlivňují rozhodovací proces, a alternativy, které budou hodnoceny. Předpokládá se, že rozhodování probíhá mezi „m“ alternativami a „n“ kritérii. Rozšířená

matice je kombinací primární matice, ideálního a anti-ideálního řešení následujícím způsobem:

Tabulka 1 Kritéria a alternativy pro rozhodovací matici

		Kritéria		
		(C ₁)	...	(C _n)
Alternativy	AAI	[X _{aa1} ... X _{aan} X ₁₁		
	(A ₁)			
	...			
	(A _m)			
	AI			

Zdroj: Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020)

Kde X_{ij} představuje hodnotu rozhodnutí, která odráží hodnocení i -té alternativy vůči j -tému kritériu. Ideální a anti-ideální řešení jsou označována jako AI a AAI. Ideální řešení odpovídá nejnižší hodnotě mezi různými alternativami v případě prospěšných kritérií. U nákladových kritérií je ideální řešení nejvyšší hodnotou. Anti-ideální řešení se určuje opačným způsobem – nejvyšší hodnoty pro užitečná kritéria a nejnižší hodnoty pro nákladová kritéria.

2. krok. Normalizace hodnot: Pro zajištění srovnatelnosti mezi kritérii se provádí normalizace hodnot. Tím se eliminuje vliv rozdílných jednotek a rozsahů kritérií.

Normalizovaná matice se vypočítá na základě ideálního řešení následujícím způsobem:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}} \text{ pro prospěšková a} \quad (11)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \text{ pro nákladová kritéria.} \quad (12)$$

Proces normalizace se aplikuje na rozšířenou matici, přičemž hodnoty AAI a AI jsou také zahrnuty do normalizačního postupu.

3. krok. Výpočet blízkosti k ideálnímu a anti-ideálnímu řešení: Pro každou alternativu se stanoví relativní blízkost k ideálnímu a anti-ideálnímu řešení. Tyto hodnoty umožňují identifikovat, která alternativa je nejvýhodnější.

$V = [V_{ij}]_{m \times n}$ je váženou maticí, která se vypočítá s ohledem na váhy kritérií ve vzorci tím pádem:

$$v_{ij} = n_{ij} \times w_j \quad (13)$$

Vážené hodnoty jsou stanoveny pro rozšířenou matici.

4. krok. Stupeň užitečnosti:

Stupně užitečnosti jsou vypočítány pro všechny alternativy na základě hodnot ideálního a anti-ideálního řešení následujícím způsobem:

$$S_i = \sum_j V_{ij} \Rightarrow K_j^- = \frac{S_i}{S_{ai}}, K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (14)$$

5. krok. Užitečností funkce: Na základě hodnot užitečnosti se vypočítají různé pozitivní a negativní užitečností funkce. Užitečností funkce je stanovena podle hodnot užitečnosti a funguje následovně:

$$f(K_i^-) = \left(\frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \right) \text{ a } f(K_i^+) = \left(\frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \right) \quad (15)$$

$$f(K_i) = \frac{K_i^- + K_i^+}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}$$

6. krok. Seřazení alternativ: Alternativy jsou seřazeny podle jejich hodnoty užítka od nejvýhodnější po nejméně výhodnou.

Co se týká výhod této metody, tak jistě jsou, jako například:

- Flexibilita: Metoda pracuje s kvantitativními i kvalitativními daty, což ji činí univerzálně použitelnou.
- Transparentnost: Jasná struktura metody usnadňuje sledování jednotlivých kroků a interpretaci výsledků.
- Komplexnost: MARCOS umožňuje zahrnout široké spektrum kritérií, což z ní činí vhodný nástroj pro složité rozhodovací procesy.

Metoda ale také má své nevýhody, jako jsou:

- Citlivost na vstupní data: Přesnost výsledků závisí na kvalitě vstupních dat, což znamená, že jakékoliv chyby nebo nepřesnosti mohou výrazně ovlivnit výsledky.
- Náročnost na výpočetní výkon: Při větším množství alternativ a kritérií může být metoda výpočetně náročná, což vyžaduje použití softwarových nástrojů.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Jak je uvedeno v anotaci mé práce, jejím hlavním cílem je určit nejvhodnější způsob doručení zboží na poslední míli. Volba optimálního způsobu doručení zboží představuje zásadní strategické rozhodnutí, které má přímý dopad na efektivitu a konkurenceschopnost podniku. V současném dynamickém tržním prostředí, kde je klíčové rychle reagovat na potřeby zákazníků, se správně nastavená logistická strategie stává nepostradatelným prvkem úspěchu.

Vícekritériální rozhodování má v oblasti logistiky také zásadní význam. Logistické procesy jsou často složité a vyžadují zohlednění celé řady faktorů. V dnešní době je kladen důraz na to, aby rozhodovací procesy zahrnovaly více kritérií současně, protože rozhodování založené pouze na jednom kritériu je obvykle omezené a nemusí poskytovat komplexní pohled na situaci. Pro výběr optimální alternativy je nezbytné zvážit všechny relevantní faktory a jejich vzájemné vztahy.

Metody vícekritériálního rozhodování (MCDM) získávají v logistice stále větší oblibu díky své schopnosti řešit komplexní a dynamické rozhodovací problémy.

Každý ze způsobů, které jsou popsány v teoretické části, nabízí svoje výhody a nevýhody, a proto je nutné je pečlivě zvážit pomocí metod vícekritériálního rozhodování.

Ve své práci samozřejmě vyvodím důsledky na základě údajů, které mi poskytla ruská firma s názvem „Dostavista“ s hlavním sídlem ve městě Ljubertsy, odkud pocházím. Společnost je zaměřena na distribuci a rychlé doručení zboží, jídla a potravin z online-obchodů po Ljubertsech a Moskvě. Tato firma se snaží propojit lokální obchody, restaurace a spotřebitele, hledajících kvalitní a rychlé služby doručení zboží až ke svým dveřím.

Po konzultaci s odborníkem ze společnosti byly definovány 4 různé varianty doručení zboží a stanoveny 5 klíčových kritérií, která budou posuzována z hlediska jejich významu pro rozvoj společnosti. Důležitost každého kritéria bude ohodnocena podle škály od 1 až 10, kde 10 je nejdůležitějším kritériem. Kritéria budou také podrobněji popsána v další kapitole. Za experty byli zvoleni náhodně vybraní zaměstnanci společnosti „Dostavista“. K rozhodování budou použity metody TOPSIS a MARCOS. Jejich výhody jsou vysvětleny v první části dané práce. Jejich implikace bude ukázaná na případové studii.

3 NÁVRH ŘEŠENÍ PRO VÝBĚR ZPŮSOBU DORUČENÍ ZBOŽÍ

Pro jasnost a průhlednost je potřeba nejprve definovat kritéria pro výběr nejvhodnějšího způsobu doručení zboží na poslední míli.

3.1 Vymezení kritérií

Kritéria jsou v této práci klíčovým prvkem, protože umožňují systematické posouzení a porovnání jednotlivých alternativ. Jasně definovaná kritéria jsou nezbytná pro objektivní zhodnocení přínosů a nevýhod jednotlivých možností. Bez nich by hrozilo riziko chybných rozhodnutí. Kritéria mohou zahrnovat různé aspekty, jako jsou časové ukazatele (například doba dodání), finanční hlediska (například náklady na skladování nebo dopravu), kvalitativní parametry (například úroveň kvality produktů nebo poskytovaných služeb), flexibilitu (schopnost přizpůsobit se změnám v poptávce) nebo environmentální dopady (vliv logistických aktivit na životní prostředí).

V této práci kritéria pro výběr neoptimálnějšího způsobu doručení jsou: Náklady, doba dodání, ekologický dopad, spokojenost zákazníků a flexibilita. Začneme definovat postupně.

3.1.1 Náklady

Kritérium „náklady“ je jedním z nejdůležitějších faktorů při výběru správného způsobu přepravy. Toto kritérium ovlivňuje nejen ekonomickou efektivnost podniku, ale také jeho konkurenceschopnost na trhu. V logistice je třeba sledovat všechny složky dopravních nákladů, protože mohou mít významný vliv na celkové náklady práce. Kritérium „náklady“ lze rozdělit na několik dílčích oblastí: náklady na přepravu, náklady na skladování, náklady na balení, administrativní náklady a tak dále. V daném případě, jelikož se naše firma zabývá jen doručením, zajímají nás především náklady na přepravu. Ty ve své řadě zahrnují náklady na pohonné hmoty (palivo, elektřina), různé poplatky (mýtná), investování do nových technologií, oprava a údržba vozidel a samozřejmě mzdy řidičům.

3.1.2 Doba dodání

Kritérium „Doba dodání“ představuje další prvek při posuzování způsobu doručení zboží, protože významně ovlivňuje nejen spokojenost zákazníků, ale také efektivitu celého logistického procesu. Tento faktor zahrnuje časový interval od okamžiku odeslání objednávky až po její doručení do rukou zákazníka. Rychlé a spolehlivé doručení je zásadní nejen pro budování důvěry zákazníků, ale také pro zajištění plynulosti logistických operací. Společnosti se proto zaměřují na zlepšení tohoto aspektu prostřednictvím moderních technologií, jako jsou sledovací systémy, optimalizace tras nebo nasazení autonomních dopravních prostředků.

3.1.3 Ekologický dopad

Kritérium „ekologický dopad“ je stále důležitým faktorem při výběru způsobu dodání, protože odráží dopad logistických procesů na životní prostředí, včetně zohlednění emisí skleníkových plynů, spotřeby energie, produkce odpadu a dalších negativních dopadů spojených s dopravou. Společnosti si stále více uvědomují, že jejich dopad na životní prostředí může ovlivnit nejen jejich pověst, ale také náklady na dodržování předpisů v oblasti životního prostředí a potřeby zákazníků, kteří stále častěji upřednostňují alternativy šetrné k životnímu prostředí.

V praxi se dopady na životní prostředí zohledňují například při výběru dopravních prostředků. Elektromobily, kurýři na kolech nebo pěší doručení jsou považovány za ekologičtější než konvenční fosilní paliva. Dalším aspektem je optimalizace tras, která minimalizuje zbytečné cesty a snižuje spotřebu paliva.

Zohlednění dopadu na životní prostředí při výběru způsobu dopravy nejen podporuje udržitelnost, ale může také vést ke snížení provozních nákladů a zvýšení konkurenceschopnosti podniku.

3.1.4 Spokojenost zákazníků

Další kritérium je „Spokojenost zákazníků“. Spokojenost zákazníků závisí na různých faktorech doručovacího procesu, jako jsou rychlost, spolehlivost, flexibilita, kvalita komunikace a celkový komfort při převzetí zásilky.

Rychlost doručení je pro zákazníky klíčová, protože většina z nich očekává co nejkratší dodací lhůtu. Neméně důležitá je spolehlivost – zákazníci chtějí mít jistotu, že jejich objednávka dorazí včas a v perfektním stavu. Flexibilita doručení, například možnost zvolit si konkrétní čas nebo místo převzetí, zvyšuje pohodlí zákazníků a zlepšuje jejich zkušenost s doručením.

Kvalita komunikace během celého procesu je dalším důležitým prvkem. Transparentní informace o stavu objednávky, možnost sledovat zásilku a dostupná zákaznická podpora přispívají k budování důvěry. Důležitou roli hraje i samotný způsob předání zboží – například ochotné jednání kurýra nebo snadné vyzvednutí na výdejním místě mohou výrazně ovlivnit celkový dojem zákazníka.

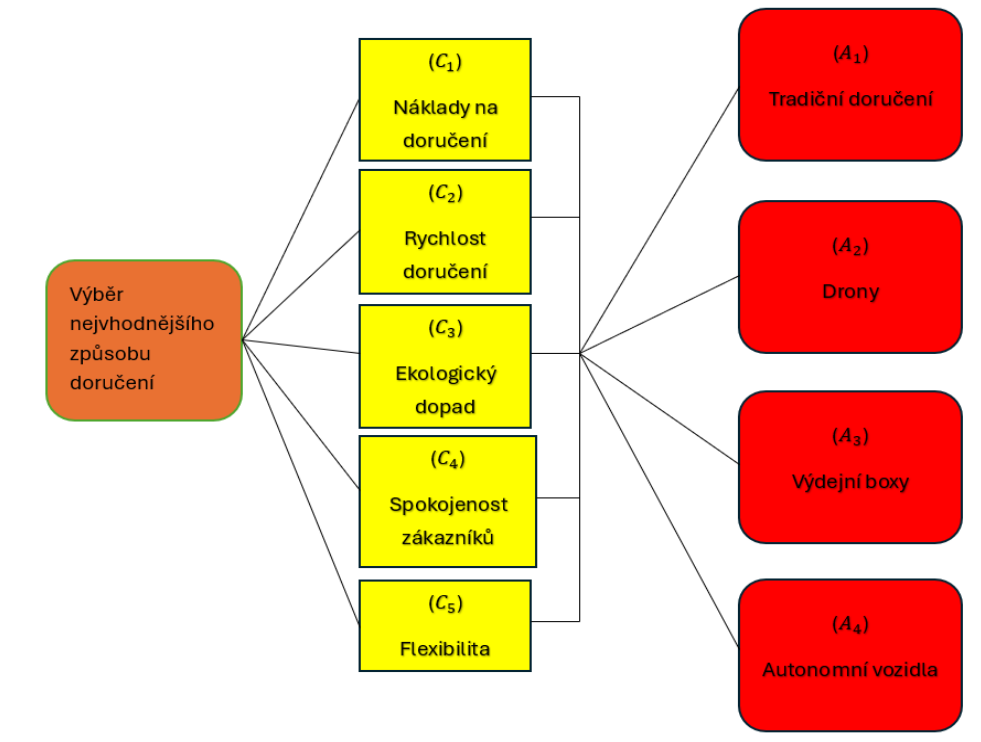
Spokojenost zákazníků je proto klíčová nejen pro udržení stávajících zákazníků, ale i pro získání nových, a firmy, které se na ni zaměřují, si zajišťují konkurenční výhodu a posilují svou pozici na trhu.

3.1.5 Flexibilita

Flexibilita hraje v logistice zásadní roli, protože umožňuje firmám rychle reagovat na změny na trhu, požadavky zákazníků a neočekávané narušení dodavatelského řetězce. Flexibilní logistický systém je schopný přizpůsobit se situacím, jako jsou přírodní katastrofy, výpadky v provozu nebo zpoždění výroby, čímž minimalizuje jejich negativní dopad a zajišťuje, že zboží dorazí k zákazníkům včas. Tento přístup zároveň firmám umožňuje upravovat své procesy podle měnících se preferencí zákazníků, například při úpravách objednávek, specifikací produktů nebo časových plánů dodávek. Flexibilita tak zvyšuje efektivitu a odolnost logistického systému, což je klíčové pro udržení konkurenceschopnosti na dynamickém trhu. Obecně je flexibilita nezbytná pro dosažení efektivity, spolehlivosti a rychlosti reakce v logistických operacích.

3.2 Vizualizace problematiky

Pro lepší pochopení problematiky výběru nejvhodnějšího způsobu doručení na poslední míli byla vytvořena vizualizace v podobě hierarchického rozhodovacího diagramu:



Obrázek 9 Rozhodovací diagram (autor)

Tento diagram poskytuje přehledný pohled na strukturu rozhodovacího procesu a zobrazuje vzájemné vztahy mezi hlavním cílem, hodnotícími kritérii a možnými alternativami doručení. Hlavním cílem rozhodovacího procesu je vybrat nejvhodnější způsob doručení (znázorněno v levé části diagramu). Tento cíl je ovlivněn několika klíčovými kritérii (ve střední části diagramu), která hrají roli při posuzování jednotlivých alternativ (v pravé části diagramu).

3.3 Implementace metody TOPSIS

Po detailním popisu všech kritérií můžeme přistoupit k definování tabulky vstupních dat. Tato tabulka bude obsahovat váhy jednotlivých kritérií, které jsou klíčové pro následné výpočty. Definice vstupních dat je nezbytná pro provedení analýzy pomocí metod TOPSIS a MARCOS. Následující tabulka (další stránka) slouží jako základ pro všechny potřebné výpočty a její správné nastavení je klíčovým předpokladem pro dosažení validních výsledků.

Tabulka 2 Hodnocení důležitosti kritérií pro výpočet metod TOPSIS a MARCOS

Alternativy	Náklady na přepravu (Kč)	Doba dodání (%)	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
Tradiční doručení	60	90	8	9	6
Drony	70	95	6	7	7
Výdejní boxy	55	85	4	6	7
Autonomní vozidla	70	85	5	8	9

Zdroj: autor.

V dalším kroku je nezbytné přidat váhové ohodnocení a odhalit, co bychom měli považovat za maximální hodnoty a co za minimální hodnoty. Dostáváme tím pádem rozhodovací matici – tabulku č. 3.

Tabulka 3 Rozhodovací matice

Alternativy	Náklady na přepravu (Kč)	Doba dodání (%)	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
Tradiční doručení	60	90	8	9	6
Drony	70	95	6	7	7
Výdejní boxy	55	85	4	6	7
Autonomní vozidla	70	85	5	8	9
Váhy	0,3626	0,1612	0,1224	0,282	0,0717
MIN/MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX

Zdroj: autor.

Poté je naším dalším krokem normalizace získaných dat, což je druhým krokem metody TOPSIS. Po výpočtech se dostáváme k normalizační rozhodovací matici, kterou je tabulka č. 4.

Tabulka 4 Normalizační rozhodovací matice

Alternativy	Náklady na přepravu	Doba dodání	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
Tradiční doručení	0,4682	0,5065	0,6737	0,5934	0,4092
Drony	0,5462	0,5346	0,5053	0,4616	0,4774
Výdejní boxy	0,4292	0,4784	0,3369	0,3956	0,4774
Autonomní vozidla	0,5462	0,4784	0,4211	0,5275	0,6138
Váhy	0,3626	0,1612	0,1224	0,282	0,0717

Zdroj: autor.

Další krok spočívá v sestavení váhové rozhodovací matice, což provedeme pomocí součinu získané hodnoty a její váhového ohodnocení. Výsledek těchto výpočtů je uveden v tabulce č. 9.

Tabulka 5 Rozhodovací váhová matice

Alternativy	Náklady na přepravu	Doba dodání	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
Tradiční doručení	0,1698	0,0816	0,0825	0,1674	0,0293
Drony	0,1980	0,0862	0,0618	0,1302	0,0342
Výdejní boxy	0,1556	0,0771	0,0412	0,1116	0,0342
Autonomní vozidla	0,1980	0,0771	0,0515	0,1488	0,0440

Zdroj: autor.

Dále se sestrojí matice ideálních a anti ideálních řešení, což se provádí pomocí výběru největších a nejmenších hodnot z rozhodovací matice. Dosažené hodnoty ideálních a anti ideálních řešení jsou znázorněny v tabulce č. 6.

Tabulka 6 Matice ideálních a anti ideálních řešení

	Náklady na přepravu	Doba dodání	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
Ideální řešení	0,1556	0,0862	0,0412	0,1674	0,0440
Anti ideální řešení	0,1980	0,0771	0,0825	0,1116	0,0293

Zdroj: autor.

Teď v dalším kroku metody TOPSIS máme spočítat vzdálenost alternativ od ideálního pozitivního řešení a negativního řešení. Provedeme to pomocí speciálního vzorce, a dostaneme další tabulku.

Tabulka 7 Matice vzdálenosti od ideálních řešení

Alternativy	Si+	Si-
Tradiční doručení	0,0462	0,0627
Drony	0,0609	0,0296
Výdejní boxy	0,0574	0,0594
Autonomní vozidla	0,0483	0,0505

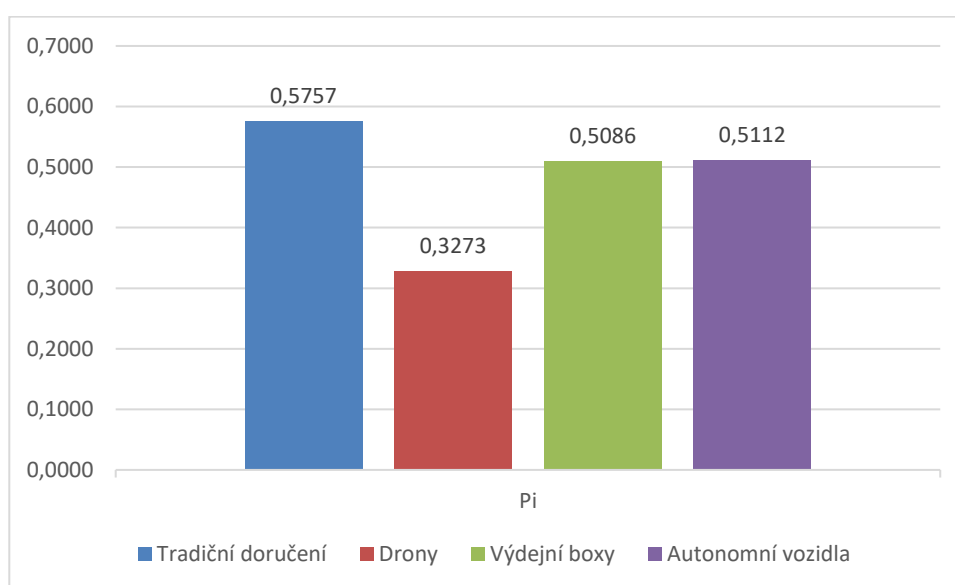
Zdroj: autor.

V posledním kroku metody máme za úkol spočítat rank každé alternativy, což znamená jejich poměr relativní blízkosti. Alternativa s největší hodnotou se počítá za nejlepší.

Tabulka 8 Relativní blízkost a ranky ideálních řešení

Alternativy	Pi	Rank
Tradiční doručení	0,5757	1
Drony	0,3273	4
Výdejní boxy	0,5086	3
Autonomní vozidla	0,5112	2

Zdroj: autor.



Obrázek 10 Výsledné údaje metody TOPSIS (autor)

Po implementaci metody TOPSIS a provedení všech kroků a výpočtů je zřejmé, že nejlepší způsob doručení zboží na poslední míli je v našem případě první alternativa, což znamená využití tradičních způsobů doručení. Druhou alternativou jsou autonomní vozidla, třetí výdejní boxy a poslední jsou drony. Všechno to vyplývá z obrázku č. 9.

No a teď, abychom mohli potvrdit získaný výsledek, použijeme následující metodu vícekritériálního rozhodování – MARCOS.

3.4 Implementace metody MARCOS

V prvním kroku metody MARCOS máme vytvořit rozšířenou matici alternativ a kritérií, a také určit ideální a anti ideální řešení. Zároveň již je možné přidat i váhové ohodnocení, které jsme používali při výpočtech metody TOPSIS. Takže matice se vstupními daty vypadá následovně:

Tabulka 9 Rozšířená matice se vstupními daty

Alternativy	Náklady na přepravu (Kč)	Doba dodání (%)	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
AAI	70	85	8	6	6
Tradiční doručení	60	90	8	9	6
Drony	70	95	6	7	7
Výdejní boxy	55	85	4	6	7
Autonomní vozidla	70	85	5	8	9
AI	55	95	5	9	9
Váhy	0,3626	0,1612	0,1224	0,282	0,072

Zdroj: autor.

Po tom, v druhém kroku naším úkolem je spočítat normalizovanou matici na základě ideálního řešení pro každé kritérium. Normalizovaná matice se počítá pomocí vzorců, které jsem uváděl v 2. kroku při vysvětlení metody MARCOS v první kapitole této práce. Ve výsledku dostáváme následující:

Tabulka 10 Normalizovaná matice vstupních dat

Alternativy	Náklady na přepravu	Doba dodání	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
AAI	0,7857	0,8947	0,5000	0,6667	0,6667
Tradiční doručení	0,9167	0,9474	0,5000	1,0000	0,6667
Drony	0,7857	1,0000	0,6667	0,7778	0,7778
Výdejní boxy	1,0000	0,8947	1,0000	0,6667	0,7778
Autonomní vozidla	0,7857	0,8947	0,8000	0,8889	1,0000
AI	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Váhy	0,3626	0,1612	0,1224	0,282	0,0717

Zdroj: autor.

Další krok spočívá v násobení získaných hodnot pro každé kritérium jejich váhami, což nám udává možnost dostat váženou matici. Výsledek je zobrazen v tabulce č. 11.

Tabulka 11 Vážená normalizovaná matice

Alternativy	Náklady na přepravu	Doba dodání	Ekologický dopad	Spokojenost zákazníků	Flexibilita
AAI	0,2849	0,1442	0,0612	0,1880	0,0478
Tradiční doručení	0,3324	0,1527	0,0612	0,2820	0,0478
Drony	0,2849	0,1612	0,0816	0,2193	0,0558
Výdejní boxy	0,3626	0,1442	0,1224	0,1880	0,0558
Autonomní vozidla	0,2849	0,1442	0,0979	0,2507	0,0717
AI	0,3626	0,1612	0,1224	0,2820	0,0717

Zdroj: autor.

Dále se podle hodnot z vážené matice počítá stupeň užitku pro všechny možnosti a kritéria, včetně ideálního a anti ideálního řešení.

Tabulka 12 Ukazatele stupně užitku

Alternativy	S_{aai}	S_i	K_j^-	K_i^+
AAI	0,7520			
Tradiční doručení		0,9063	1,2052	0,9064
Drony		0,8287	1,1019	0,8288
Výdejní boxy		0,8730	1,1609	0,8731
Autonomní vozidla	S_{ai}	0,8753	1,1639	0,8754
AI	1,0000			

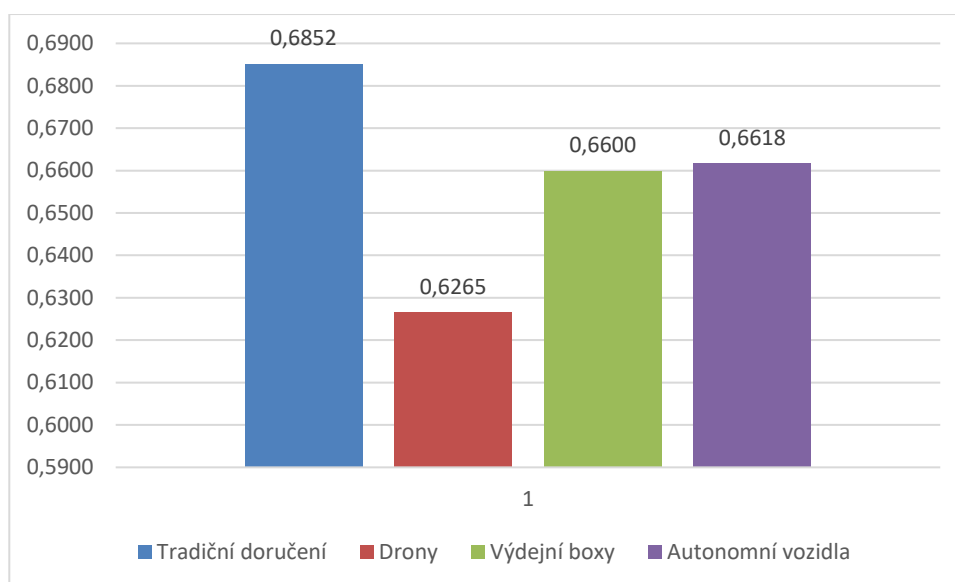
Zdroj: autor.

Nakonec nám zbývá poslední, finální krok, kde se budou vypočítávat záporné a kladné funkce užitku na základě ukazatelů stupně užitku. To všechno nám následně povolí vyčíslit ranky každé možnosti a pak rozřadit pořadí podle veličiny.

Tabulka 13 Výsledná matice metody MARCOS

Alternativy	K_j^-	K_i^+	$f(K_i^-)$	$f(K_i^+)$	$f(K_i)$	Rank
Tradiční doručení	1,2065	0,8762	0,4293	0,5707	0,6852	1
Drony	1,1056	0,8029	0,4293	0,5707	0,6265	4
Výdejní boxy	1,2023	0,8731	0,4293	0,5707	0,6600	3
Autonomní vozidla	1,1698	0,8495	0,4293	0,5707	0,6618	2

Zdroj: autor.



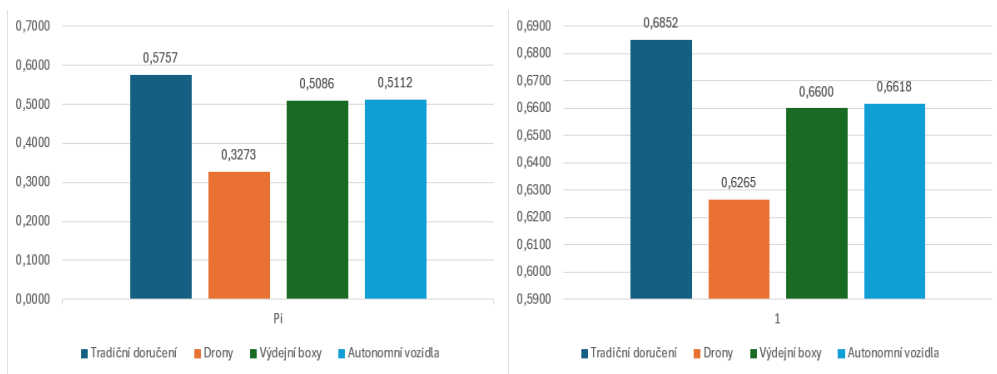
Obrázek 11 Finální diagram metody MARCOS (autor)

Jak je to vidět z výsledné matice a diagramu, nejvyšší rank znovu dostává tradiční doručení, autonomní vozidla a výdejní boxy jsou respektive druhé a třetí v pořadí. Poslední místo však opět patří dronům.

Uvedené výpočty a získaný výsledek opět zdůrazňují a potvrzují správnost našeho řešení pomocí metod TOPSIS i MARCOS.

ZÁVĚR

Výsledky získané pomocí metod TOPSIS a MARCOS ukázaly shodné pořadí hodnocených variant doručovacích metod. Nejlépe hodnocenou variantou se stalo tradiční doručení, následované autonomními vozidly, výdejními boxy a nakonec drony. Tato shoda potvrzuje konzistenci výpočtů a správnost zvoleného přístupu k hodnocení.



Obrázek 12 Výsledky obou metod TOPSIS a MARCOS (autor)

Metoda TOPSIS pracuje na principu určování alternativy, která je nejbližší ideálnímu řešení a zároveň nejvzdálenější od nejhoršího možného řešení. To znamená, že tradiční doručení bylo vyhodnoceno jako metoda, která se nejvíce blíží ideálním hodnotám z hlediska všech kritérií, jako jsou náklady, ekologický dopad, spokojenost zákazníků či flexibilita.

Metoda MARCOS umožňuje zohlednit kompromisní řešení a hodnotí alternativy na základě jejich relativní blízkosti k referenčním hodnotám. Skutečnost, že MARCOS poskytl stejné pořadí jako TOPSIS, naznačuje, že tradiční doručení bylo jednoznačně nejvýhodnější variantou i při různých přístupech k analýze.

V této práci byla řešena problematika výběru neoptimálnějšího způsobu doručení na poslední míli s využitím metod vícekritériálního rozhodování. V teoretické části byly představeny současně používané doručovací metody spolu s inovativními přístupy, které se postupně zavádějí a získávají na popularitě. Následně byly analyzovány výhody a nevýhody jednotlivých způsobů doručování. Dále byly popsány metody vícekritériálního rozhodování, které byly využity pro praktické výpočty a objektivní hodnocení jednotlivých alternativ.

V praktické části jako příklad byla zvolena společnost, která zajišťuje rozvoz v Moskvě a ve městě Lubertsy. Na základě získaných vstupních údajů byly provedeny výpočty s cílem určit neoptimálnější způsob doručení.

Na základě provedených výpočtů bylo zjištěno, že nejvhodnější variantou z hlediska všech posuzovaných faktorů je tradiční doručení, které dosáhlo nejvyššího hodnocení díky

své spolehlivosti, zákaznické oblíbenosti a vyváženým provozním nákladům. Druhou nejvhodnější variantou jsou autonomní vozidla, jež nabízejí vysokou efektivitu a flexibilitu, avšak jejich širší nasazení brzdí nutnost investic a vybudování infrastruktury pro jejich efektivní využití. Třetí místo obsadily výdejní boxy, které sice představují ekonomicky výhodné a ekologicky šetrné řešení, ale jejich využití je omezené z hlediska flexibility. Drony skončily na posledním místě, což lze přičíst vysokým pořizovacím nákladům, technologickým omezením a regulatorním překážkám, které omezují jejich širší využití.

Tato analýza ukazuje, že i když inovativní technologie, jako jsou autonomní vozidla a drony, představují perspektivní směr vývoje logistiky, tradiční doručovací metody si stále udržují svou převahu díky prověřené spolehlivosti a efektivitě. S postupným technologickým pokrokem a úpravami legislativního rámce lze však očekávat, že autonomní doručovací systémy získají na významu a jejich podíl na trhu bude v budoucnu narůstat. Práce může sloužit jako dobrý nástroj pro rozhodování v rozdílných procesech firem, zabývajících se distribucí a doručením zboží na poslední míli.

POUŽITÁ LITERATURA

GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Vydání: první. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.

YANDEX. *Как появились первые курьерские службы*. Online. 2021. Dostupné z: <https://dzen.ru/a/YHwxGk5NtDfZgify>. [cit. 2024-11-24].

SNEAK FRESH. *Рынок постаматов менял правила игры*. [online]. 2023. Dostupné z: <https://fr.sneakfresh.ru/blog/franshiza-postamatov>. [cit. 2024-11-25].

YANDEX. *История постаматов*. [online]. 2021. Dostupné z: <https://dzen.ru/a/YFmi6wDoUhPCPQXN>. [cit. 2024-11-25].

Parcel locker. [online]. 2022. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Parcel_locker#. [cit. 2024-11-25].

FIALA, Petr; JABLONSKÝ, Josef a MAŇAS, Miroslav. *Vícekriteriální rozhodování*. Dotisk. Praha: VŠE, 1997. ISBN 80-707-9748-7.

BROŽOVÁ, Helena; HOUŠKA, Milan a ŠUBRT, Tomáš. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 80-213-1019-7. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:8ce4a730-accb-11e2-8b87-005056827e51>.

TOPSIS. [online]. 2017. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/TOPSIS>. [cit. 2024-12-08].

SPRINGER LINK. *Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)*. [online]. 2004. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11518-006-0151-5>. [cit. 2024-12-08].

ZEO. *Doručení na poslední míli*. [online]. 2023. Dostupné z: <https://zeorouteplanner.com/cs/optimalizace-dod%C3%A1vky-na-posledn%C3%ADm%C3%ADli/>. [cit. 2024-11-20].

LUPA. *Role technologie v doručení poslední míle*. [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/pr-clanky/jakou-rolu-hraje-technologie-v-doruceni-posledni-mile/>. [cit. 2024-11-21].

Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.

SCIENCEDIRECT. *MARCOS technique under intuitionistic fuzzy environment for determining the COVID-19 pandemic performance of insurance companies in terms of*

healthcare services. [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494621001228>. [cit. 2024-12-10].

LPOST. *Последняя миля в логистике*. [online]. 2023. Dostupné z: <https://lpost.ru/blog/poslednyaya-milya-v-logistike-cto-takoe-uchastniki-processa-problemy-i-strategii-resheniya>. [cit. 2024-11-05].

SAP. *Poslední míle: logistika*. [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/insights/last-mile-logistics.html>. [cit. 2024-11-07].

BRINGG. *Last Mile Delivery: New Rules for the eCommerce Era*. [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.bringg.com/blog/delivery/guides-last-mile-delivery/>. [cit. 2024-11-10].

GLOBAL. *“Последняя миля” в логистике*. [online]. 2020. Dostupné z: <https://gul.in.ua/last-mile-in-logistics/>. [cit. 2024-11-11].

WIPRO. *The future of Delivery with Drones: Contactless, Accurate, and High-Speed*. [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.wipro.com/business-process/the-future-of-delivery-with-drones-contactless-accurate-and-high-speed/>. [cit. 2024-11-13].

STORM5. *5 Last-Mile Delivery Challenges in 2022*. [online]. 2022. Dostupné z: <https://storm5.com/resources/supply-chain-logistics/last-mile-delivery/5-last-mile-delivery-challenges-in-2022/>. [cit. 2024-11-15].

GEEKSFORGEES. *Metoda TOPSIS pro rozhodování*. [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/topsis-method-for-multiple-criteria-decision-making-mcdm/>. [cit. 2024-12-08].

ALINEZHAD, Alireza a KHALILI, Javad. *New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM)*. Cham: Springer, [2019]. ISBN 978-3-030-15008-2.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Kritéria a alternativy pro rozhodovací matici	32
Tabulka 2	Hodnocení důležitosti kritérií pro výpočet metod TOPSIS a MARCOS.....	39
Tabulka 3	Rozhodovací matice	39
Tabulka 4	Normalizační rozhodovací matice	40
Tabulka 5	Rozhodovací váhová matice	40
Tabulka 6	Matice ideálních a anti ideálních řešení	41
Tabulka 7	Matice vzdálenosti od ideálních řešení	41
Tabulka 8	Relativní blízkost a ranky ideálních řešení	42
Tabulka 9	Rozšířená matice se vstupními daty.....	43
Tabulka 10	Normalizovaná matice vstupních dat.....	43
Tabulka 11	Vážená normalizovaná matice	44
Tabulka 12	Ukazatele stupně užítku	44
Tabulka 13	Výsledná matice metody MARCOS	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Růst poptávky po službách PM.....	11
Obrázek 2	Podíl nákladů na doručení na poslední míli z celkových nákladů na dopravu	12
Obrázek 3	Schéma ilustrace kurýrních služeb.....	17
Obrázek 4	Parcel locker DHL 2001	18
Obrázek 5	AlzaBox	19
Obrázek 6	Doručovací dron DHL	21
Obrázek 7	Autonomní vozidlo Yandex.....	25
Obrázek 8	Schéma výběrů způsobu doručení dle AHP.....	28
Obrázek 9	Rozhodovací diagram	38
Obrázek 10	Výsledné údaje metody TOPSIS.....	42
Obrázek 11	Finální diagram metody MARCOS	45
Obrázek 12	Výsledky obou metod TOPSIS a MARCOS	46

SEZNAM ZKRATEK

MCDM	Multi-Criteria Decision Making Vícekriteriální rozhodování
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Technika uspořádání preferencí podle podobnosti s ideálním řešením
MARCOS Solution	Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Měření alternativ a jejich řazení podle kompromisního řešení
AI	Ideal Alternative Ideální řešení
AAI	Anti-Ideal Alternative Anti-ideální řešení
AHP	Analytic Hierarchy Process Analytický hierarchický proces