

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Logistika svozu směsného  
komunálního odpadu

(Diplomová práce)



**Vysoká škola  
logistiky**  
o.p.s.

# Zadání diplomové práce

student **Bc. David Slezák**

studijní program Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Logistika svozu směsného komunálního odpadu**

Cíl práce:

S využitím metod operačního výzkumu optimalizovat svozové trasy komunálního odpadu ve městě Lipník n. Bečvou. Navržené optimální trasy vyhodnotit.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Logistika odpadového hospodářství
2. Operační výzkum
3. Teorie grafů
4. Optimalizace tras
5. Zhodnocení návrhu

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

PALÚCH, Stanislav a Štefan PEŠKO. Kvantitativne metódy v logistike. Žilina: Žilinská univerzita, 2006. ISBN 80-8070-636-0.

VOŠTOVÁ, Věra. Logistika odpadového hospodářství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1.

Nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech: účinnost - 1. ledna 2021. Praha: Verlag Dashöfer, [2021]. ISBN 978-80-7635-056-4.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Alexander Čapka, Ph.D.

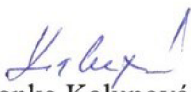
Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2022

Datum odevzdání diplomové práce:

6. 5. 2023

Přerov 31. 10. 2022

  
Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.  
rektor

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní, a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb.; o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámena s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat předtím o této skutečnosti prorektora pro vzdělávání Vysoké školy logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl poučena o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce a verze nahraná do informačního systému školy jsou totožné.

V Přerově, dne 6. 5. 2023

  
..... podpis.....

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Alexandru Čapkovi za odbornou pomoc a trpělivost při zpracování diplomové práce. Dále děkuji Ing. Václavu Zatloukalovi, řediteli z Technických služeb města Lipník nad Bečvou a vedoucí Technických služeb Janě Slavotínkové za odbornou pomoc a poskytnutí informací k vypracování diplomové práce.

## **Anotace**

Diplomová práce se zaměřuje na trasování svozu směsného komunálního odpadu v městě Lipníku nad Bečvou. Práce se skládá z pěti částí, kdy první je více teoreticky zaměřená a věnuje se odpadům a jejich zpracování. Druhá část práce se zabývá operačním výzkumem odpadového hospodářství v Lipníku nad Bečvou. Třetí část se věnuje teorii grafů, čtvrtá část se zabývá optimalizací svozové trasy v Lipníku na základě provedeného operačního výzkumu a za použití metody VRP a poslední část, zhodnocením návrhu trasy a použité metody.

## **Klíčová slova**

odpadové hospodářství, Lipník nad Bečvou, třídění odpadu, návrhy na zlepšení, komunální odpad, směsný komunální odpad

## **Annotation**

The thesis focuses on the routing of mixed municipal waste collection in Lipník nad Bečvou. The thesis consists of five parts, the first is more theoretically oriented and focuses on waste and its treatment. The second part of the thesis deals with operational research of waste management in Lipník nad Bečvou. The third part deals with graph theory, the fourth part deals with the optimization of the collection route in Lipník based on the operational research and using the VRP method and the last part, the evaluation of the route design and the method used.

## **Keywords**

waste management, Lipník nad Bečvou, waste sorting, proposals for improvement, municipal waste, mixed municipal waste

# Obsah

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 LOGISTIKA ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ .....</b>	<b>10</b>
1.1 DEFINICE A VÝZNAM ODPADŮ V ČESKÉ REPUBLICCE .....	10
1.2 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY .....	11
1.3 LEGISLATIVA .....	17
1.3.1 Legislativa nakládání s komunálním odpadem.....	18
1.3.2 Obecně závazná vyhláška pro Lipníku nad Bečvou .....	20
1.3.3 Legislativa shromažďování komunálního odpadu.....	20
1.3.4 Legislativa umístování sběrných nádob .....	21
1.4 SMĚSNÝ KOMUNÁLNÍ ODPAD .....	21
<b>2 OPERAČNÍ VÝZKUM.....</b>	<b>26</b>
2.1 DEFINICE OPERAČNÍHO VÝZKUMU .....	26
2.2 METODY OPERAČNÍHO VÝZKUMU .....	26
2.3 FÁZE OPERAČNÍHO VÝZKUMU .....	27
2.4 VYUŽITÍ OPTIMALIZACE.....	28
2.4.1 Vícekriteriální rozhodování .....	29
2.4.2 Markovovy procesy .....	29
2.5 OPERAČNÍ VÝZKUM V KONTEXTU ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ .....	29
<b>3 TEORIE GRAFŮ.....</b>	<b>31</b>
3.1 CESTY V DIGRAFECH A GRAFECH .....	34
3.2 ALGORITMY.....	35
3.3 GRAFY A STROMY .....	37
3.4 METODY TEORIE GRAFŮ.....	38
3.5 VRP.....	42
<b>4 OPTIMALIZACE TRAS V LIPNÍKU .....</b>	<b>50</b>
4.1 CHARAKTERISTIKA MĚSTA LIPNÍK NAD BEČVOU .....	50
4.1.1 Současná situace v Lipníku nad Bečvou.....	54
4.1.2 Optimalizace svozové trasy .....	59

4.1.3 Porovnání svozových tras .....	61
4.2 ANALÝZA PROGRAMU VRP SPREADSHEET SOLVER .....	64
<b>5 ZHODNOCENÍ NÁVRHU .....</b>	<b>66</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM ZDROJŮ .....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM GRAFICKÝCH OBJEKTŮ .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>74</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>75</b>



# Úvod

V této práci se věnuji problematice logistiky směsného komunálního odpadu a jeho svozu. S rostoucím množstvím produkovaného odpadu je efektivní organizace a plánování svozu odpadu klíčovým faktorem pro úspěšné řízení odpadového hospodářství.

V rámci řešení tohoto problému využívám operačního výzkumu, který umožňuje využití matematických a statistických metod pro řešení praktických problémů. Konkrétně se zaměřím na využití teorie grafu a na doporučení, metodu pro trasování a optimalizaci svozu směsného komunálního odpadu.

V této práci se zaměřuji na popis logistiky odpadového hospodářství, zahrnující například způsoby shromažďování odpadu a další prvky, které ovlivňují svoz odpadu. Dále se věnuji teorii grafu a metodám operačního výzkumu, které jsou využívány pro řešení problémů s trasováním a optimalizací tras, včetně popisu použité metody.

V praktické části práce se zaměřuji na využití programu Excel a konkrétně na aplikaci VRP Spreadsheet Solver pro trasování a optimalizaci svozu směsného komunálního odpadu. Před samotným využitím programu se zabývám současným stavem logistiky svozu odpadu v Lipníku a popisem existujících tras, aby bylo možné následně porovnat výsledky nových tras s těmi stávajícími.

Cílem práce je provést návrh nové trasy pro svoz směsného komunálního odpadu s cílem minimalizovat náklady a zlepšit efektivitu celého procesu. V závěru práce budou zhodnoceny výsledky a porovnány s původními trasami, aby bylo možné určit, zda navržené trasy přinesly očekávané úspory a zlepšily celkovou situaci v oblasti logistiky svozu odpadu.

# 1 Logistika odpadového hospodářství

## 1.1 Definice a význam odpadů v České Republice

Odpadové hospodářství je soubor procesů a opatření zaměřených na řízení a minimalizaci množství odpadů vznikajících v různých fázích výrobního a spotřebního cyklu. Jedním z předních cílů odpadového hospodářství je snaha o maximalizaci opětovného využití a recyklaci odpadů. Další cíl, který je kladen odpadovému hospodářství je minimalizace ukládání odpadů na skládky a do spaloven.

Zabránění expanzi skládek odpadů vede k redukcí znečištění půdy a podzemní vody. Znečištění půdy má negativní dopad jak na životní prostředí, tak i na zdraví lidí a zvířat, jež žijí v blízkosti skládek. Skládky jsou rovněž zdrojem emisí skleníkových plynů, jako jsou oxid uhličitý a metan. Tyto plyny mají negativní vliv na klima a přispívají ke globálnímu oteplování. Důležité je si připomenout, že i spalování odpadů může vést ke vzniku nebezpečných chemikálií a látek, které se uvolňují do ovzduší a mohou mít stejně jako skládky negativní dopad na zdraví lidí a životní prostředí v okolí výskytu.

Z hlediska nakládání s odpady je třeba brát v úvahu celý životní cyklus výrobku, od výroby a nákupu, přes skladování, distribuci, používání a případnou likvidaci. Důležitou součástí nakládání s odpady je jejich třídění, které umožňuje jejich následnou recyklaci nebo využití jako druhotných surovin.

V České republice je odpadové hospodářství řízeno krajskými úřady a obcemi s rozsáhlými pravomocemi. V posledních letech se však objevují problémy se způsobem likvidace stávajících skládek a s využíváním odpadů jako zdroje energie. Produkce odpadů v ČR neustále roste a je třeba přijmout další opatření k minimalizaci objemu odpadů a k řízení jejich likvidace. Odpady vznikají nepoužíváním a nespotebováváním zboží, které nelze dále využít. Čím více kvalitního zboží se vyrábí a spotřebovává, tím více odpadů vzniká. Proto je důležité věnovat pozornost environmentálním aspektům výroby a spotřeby, aby se minimalizovaly negativní dopady na životní prostředí.

V České republice se odpadové hospodářství stalo součástí zákona v roce 1991 s cílem systematicky řídit a plánovat nakládání s odpady; v roce 2001 byl vydán nový zákon o odpadech, který splňuje požadavky EU.[12] Pro zajištění správného nakládání s odpadem

je třeba zajistit jeho sběr, přepravu a zpracování v souladu s platnou legislativou a zásadami udržitelného rozvoje.

V roce 2021 bylo v České republice vyprodukováno 39,9 milionu tun veškerého odpadu. Z toho 1,6 milionu tun tvořil nebezpečný odpad a 38,3 milionu tun ostatní odpad. Na jednoho obyvatele České republiky připadá 3 799 kg všech odpadů (156 kg/osobu nebezpečných odpadů a 3 643 kg/osobu ostatních odpadů).

Odpady byly převážně sbírány. Z 39,9 mil. tun všech odpadů bylo 87 % využito, z toho 84 % materiálově a 3 % energeticky. Až 10 % všech odpadů bylo uloženo na skládky.

[19]

## 1.2 Nakládání s odpady

**Sběr odpadů** může být organizován buď centrálně nebo decentralizovaně. Centrální sběr znamená, že odpady jsou shromažďovány na jednom místě a následně přepravovány na místo zpracování. Decentralizovaný sběr zahrnuje shromažďování odpadů na více místech v rámci určitého území. Logistika sběru odpadů se zabývá činností sběru odpadů nebo jejich svozem z výchozího bodu k bodu určení za dodržení podmínky, že je samotným producentem odpadu.

Z pohledu logistiky sběru odpadů se jedná o zmapování a provedení návrhu sběrných tras a využití nejracionálnější trasy. V tomto odvětví logistiky jde o snahu eliminovat časové ztráty, výběrem vhodných tras pro danou obec a s ohledem na zástavbu a vytíženost infrastruktury v dané lokalitě. Pro efektivní logistiku odpadového hospodářství je důležité koordinovat jednotlivé kroky v procesu a zajišťovat průběžnou kontrolu kvality. S pomocí moderních technologií, jako je například geolokační software, monitoring pohybu vozidel a odpadových nádob a zaznamenávat množství sbíraného odpadu. [13]

**Přeprava odpadů** je důležitým faktorem, který ovlivňuje celkovou účinnost odpadového hospodářství. Kromě zajištění bezpečné a efektivní přepravy odpadů je třeba také minimalizovat dopady na životní prostředí a zdraví obyvatelstva. Proto je důležité, volit vhodné typy vozidel a trasovat optimální cesty.

Pro **svoz komunálního odpadu** se využívají speciální popelářské automobily, které jsou vybaveny zvedacím mechanismem na zadní straně vozu. Pokud jde o sběr menších sběrných nádob, jsou používány malé popelářské vozy, které jsou nasazovány v místech

s omezeným přístupem, například v pěších zónách. Tyto vozy jsou buď ručně plněny obsluhou, nebo jsou osazeny hydraulickým zvedáčem.[17]

Výkonný hydraulický lis, který je součástí většiny popelářských vozů, snižuje objem komunálního odpadu a umožňuje tak vyprázdnění většího množství sběrných nádob na jednom okruhu. Existuje i typ popelářského automobilu, u něhož je komunální odpad nakládán zepředu pomocí hydraulické vidlice, která se nachází před kabinou řidiče. Takové vozy jsou v západní Evropě běžné, zatímco v České republice jsou spíše raritou.

Pro objemné odpady, jako jsou například kontejnery na odpad, jsou k dispozici vozy s nosičem kontejneru nebo kontejnerovou nástavbou. Tyto vozy jednoduše naloží kontejner a odvezou jej přímo z místa sběru odpadu na skládku, spalovnu odpadu nebo recyklační centrum. Kontejnery na odpad mají běžně velikost od 5 m<sup>3</sup> do 40 m<sup>3</sup>. [17]

V závislosti na druhu odpadu, například nebezpečného odpadu, mohou být používána speciální vozidla s integrovanými kontejnery a cisternami, vybavená bezpečnostními zařízeními, jako jsou speciální uzavírací a odkalovací zařízení.

Na delší vzdálenosti lze odpad přepravovat také po železnici nebo lodí. Lodní přeprava se obvykle používá pro velká množství odpadů, např. surovin pro recyklaci. Železniční přeprava odpadů je vhodná zejména na dlouhé vzdálenosti a tam, kde jsou k dispozici vhodné železniční trasy.

Pro přepravu odpadů se stále častěji využívají alternativní paliva a technologie, například elektrická vozidla a vodíkové pohonné systémy, které jsou šetrné k životnímu prostředí a přispívají ke snížení emisí skleníkových plynů.

**Třídění odpadů** (oddělený sběr, separace) je sběr odpadů podle druhu a povahy za účelem usnadnění jeho zpracování. Tím se přispívá k ochraně životního prostředí a udržitelnému vývoji. Třídění odpadů je důležitou součástí odpadového hospodářství a mělo by být prováděno na všech úrovních - od domácností po průmyslové závody. Existuje mnoho druhů odpadů, které lze třídit, včetně papíru, skla, kovů, plastů, bioodpadu a nebezpečného odpadu. Tyto odpady se třídí podle materiálového složení a vlastností. [14]

**Skladováním odpadů** stanovuje několik zásad, které musí provozovatel zařízení respektovat. Skladování odpadu je povoleno pouze v zařízeních, která jsou určena k tomuto účelu na základě územního rozhodnutí, kolaudačního rozhodnutí, oznámení o

užívání nebo stavebního povolení a jsou provozována v souladu s technickými podmínkami, které zajistí ochranu životního prostředí a zdraví lidí. [10]

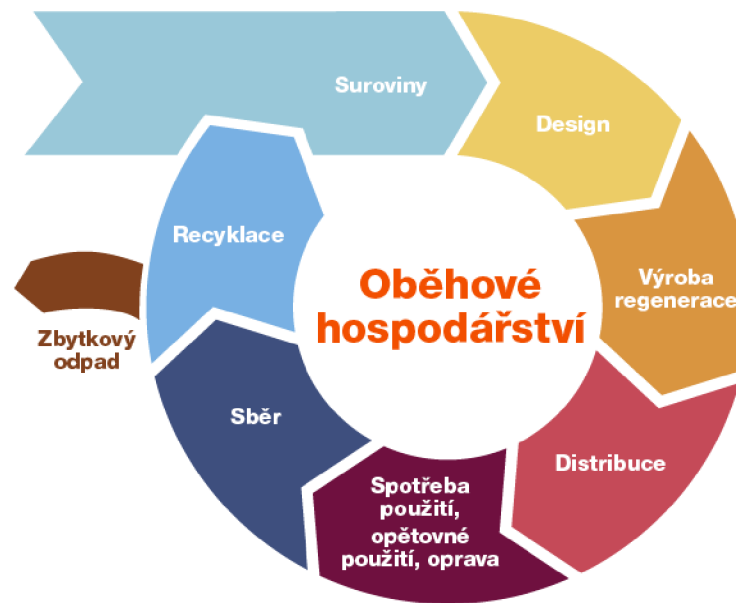
Odpad určený k odstranění může být skladován nejdéle po dobu 1 roku, zatímco odpad určený k využití může být skladován po dobu nejdéle 3 let. Pokud je odpad uložen v zařízení k úpravě, využití nebo odstranění mimo technologii zpracování odpadu, nepovažuje se to za skladování odpadu, pokud doba uložení nepřesáhne 9 měsíců. [15]

**Zpracování odpadu** zahrnuje řadu technologií, které mohou být použity v závislosti na vlastnostech a množství odpadu. Patří sem například skládkování, recyklace, spalování, kompostování a energetické využití. Cílem je minimalizovat množství odpadů, které jsou uloženy na skládkách, a maximalizovat množství recyklovaných materiálů.

**Skládkování**, jako konečná likvidace odpadu, patří mezi nejstarší metody, jak se trvale zbavit odpadu. Při této metodě se většina odpadu nevyužije a končí skladována v zemi. V současné době existuje v ČR mnoho moderních skládek, které byly vybudovány po roce 1990 a jsou stále v provozu. Je nutné si uvědomit, že skládky jsou nezbytné a nelze se bez nich obejít, avšak je důležité zajistit, aby na skládkách končily pouze odpady, které se již nedají žádným způsobem využít. Podle druhu odpadu a úrovně zabezpečení se skládky dělí do tří základních kategorií: skládky inertních odpadů (S-IO), skládky ostatních odpadů (S-OO) a skládky nebezpečných odpadů (S-NO). Každý typ skládky přijímá specifický druh odpadu a vyžaduje specifickou úroveň zabezpečení. Skládky S-NO jsou například nejpřísněji regulovány a musí splňovat přísná kritéria pro bezpečnost a ochranu životního prostředí. [8]

**Recyklaci** se rozumí využití odpadních materiálů, včetně přepracování organických látek, kdy se odpadní materiály znovu zpracovávají na výrobky, materiály nebo látky pro jejich původní nebo jiné použití. Recyklace odpadů nezahrnuje energetické využití nebo zpracování odpadů na výrobky, materiály nebo látky používané jako palivo nebo zásypový materiál. [11] Recyklační procesy samy vytvářejí odpady a vedlejší produkty, ačkoliv jsou propagovány jako efektivní způsob získávání cenných surovin z odpadu, není vždy ekonomicky rentabilní recyklovat. Dokonce může být některé recyklační procesy ztrátové. Bohužel, zatím není lepší způsob získávání cenných surovin z odpadu. Navíc, regulace a legislativní a podnikatelské prostředí mohou být překážkou pro efektivní recyklaci.

**Oběhové hospodářství** je přístup k výrobě a spotřebě, který se zaměřuje na maximální využití stávajících výrobků, surovin a materiálů. Tento přístup zahrnuje sdílení, pronájem, opětovné použití, opravu, renovaci a recyklaci, což vede k prodloužení životnosti výrobků a minimalizaci odpadu. Oběhové hospodářství nahrazuje tradiční model "těžba - výroba - použití - likvidace" a umožňuje efektivnější využívání zdrojů. [7]



Obr. 1.1 Oběhové hospodářství

Zdroj: [41]

V porovnání s tradičními zařízeními na zpracování odpadu, která odpad pouze zpracovávají, zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO) vyrábějí elektřinu a teplo tepelným zpracováním odpadu. Zařízení na energetické využití odpadů jsou nyní řazena před spalovny a skládky, protože energetické využití odpadů je nyní prioritou; na zařízení na energetické využití odpadů se vztahují přísné evropské a české právní předpisy, které stanovují minimální emisní limity pro životní prostředí. Ve srovnání s konvenčními zdroji energie, jako jsou uhelné elektrárny, jsou zařízení na energetické využívání odpadů šetrná k životnímu prostředí. Energie vyrobená z odpadu navíc šetří neobnovitelné suroviny, jako je uhlí a ropa. Po spálení zbytkového odpadu (strusky) jej lze využít jako druhotnou surovinu, například ve stavebnictví. [41]

**Energetické využití odpadů** se v mnoha evropských zemích stále více využívá jako součást moderního odpadového hospodářství. Tento proces využívá zbytkový odpad, který nelze zpracovat jiným způsobem, například recyklací nebo kompostováním, k výrobě elektřiny a tepla, které splňují nejpřísnější ekologické normy, včetně limitů emisí, hluku a prachu. Energetické využití odpadu šetří primární paliva, jako je uhlí, ropa a plyn, a suroviny, jako je železo, hliník a struska. Proces může také výrazně snížit množství odpadu ukládaného na skládky, a to až o 90 %. ZEVO také eliminuje nebezpečné vlastnosti odpadu, který je neustále monitorován, včetně testů, jako je měření radiace odpadu při jeho příjmu.

V roce 2024 bude v České republice zakázáno skládkování smíšeného komunálního odpadu (SKO) a recyklovatelného odpadu. V souladu s evropskou legislativou bude nakládání s odpady rozděleno do jednotlivých stupňů (tzv. hierarchie) podle preferovaného řešení. V této hierarchii bude samozřejmostí energetické využití odpadů, tj. výroba elektřiny a tepla podobně jako z uhlí a biomasy.

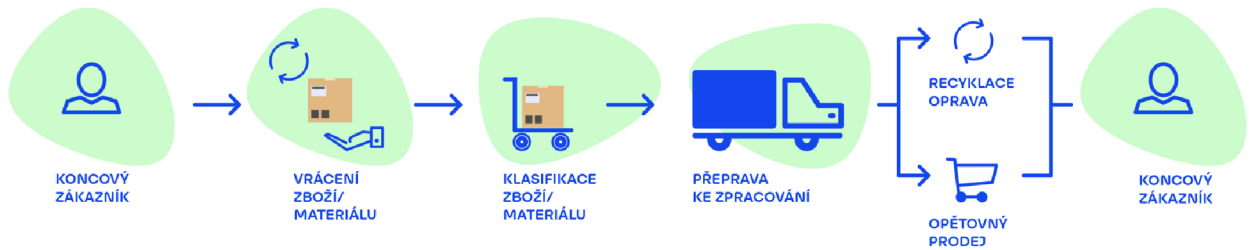
V současné době jsou v České republice v provozu čtyři ZEVO, a to v Praze, Brně, Liberci a Chotíkově u Plzně. Největší zařízení pro energetické využití odpadů se nachází v obci Malešice nedaleko Prahy, je provozováno společností CEZ a.s. a je schopno ročně zpracovat desítky tun odpadu, které následně využije pro výrobu tepla a elektřiny.

Současná roční zpracovatelská kapacita ZEVO v České republice je přibližně 750 000 tun. Pokud má Česká republika splnit cíle Evropské komise v oblasti oběhového hospodářství (65 % recyklace, 10 % skládkování a 25 % energetické využití), je třeba kapacitu ZEVO navýšit o dalších 950 000 tun. [41]

**Reverzní logistika** je řídicí funkce, která se zabývá tokem použitých výrobků a obalů od spotřebitelů. Jedná se o oblast logistiky, která byla dlouho teoreticky opomíjena. Existují dva hlavní proudy literatury zabývající se různými aspekty řízení zpětného toku. Američtí odborníci se zabývali především vratkami od maloobchodníků, zatímco němečtí autoři analyzovali možnosti recyklace odpadu. Dnes však můžeme hovořit o ustáleném používání tohoto pojmu, které tyto dva proudy integruje do širší perspektivy.

Reverzní logistika se zaměřuje na tok odpadu a vráceného zboží a řeší problémy nedostatku zdrojů a desetiletí rostoucí spotřeby. Podniky jsou nuceny převzít odpovědnost za své výrobky v průběhu celého jejich životního cyklu, od získávání surovin až po výrobu a likvidaci. V některých případech jsou společnosti povinny

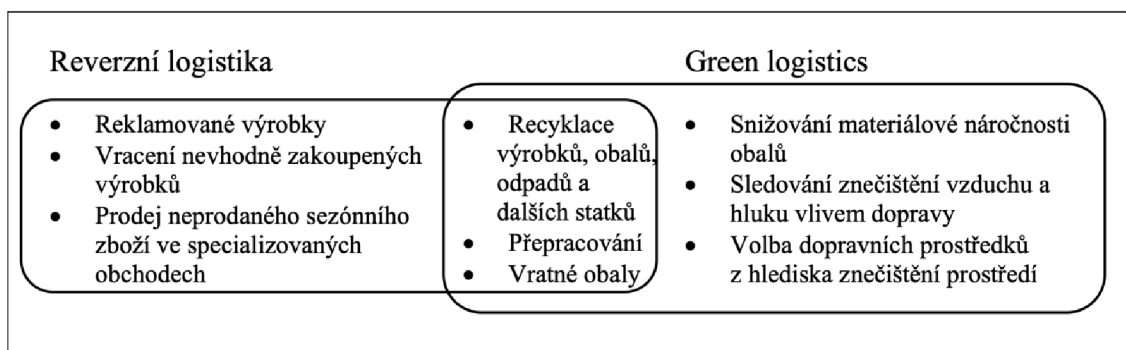
odebírat použité výrobky a zajistit jejich likvidaci v souladu se zákonem. Tento typ materiálového toku je opakem tradičního dodavatelského řetězce.



Obr. 1.2 Řetězec v reverzní logistice

Zdroj: [46]

Zájem o reverzní logistiku roste v důsledku nárůstu elektronického obchodování a zásilkového prodeje a také v důsledku problémů, kterým společnosti čelí v oblasti životního prostředí. Výzkum v oblasti řízení reverzních toků je podporován aktivitami EU prostřednictvím grantů; S. L. Hart (1997) se zabýval otázkou plýtvání zdroji a prostřednictvím tzv. ekologické stopy ukázal, kolik země potřebuje k uspokojení potřeb typického spotřebitele z hlediska potřebné k uspokojení potřeb typického spotřebitele. Některé země již přijaly zákonná opatření, která od společností vyžadují, aby zajistily recyklaci svých výrobků a obalů. [5]



Obr. 1.3 Reverzní logistika

Zdroj: [6]

Typy vratek:

- Vracené zboží - Cílem reverzní logistiky je minimalizovat množství vráceného zboží, ale pokud k němu dojde, je důležité, aby bylo zpracování vráceného zboží co nejrychlejší a nejefektivnější, aby mohlo být znovu prodáno. E-shopy, které prodávají módu, se snaží řešit vysokou vratkovost zboží.



- Renovace zboží - Pokud zákazníci vrátí zboží, které již pozbylo svůj účel, některé firmy ho zrenovují a znovu prodají, případně odebírají použitelné součástky a zbytek recyklují. Tohoto se proslavila například IKEA nebo Apple.
- Obalový materiál - Znovuvyužití či ekologická recyklace přebytečných obalů se firmám vyplatí. Například Rohlík.cz nabízí ekologické tašky na více použití nebo zpracovává vratné lahve a obaly.
- Neprodané/nevyužité zboží - Firma se musí vypořádat s neprodaným zbožím, například kvůli slabým prodejům, zastaralosti zboží nebo objevení chyb během příjmu zboží. Stavební firmy často nevyužitý materiál z jedné stavby přesunou na jinou, kde ho využijí.
- Nedoručené zboží - E-shopy musí řešit situace, kdy si zákazník od dopravce nakonec zboží nevyzvedne.
- Výměny zboží - Pokud zákazníci chtějí vyměnit zakoupené zboží za jiné, firma musí zajistit proces výměny.
- Výpůjčky a pronájmy - Pokud firma zboží půjčuje, musí řešit skrze reverzní logistiku i proces vrácení.
- Opravy a údržby - V některých smluvních podmínkách mají zákazníci nárok na pravidelnou údržbu či opravu zboží v případě jeho poškození.

### 1.3 Legislativa

Nakládání s odpady je založeno na hierarchii nakládání s odpady, podle níž je prioritou předcházení vzniku odpadů, a pokud mu nelze zabránit, příprava na opětovné použití, recyklace a jiné využití, včetně energetického využití, a následné odstranění, pokud to není možné. [12]

První zákon o odpadech byl v České republice přijat v roce 1991. V současné době je nakládání s odpady upraveno zákonem č. 541/2020 Sb. který nabývá účinnosti 1. ledna 2021. Tento zákon stanovuje práva a povinnosti osob v oblasti odpadového hospodářství a prosazuje základní principy oběhového hospodářství, ochrany životního prostředí a lidského zdraví při nakládání s odpady. Nakládání s výrobky s ukončenou životností upravuje zákon č. 542/2020 Sb. který nabývá účinnosti 1. ledna 2021. Nakládání s

obalovými odpady upravuje zákon č. 477/2001 Sb. o obalech, ve znění pozdějších předpisů. [12]

Každý tok odpadu vyžaduje specifické nakládání vzhledem k jeho odlišným vlastnostem a environmentálním rizikům. Základní pravidla nakládání s odpady jsou stanovena v zákoně o odpadech (č. 541/2020 Sb.) a jeho prováděcích právních předpisech.

Cíle odpadového hospodářství a opatření k jejich dosažení jsou stanoveny v Plánu odpadového hospodářství ČR (POH), jehož plnění je vyhodnocováno prostřednictvím hodnotících zpráv. S Plánem odpadového hospodářství musí být v souladu také krajské plány odpadového hospodářství. [18]

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, navíc stanovuje následující cíle pro komunální odpady:

- do roku 2025 dosáhnout úrovně přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálních odpadů ve výši nejméně 55 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných v České republice.
- do roku 2030 zvýšit úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci komunálních odpadů na nejméně 60 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vznikajících v ČR.
- do roku 2035 zvýšit úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci alespoň na 65 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vznikajících v ČR.
- od roku 2035 skládkovat nejvýše 10 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vzniklých v ČR.
- energetické využití nejvýše 25 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vznikajících v ČR v roce 2035 a v následujících letech. [16]

### **1.3.1 Legislativa nakládání s komunálním odpadem**

Pokud obec zavádí systém nakládání s komunálním odpadem na svém území prostřednictvím obecně závazné vyhlášky, musí přihlídnout k ustanovení § 17 odst. 5 zákona o odpadech, podle kterého jsou nepodnikající fyzické osoby a původci odpadů zapojení do systému obce povinni třídít komunální odpad a odpad podobný komunálnímu odpadu a odkládat ho odděleně na místa, která jsou obcí určena v souladu s obecně

závaznou vyhláškou, pokud s odpadem nenakládají nebo se ho nezbavují jiným způsobem stanoveným zákonem o odpadech. [15]

Obecně závazná vyhláška by měla minimálně uvést, jaká místa jsou určena pro odkládání jednotlivých složek komunálního odpadu. Obec může zvolit různé způsoby zveřejnění těchto informací, například na úřední desce obecního úřadu, v místním tisku, rozhlasu, na internetu atd. Ministerstvo vnitra však doporučuje upravit celý systém nakládání s komunálním odpadem formou obecně závazné vyhlášky, včetně komplexního určení míst podle § 17 odst. 3 zákona o odpadech.

Právnícké osoby a fyzické osoby oprávněné k podnikání mají povinnost dodržovat pravidla stanovená obecně závaznou vyhláškou obce pro třídění a předávání komunálních odpadů k využití a odstraňování v případě, že se zapojí do systému nakládání s komunálním odpadem obce uzavřením smlouvy. To znamená, že pokud tyto osoby využívají systém zavedený obcí pro nakládání s komunálními odpady bez písemné smlouvy s obcí, mohou být postíženy sankcemi podle § 66 odst. 1 zákona o odpadech. [15]

Porušení povinností stanovených v obecně závazné vyhlášce ze strany fyzických osob bude většinou naplňovat skutkovou podstatu přestupku podle příslušných ustanovení zákona o přestupcích. Právnícké osoby a fyzické osoby oprávněné k podnikání lze za porušení povinností stanovených v obecně závazné vyhlášce postihnout jako správní delikt.

Obec může stanovit pravidla pro oddělené soustředování komunálních odpadů a jejich třídění a pravidla pro předávání odpadů k odstraňování a využití, aby se zabezpečilo plnění povinností původce komunálního odpadu podle zákona o odpadech. Soustředování může být zajišťováno jak formou shromažďování odpadů, tak nastavením pravidel pro předávání odpadů přímo do zařízení pro nakládání s odpady.

Oddělené soustředování znamená odkládání jednotlivých složek komunálních odpadů, minimálně nebezpečných odpadů, papíru, plastů, skla, kovů a biologicky rozložitelných odpadů (minimálně rostlinného původu) odděleně nebo společně (pokud to neohroží možnost jejich další recyklace). Toto soustředování musí být prováděno na místech k tomu určených obcí a musí být zabezpečeno podle prováděcí vyhlášky č. 321/2014 Sb. o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů.

Nakládání s komunálním odpadem vznikajícím na území obce při činnosti právnických a podnikajících fyzických osob.

### **1.3.2 Obecně závazná vyhláška pro Lipník nad Bečvou**

1. Právnické a podnikající fyzické osoby zapojené do obecního systému na základě smlouvy s městem, komunální odpad dle čl. 2 odst. 1 písm. a), b), c), d), e) předávají do nádob o objemu 240 l a 1100 l na veřejných sběrných místech v ulicích města dle přílohy č. 1 k této obecně závazné vyhlášce a v částech města Loučka, Nové Dvory, Podhoří a Trnávka. [9]
2. Výše úhrady za zapojení do obecního systému se stanoví dle ceníku schváleného Radou města Lipník nad Bečvou, který je zveřejněn na webových stránkách města.
3. Úhrada se vybírá jednorázově, a to převodem na účet města č.ú 27-2119040287/0100, nebo jejím uhrazením v hotovosti na pokladně Městského úřadu Lipník nad Bečvou. [9]

### **1.3.3 Legislativa shromažďování komunálního odpadu**

Podle § 4 odst. 1 písm. g) zákona o odpadech se shromažďováním odpadů rozumí jejich krátkodobé soustředění do shromažďovacích prostředků v místě jejich vzniku před dalším nakládáním s odpady. Obce mají oprávnění stanovit, které složky komunálních odpadů jsou fyzické osoby povinny odděleně vytrídít a odkládat na určená místa podle obecně závazné vyhlášky. Tato vyhláška musí být v souladu s vyhláškou č. 321/2014 Sb., která stanoví minimální požadavky na rozsah a způsob zajištění odděleného soustředění komunálního odpadu. Obec může určit typy sběrných nádob a stanoviště pro jednotlivé složky odpadů.[15]

Obec při určení míst pro odkládání odpadů nemůže jednat libovolně, ale musí zajistit plnění svých povinností jako původce komunálního odpadu. Místa, kde odkládaný odpad získává přímo třetí osoba odlišná od obce, nejsou součástí systému nakládání s komunálním odpadem. Obec může určit zařízení provozované oprávněnou osobou jako místo pro odkládání odpadů, ale musí zajistit plnění svých povinností smluvně nebo přítomností vlastních zaměstnanců. Pokud obec převádí vlastnictví komunálního odpadu na provozovatele zařízení, postupuje v souladu s § 16 odst. 1 písm. c) zákona o odpadech.

Pokud se týká sběrných nádob na směsný komunální odpad a pravidel pro jeho shromažďování, obec může svoji obecně závaznou vyhláškou v mezích své zákonem vymezené věcné působnosti dle § 17 odst. 2 zákona o odpadech a ke konkretizaci povinností stanovených v § 17 odst. 5 tohoto zákona mj.:

- stanovit povinnost zajistit pro shromažďování odpadu sběrné nádoby stanoveného typu o dostatečném objemu,
- stanovit fyzickým osobám povinnost plnit sběrné nádoby tak, aby je bylo možno uzavřít a odpad z nich při manipulaci nevypadával,
- stanovit zákaz odkládat do sběrných nádob jiné složky komunálních odpadů, než pro které jsou jednotlivé nádoby určeny,
- stanovit zákaz v nádobách shromážděné komunální odpady zhutňovat.

#### **1.3.4 Legislativa umístění sběrných nádob**

Místo, kde jsou umístěny sběrné nádoby pro shromažďování odpadů a jejich následného předání k využití nebo odstranění, se nazývá stanoviště sběrných nádob. Tato stanoviště mohou být určena pro individuální uživatele nebo pro více uživatelů. V rámci zákonného zmocnění dle § 17 odst. 2 zákona o odpadech může obec pomocí obecně závazné vyhlášky konkretizovat povinnosti stanovené § 17 odst. 5 tohoto zákona, jako například uložit povinnost přistavit sběrné nádoby na směsný komunální odpad v určených dnech a dobách na určená místa, kde shromážděný odpad převezme oprávněná osoba.[13]

Nicméně, v souladu s ustálenou judikaturou Ústavního soudu, obec nemůže upravovat problematiku regulovanou zákonem o odpadech, jako například zákaz spalování odpadů, povinnosti týkající se ojetých pneumatik nebo stanovení povinností svozové společnosti jako oprávněné osoby ve smyslu § 4 odst. 1 písm. x) zákona o odpadech při stanovení systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů.[13]

### **1.4 Směsný komunální odpad**

Podle § 4 odst. 1 písm. b) zákona č. 185/2001 Sb. o změně a doplnění některých zákonů (dále jen "zákon o odpadech") se komunálním odpadem rozumí veškerý odpad vznikající

na území obce při činnosti fyzických osob a komunálním odpadem ve vyhlášce č. 381/2001 Sb. (dále jen "Katalog odpadů"), kterou se stanoví postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (dále jen "Katalog odpadů"), seznam nebezpečných odpadů, seznam odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů.

Do komunálního odpadu naopak nepatří odpady, jejichž původcem jsou právnické osoby a fyzické osoby oprávněné k podnikání. Obec jakožto právnická osoba je ve vztahu k odpadu vzniklému její činností původcem odpadu, vztahují se na ni stejně jako na ostatní právnické osoby povinnosti původce dle zákona o odpadech. [22]

V roce 2021 obyvatelé České republiky vyprodukovali 5,9 milionu tun. Komunálního odpadu. To odpovídá 562 kg/obyvatele na jednoho občana ČR. Komunální odpad se na celkových emisích odpadů podílel 14,8 %.

V roce 2021 bylo využito 50 % vyprodukovaného komunálního odpadu, z toho 38 % materiálově a 12 % energeticky. Na skládky bylo uloženo 48 % komunálního odpadu, v roce 2020 to bylo stále 48 %, přičemž meziročně se hmotnostní množství skládkovaného odpadu nezměnilo. [19]

Podle tiskové zprávy Ministerstva životního prostředí tvořil směsný komunální odpad v roce 2019 5,9 milionu tun, tedy necelých 16 % z celkového množství vyprodukovaného odpadu, 551 kilogramů tuhého komunálního odpadu na obyvatele. [20]

Tab.1.1 Označení komunálního odpadu:

číslo odpadu	200301
název	Směsný komunální odpad
kategorie	O

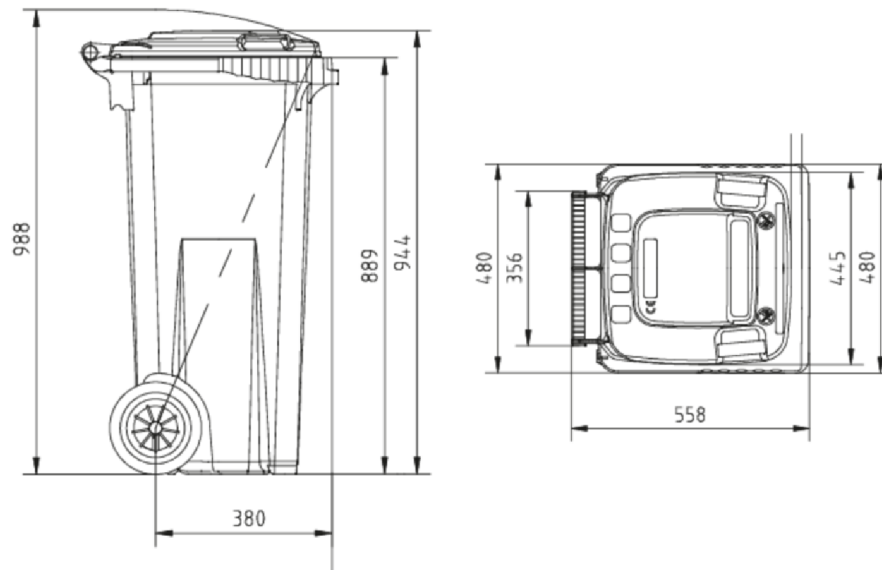
Zdroj:[Vlastní zpracování]

Odpad, který splňuje definici komunálního odpadu podle zákona, se zařazuje do skupiny 20. Jako druh odpadu 20 03 01 směsný komunální odpad se zařazují pouze zbytkové ostatní komunální odpady, které nelze zařadit do jiných druhů odpadů skupiny 20. [22]

Nádobou na směsný komunální odpad je standardní plastová popelnice o objemu 120 l / 240 l, která je vhodná pro sběr komunálního i tříděného odpadu. Nádoba je vyrobena podle norem EN 840, z vysokopevnostního polyetylenu (HDPE).

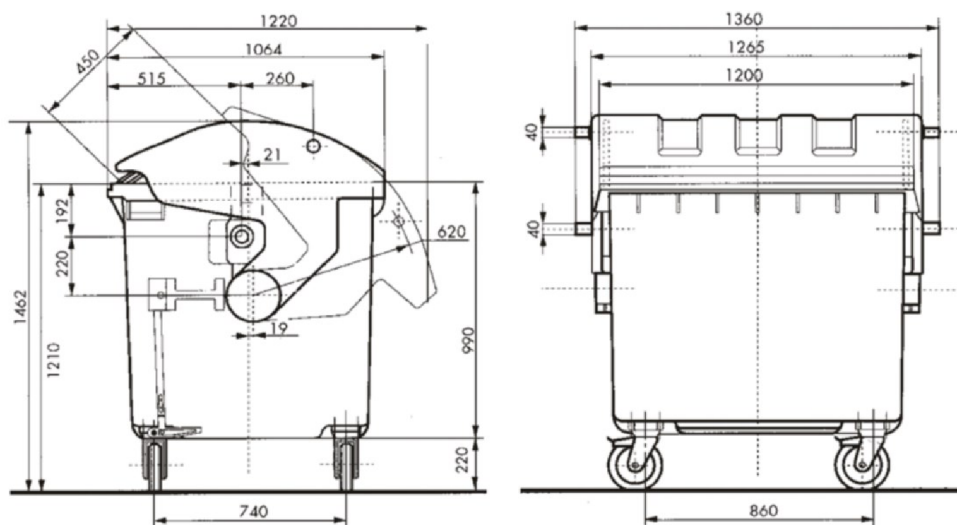
Díky robustní konstrukci a použití kvalitních materiálů má popelnice velmi dlouhou životnost a odolává UV záření, mechanickému poškození, mrazu, chemickým a biologickým vlivům.

Nádoby lze označit nápisem či logem lisovaným za tepla a pro tříděný odpad jsou k dispozici v různých barvách, včetně žluté, modré a zelené. Po použití jsou plně recyklovatelné a šetrné k životnímu prostředí.[34]



Obr. 1.4 Plastová popelnice 120l

Zdroj: [17]



Obr. 1.5 Kontejner 1100 l

Zdroj: [34]

## **Skladba směsného komunálního odpadu v obcích**

Na základě metodiky společnosti EKO-KOM, a.s., bylo v pravidelných čtvrtletních intervalech analyzováno složení 128 vzorků směsného odpadu odebraných z 15 různých lokalit. V každé lokalitě byly zvlášť analyzovány vzorky z obytných a venkovských oblastí a z jiných typů zástavby ve velkých městech (např. z městských a obytných oblastí). Ve všech případech se jednalo o tuhý komunální odpad z domácností, tj. všechny odpady evidované pod kat. číslem. 200301, ale pouze odpady vznikající převážně v domácnostech.

Metodika EKO-KOM je pravidelně aktualizována a vznikla s využitím a kombinací zkušeností z českých i zahraničních metodik. Konkrétně metodika probíhá od roku 2008 a vznikla na základě výzkumného projektu SP/2f1/132/08 "Vyšetření charakterizace komunálních odpadů a optimalizace nakládání s nimi".

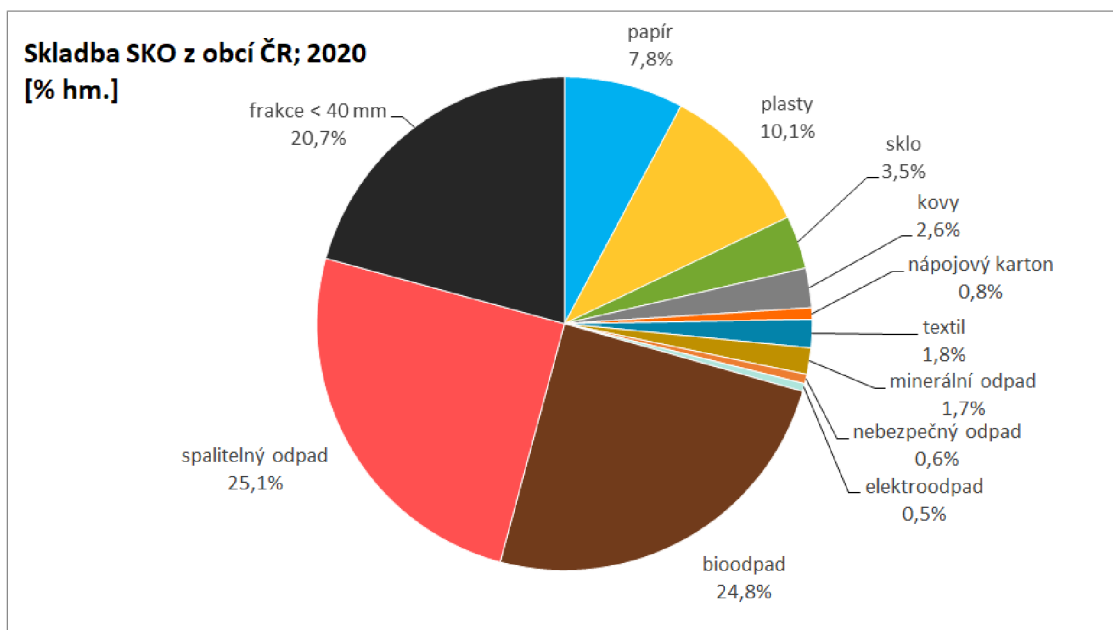
Metodika zohledňuje hlavní faktory ovlivňující složení odpadu v průběhu roku (topná sezóna, změny vegetačních podmínek, letní a prázdninové období) a také různé způsoby vytápění různých typů budov.

Složení tuhého komunálního odpadu ovlivňuje také velikost a složení obyvatelstva sídel, což tato metodika zohledňuje při výběru lokalit. Zohledněny jsou i socioekonomické faktory a analýza se opakuje po delší dobu ve stejné lokalitě.

Tyto směrodatné odchylky odrážejí různorodost analyzovaných objektů.

Nejvariabilnějšími skupinami směsného komunálního odpadu jsou špatně tříděná frakce, biologické složky a spalitelný odpad. Míra materiálového výskytu byla následně vypočtena z celkového množství TKO nahlášeného místními orgány do systému EKO-KOM. Hodnoty jsou uvedeny včetně možných výskytů na základě dané směrodatné odchylky. Největšími hmotnostními frakcemi tuhého komunálního odpadu jsou spalitelný odpad, biologicky rozložitelný odpad a frakce síta. Podíl biologicky rozložitelného odpadu na celkové skladbě se od roku 2018 mírně snížil (-0,8 % hm.). Významnou část však tvoří i síťová frakce, která obsahuje převážně drobné bioodpady. [21]





Graf. 1.1 Produkce složek komunálního odpadu

Zdroj:[21]

## 2 Operační výzkum

### 2.1 Definice operačního výzkumu

Operační výzkum se zabývá metodologií pro studium a analýzu provozů a procesů v organizacích, jako jsou podniky, továrny, dílny a podobně. OR se snaží porozumět základním aktivitám výroby zboží a služeb jako systému, který vyrábí výstupy na základě vstupů, a tyto aktivity jsou zpravidla modelovány pomocí matematických metod. Poté jsou problémy týkající se provozních metod tohoto systému řešeny pomocí matematických nástrojů za účelem nalezení optimálního řešení. K tomu se používají techniky, jako jsou matematické a statistické analýzy, simulace systémů, optimalizační algoritmy a podobně. V praxi se OR využívá pro aplikaci pokročilých analytických metod pro lepší rozhodování.

1. Metody používané především pro analýzu logistického procesu a pohybu materiálů.
2. Matematické metody operační analýzy.
3. Grafické metody (teorie grafů, metoda analýzy sítí, různé typy diagramů).
4. Simulační metody - simulace může být použita pro návrh nového systému, stejně jako pro analýzu a eliminaci slabých míst v produkčním systému.
5. Metody pro plánování a předpovídání postupů v logistice pro budoucí plánovací období. [23]

### 2.2 Metody operačního výzkumu

Podle Jablonského je Operační výzkum (operations research, management science) skupinou samostatných vědních disciplín, zaměřujících se na analýzu různých rozhodovacích problémů, přičemž jejich hlavním cílem je zlepšit fungování systému. Operační výzkum nachází uplatnění tam, kde je potřeba koordinovat operace v rámci nějakého systému, aby se dosáhlo optimálního výkonu. Rozvoj operačního výzkumu souvisí s vývojem počítačové technologie a softwaru. Jeho cílem je dosáhnout optimálního výkonu systému s ohledem na kritéria, jako jsou omezené zdroje, vnější faktory ovlivňující chod systému a podobně. Matematické modelování je základním nástrojem operačního výzkumu. [23]

**Simplexová metoda** je iterační postup pro nalezení optimálního řešení problému lineárního programování. Metoda začíná základním řešením a v každém kroku se hodnota účelové funkce zvyšuje transformací simplexové tabulky. Pokud již nelze hodnotu účelové funkce zlepšit, je nalezeno optimální řešení.

V prvním kroku je nalezeno optimální řešení. To znamená, že pokud je cílem minimalizovat objektivní funkci, nelze hodnotu objektivní funkce dále snižovat, a pokud je cílem maximalizovat objektivní funkci, nelze hodnotu objektivní funkce zvyšovat.

Druhým krokem je nalezení optimální hodnoty transformované objektivní funkce. [23] Simplexovou metodu objevil americký matematik George Danzig v roce 1947 a je považována za jeden z nejefektivnějších algoritmů pro řešení problémů lineárního programování. [24]

**Lineární programování** je matematická optimalizační technika používaná k nalezení optimálního řešení lineárního modelu za určitých omezení. [25] Lineární programování se používá v oborech ekonomie, manažerského inženýrství, finančního plánování a logistiky.

Řeší problémy, kde je třeba optimalizovat lineární funkci za určitých omezení. Protože lineární funkce se skládá z lineárních proměnných s omezeními, řeší se problém nalezením hodnoty proměnné, která minimalizuje nebo maximalizuje lineární funkci, jsou-li splněna omezení. Tato omezení jsou obvykle vyjádřena jako lineární nerovnosti nebo rovnice. Lze řešit simplexovou metodou nebo metodou vnitřních bodů. Řešení problému vyžaduje definování optimálního řešení a určení hodnot, které nabývá lineární funkce v tomto optimálním řešení. Optimalizace se provádí za účelem minimalizace nebo maximalizace účelové funkce a výsledky mohou poskytnout mnoho užitečných informací pro plánování a rozhodování.

## 2.3 Fáze operačního výzkumu

**Reálný systém** - rozpoznání a definice problému.

**Ekonomický model** - abstrakce reálného systému s ohledem na analyzovaný problém (stačí zahrnout cíle analýzy, procesy, faktory a vzájemné vztahy mezi faktory), slovní a číselný popis problému (v podstatě slovní matematický problém).

**Matematický model** - transformovaný ekonomický model, v němž jsou cíle analýzy vyjádřeny lineárními/nelineárními funkcemi n proměnných, procesy odpovídají hodnotám těchto proměnných, faktory mají podobu lineárních/nelineárních rovnic nebo nerovnic a vztahy mají podobu parametrů (konstant), které uživatel nemůže ovlivnit.

**Řešení matematického modelu** - výběr vhodných softwarových nástrojů (metod, postupů).

**Interpretace a validace** - interpretace výsledků předchozího kroku a validace, aby bylo možné přistoupit k realizaci. [23]

## 2.4 Využití optimalizace

### Optimalizace v grafech:

Graf = množina uzlů a hran. Mnoho reálných systémů lze znázornit graficky, například logistické sítě. Uzly grafu v takové síti lze interpretovat jako distribuční centra a hrany jako spojení mezi distribučními centry.

**Cíl:** Nalezení nejkratší cesty mezi dvěma uzly, tj. cesty minimální délky mezi dvojicí uzlů.

Optimální spojení uzlů (minimální kostra grafu).

**Cíl:** Najít taková spojení mezi uzly, aby celková cesta grafem byla co nejkratší a zároveň existovala spojení mezi všemi dvojicemi uzlů v grafu (např. optimalizace pro kabeláž).

Optimální tok grafem (maximální tok). [23]

**Cíl:** určit maximální kapacitu (propustnost) sítě za jednotku času při respektování omezení každé hrany. [25]

Optimalizace v logistice zajišťuje optimální průběh logistického procesu. Optimalizací lze zefektivnit materiálové toky, minimalizovat a efektivně řídit zásoby, co nejefektivněji využívat skladové kapacity a maximalizovat lidské a technické zdroje. To vše vede k úspoře nákladů, zvýšení efektivity a kvality služeb a zvýšení konkurenceschopnosti logistických společností. Využití optimalizace také umožňuje lépe plánovat a koordinovat logistické procesy, což vede k rychlejšímu a spolehlivějšímu dodání zboží a služeb a větší spokojenosti zákazníků.

### **2.4.1 Vícekriteriální rozhodování**

zabývá se řešením konfliktu mezi různými kritérii při rozhodování o výběru nejlepší varianty. Tato metoda umožňuje výběr optimálního řešení ze souboru možných řešení, které jsou hodnoceny na základě různých kritérií. Mezi typické úlohy vícekriteriálního rozhodování patří odhad vah kritérií, vícekriteriální hodnocení variant a vícekriteriální programování. [23]

### **2.4.2 Markovovy procesy**

jsou stochastické procesy, které popisují vývoj systému, jehož stavy jsou definovány diskrétní nebo spojitou množinou stavů. Tento proces se často používá při analýze systémů, kde se sleduje stárnutí nebo selhávání jednotek. Mezi typické úlohy Markovových procesů patří analýza podílu na trhu a obnova selhávajících jednotek. Analýza podílu na trhu umožňuje předpovědět budoucí rozdělení trhu, zatímco obnova selhávajících jednotek se zabývá predikcí počtu jednotek, které selžou v jednotlivých obdobích, a volbou nákladově optimální strategie obnovy prvků. [23]

## **2.5 Operační výzkum v kontextu odpadového hospodářství**

Cílem optimalizace v odpadovém hospodářství je maximalizovat účinnost a minimalizovat ztráty v celém systému toku odpadu. To povede ke zvýšení míry recyklace a k přechodu na oběhové hospodářství. Optimalizace umožňuje plánovat infrastrukturu odpadového hospodářství a stanovit cíle pro přechod na oběhové hospodářství.

Jednou z metod optimalizace nakládání s odpady je využití metod kvadratického plánování. Tato metoda umožňuje vytvořit model pro odhad množství odpadu, které se přemění ze směsného odpadu na tříděný odpad. Hlavním vstupem do modelu je odhad složení směsného odpadu.

Protože odhady složení odpadu pro přesnější prostorové modely nejsou obecně k dispozici, je navržen optimalizační model využívající princip pravděpodobnosti. Nejistota v subregionálních jednotkách je kompenzována agregovanými výsledky na celostátní úrovni.

Výsledky optimalizace ukazují, že při vysoké variabilitě vstupních údajů je výhodné provést korekci na nižší prostorové úrovni. Výsledky modelu poskytly informace o podílu

nově vytríděného odpadu ze směsného odpadu pro každou analyzovanou frakci odpadu. Tento informační nástroj lze využít k plánování infrastruktury pro nakládání s odpady a k dosažení efektivnějšího využití zdrojů.

### 3 Teorie grafů

Teorie grafů je matematická disciplína, která studuje struktury zvané grafy. Graf je abstraktní objekt, ve kterém jsou uzly (nazývané také vrcholy) spojeny hranami (nazývanými také hrany). Teorie grafů se zabývá popisem vlastností grafů a jejich vztahů tak, aby bylo možné řešit praktické problémy pomocí matematických metod. V teorii grafů existuje mnoho základních pojmů, jako jsou cesty, smyčky, spojitost, rovinnost a barva. Tyto pojmy jsou pro teorii grafů zásadní a mohou formálně popisovat různé vlastnosti a vztahy ve strukturách grafů.

V teorii grafů je uzel značka označující začátek nebo konec činnosti, kterou je třeba v projektu provést. Uzel může být v grafu reprezentován například ikonou. Hranu se pak používají ke grafickému znázornění vztahu mezi dvěma uzly. Hranu mohou být "orientované", což znamená, že tok mezi uzly má určitý směr, nebo "neorientované", což znamená, že vztah mezi uzly je vzájemný a obousměrný.

Činnost je konkrétní pracovní operace, kterou je třeba v rámci projektu provést. Může být vyjádřena například názvem úkolu nebo popisem pracovního postupu. Pomyslná činnost je činnost, která nevyžaduje žádné časové ani materiální zdroje a slouží pouze k propojení jiných činností v síťovém grafu.

Projekt je soubor činností propojených časovými a logickými vazbami. Síťový graf je pak grafickým znázorněním projektu a slouží jako model projektu. Uzlově definovaný graf je reprezentace projektu, v níž jsou činnosti reprezentovány uzly a hrany fungují jako vazby mezi těmito činnostmi. Naproti tomu hranově definované grafy reprezentují činnosti pomocí směrových hran, přičemž uzly určují pořadí činností a vztahy mezi nimi. [2]

Algebraicky lze úplný graf  $K_n$  zapsat takto:

$$K_n = (V, E): V = \{1, 2, \dots, n\}, E = \{ij : i, j = 1, 2, \dots, n \wedge i \neq j\} \quad (3.1)$$

Digrafem nazýváme uspořádanou dvojici  $G = (V, H)$ , kde  $V$  je neprázdňá konečná množina vrcholů digrafu a  $H$  je množina uspořádaných dvojic typu  $u \neq v$ , tj.  $G = (V, H)$ .

$$H \subseteq \{(u, v) \mid u \neq v, u, v \in V\} \subset V \times V \quad (3.2)$$

Kde  $V \times V$  označuje kartézský součin množin  $V$  a  $V$ , tj. množinu všech uspořádaných dvojic prvků  $V$ .

Graf (digraf)  $G = (V, H)$  se nazývá hranově ohodnocený, jestliže každé hraně (orientované hraně)  $h \in H$  je přiřazeno reálné číslo  $c(h)$ . Zde  $V$  je množina vrcholů,  $H$  je množina hran (resp. orientovaných hran) a  $c : H \rightarrow \mathbb{R}$  je reálně-hodnotová funkce definovaná na množině  $H$ .

Podobně lze vrcholový graf (digraf) definovat jako uspořádanou trojici  $G = (V, H, w)$  kde  $V$  je množina vrcholů,  $H$  je množina hran (orientovaných hran) a  $w : V \rightarrow \mathbb{R}$  je reálná funkce definovaná na množině  $V$ .

Mezi speciální typy grafů patří izomorfní grafy, které jsou navzájem ekvivalentní pouze ve způsobu značení a kreslení vrcholů a hran. Podmínkou izomorfních grafů je, že počet vrcholů a hran je stejný a že počet vrcholů určitého stupně je stejný. Pokud jsou vrcholy prvního grafu obrazce, pak každý obrazec je druhým (nebo třetím, ...). grafu musí mít obraz. Vrchol je obrazem, jestliže má stejný počet vrcholů stejného stupně jako vzor. [5]

Mezi další pojmy patří posloupnosti, cesty a tahy. Sekvence je střídavá posloupnost vrcholů a hran s vrcholy jako počátečními body a vrcholy jako koncovými body. Cesta je posloupnost, v níž se vrcholy neopakují. Minimální cesta mezi vrcholy  $u$  a  $v$  je cesta, která minimalizuje součet hodnocení hran na cestě ze všech možných cest mezi těmito vrcholy. Tah je posloupnost, ve které se žádná hrana neopakuje. Tyto pojmy jsou základními prvky teorie grafů a jsou důležité pro pochopení mnoha grafových algoritmů a aplikací. [5]

**Grafy a digrafy** velmi často modelují dopravní, komunikační, počítačové a elektrifikační sítě. Je proto nutné popsat, jak se v síti pohybují vozidla, telegrafní zprávy, datové pakety a elektrická energie. Objekty se mohou pohybovat sítí z vrcholu na hranu, která s tímto vrcholem incidentuje, a na této hraně dorazí do jiného vrcholu a odtud na další incidentní hranu atd. Objekty v takové síti nemohou "přeskočit" z jednoho vrcholu nebo hrany do neincidentního vrcholu nebo neincidentní hrany. Způsob procházení sítě se rozlišuje podle toho, zda je povoleno procházet stejným segmentem více než jednou a zda je povoleno navštívit jeden vrchol více než jednou.

Jsou efektivní pro modelování situací, kdy z uzlu  $u$  vede do jiného uzlu  $v$  nejvýše jedna hrana  $\{u, v\}$  nebo kdy mezi uzly  $u$  a  $v$  existuje pouze jedna orientovaná hrana  $(u, v)$  a

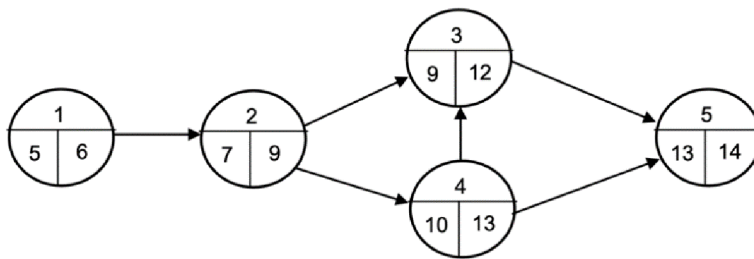


jedna opačně orientovaná hrana ( $v, u$ ). Je to proto, že  $v$  těchto případech je hrana jednoznačně určena svým koncovým vrcholem.

V případě zakázaných smyček, pokud je mezi vrcholy  $u$  a  $v$  více než jedna hrana, jsou multigrafické, resp. multidigrafické. Při modelování situací se smyčkami (např. smyčky na konci tramvaje) existují pseudografy nebo pseudodigrafy, kde jsou kromě více hran povoleny i smyčky.

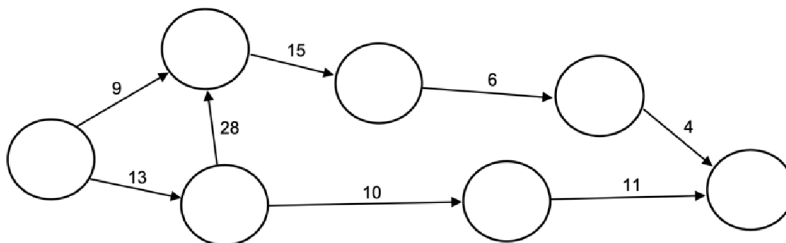
Nejběžnější strukturou grafu je pseudograf obsahující orientované i neorientované násobné hrany a smyčky. [2]

Graf je uspořádaná množina uzlů (vrcholů) a množina vazeb (hran) mezi uzly.



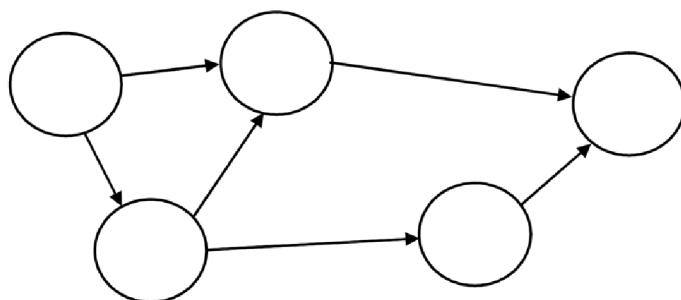
Obr. 3.1 Uzlově definovaný graf

Zdroj: [47]



Obr. 3.2 Hranově definovaný graf

Zdroj: [47]



Obr. 3.3 Acyklický graf

Zdroj: [47]

### 3.1 Cesty v digrafech a grafech

V digrafech a grafech lze definovat několik cest, které lze použít k procházení grafu. Jsou to orientační posloupnosti, tahy, cesty a cykly.

Orientační posloupnost z vrcholu  $v_1$  do vrcholu  $v_n$  nebo posloupnost  $v_1-v_n$  v digrafu  $G$  je také libovolná střídavá (alternující) posloupnost vrcholů a orientačních hran.

Orientační tah v digrafu  $G$  je taková posloupnost orientací, že se v digrafu  $G$  neopakuje žádná hrana. Orientační cesta v digrafu  $G$  je taková posloupnost orientací, že se v digrafu  $G$  neopakuje žádný vrchol. Orientační cyklus je uzavřený orientační tah takový, že se žádný vrchol nevyskytuje více než jednou, s výjimkou prvního a posledního vrcholu.

Délka  $m(u, v)$  orientační posloupnosti se nazývá součet ohodnocení jejích hran, přičemž ohodnocení každé hrany se vypočítá jako počet výskytů této hrany v posloupnosti. Zde se ohodnocení každé hrany počítá jako počet výskytů této hrany v posloupnosti.

Stejným způsobem jsou definovány posloupnosti, tahy, cesty a cykly pro grafy.

V digrafech, pokud není směr hrany důležitý, tj. hrana může být zahrnuta do posloupnosti může být použita i v opačném směru, tedy poloviční stopa, poloviční cesta, poloviční průchod a poloviční cyklus. Přesněji je polo stezka definována jako střídavá posloupnost vrcholů a orient hran digrafu ve tvaru:

$$m(v_1, v_n) = v_1, h_1, v_2, h_2, \dots, v_{n-1}, h_{n-1}, v_n \quad (3.3)$$

platí že,  $h_i = (v_i, v_{i+1})$

, v tomto případě říkáme, že orientovaná hrana  $hi$  je použita v orientované polokouli, a  $hi = (vi+1,vi)$ , v tomto případě je použita v neorientované polokouli.

V grafech a digrafech stačí určit pole vrcholů  $z$  (1.1). Určením hran však lze získat vhodnou definici  $i$  pro multigrafy. Navíc má smysl říci, zda hrana  $\{i, j\}$  patří nebo nepatří do posloupnosti  $m(u, v)$ .

Pokud graf nebo digraf  $G$  neobsahuje žádné cykly nebo orientační cykly, říkáme, že  $G$  je acyklický graf nebo digraf. Říkáme, že graf  $G$  je spojitý, jestliže pro libovolné dva vrcholy  $u$  a  $v$  grafu  $G$  existuje  $u$ -cesta. Strom je spojitý acyklický graf. [2]

## 3.2 Algoritmy

Algoritmus je soubor postupů nebo pravidel, které vedou k požadovanému řešení daného problému. Algoritmus by měl mít následující vlastnosti

- Určitost - být specifikován omezeným počtem jednoznačných příkladů.
- Účinnost - zaručující řešení problému po konečném počtu kroků.
- Objemnost - měl by být použitelný pro celou třídu případů daného druhu problému.

Pravidla algoritmu musí být určitelná v době výpočtu. Například: "Existuje-li sudé číslo  $l$  větší než 2, které nelze vyjádřit jako součet dvou prvočísel, přejděte ke kroku A, jinak přejděte ke kroku B. Protože není známo, zda lze všechna sudá čísla větší než 2 vyjádřit jako součet dvou prvočísel, není známo, jak by měl výpočet pokračovat.

Jedním z nejznámějších algoritmů je Euklidův algoritmus pro nalezení největšího společného dělitele NSD ( $a, b$ ) dvou přirozených čísel  $a, b$ .

Algoritmy lze jistě zapsat mnoha způsoby, například jako posloupnosti kroků, bloková schémata nebo příkazy v programovacích jazycích. Existuje však také několik přesných matematických formalizací pojmu algoritmus, například Turingovy počítače, Markovovy algoritmy a RAM počítače. Tyto formalizace prokázaly, že neexistuje algoritmus, který by dokázal všechny věty elementární aritmetiky (Gödel 1931). Nakonec byla objevena celá třída algoritmicky nerozhodnutelných problémů. V tomto článku se však spokojíme s intuitivním chápáním pojmu algoritmus. [2]

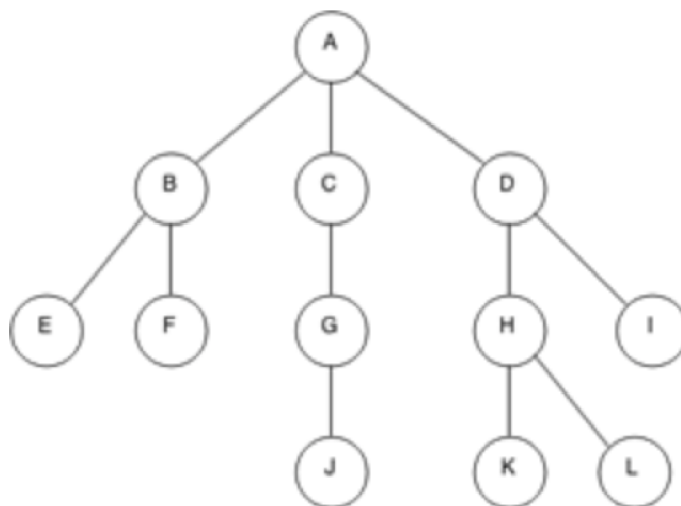
## Metody rozdělujeme na:

- **optimální a suboptimální** řešení distribučních problémů jsou přístupy k nalezení optimálního řešení pro alokaci zdrojů pro více cílů (např. doručování zásilek, doručování zboží, svoz odpadu atd.).
- Cílem optimálních řešení distribučních problémů je nalézt řešení, které nejlépe dosahuje kvality výsledků za daných podmínek (např. minimalizace nákladů, maximalizace dostupnosti, minimalizace potřebného času atd.) Příklady optimálních metod zahrnují lineární programování, celočíselné lineární programování, dynamické programování a metody větví a hranic.
- **suboptimální metody** pro řešení distribučních problémů nezaručují nalezení nejlepšího řešení, ale snaží se nalézt řešení, které je výpočetně nižší než optimální řešení a je dostatečné pro praktické použití. Mezi příklady suboptimálních metod patří heuristika, simulované chlazení, genetické algoritmy a tabu vyhledávání.
- v praxi se běžně používá kombinace optimálních a suboptimálních metod, kdy se nejprve použijí suboptimální metody k rychlému nalezení přibližného řešení a poté se použijí optimální metody ke zpřesnění tohoto řešení. Tento přístup umožňuje získat dostatečně dobré výsledky při malém množství výpočtů.
- **empiricko-intuitivní přístup** se vyznačuje tím, že řešení distribučního problému je založeno na zkušenosti a intuici. Tento přístup se často používá v praxi tam, kde je třeba rychle najít řešení a kde nejsou k dispozici sofistikované matematické modely. Nevýhodou tohoto přístupu je, že není zaručeno, že nalezené řešení bude optimální.
- při **algoritmickém přístupu** se k nalezení řešení distribučních problémů používají matematické algoritmy. Tyto algoritmy jsou založeny na pevně stanovených pravidlech a postupech vedoucích k řešení problému. Tento přístup může najít optimální řešení, ale může být výpočetně náročný a časově náročný.
- **heuristické přístupy** využívají spíše jednodušší metody založené na zkušenostech a heuristikách než na matematických algoritmech. Tyto metody jsou často rychlejší a mohou poskytnout adekvátní, ne-li optimální řešení distribučních problémů. Tento přístup se často používá v praxi, kde je třeba řešení nalézt rychle.
- **metaheuristické přístupy** jsou rozšířením heuristického přístupu a k nalezení řešení distribučních problémů používají složitější metody. Tyto metody jsou založeny na

procházení velkého počtu možností a hledání téměř optimálního řešení. Tento přístup je velmi efektivní a vede k nalezení optimálního řešení v krátkém čase, vyžaduje však vysoký výpočetní výkon.

### 3.3 Grafy a stromy

Stromy mají několik praktických aplikací, například v oblasti vyhledávání v uspořádaných množinách nebo při kódování symbolů z určité abecedy. Vyhledávání v lineárně uspořádané množině lze provést pomocí binárních stromů, které mají v každém vrcholu uložen prvek množiny. Stromy umožňují rychlé vyhledání daného prvku v množině, což je užitečné například v databázových systémech. Optimální kódování symbolů z abecedy lze provést pomocí Huffmanova algoritmu, který využívá binární stromy. Každý symbol z abecedy se reprezentuje cestou z kořene stromu do nějakého listu. Čím častěji se symbol vyskytuje, tím kratší cestu má. Huffmanův algoritmus umožňuje vytvořit kód s minimální délkou, což je užitečné při komprimaci dat. Graf  $G$  je dvojice  $(V,E)$ . Prvkům množiny  $V$  říkáme vrcholy a prvkům  $E \subseteq \{\{u,v\} | u,v \in V\}$  hrany.[39]



Obr. 3.4 Graf stromu

Zdroj: [39]

Binární strom je zvláštní druh stromu, kde každý uzel může mít nejvýše dva potomky, tzv. levé a pravé potomky. Pokud uzel nemá žádného potomka, nazývá se list. Binární

stromy se běžně používají v algoritmické a obecně počítačové vědě, např. pro třídění a vyhledávání dat.

Kořenový strom je orientační graf s jedním jednoznačně označeným vrcholem, který se nazývá kořen. Tento vrchol má vstupní stupeň 0, tj. nevedou k němu žádné hrany, a zároveň jsou všechny vrcholy grafu směrově přístupné z kořene. V kořenovém stromu se používají pojmy jako otec nebo rodič, syn nebo potomek, předek, potomek a list. Tento typ stromu se často používá k reprezentaci hierarchických struktur, jako jsou adresářové stromy a rodokmeny. V kořenovém stromu se vrcholy, které nemají žádné syny, nazývají listy, tj. vrcholy s výstupním stupněm nula. Výhodou kořenového stromu je snadná reprezentace hierarchických vztahů a navigace v nich. [39]

### 3.4 Metody teorie grafů

**Metoda kritické cesty (CPM)** je jednou ze základních metod deterministické síťové analýzy, která se používá k určení doby trvání projektu na základě jeho kritické cesty. Kritická cesta je definována jako nejdelší cesta z počátečního do koncového bodu grafu a každý projekt má alespoň jednu kritickou cestu. metoda CPM umožňuje efektivní koordinaci vzájemně se ovlivňujících dílčích činností v rámci projektu, což je nezbytné pro včasné dokončení projektu. Určete seznam úkolů. Datum dokončení posledního úkolu na kritické cestě určuje datum dokončení projektu. Kritické úkoly mají celkovou časovou rezervu nula, což znamená, že jakékoli zpoždění nebo prodloužení ovlivní konečný harmonogram projektu. Kritická cesta je důležitá v různých fázích životního cyklu projektu a je třeba ji průběžně sledovat a řídit.

**Vstup:** hranově orientovaný graf bez kružnic odpovídající posloupnosti činností v projektu.

**Výstupy:** minimální doba trvání projektu, časové rámce jednotlivých činností, harmonogram činností

**Použití:** plánování výrobního procesu, zjišťování kritických činností ve výrobním procesu. [43]

**Clarkeova-Wrightova** metoda je nejznámější heuristickou metodou pro řešení problému VRP. Tuto metodu v roce 1964 publikovali G. Clarke a J. W. Wright. Postup této metody

spočívá v tom, že v každé iteraci metody jsou vybrány dvě možné trasy ( $V_0 - V_i - V_0$ ) a ( $V_0 - V_j - V_0$ ) podle určitého kritéria a ty jsou spojeny do jedné sdružené trasy ( $V_0 - V_i - V_j - V_0$ ). Dvě trasy mohou být spojeny jen pokud výsledná sdružená trasa splňuje podmínky, jako je kapacita vozidla, nebo podmínky jako je maximální délka trasy, počet navštívených uzlů a doba trvání jízdy, lze také kontrolovat. Výhodnost spojení dvou tras je určena úsporou, která vznikne spojením těchto tras. Tuto úsporu měříme pomocí výkonostního koeficientu  $z_{ij}$ , který závisí pouze na vzájemných vzdálenostech uzlů  $V_i$ ,  $V_j$  a  $V_0$  a nemění se, pokud jsou tyto dva uzly spojeny. Metoda spojí v každé interakci dva uzly s nejvyšším výkonostním koeficientem  $z_{ij}$ , pokud je to možné s ohledem na přípustnost. [32]

**Metoda větví a mezí** je optimalizační metoda, která se používá pro minimalizační problémy. Cílem metody je najít nejlepší řešení z množiny možností. K tomu se používá strom řešení, který se vytváří pomocí větvení a skládá se z vrcholů a hran. Každý vrchol představuje jedno možné řešení a každá hrana vedoucí z vrcholu představuje možnost dalšího vývoje řešení.

Metoda větvení se zaměřuje na minimalizaci nákladů každého řešení v dané podmnožině. K výpočtu dolní hranice ceny každého řešení v dané podmnožině se používá efektivní algoritmus. Tento algoritmus se používá k odhadu minimální ceny, kterou může mít řešení v dané podmnožině. Pokud je tato cena vyšší než cena aktuálně nejlepšího řešení, není třeba tuto podmnožinu dále zkoumat a algoritmus se zaměří na další možnosti. Metoda větví a hranic tedy postupně prochází stromem řešení, aby našla nejlepší možné řešení. [33]

**Metoda čínského pošťáka** (známá také jako metoda nejkratší cesty) je algoritmus pro nalezení nejkratší cesty v grafu s váženými hranami. Algoritmus spočívá v postupném nalezení nejkratší cesty mezi všemi dvojicemi vrcholů grafu.

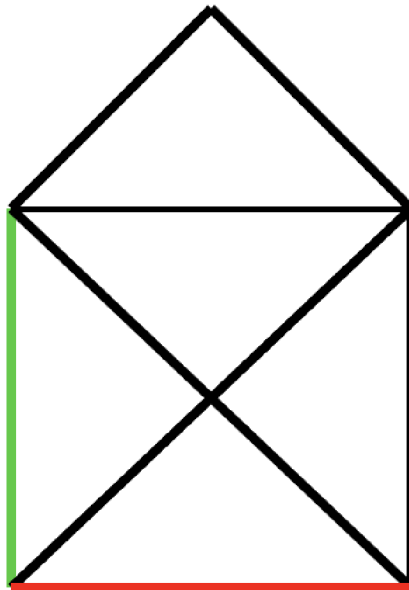
Kroky algoritmu:

Vytvořením sousedících matic pro každou dvojici vrcholů zapište délku nejkratší cesty mezi nimi. Pro každý vrchol v grafu určete nejkratší cestu k jinému vrcholu pomocí Floyd-Worshallova algoritmu. Tento krok zajistí, že matice sousedství bude správně obsahovat délky cest mezi vrcholy.

Nakonec se vypočítá délka nejkratší cesty mezi všemi dvojicemi vrcholů v grafu.

Metoda čínského pošťáka je časově náročná, protože musí vypočítat nejkratší cestu mezi všemi dvojicemi vrcholů v grafu. Pokud je však zapotřebí informace o nejkratší cestě mezi velkým počtem vrcholů v grafu, je tato metoda velmi účinná a může výrazně zkrátit dobu jejího provádění. [26]

Pro pošťáka je nejjednodušší cesta, pokud je graf eulerovský (všechny uzly mají sudý stupeň). Pak lze obvod sledovat, jako by byl graf nakreslen jedním tahem.



Obr. 3.5 Metoda čínského pošťáka

Zdroj: [26]

**Floyd-Warshallův algoritmus** je algoritmus pro nalezení nejkratší cesty mezi všemi dvojicemi uzlů v hodnoceném grafu, které nemají cykly záporné délky. Tento algoritmus je obecně považován za jednu z nejefektivnějších metod řešení tohoto problému, zejména v grafech s malým počtem uzlů. [27]

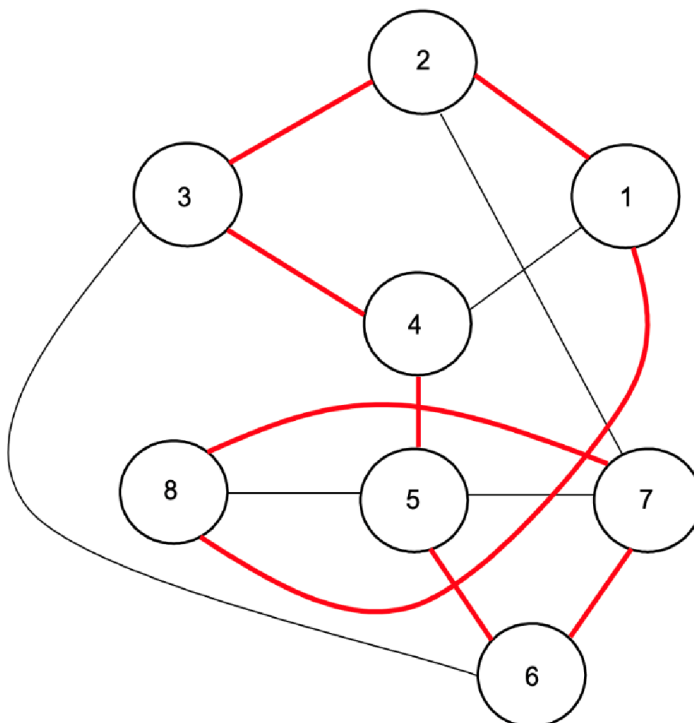
Hlavními výhodami tohoto algoritmu jsou jednoduchá implementace a relativně nízká časová složitost pro většinu typů grafů. Algoritmus Floyd-Warshall pracuje na principu dynamického programování a k nalezení nejkratší vzdálenosti mezi dvěma uzly grafu využívá každý prvek matice představující nejkratší vzdálenost mezi dvěma uzly v grafu. Nejkratší cesty mezi dvojicemi se počítají postupně.



Tento algoritmus lze použít k řešení různých problémů, například k nalezení nejkratší cesty mezi městy v silniční síti nebo mezi uzly v síti komunikačních spojů. Pro velmi rozsáhlé grafy je však tento algoritmus pomalý a náročný na paměť.

**Eulerovský tah** je posloupnost grafů, která prochází každou hranou grafu přesně jednou a končí ve výchozím bodě. Tato posloupnost může být uzavřená nebo otevřená. Aby bylo možné najít eulerovský pohyb, musí být graf spojitý a stupeň všech vrcholů musí být sudý (tj. počet sousedů). Metoda čínského pošťáka, je nejsnazší, pokud je graf eulerovský (všechny uzly mají sudý stupeň). Pak může procházet obvodem tak, jako by kreslil graf jedním tahem. [28]

**Hamiltonovská cesta** je posloupnost, která protíná každý vrchol grafu přesně jednou a končí tam, kde začala. Pokud Hamiltonovská cesta začíná a končí ve stejném vrcholu, nazývá se Hamiltonův cyklus. Existence hamiltonovské cesty v grafu není tak jednoduchá jako existence eulerovské cesty a obvykle je obtížné ji najít. Existuje několik algoritmů pro hledání Hamiltonových cest, včetně algoritmů založených na zpětném procházení a algoritmů založených na regulárních výrazech



Obr. 3.6 Hamiltonová cesta

Zdroj:[26]

**LNS** (Large Neighbourhood Search) je metaheuristický algoritmus pro řešení kombinatorických optimalizačních problémů. Je založen na principu lokálního prohledávání s náhodnými perturbacemi.

Algoritmus funguje tak, že nejprve vygeneruje počáteční řešení a poté postupně provádí modifikace, které toto řešení mění. Tyto modifikace se vybírají z řady různých typů operací specifických pro daný problém. Každá modifikace zlepšuje aktuální řešení a je přijata nebo zamítnuta na základě kritérií, která určují, zda je nové řešení lepší než aktuální řešení.

LNS kombinuje výhody prohledávání prostoru řešení s náhodnými modifikacemi a lokálním prohledáváním. Algoritmus se často používá k řešení obtížných optimalizačních problémů, jako jsou problémy plánování, směřování a umístování. [29]

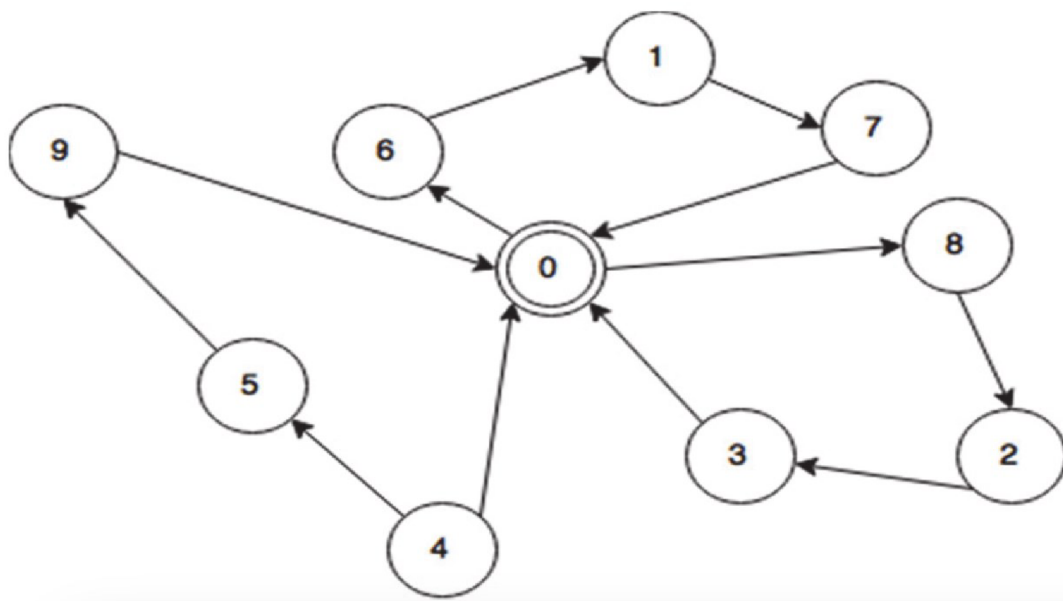
### 3.5 VRP

**VRP** se zaměřuje na hledání optimálního řešení pro přepravu zboží z centrálního místa (střediska) na několik různých míst určených pro odběr. Vozidla, která převážejí zboží, musí dodržovat kapacitu a musí každé místo odběru obsloužit právě jednou.

VRP je definován obecnou dopravní sítí  $S = (V, H)$ , kde  $V$  je množina uzlů sítě a  $H$  je množina hran spojujících tyto uzly. Problémem je sestavit takovou množinu tras vozidel, aby poptávka v každém sběrném místě byla uspokojena jedinou službou vozidla a aby byly minimalizovány celkové náklady na dopravu (délka nebo čas).

Kromě základních podmínek uvedených v metodě řešení VRP mohou být na množinu tras kladeny další podmínky, například omezení počtu prvků, které mohou být rozmístěny v rámci jedné trasy, omezení maximální doby trvání nebo délky jedné trasy a omezení vzhledem k maximálnímu počtu míst, která mají být obsloužena jednou trasou s ohledem na požadavky a kapacitu vozidel. Někdy jsou uloženy.

V jiných úlohách lze předpokládat homogenní vozový park, kdy jedna trasa vozidla sestává z jedné okružní jízdy. Tam, kde je doba trvání trasy omezena, může trasa sestávat z více okružních jízd. U některých úloh se nepředpokládají žádné omezující časové podmínky pro obsluhu uzlu, takže úloha je redukována na pokrytí požadavků zákazníka řadou tras přidělených jednotlivým vozidlům ve vozovém parku, které jsou k dispozici v následujících fázích nezávisle na úloze trasování. [3]



Obr. 3.7 VRP

Zdroj:[28]

### VRP solver Manuál

Řešitel tabulkového procesoru VRP (VRP Spreadsheet Solver) v aplikaci Microsoft Excel je platforma pro reprezentaci, řešení a vizualizaci výsledků problémů sledování vozidel (VRP). Integruje Excel, veřejný GIS a metaheuristiku. Zvolený program řeší základní problém směřování vozidel pomocí algoritmu LNS.

**Klíč Bing Maps:** Licence Bing Maps není nutná. Workbook můžete stále používat i bez ní. Platný klíč je však potřebný pro vyplnění zeměpisné šířky / délky, vzdáleností a doby trvání a pro generování vizualizace umístění a tras na mapě.

**Počet dep:** Depa slouží jako začáteční a koncové body pro trasy vozidel.

**Počet zákazníků:** Tento parametr nezahrnuje depa a udává pouze počet míst, která vozidla obsluhují.

**Metoda výpočtu vzdálenosti:** Tento parametr popisuje, jak mají být vzdálenosti vypočítány, pokud se budou používat. Volby jsou: Ruční zadání, Euklidovské vzdálenosti, Zaokrouhlené euklidovské vzdálenosti, Hammingova (Manhattanská) vzdálenost, Letové vzdálenosti ptáka (km), Letové vzdálenosti ptáka (míle), Vzdálenosti jízdy podle Bing Maps (km) a Vzdálenosti jízdy podle Bing Maps (míle). Možnost Ruční

zadání zakazuje funkci výpočtu vzdálenosti. Možnost Euklidovské vzdálenosti vypočítává vzdálenost mezi body  $(x_1, y_1)$  a  $(x_2, y_2)$  jako  $d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$  a výsledky formule nejsou v kilometrech nebo mílích. Možnost Zaokrouhlené euklidovské vzdálenosti používá formuli euklidovské vzdálenosti a výsledek zaokrouhluje na nejbližší celé číslo, opět výsledky formule nejsou v kilometrech nebo mílích. Možnost Hammingovy (Manhattanské) vzdálenosti počítá vzdálenost mezi body  $(x_1, y_1)$  a  $(x_2, y_2)$  jako  $d_{12} = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$  a výsledky formule stále nejsou v kilometrech nebo mílích. Možnosti Letové vzdálenosti ptáka (km) a Letové vzdálenosti ptáka (míle) používají kulovou aproximaci pro povrch Země. Tyto volby jsou užitečné, pokud potřebujete vytvořit trasy pro lodě nebo letadla místo pro vozidla. Možnosti Vzdálenosti jízdy se udává v km nebo mílích.

**Metoda výpočtu trvání:** Tento parametr popisuje, jak mají být časy jízdy určeny, pokud se budou používat. Volby jsou: Ruční zadání, Průměrná rychlost vozidla a Trvání jízdy.

**Parametr typu trasy v Bing Maps:** Tento parametr popisuje typ trasy vrácené Bing Maps. Možnosti jsou Nejkratší, Nejrychlejší a Nejrychlejší - v reálném čase s dopravními informacemi. Možnost Nejkratší najde nejkratší cestu, která obvykle vede centry měst, podléhá přísným rychlostním limitům a často vede k velmi dlouhé době trvání. Doporučenou možností je Nejrychlejší. Možnost Nejrychlejší - v reálném čase s dopravními informacemi vám poskytne odhady v okamžiku, kdy jsou vzdálenosti naplněny, což se může výrazně změnit na základě dopravních podmínek v daný okamžik.

**Úroveň podrobností trasy v Bing Maps:** Tento parametr popisuje úroveň detailů pro každou křivku vrácenou Bing Maps na vizualizačním listu. Tyto údaje jsou získávány spolu s údaji o vzdálenosti a době trvání, a tento parametr by měl být pečlivě vybrán, aby se zabránilo více volání k naplnění listu vzdáleností. Hodnota je celé číslo v intervalu [0, 10]. Hodnota 0 vrátí jedinou čáru. Větší hodnoty vrátí křivku s určeným počtem zlomů. Ačkoli je lákavé použít vždy nejvyšší úroveň detailu, vizualizace může být nepříznivě ovlivněna. Obecně použijte menší hodnoty pro VRP instance v jednom městě (1 - 5) a větší hodnoty (6 - 10) pro VRP instance, které zahrnují více měst.

**Průměrná rychlost vozidla:** Výsledky výpočtu vzdáleností jsou děleny hodnotou tohoto parametru, aby se určil čas cesty, pokud zvolíte možnost 'Průměrná rychlost vozidla'.

**Počet typů vozidel:** Pokud vaše flotila zahrnuje dvě vozidla různého modelu a výroby, ale s týmiž hodnotami těchto parametrů, vozidla lze považovat za stejný typ. Většina

studií v literatuře předpokládá, že všechna vozidla jsou stejného typu, a problémy týkající se více typů vozidel se nazývají Heterogenní VRP (HVRP).

**Vozidla se vrátí do svého depa** : Možnost Ano - pouze jednou nutí všechna vozidla k návratu do depa po skončení své služby. Možnost Ne uvolňuje toto omezení a je užitečná, pokud jsou vozidla outsourcována a fakturována pouze za službu místo návratu, nebo pokud vozidla musí následovat stejnou trasu ve stejném směru při návratu. Problémy odpovídající volbě Ne se v literatuře nazývají Otevřené VRP. Možnost Ano - mohou tak učinit vícekrát umožňuje vozidlům navštívit jejich depa mezi návštěvami zákazníků, aby naložili a vyložili náklad podle potřeby. Vozidla budou stále podléhat omezením vzdálenosti, času řízení a pracovního času, tzn. předpokládá se, že během návštěv nedochází k doplňování paliva ani k výměně řidičů.

**Typ časového okna:** "Pevná" časová okna znamenají, že řešení, kde vozidlo navštíví umístění zákazníka mimo dané časové okno. Po dokončení tohoto procesu by měl být uživatel schopen používat všechny funkce a možnosti tohoto nástroje pro řešení problémů s vozovým parkem.

Po dokončení tohoto procesu by měl být uživatel schopen používat všechny funkce a možnosti tohoto nástroje pro řešení problémů s vozovým parkem. Další body pro efektivní používání této aplikace zahrnují:

- Přesně definujte požadavky vašeho problému s vozovým parkem, jako jsou požadavky na kapacitu, omezení času a vzdálenosti, aby vám to pomohlo vybrat vhodné parametry pro aplikaci.
- Zkuste použít co nejjednodušší nastavení a nezahrnujte příliš mnoho složitých parametrů najednou, abyste minimalizovali riziko chybných výsledků a maximalizovali rychlost výpočtu.
- Při vkládání dat pro vaši flotilu vozidel používejte formát CSV, protože tento formát je snadno čitelný a srozumitelný pro aplikaci.
- Můžete vyzkoušet různé typy řešení pro vaše problémy s vozovým parkem, jako jsou "nejkratší" a "nejrychlejší" možnosti, abyste získali různé pohledy na vaše řešení
- Využijte možnosti vizualizace, kterou nabízí tato aplikace, abyste lépe porozuměli výsledkům a identifikovali případné problémy s vaší flotilou vozidel.

**Warm start:** Pokud je vybrána možnost "Ano", algoritmus řešení se pokusí použít stávající řešení na listu s řešením jako výchozí bod.

**Zobrazit průběh na stavovém řádku:** Pokud je vybrána možnost "Ano", algoritmus řešení zobrazí číslo iterace a nejlepší dosaženou hodnotu řešení v levém dolním rohu okna Excelu. Zobrazování výsledku trvá zlomek sekundy při každém zobrazení (tj. při každé operaci) a může odebírat cenný čas CPU.

**Limit času CPU:** Tento parametr označuje časový limit běhu VRP Spreadsheet Solver. Obecně platí, že delší běh dává vyšší pravděpodobnost nalezení dobrého řešení. VRP Spreadsheet Solver se zastaví až po dokončení první iterace, což může být delší než časový limit. Proces lze přerušit stisknutím a podržením klávesy ESC po několik sekund.

**Nastavení adres:** Sloupce na tomto listu jsou vysvětleny níže.

**ID místa:** Tento sloupec je automaticky generován a nesmí být smazán nebo změněn.

**Název:** Položky v tomto sloupci musí být jedinečné. Můžete také použít adresy v tomto sloupci a sloupci Adresa.

**Adresa:** Ujistěte se, prosím, že poskytnutá adresa je dostatečně přesná. Pokud je to možné, použijte poštovní směrovací číslo oblastí, abyste zvýšili přesnost.

**Zeměpisná šířka (y):** Písmeno v závorce odkazuje na osu, na které se tyto hodnoty vztahují.

**Zeměpisná délka (x):** Písmeno v závorce odkazuje na osu, na které se tyto hodnoty vztahují.

**Název parametru:** Název parametru, který má být upraven.

**Hodnota:** Hodnota parametru. Ujistěte se, že dodržujete instrukce uvedené v sloupci "Popis", aby nedošlo k chybám.

**Popis:** Stručný popis parametru a povolené hodnoty.

### **Vizualizace:**

Tento pracovní list je volitelný a obsahuje rozptylový graf zobrazující umístění a trasy vozidel. Graf lze formátovat jako jakýkoli jiný graf v Excelu - můžete měnit velikost značek, tloušťku čar a podobně. Aktuální design používá přístup "méně inkoustu". Podle potřeby můžete přibližovat nebo oddalovat, přidávat osy a mřížky nebo odebrat popisky.

Funkce:

Toto je rychlý způsob, jak smazat pracovní listy s daty a obnovit pracovní list s konzolou. Buďte opatrní, protože tuto operaci nelze vrátit zpět. Odpovídá makru ResetWorkbook.

Nastavit pracovní list Umístění. Odpovídá makru SetupLocationsWorksheet.

Pro tuto funkci je potřeba aktivní internetové připojení a klíč Bing Maps. Ujistěte se, že omezení vašeho klíče odpovídá velikosti vašeho problému. Pro naplnění celé sady souřadnic je třeba  $n + 1$  dotazů. Odpovídá makru PopulateLatitudeAndLongitude.

Rozbalovací nabídky pracovního listu řešení jsou naplněny seznamem umístění. Abychom měli rozbalovací nabídky seřazené abecedně, je třeba umístění seřadit. Odpovídá makru SortLocations.

Nastavit pracovní list Vzdálenosti (SetupDistancesWorksheet).

Pro tuto funkci je potřeba aktivní internetové připojení a klíč Bing Maps. Ujistěte se, že omezení vašeho klíče odpovídá velikosti vašeho problému. Pro naplnění celé sady vzdáleností je třeba přibližně  $n * (n + 1) / 24$  sekund (PopulateDistances).

Nastavit pracovní list Vozidla (Setup Vehicles Worksheet).

Nastavit pracovní list Řešení (Setup Solution Worksheet).

Volitelně - Nastavit pracovní list Vizualizace (Setup Visualization Worksheet).

### Spustit VRP Spreadsheet Solver

VRP - solver obsahuje tento hlavní panel nástrojů označený číslicemi 1-6 který označuje jednotlivé kroky zadávání dat. Ke správnému fungování celého výpočtu se data se musí zadávat chronologicky a nejde tak jednotlivé kroky přeskakovat.[44]



Obr. 3.8 Panel nástrojů VRP – Solver

Zdroj: [44]

Před začátkem prvního kroku z panelu nástrojů je nutné upravit nebo zadat některé hodnoty na hlavní pracovní ploše.

<b>Sequence</b>	<b>Parameter</b>
<b>0.Interface</b>	Language
	Optional - Bing Maps Key
<b>1.Locations</b>	Number of depots
	Number of customers
<b>2.Distances</b>	Distance computation method
	Duration computation method
	Bing Maps travel mode
	Bing Maps route type
	Bing Maps route detail level
	Average vehicle speed
<b>3.Vehicles</b>	Number of vehicle types
<b>4.Solution</b>	Do the vehicles return to their depot(s)?
	Time window type
	Backhauls?
<b>5.Optional - Visualization</b>	Visualization background
	Location labels
<b>6.Solver</b>	Warm start?
	Show progress on the status bar?
	CPU time limit (seconds)

Obr. 3.9 Pracovní plocha VRP – Solver ½

Zdroj: [44]



Value	Remarks				
English	Please refer to the manual for modifying the interface.				
Asz06HIu1_1M	You can get a free trial key at <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>				
1	[1, 30]				
22	[5, 200]				
Bing Maps driv	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses				
Bing Maps driv					
Driving					
Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'				
3	[0, 10]				
30					
1					
Yes - may do so	<input type="checkbox"/>				
Hard					
No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations				
Bing Maps					
Location IDs					
Yes					
No					
60	Recommendation: At least 60 seconds				

Obr 3.10 Pracovní plocha VRP – Solver 2/2

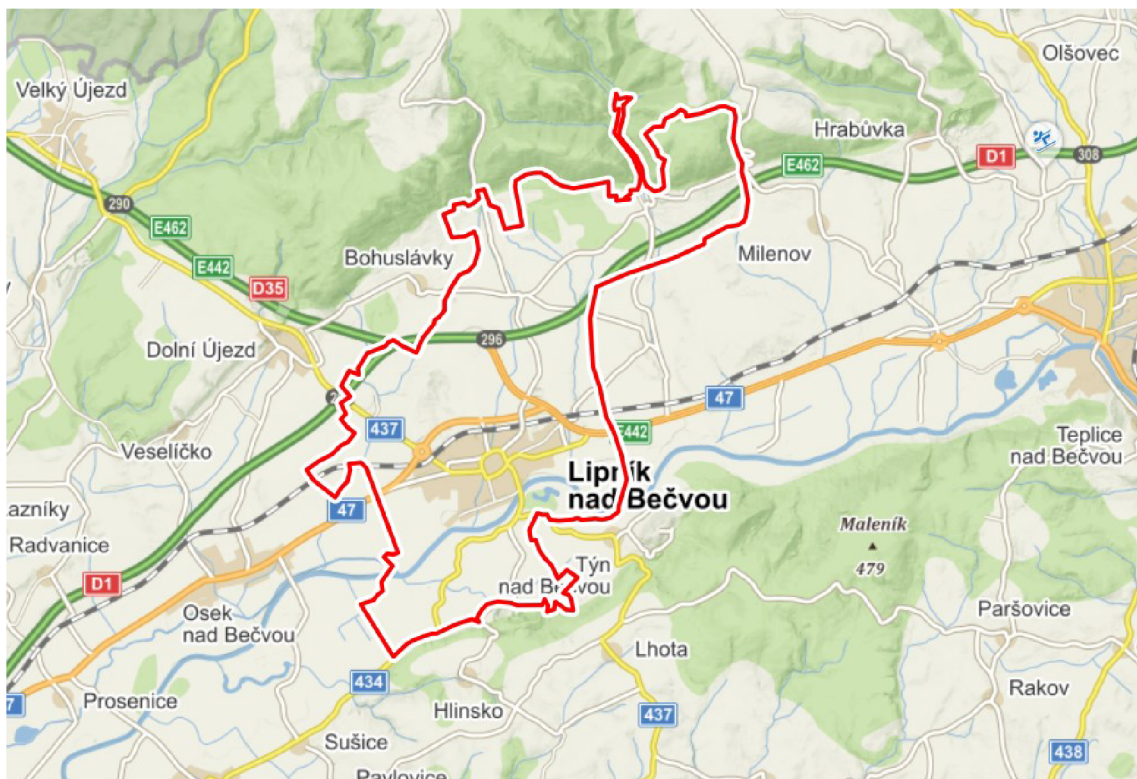
Zdroj: [44]

Jako první krok je nutné vložit Bings key pro správné upřesnění lokace. Dále upravíme hodnoty počtu zákazníku které v našem případě znázorňují počet ulic které trasujeme. Číslo výchozí pozice, necháváme na hodnotě jedna a pokračuje ke kolonce Bing maps. Kolonka Fastest, znázorňuje metodu ze které vycházíme, což je projetí trasy za nejkratší čas. Průměrnou rychlost vozidla nastavíme na 30km/h.

## 4 Optimalizace tras v Lipníku

### 4.1 Charakteristika města Lipník nad Bečvou

Lipník nad Bečvou se nachází v okrese Přerov v Olomouckém kraji a je považováno za jednu z nejhodnotnějších památkových rezervací v ČR. Město se rozprostírá na ploše více než 30 km<sup>2</sup> a žije zde přibližně 8 tisíc obyvatel. První písemná zmínka o městě pochází z roku 1238 a od roku 1989 je Lipník nad Bečvou městskou památkovou rezervací. [31] V okolí města se nacházejí výrobní závody firem zabývajících se strojírenskou výrobou, zpracováním plastů a dřeva, výrobou elektroinstalací a dalšími obory. Lipník leží na hlavním tahu z Olomouce do Ostravy. V blízkosti vede rychlostní komunikace R-35, dálnice D47 byla uvedena do provozu v r. 2009. Město disponuje železniční stanicí a z autobusové dopravy zde zastavují některé dálkové autobusy. Díky svému strategickému umístění a výborné dopravní dostupnosti se město stalo vyhledávaným místem pro investice a podnikání. Město se dělí na pět městských částí: Město, Nové Dvory, Podhoří, Loučka a Trnávka. Dříve byly součástí města i nyní samostatné obce Bohuslávky, Jezernice a Týn nad Bečvou.



Obr. 4.1 Mapa města Lipník nad Bečvou

Zdroj: [45]

Ke konci roku 2020 byl schválen nový zákon o odpadech č. 541/2020 Sb., který okamžitě vstoupil v platnost. Tento zákon ukládá městům větší povinnosti motivovat a zlepšovat míru třídění odpadů na svém území, a tím snižovat množství zbytkového komunálního odpadu. Podle tohoto zákona jsou města povinna zlepšit míru třídění odpadů na svém území a snížit množství zbytkového komunálního odpadu. V současné době se zbytkový komunální odpad likviduje skládkováním, což je jediný další způsob likvidace na našem území. Na základě tohoto zákona byl uzákoněn nový poplatek za skládkování, který se má zvyšovat až do roku 2030. Obec byla od tohoto poplatku doposud osvobozena. V letech 2021-2030 se tento poplatek zvýší z 500 na 1850 kanadských dolarů za tunu skládkovaného odpadu, což bude mít za následek výrazné zvýšení nákladů na likvidaci zbytkového směsného odpadu ve městě. Zároveň zákon nařizuje zvýšit míru třídění na 65 % z celkového množství odpadu vyprodukovaného ve městě do roku 2030; v roce 2021 činila míra třídění ve městě 53,64 %.

Město Lipník nad Bečvou dlouhodobě produkuje více zbytkového směsného komunálního odpadu na občana za rok, než je celorepublikový průměr. I přes velmi hustou síť kontejnerových hnízd, kontejnerů na tříděný odpad, sběrných středisek odpadů a kompostáren se městu nedaří zvyšovat míru třídění odpadů. Vedení města se proto rozhodlo vypracovat projekt nového systému Door to Door, v jehož rámci by občané umísťovali kontejnery na papír, plasty a bioodpad do svých domácností. Projekt byl financován z dotace z Operačního programu Životní prostředí 2021. Kontejnery byly zakoupeny v květnu; od června 2021 byly distribuovány občanům, kteří se do systému přihlásili; do konce roku 2021 bylo vyžádáno 900 sad kontejnerů.

Kromě toho byl od 1. července 2021 spuštěn nový systém sběru odpadů, v jehož rámci se směsný komunální odpad z rodinných domů a bytů, který byl dříve sbírán jednou týdně, v některých lokalitách dvakrát, je nyní sbírán s novou frekvencí jednou za 14 dní. Nová frekvence svozu plastů je jednou za 21 dní, papíru jednou za 28 dní a piva jednou za 14 dní ve vegetačním období a jednou měsíčně v zimním období. Na některých stanovištích kontejnerů byl také zaveden oddělený sběr použitého kuchyňského oleje z domácností a kovů do kontejnerů. [40] Veškerý SKO je předáván k odstranění na skládku, která se nachází v katastru města a je provozována společnost AVELI ECO s.r.o.

Komodita	2018	2019	2020	2021	2022
SKO	675	755	900	1.535	2.000
Papír	1,16	- 3,50	0,81	1,85	1,36
Plast	- 1,19	- 1,19	- 1,59	- 2,30	-2,30
Sklo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,425

Tab. 4.1 Vývoj cen za likvidaci jednotlivých druhů odpadů 2018–2022

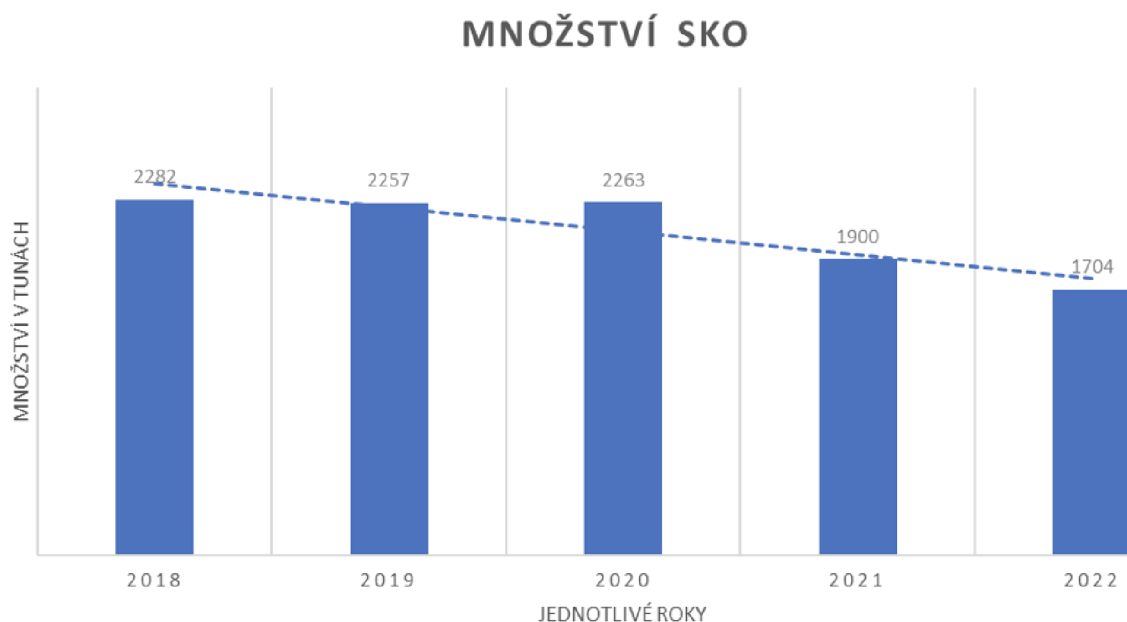
Zdroj: [40]

#### Množství odpadu v tunách

Druh odpadu	2018	2019	2020	2021	2022
<b>SKO</b>	2282	2257	2263	1900	1704
<b>Druh odpadu</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
<b>Papír</b>	110	122	150	170	174
<b>Plasty</b>	101	112	180	129	179
<b>Sklo</b>	92	91	110	113	112
<b>BRKO</b>	862	938	1153	1434	1276
<b>Celkem</b>	<b>3447</b>	<b>3520</b>	<b>3856</b>	<b>3746</b>	<b>3445</b>

Tab. 4.2 Přehled množství odpadů 2018–2022

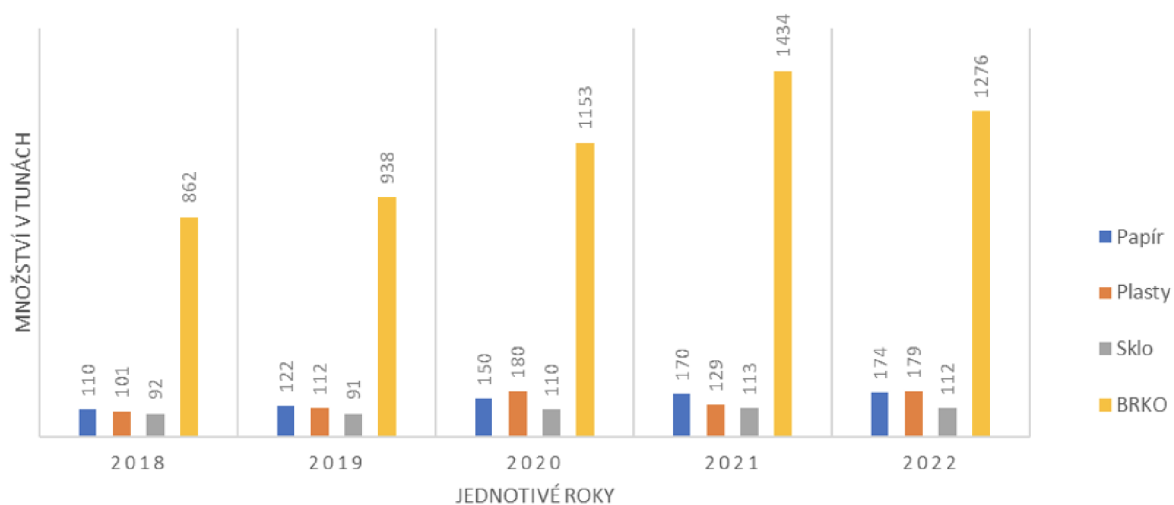
Zdroj: [40]



Graf. 4.1 Přehled množství SKO 2018–2022

Zdroj: [40]

## MNOŽSVÍ SEPAROVANÉHO ODPADU DLE KOMODIT



Graf. 4.2 Přehled množství separovaného odpadu 2018–2022

Zdroj: [40]

Hlavním problémem při plánování tras je optimalizovat využití vozidel pro svoz odpadu tak, aby při svozu všech plánovaných míst ujela co nejmenší počet kilometrů v co nejkratším čase.

System ET Optimal tento problém řeší a umožňuje plánovat trasy, které efektivně využívají všechna vozidla. Rozhodování je založeno na kapacitě vozidel a popelnic, frekvenci svozu a lokalitě. Trasy jsou pak naplánovány tak, aby svoz odpadu z každého místa a následný svoz prázdných nádob v koncovém bodě trval co nejkratší dobu na co nejkratší vzdálenost.

Pro výpočet optimální trasy dispečer jednoduše zadá parametry a proměnné a definuje důležitost jednotlivých kritérií. [36]

### **FDX-B BDE**

Čip ve formě tzv. “puku” umožňuje instalaci na plastových nádobách vybavených ISO otvorem pro jeho snadnou montáž zašroubováním nebo vlisováním. Je odolný proti vodě, chemikáliím a mechanickému poškození. [37]

Počet označených nádob RFID čipy: **1681**



Obr. 4.2 - RFID čip

Zdroj: [4]

#### 4.1.1 Současná situace v Lipníku nad Bečvou

V Lipníku proběhla instalace na 2 svozová vozidla značky Volvo s vyklápěči od společnosti Terberg Rosroca. Jednalo se o standardní postup, který zahrnoval instalaci 2 nízkofrekvenčních antén pro načítání FDX čipů ve tvaru „puku“, umístěných v ISO otvoru pod límcem plastových nádob, doplněných o další 2 vysokofrekvenční antény, které slouží pro identifikaci pozinkovaných nádob vybavených nýtovacími HDX čipy. Vyklápěč byl dále vybaven senzorem zaznamenávajícím jeho aktivaci, díky čemuž je poté vidět, kolikrát a na jakém místě docházelo k jednotlivým výsypům. Instalován byl i senzor otevření břicha, který umožňuje zaznamenat výsyp odpadu na koncové stanici.

[38]



Obr. 4.3 Svozové vozidlo

Zdroj: [45]



Obr. 4.4 Svozové vozidlo

Zdroj: [45]

*Sada antén a čteček RFID namontovaných na vozidlech a přepravnících může automaticky identifikovat zásobníky a kontejnery.*

Ve městě Lipník nad Bečvou se nacházejí dvě svozová vozidla značky Volvo se sklápěči Terberg Rosroca která se zaměřují na svoz směsného komunálního odpadu (SKO)

**Telemetrické systémy pro různá odvětví – ELTE GPS Group [online]. Copyright ©darioacane [cit. 26.04.2023]. Dostupné z: <http://www.eltegps.cz/pdf/systemy-elte-gps-urcene-pro-komunalni-sluzby.pdf>**



Obr. 4.5 Anténa RFID

Zdroj: [4]

Nádoby, které jsou z výroby vybaveny otvory ISO pro transpondéry RFID, jsou opatřeny čipem ve formě "zátky". Kontejnery, které tímto otvorem vybaveny nejsou (např. jsou vyrobeny z kovu), štítky se čipují přinýtováním transpondéru na boční nebo přední stranu, kde jej lze přečíst. [4]

Některé nádoby (kontejnery) se vozí 2x týdně z důvodu velké koncentrace občanů (sídlíšťe), chatové oblasti. Nádoby 120 l. občané komunální odpad se vozí dle vyhlášky města 1x za 14 dní [42]



Obr 4.6 Sběrné nádoby RFID

Zdroj: [36]



## Město Lipník nad Bečvou

náměstí T. G. Masaryka 89, 751 31 Lipník nad Bečvou,

Technické služby Lipník nad Bečvou - elektronická podatelna: info@ts-lipnik.cz,  
tel. číslo: +420 581 773 756

---

### Žádost o nádobu na směsný komunální odpad

Jméno a příjmení zástupce domácnosti:.....  
.....  
Ulice a číslo popisné:.....  
Tel. číslo:.....  
E-mail:.....

Mám zájem o nádobu na směsný komunální odpad:

- Nádobu nová
- Nádobu výměna/oprava
- Další nádobu domácnost s více jak 6 osobami

Výše uvedené osobní údaje jsou poskytovány zákonným způsobem z důvodu „přípravy a plnění smlouvy“. Osobní údaje budou používány po dobu vyřízení příslušné agendy a uloženy po dobu následné skartační lhůty. **Práva a povinnosti poskytovatele osobních údajů a správce** naleznete na: <https://www.mesto-lipnik.cz/>.

V Lipníku nad Bečvou dne:.....

Podpis: .....

Obr. 4.7 Žádost o nádobu na odpad

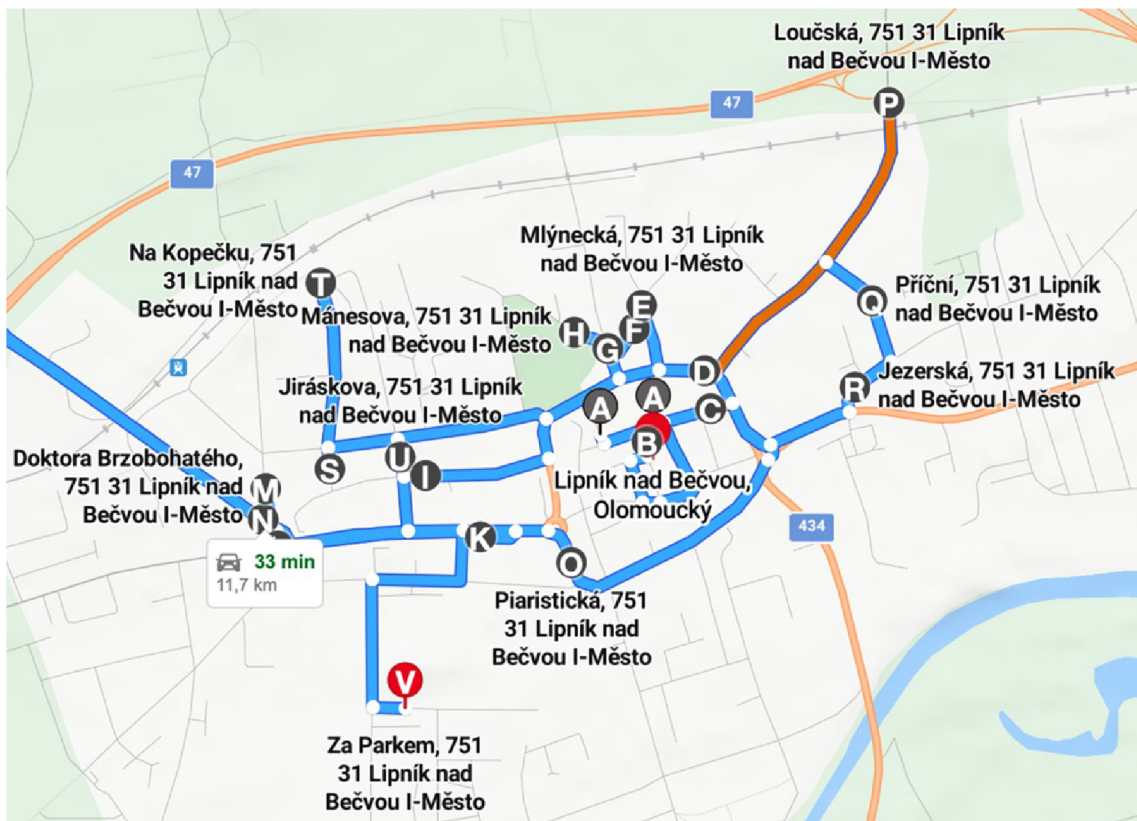
Zdroj: [45]

## **Obecně závazná vyhláška města Lipník nad Bečvou č. 1/2021, o stanovení obecního systému odpadového hospodářství**

Zastupitelstvo města Lipník nad Bečvou se na svém zasedání dne 22.06.2021 usnesením č. 425/2021 – ZM 17 usneslo vydat na základě § 59 odst. 4 zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech (dále jen „zákon o odpadech“), a v souladu s § 10 písm. d) a § 84 odst. 2 písm. h) zákona č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení), ve znění pozdějších předpisů, tuto obecně závaznou vyhlášku:

### **Úvodní ustanovení**

- Tato vyhláška stanovuje obecní systém odpadového hospodářství na území města Lipník nad Bečvou.
- Každý je povinen odpad nebo movitou věc, které předává do obecního systému, odkládat na místa určená městem v souladu s povinnostmi stanovenými pro daný druh, kategorii nebo materiál odpadu nebo movitých věcí zákonem o odpadech a touto vyhláškou.
- V okamžiku, kdy osoba zapojená do obecního systému odloží movitou věc nebo odpad, s výjimkou výrobků s ukončenou životností, na místě městem k tomuto účelu určeném, stává se obec vlastníkem této movité věci nebo odpadu.
- Stanoviště sběrných nádob je místo, kde jsou sběrné nádoby trvale nebo přechodně umístěny za účelem dalšího nakládání se směsným komunálním odpadem. Stanoviště sběrných nádob jsou individuální nebo společná pro více uživatelů. Přechodným stanovištěm se rozumí veřejné prostranství sloužící k umístění nádoby pro zajištění jejího vývozu.
- Na přechodné stanoviště se nádoby umísťují pouze v den svozu jednotlivého druhu odpadu. Dny svozu jednotlivých druhů odpadů jsou uveřejněny v plánu svozu odpadů na webových stránkách města Lipník nad Bečvou a Technických služeb Lipník nad Bečvou, příspěvkové organizace. Mimo dny svozu odpadů je povinností osoby předávající komunální odpad přemístit nádobu na soustředování odpadu na její trvalé stanoviště.
- Veřejné sběrné místo je trvalé stanoviště zvláštních sběrných nádob zřízené městem Lipník nad Bečvou. [9]



Obr. 4.8 Současná A trasa Město III

Zdroj:[48]

Současná trasa znázorněna v aplikaci Bing maps. Vycházející z harmonogramu svozů pro rok 2023.

#### 4.1.2 Optimalizace svozové trasy

Dle doporučení je pro optimalizaci svozové trasy použit program VRP spreadsheet solver. Tento program není přímo určen pro optimalizaci svozových tras, proto je analýza tohoto programu a jeho využití pro účely technických služeb samostatnou analýzou v této práci.

Z poskytnutých dokumentů za měsíc březen 2023 množství vyvezeného odpadu na trase III. je sestaven průměr množství odpadu na této trase který činí 10 610 kg. Tato hodnota je vydělena počtem sběrných nádob. Průměrná hmotnost v jedné 120l nádobě je 14,28 kg směsného komunálního odpadu. Doba než se sběrná nádoba na tuto hodnotu naplní je dána intervalem svozu odpadu který je stanoven na 1x za 14 dní.

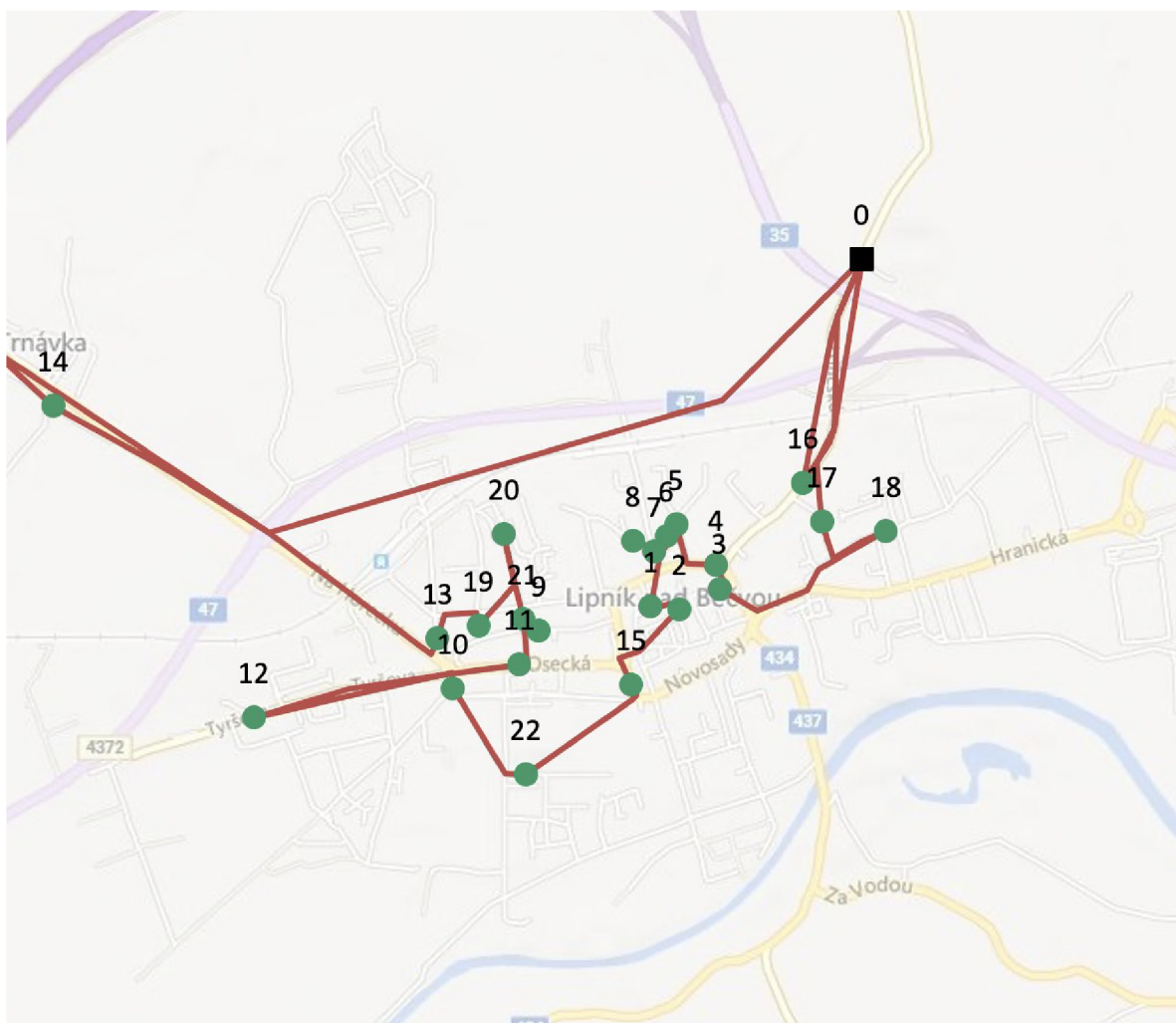
Postup v programu je následovný:

- nastavení lokací (Locations setup) - Zadejte adresy pro doručení a doplňte informace o doručení.
- lokalizace (populate) - Inicializujte data a souřadnice pomocí Bing Maps.
- nastavení vzdáleností (Setup distances) - Naplňte list s vzdálenostmi (propojení s teorií grafů).
- nastavení listu s vozidly (Setup vehicles worksheets) - Zadejte počáteční čas 8:00 a kapacitu vozidel.
- nastavení řešení (Setup solution worksheet)
- naplňte list s řešením.
- vizualizace (Vizualization) - Nastavte list pro vizualizaci a zobrazte mapu.
- spusťte solver (Engage solver)- Vypočtete data (LNS algoritmus).

0	Depot	Loučská 1411, 751 31 Lipník nad Bečvou
1	Customer 1	Losertova, 751 31 Lipník nad Bečvou
2	Customer 2	Křížkovského, 751 31 Lipník nad Bečvou
3	Customer 3	Palackého, 751 31 Lipník nad Bečvou
4	Customer 4	Komenského sady, 751 31 Lipník nad Bečvou
5	Customer 5	Mlýnecká, 751 31 Lipník nad Bečvou
6	Customer 6	Za Reálkou, 751 31 Lipník nad Bečvou
7	Customer 7	Bohuslávská, 751 31 Lipník nad Bečvou
8	Customer 8	Mánesova, 751 31 Lipník nad Bečvou
9	Customer 9	Hrnčířská, 751 31 Lipník nad Bečvou
10	Customer 10	náměstí Osvobození, 751 31 Lipník nad Bečvou
11	Customer 11	Osecká, 751 31 Lipník nad Bečvou
12	Customer 12	Tyršova, 751 31 Lipník nad Bečvou
13	Customer 13	Doktora Brzobohatého, 751 31 Lipník nad Bečvou
14	Customer 14	Na Horecku, 751 31 Lipník nad Bečvou
15	Customer 15	Piaristická, 751 31 Lipník nad Bečvou
16	Customer 16	Loučská, 751 31 Lipník nad Bečvou
17	Customer 17	Příční, 751 31 Lipník nad Bečvou
18	Customer 18	Jezerská, 751 31 Lipník nad Bečvou
19	Customer 19	Na Hliníku, 751 31 Lipník nad Bečvou
20	Customer 20	Na Kopečku, 751 31 Lipník nad Bečvou
21	Customer 21	Jiráskova, 751 31 Lipník nad Bečvou
22	Customer 22	Za Parkem, 751 31 Lipník nad Bečvou

Obr. 4.9 Svozová trasa

Zdroj: [44]



Obr. 4.10 Vizualizace trasy

Zdroj: [44]

Vizualizace optimalizované trasy vychází z bodu 0 ze kterého postupně protíná body jednotlivých ulic které jsou použitým algoritmem vyhodnoceny jako nejrychlejší.

#### 4.1.3 Porovnání svozových tras

Původní trasa je označena písmenem A , optimalizovanou písmenem B.

Tab. 4.3 Porovnání trasy A – B

Trasa	Délka (km)	Čas jízdy (min)	Vyložení odpadu	Počet popelnic	Počet kontejnerů
A	13,30	36	1x	599	18
B	15,43	34	2x	599	18

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce č. X jsou zaznamenány zjištěné údaje kterými obě dvě trasy porovnáváme.

Stoj	Location Name	Distance	Driving time	Arrival time	Departure time	Load
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0
1	Customer 16	0,79	0:01	08:01	08:12	45
2	Depot	1,58	0:02	08:13	08:13	0
3	Customer 17	2,56	0:04	08:15	08:20	22
4	Customer 18	2,89	0:05	08:21	08:22	23
5	Customer 3	3,59	0:07	08:24	08:29	46
6	Customer 4	3,72	0:08	08:30	08:37	74
7	Customer 5	3,96	0:09	08:38	08:50	120
8	Customer 6	4,01	0:09	08:50	08:51	126
9	Customer 7	4,10	0:10	08:52	09:06	179
10	Customer 8	4,19	0:10	09:06	09:11	201
11	Customer 1	4,50	0:11	09:12	09:23	242
12	Customer 2	4,63	0:12	09:24	09:26	250
13	Customer 15	5,07	0:14	09:28	09:29	254
14	Customer 22	5,88	0:16	09:31	09:54	348
15	Customer 10	6,40	0:18	09:56	09:57	349
16	Customer 12	7,13	0:19	09:58	10:20	440
17	Customer 11	8,03	0:20	10:21	10:49	549
18	Customer 9	8,21	0:21	10:50	11:04	608
19	Customer 21	8,30	0:21	11:04	11:05	611
20	Customer 20	8,58	0:22	11:06	11:17	664
21	Customer 19	9,02	0:24	11:19	11:20	668
22	Customer 13	9,28	0:25	11:21	11:23	676
23	Customer 14	11,50	0:29	11:27	11:37	716
24	Depot	15,43	0:34	11:42		0

Obr. 4.11 Optimalizovaná trasa (solutions)

Zdroj: [44]

Tabulka v prvním sloupci označeném modrou barvou značí ulice (customer) v pořadí od začátku sběru odpadu po konec (depot). Číslo za označením customer značí pořadí původní pozice před optimalizací tras. Vzdálenost v kilometrech a čas jednotlivých zastávek společně s časem příjezdu a odjezdu vozidla je zaznamenám v následujících pěti sloupcích označených žlutou barvou. V posledním počtu (load) jsou poznačeny počty sběrných nádob v ulici. Pro lepší orientaci v programu jsou kontejnerové nádoby

přepočítány v měrné jednotce litry na počet 120 l popelnic a následně sečteny společně s počtem popelnic.

<b>trasa III. - Lipník Město</b>			
<b>ČTVRTEK 6M4 8819</b>	<b>popelnice</b>	<b>kontejnery</b>	
	<b>0</b>	<b>DEPOT</b>	<b>0</b>
Losertova, 751 31 Lipník nad Bečvou	23	2 (18)	1
Křížkovského, 751 31 Lipník nad Bečvou	8		2
Palackého, 751 31 Lipník nad Bečvou	23		3
Komenského sady, 751 31 Lipník nad Bečvou	28		4
Mlýnecká, 751 31 Lipník nad Bečvou	46		5
Za Reálkou, 751 31 Lipník nad Bečvou	6		6
Bohuslávská, 751 31 Lipník nad Bečvou	53		7
Mánesova, 751 31 Lipník nad Bečvou	22		8
Hrnčířská, 751 31 Lipník nad Bečvou	59		9
náměstí Osvobození, 751 31 Lipník nad Bečvou	1		10
Osecká, 751 31 Lipník nad Bečvou	46	7 (63)	11
Tyršova, 751 31 Lipník nad Bečvou	73	2 (18)	12
Doktora Brzobohatého, 751 31 Lipník nad Bečvou	8		13
Na Horecku, 751 31 Lipník nad Bečvou	40		14
Piaristická, 751 31 Lipník nad Bečvou	4		15
Loučská, 751 31 Lipník nad Bečvou	36	1 (9)	16
Příční, 751 31 Lipník nad Bečvou	22		17
Jezerská, 751 31 Lipník nad Bečvou	1		18
Na Hliníku, 751 31 Lipník nad Bečvou	4		19
Na Kopečku, 751 31 Lipník nad Bečvou	44	1 (9)	20
Jiráskova, 751 31 Lipník nad Bečvou	3		21
Za Parkem, 751 31 Lipník nad Bečvou	49	5 (45)	22
Loučská 1411, 751 31 Lipník nad Bečvou	<b>AVELI ECO</b>		23
	<b>599</b>	<b>162</b>	
<b>CELKEM JEDNOTEK ODPADU:</b>		<b>761</b>	
<b>Kapacita vozidla</b>	10,5 tun	<b>735 jednotek</b>	
max. kapacita vozidla= 735 jednotek			
hodnota kontejneru činí 9x hodnotu popelnice			
Kapacita vozidla: 10,5 tun			
průměr odpadu na trase: 10,61 tun			
průměrná hmotnost jedné jednotky 13,94kg			

Obr. 4.12 Pracovní list analýzy

Zdroj: Vlastní zpracování

## 4.2 Analýza programu VRP spreadsheet solver

### Výhody a nevýhody VRP spreadsheet solver

#### Výhody:

- Program je snadno použitelný, protože běží v prostředí tabulkového procesoru Excel a obsahuje jednoduché rozhraní, které umožňuje snadno zadávat data.
- Program umožňuje uživateli přizpůsobit a upravit parametry optimalizace, jako jsou kapacita vozidel, časová okna a prioritizace zákaznických požadavků.
- Program dokáže velmi rychle a efektivně vypočítat optimální trasy, což ušetří uživatelům čas a náklady.
- Program dokáže vypočítat nejlepší možnou trasu na základě zadaných parametrů a omezujících faktorů.
- Možnost vizualizace: Program umožňuje vizualizaci navržených tras a umožňuje uživatelům rychle identifikovat problémy v trasách a najít řešení.
- Program podporuje import a export dat v různých formátech, jako jsou CSV, Excel, XML a další.
- Manuál: manuál programu je napsán v angličtině a je přehledně rozdělen v krocích.

#### Nevýhody:

- Program má omezenou funkčnost v porovnání s pokročilými programy pro optimalizaci trasy. Například, nemá možnost řídit více typů vozidel nebo optimalizovat více než jeden den.
- Program má omezené uživatelské rozhraní, což může být pro uživatele nezvyklé a náročné na použití.
- Program je založen na programu Excel, což vyžaduje pokročilé znalosti Excelu.
- V prostředí nastavení nelze rozlišit více sběrných nádob dle objemu nebo typu, což může být problém pro uživatele, kteří pracují s různými typy zboží nebo mají omezení na objem vozidla.



- Při použití programu na menší vzdálenosti v jedné lokalitě může být zadávání přesných adres komplikované, což může způsobit problémy v procesu plánování.
- Program nelze propojit s Google Maps, což může být nevýhodou pro uživatele, kteří již používají Google Maps a preferují tuto aplikaci.

## 5 Zhodnocení návrhu

V rámci optimalizace trasy sběru komunálního odpadu na trase Město III, byla vypočtena průměrná hmotnost odpadu na této trase, která činila 10,61 tun. Na základě tohoto údaje bylo možné vypočítat, že průměrná hmotnost odpadu jedné nádoby o objemu 120 l činí 13,9 kg, což odpovídá 125,5 kg odpadu na jeden 1100 kontejner. Následně byla realizována optimalizace trasy s cílem minimalizovat celkový čas a ujetou vzdálenost. Po provedení optimalizace byl vyhodnocen celkový čas na 3 hodiny 37 minut s dobou jízdy stanovenou na 34 minut. Ujetá vzdálenost svozového vozidla činila 15,43 km.

Pro ověření správnosti výsledků byla původní trasa vložena do webové stránky Bing maps. Doba průjezdu trasy byla vyhodnocena na 36 minut, přičemž doba jízdy se může lišit v závislosti na vytíženosti na dané trase v určitý den a hodinu. Překonaná vzdálenosti na této trase činila 13,3 km. Patrný rozdíl mezi původní trasou a optimalizovanou trasou činí 2 min ku prospěchu optimalizace a 2,13 km méně pro trasu aktuální. Tento rozdíl byl způsoben častějším vyprazdňováním sběrné nádoby vozidla technických služeb na trase. V rámci optimalizace bylo vozidlo nuceno vysypat sběrnou nádobu 2x, zatím co v původní trase, vozidlo tuto zastávku absolvovalo pouze jednou.

Na základě této analýzy lze optimalizaci tras svozu komunálního odpadu shrnout následovně.

U trasy Lipník Město III je dosaženo matematicky správných výsledků s ohledem na průměrnou hmotnost odpadu a požadavku na vyprázdnění sběrné nádoby po dosažení maximální kapacity vozidla, minimalizaci celkového času a dojezdové vzdálenosti. Dle výsledků a porovnání obou tras je zjištěno, že současná trasa A je kratší. Analýza samotného programu VRP solver a jeho prostředí pro tento úkol vyhodnocuje program jako méně vhodný pro optimalizaci svozových tras. Oproti tomu program v prostředí přepravy poštovních zásilek nebo balíku (Zásilkovna, DHL) je pro optimalizaci vhodný a dosahuje uspokojivých výsledků. V současnosti využívaný program SEPAN, který je pro řešení těchto úkolů přímo navržen, funguje podstatně lépe.

## **Závěr**

V předložené teoretické části diplomové práce byla popsána logistika svozu směsného komunálního odpadu a rozepsána témata optimalizací sběru, přepravy a nakládání s odpady. Práce popisuje metody a postupy v logistice odpadového hospodářství, včetně technologií a informačních systémů, které pomáhají zefektivnit procesy a snížit náklady.

Dále byl popsán operační výzkum, jeho vliv na řešení rozhodovacích a optimalizačních problémů v podnikání a průmyslu a také byl rozepsán význam operačního výzkumu pro odpadové hospodářství a konkrétní problémy, kterými se toto odvětví zabývá.

V teorii grafů byly rozvedeny základy teorie a jeho využití v odpadovém hospodářství. Dále odborný popis metody VRP společně s postupy optimalizačního řešení v programu VRP Spreadsheet solver, které byly vysvětleny v jednotlivých krocích.

V první části praktické práce byl popsán současný stav odpadového hospodářství s podrobnou dokumentací spádové oblasti v Lipníku nad Bečvou kde byly obeznámeny inovace, které město provedlo v posledních letech.

Ve druhé části praktické práce byl nejprve vytvořen model současné trasy, který poskytl potřebná data pro porovnání. V programu VRP Solver poté byla provedena optimalizace svozové trasy s cílem zefektivnění sběru odpadu, zajištění šetrnosti k okolnímu prostředí a infrastruktury v centru Lipníka nad Bečvou. Získaná data z obou tras byla porovnána a vyhodnocena, z čehož bylo zjištěno, že stávající trasa dosahuje celkově lepšího výsledku. Pozornost byla také věnovaná samotnému programu a byl sepsán seznam jeho výhod a nevýhod. Celkově bylo hodnocení doporučeného programu stanoveno jako méně vhodné pro řešení optimalizace svozových tras sběru odpadu.

## Seznam zdrojů

- [1] VOŠTOVÁ, Věra. Logistika odpadového hospodářství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1.
- [2] PALÚCH, Stanislav a Štefan PEŠKO. Kvantitativne metody v logistike. Žilina: Žilinská univerzita, 2006. ISBN 80-8070-636-0.
- [3] Nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech: účinnost - 1. ledna 2021. Praha: Verlag Dashöfer, [2021]. ISBN 978-80-7635-056-4.
- [4] Systém automatické identifikace RFID - ET Auto RFID. Telemetrické systémy pro různá odvětví – ELTE GPS Group [online]. Copyright ©2020 ELTE Group [cit. 22.04.2023]. Dostupné z: <http://www.eltegps.cz/nabidka/system-automaticke-identifikace-rfid-et-auto-rfid.html>
- [5] [http://homel.vsb.cz/~dor028/Teorie\\_grafu.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/Teorie_grafu.pdf) [cit. 06.04.2023].
- [6] Informační systém [online]. Copyright ©C2 [cit. 01.04.2023]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/esf/ps06/2985126/es2005-01.pdf>
- [7] Oběhové hospodářství: definice, význam a přínos | Zpravodajství | Evropský parlament. [online]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20151201STO05603/obehove-hospodarstvi-definice-vyznam-a-prinos>
- [8] Skládkování – Jak třídit. Jak třídit – Informace ze světa třídění, recyklace a využití odpadů [online]. Copyright © 1992 [cit. 07.04.2023]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/odpady/nakladani-s-odpady/skladkovani/>
- [9] [online]. Copyright © Ministerstvo vnitra [cit. 14.03.2023]. Dostupné z: [https://sbirkapp.gov.cz/detail/SPPZDFZPQ76SQTTCM?fbclid=IwAR1a\\_HlV-\\_jysBqP6WI2tL3ybwRx\\_vrleNSOwNvjAXISrMyu5spsLgGo6EQ](https://sbirkapp.gov.cz/detail/SPPZDFZPQ76SQTTCM?fbclid=IwAR1a_HlV-_jysBqP6WI2tL3ybwRx_vrleNSOwNvjAXISrMyu5spsLgGo6EQ)
- [10] Shromáždování odpadů nebo už jde o skladování? | Envigroup s.r.o.. Envigroup s.r.o. | Informační portál podnikové ekologie [online]. Copyright © 2015 [cit. 21.03.2023]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/shromazdovani-odpadu-nebo-uz-jde-o-skladovani.html>
- [11] Recyklace - Samosebou.cz. Samosebou.cz [online]. Copyright © 2023 [cit. 25.03.2023]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/slovník/recyklace/>

- [12] Odpadové hospodářství - Ministerstvo životního prostředí. Úvodní stránka - Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 21.04.2023]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/odpadove\\_hospodarstvi](https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi)
- [13] K OZV, kterou se stanoví systém shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů a nakládání se stavebním odpadem - Účetní portál. Účetní portál [online]. Copyright © 2015 [cit. 27.04.2023]. Dostupné z: <https://www.ucetniportal.cz/wiki/html?item=219335>
- [14] Třídění odpadu - Samosebou.cz. Samosebou.cz [online]. Copyright © 2023 [cit. 29.04.2023]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/slovník/trideni-odpadu/>
- [15] 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 29.03.2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541#cast2>
- [16] Nakládání s odpady - optimalizace svozu z komunálu | SOVZ. Odpovědné veřejné zadávání [online]. Copyright © Ministerstvo práce a sociálních věcí ČR, projekt [cit. 29.04.2023]. Dostupné z: <https://www.sovz.cz/predmety/nakladani-s-odpady/>
- [17] Technika na svoz komunálního odpadu. Kaiserservis.cz | Likvidace odpadů | Čištění jímků [online]. Dostupné z: <https://www.kaiserservis.cz/poradna/clanky/technika-na-svoz-komunalniho-odpadu/>
- [18] Odpady - Ministerstvo životního prostředí. Úvodní stránka - Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 11.2.2023]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/odpady\\_podrubrika](https://www.mzp.cz/cz/odpady_podrubrika)
- [19] Ministerstvo životního prostředí [online]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady\\_podrubrika/\\$FILE/OODP-Produkce\\_a\\_nakladani\\_2021-20221031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2021-20221031.pdf)
- [20] Samosebou.cz. Samosebou.cz [online]. Copyright © 2023 [cit. 22.04.2023]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2021/02/11/kolik-odpadu-vyprodukuje-prumerne-kazdy-cech/>
- [21] Rozbory skladby směšného komunálního odpadu z obcí v roce 2020 – EKO-KOM. EKO-KOM – Systém sběru a recyklace obalových odpadů [online]. Copyright © 2011 [cit. 10.04.2023]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/rozbory-skladby-smesneho-komunalniho-odpadu-z-obci-v-roce-2020/>

[22] K OZV, kterou se stanoví systém shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů a nakládání se stavebním odpadem - Účetní portál. Účetní portál [online]. Copyright © 2015 [cit. 04.04.2023]. Dostupné z: <https://www.ucetniportal.cz/wiki/html?item=219335>

ResearchGate | Find and share research [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/314837783\\_USE\\_OF\\_OPERATIONAL\\_RESEARCH\\_METHODS\\_IN\\_LOGISTICS](https://www.researchgate.net/publication/314837783_USE_OF_OPERATIONAL_RESEARCH_METHODS_IN_LOGISTICS)

[24] Simplexová metoda. Algoritmus [online]. Copyright © 2015 [cit. 01.05.2023]. Dostupné z: <https://www.algoritmy.net/article/1416/Simplexova-metoda>

[25] CE-ITI Homepage [online]. Copyright © [cit. 01.03.2023]. Dostupné z: <https://iti.mff.cuni.cz/series/2006/311.pdf>

[26] CW – 05 TEORIE ROZHODOVACÍCH PROCESŮ16. PŘEDNÁŠKA Teorie grafů © Ing. Václav Rada, CSc. Březen 2013

[27] Floyd-Warshallův algoritmus. Algoritmus [online]. Copyright © 2015 [cit. 30.04.2023]. Dostupné z: <https://www.algoritmy.net/article/5207/Floyd-Warshalluv-algoritmus>

[28] CW – 05 TEORIE ROZHODOVACÍCH PROCESŮ- CW057 – p. 24 – 1.3.2017- VUT-POWERPOIN

[29] DSpace at University of West Bohemia: NO TITLE [online]. Copyright © [cit. 10.04.2023],

[30] FD hlavní stránka | ČVUT v Praze Fakulta dopravní [online]. Dostupné z: [https://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1p/lide/michal/clarke\\_wright.pdf](https://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1p/lide/michal/clarke_wright.pdf)

[31] Místopisný průvodce po České Republice - přehledný seznam obcí České republiky [online]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/6275/lipnik-nad-becvou/pocet-obyvatel/>

[32] CLARKE, G; WRIGHT, J. W.: „Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points“, Operations research 12, 1964, strana 568-581

[33] online]. Dostupné z: <https://ksvi.mff.cuni.cz/~dvorak/vyuka/UIN009/Branch.pdf>

[34] Typy nádob | KOMWAG a.s. Komplexní služby v oblasti čištění a odpadů | KOMWAG a.s. [online]. Copyright © 2023 [cit. 01.05.2023]. Dostupné z: <https://www.komwag.cz/odpady/typy-nadob>

[36] Telemetrické systémy pro různá odvětví – ELTE GPS Group [online]. Copyright ©darioacane [cit. 08.05.2023]. Dostupné z: <http://www.eltegps.cz/pdf/systemy-elte-gps-urcene-pro-komunalni-sluzby.pdf>

[37] svozove-spolecnosti - <https://www.odpady.cz>. <https://www.odpady.cz> - Inisoft [online]. Dostupné z: <https://www.odpady.cz/svozove-spolecnosti/#section-120-16> 22.03.2023]

[38] Lipník nad Bečvou - <https://www.odpady.cz>. <https://www.odpady.cz> - Inisoft [online]. Dostupné z: <https://www.odpady.cz/projekty/lipnik-nad-becvou/>[cit. 22.03.2023]

[39] Matematická biologie učebnice: Vlastnosti grafů. Matematická biologie učebnice: Úvod [online]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=zaklady-informatiky-pro-biology--teoreticke-zaklady-informatiky--teorie-grafu--vlastnosti-grafu>

[40] Zpráva\_OH města 2018\_2022\_4\_4\_2023.doc[cit. 21.03.2023]

[41] [online]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo> [cit. 22.03.2023]

[42] Systém automatické identifikace RFID - ET Auto RFID. Telemetrické systémy pro různá odvětví – ELTE GPS Group [online]. Copyright ©2020 ELTE Group [cit. 22.03.2023]. Dostupné z: <http://www.eltegps.cz/nabidka/system-automaticke-identifikace-rfid-et-auto-rfid.html>

[43] [online]. Copyright © [cit. 01.05.2023]. Dostupné z: <https://user.mendelu.cz/marik/wiki-old/inzmat/slidy/grafy.pdf>

[44] Dostupné z: Manuál programu VRP\_Spreadsheet\_Solver\_v3.8.xlsm [cit. 01.05.2023].

[45] Dostupné z: TS Lipník nad Bečvou [cit. 11.04.2023].

[46] Reverzní logistika: GRiT - Automatizace toku dokladů, zboží a peněz [online]. Dostupné z: <https://www.grit.eu/clanky-a-novinky/reverzni-logistika-jak-si-nejlepeporadit-s-materialem-a-zbozim-ktere-zakaznici-vraci>

[47] Dostupné z: EMM12-Teorie-grafu-EL.pdf [cit. 01.04.2023].

[48] Dostupné online z: [www.bingmaps.com](http://www.bingmaps.com) [cit. 01.04.2023].

## Seznam grafických objektů

Obr. 1.1 Oběhové hospodářství .....	14
Obr. 1.2 Řetězec v reverzní logistice .....	16
Obr. 1.3 Reverzní logistika .....	16
Obr. 1.4 Popelnice plastová 120l .....	23
Obr. 1.5 Kontejner 1100l .....	23
Obr. 3.1 Uzlově definovaný graf .....	33
Obr. 3.2 Hranově definovaný graf .....	33
Obr. 3.3 Acyklický graf .....	34
Obr. 3.4 Graf stromu .....	37
Obr. 3.5 Metoda čínského pošťáka .....	40
Obr. 3.6 Hamiltonová cesta .....	41
Obr. 3.7 VRP .....	43
Obr. 3.8 Panel nástrojů VRP solver .....	47
Obr. 3.9 Pracovní plocha VRP – Solver 1/2 .....	48
Obr. 3.10 Pracovní plocha VRP – Solver 2/2 .....	49
Obr. 4.1 Mapa města Lipník nad Bečvou .....	50
Obr. 4.2 RFID čip .....	54
Obr. 4.3 Svozové vozidlo .....	54
Obr. 4.4 Svozové vozidlo .....	55
Obr. 4.5 Anténa RFID .....	55
Obr. 4.6 Sběrné nádoby RFID .....	56
Obr. 4.7 Žádost o nádobu na odpad .....	57
Obr. 4.8 Současná A trasa Město III .....	59
Obr. 4.9 Svozová trasa .....	60
Obr. 4.10 Vizualizace trasy .....	61
Obr. 4.11 Optimalizovaná trasa (solutions) .....	62
Obr. 4.12 Pracovní list analýzy .....	63
Tab. 1.1 Označení komunálního odpadu .....	22
Tab. 4.1 Vývoj cen za likvidaci jednotlivých druhů odpadů 2018–2022 .....	50



Tab. 4.2 Přehled množství odpadů 2018–2022 .....	52
Tab. 4.3 Porovnání trasy A-B .....	61
Graf. 1.1 Produkce složek komunálního odpadu .....	25
Graf. 4.1 Přehled množství SKO 2018–2022 .....	52
Graf. 4.2 Přehled množství separovaného odpadu 2018–2022 .....	53

## **Seznam zkratek**

ČSÚ	Český statistický úřad
ČR	Česká republika
OZV	Obecně závazná vyhláška
SD	Sběrný dvůr
SKO	Směsný komunální odpad
OR	Operační výzkum
VRP	Problém směřování vozidel
CPU	Central processing unit
CSV	Comma separated Value
GIS	Geografický informační systém
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů
TKO	Tuhý komunální odpad

# Seznam příloh

Příloha A Seznam zadávaných adres v programu VRP spreadsheet solver

Příloha A

Seznam adres v programu VRP spreadsheet solver

0	Depot	Loučská 1411, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5382588	17,5945697	0:00	0
1	Customer 1	Losertova, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5278628	17,5849360	0:10	41
2	Customer 2	Křížkovského, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5277884	17,5862358	0:02	8
3	Customer 3	Palackého, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5284100	17,5880791	0:05	23
4	Customer 4	Komenského sady, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5291153	17,5879119	0:07	28
5	Customer 5	Mlýnecká, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5303319	17,5860883	0:11	46
6	Customer 6	Za Reálkou, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5299849	17,5856516	0:01	6
7	Customer 7	Bohuslávská, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5295276	17,5851050	0:13	53
8	Customer 8	Mánesova, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5298290	17,5841317	0:05	22
9	Customer 9	Hrnčířská, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5271660	17,5798312	0:14	59
10	Customer 10	náměstí Osvobození, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5254253	17,5759036	0:00	1
11	Customer 11	Osecká, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5261305	17,5789486	0:27	109
12	Customer 12	Tyršova, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5245544	17,5668082	0:22	91
13	Customer 13	Doktora Brzobohatého, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5269216	17,5752092	0:02	8
14	Customer 14	Na Horecku, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5338767	17,5576408	0:10	40
15	Customer 15	Piaristická, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5255468	17,5840525	0:01	4
16	Customer 16	Loučská, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5315812	17,5918876	0:11	45
17	Customer 17	Příční, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5304128	17,5927529	0:05	22
18	Customer 18	Jezerská, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5301325	17,5956671	0:00	1
19	Customer 19	Na Hliníku, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5272869	17,5770646	0:01	4
20	Customer 20	Na Kopečku, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5300374	17,5782289	0:11	53
21	Customer 21	Jiráskova, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5275078	17,5790975	0:00	3
22	Customer 22	Za Parkem, 751 31 Lipník nad Bečvou	49,5228510	17,5792358	0:23	94

<b>Autor/ka DP</b>	Bc. David Slezák
<b>Název DP</b>	Logistika svozu směsného komunálního odpadu
<b>Studijní program</b>	Logistika
<b>Rok obhajoby DP</b>	2023
<b>Počet stran</b>	57
<b>Počet příloh</b>	1
<b>Vedoucí DP</b>	Ing. Alexander Čapka
<b>Anotace</b>	Diplomová práce se zaměřuje na trasování svozu směsného komunálního odpadu v městě Lipníku nad Bečvou. Práce se skládá z pěti částí, kdy první je více teoreticky zaměřená a věnuje se odpadům a jejich zpracování. Druhá část práce se zabývá operačním výzkumem odpadového hospodářství v Lipníku nad Bečvou. Třetí část se věnuje teorii grafů, čtvrtá část se zabývá optimalizací svozové trasy v Lipníku na základě provedeného operačního výzkumu a za použití metody VRP a poslední část, zhodnocením návrhu trasy a použité metody.
<b>Klíčová slova</b>	komunální odpad, teorie grafu, operační výzkum, optimalizace tras
<b>Místo uložení</b>	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
<b>Signatura</b>	