

Analýza současných trendů v odpadovém hospodářství

Josef Matušinec

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Josef Matušinec**
Osobní číslo: **A17098**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Analýza současných trendů v odpadovém hospodářství**
Téma práce anglicky: **An Analysis of Recent Trends in Waste Management**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši zaměřenou na aktuální stav, popište aktuální problematiku u nás i v zahraničí a platnou legislativu.
2. Proveďte sběr a zpracování dat (získání vhodných dat týkající se produkce a sběru olejů a tuků).
3. Návrhněte matematický model, např. pro podporu optimálního rozmístění sběrných nádob, příp. jejich kapacit, pomocí vhodných statistických nebo optimalizačních metod.
4. Na základě navrhnutého modelu zpracujte případovou studii za použití vhodných/dostupných dat.
5. Vyvoďte závěry, vyjmenujte omezení a nedostatky zvolených přístupů a identifikujte další případné směry vhodné k dalšímu zkoumání.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. GOEL, S. *Advances in solid and hazardous waste management*. Springer International Publishing (2017). ISBN: 978-3-319-57074-7.
2. GOTTINGER, H.W. *Economic models and applications of solid waste management*. Gordon and Breach Science Publishers New York (1991). ISBN: 2-88124-398-3.
3. GHIANI, G., LAPORTE, G. a MUSMANNO, R. *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons (2004). ISBN: 0-470-84917-7.
4. RAMOS, T.R.P., GOMES, M.I. a BARBOSA-PÓVOA, A.P. *Planning waste cooking oil collection systems*. Waste Management 33: 1691-1703 (2013). DOI: 10.1016/j.wasman.2013.04.005
5. JIANG, Y. a ZHANG, Y. *Supply chain optimization of biodiesel produced from waste cooking oil*. Transportation Research Procedia 12: 938-949 (2016). DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.045

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Hrabec, PhD.

Ústav matematiky

Datum zadání bakalářské práce: 17. prosince 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Josef Matušinec, v. r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou současného stavu odpadového hospodářství. V teoretické části, kde je kladen důraz na tukový odpad, jehož recyklace se aktuálně razantně rozšířila, je realizována rešerše a sběr dat. Popsány jsou i bezpečnostní problémy, které souvisejí se sběrem tohoto odpadu. Logistika a optimalizace jsou další oblasti, které jsou klíčové v odpadovém hospodářství a jejich popis je uveden v této části. V praktické části je prezentován navrhnutý matematický model, který je následně implementován v softwaru GAMS. Závěrem jsou demonstrovány výsledky výpočtů pro vzorek pěti obcí v ČR a rozebrán směr dalšího vývoje s případnými modifikacemi použitých přístupů.

Klíčová slova: odpadové hospodářství, logistika, tukový odpad, model, GAMS

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the problematics of the current state of waste management. In the theoretical part, where the emphasis is on fat waste, of which the recycling currently expanded rapidly, a search and data collection is carried out. The safety problems associated with the collection of this waste are also described. Logistics and optimization are next areas, that are key in waste management and their description is provided in this section. The practical part presents the proposed mathematical model, which is then calculated in GAMS software. Finally, the results of calculations for a sample of five municipalities in the Czech Republic are demonstrated and the direction of further development is analysed with possible modifications of the approaches used.

Keywords: waste management, logistics, fat waste, model, GAMS

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Dušanovi Hrabcovi, Ph.D. za jeho vedení, cenné rady, čas a nekonečnou trpělivost, bez které by tato práce nevznikla. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimírovi Nevrlému a Ing. Radovanovi Šomplákovi, Ph.D. za jejich konzultace a ochotu při řešení této práce. Dík také patří Ing. Jiřímu Pechovi, Ph.D. za konzultaci a možnost seznámení se s laboratoří na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Dík také patří všem osloveným městům a Čistírně odpadních vod Malenovice, která mi poskytla informace.

Rád bych poděkoval své rodině a přítelkyni za velkou podporu a trpělivost nejen při tvorbě této práce, ale i po celou dobu studia.

Táto práce vznikla za podpory projektu "Nové přístupy operačního výzkumu pro udržitelnost v odpadovém hospodářství" č. GA 20-00091Y financovaného Grantovou agenturou České republiky.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	11
1.1 STAV ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ V EU	11
1.1.1 Oběhová ekonomika.....	11
1.1.2 Aktuální stav v členských zemích EU	12
1.2 STAV ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ V ČR	13
2 LOGISTIKA A OPTIMALIZACE V ODPADOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ	15
2.1 DODAVATELSKÝ ŘETĚZEC	16
2.1.1 Lokality vhodné pro výstavbu zpracovatelských zařízení	17
2.2 NÁDOBY URČENÉ PRO ODPADY	17
2.2.1 Konvenční typ recyklačních nádob	17
2.2.2 Speciální typy recyklačních nádob.....	18
2.2.3 Moderní odpadové nádoby.....	18
2.2.4 Ostatní typy kontejnerů	19
3 PRODUKCE A SBĚR OLEJŮ A TUKŮ	20
3.1 PRODUCENTI TUKOVÉHO ODPADU	21
3.2 SBĚR TUKOVÉHO ODPADU	21
3.3 ZPRACOVÁNÍ V ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD.....	22
3.4 VÝROBA BIONAFY Z TUKŮ.....	24
3.5 VĚDECKÁ ČINNOST ZAMĚŘENÁ NA TUKOVÝ ODPAD	25
3.5.1 Zaměření aktuální vědecké činnosti.....	26
3.6 AKTUÁLNÍ DATA V ČR.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 MATEMATICKÝ MODEL	30
4.1 DEFINICE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	30
4.1.1 Zadání úlohy.....	30
4.1.2 Zajištění dat pro model.....	30
4.2 TVORBA MODELU	31
4.2.1 Účelové funkce modelu.....	32
4.2.2 Omezení funkcí	32
5 IMPLEMENTACE MODELU DO SOFTWARE GAMS	34
5.1 OMEZENÍ TRVÁNÍ VÝPOČTU.....	34
5.2 ZÁPIS MNOŽIN, PARAMETRŮ, PROMĚNNÝCH A ROVNIC	35
5.2.1 Parametry	36
5.2.2 Proměnné.....	37

5.2.3	Rovnice	38
5.3	NASTAVENÍ MODELU A JEHO SPUŠTĚNÍ.....	38
6	VÝSLEDKY PRÁCE	40
6.1	NASTAVENÍ VÝPOČTU	40
6.2	VÝBĚR OBCÍ A VÝSLEDKY VÝPOČTŮ	40
6.3	NEDOSTATKY A OMEZENÍ VÝPOČTU	44
6.4	MOŽNÉ SMĚRY DALŠÍHO VÝZKUMU	44
	ZÁVĚR	45
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	46
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK.....	52
	SEZNAM PŘÍLOH.....	53

ÚVOD

Odpadové hospodářství je obor, který se neustále vyvíjí a přináší stále nové problémy k řešení. Příkladem mohou být nové typy odpadu a hledání optimálních cest k jeho recyklaci. Nové přístupy a řešení se neomezuje na čistě technickou část, ale musí být reflektovány i v dalších odvětvích, jako je například legislativa související s odpady, informovanost, logistika a optimalizace. Právě logistika a optimalizace mohou nabídnout řešení takových problémů, jako je transport odpadu, umístování recyklačních středisek nebo skladba vozového parku zajišťující svoz odpadu dle daných požadavků. Tato oblast zasahuje do každodenního života lidí a vytvořené inovace v ní nemusí být nutně omezeny jen na použití v tomto odvětví, ale mohou přinést užitek i v jiných resortech.

Příkladem problému, jenž je aktuálně řešen, je optimalizace rozmístění kontejnerů pro tukový odpad na obecní úrovni. Tato situace vznikla novými legislativními požadavky, které vyžadují po obcích zajištění recyklace tohoto materiálu. Spousta obcí vybrala řešení umístění kontejnerů do ulic, které více motivuje občany k jeho recyklaci. Řešení rozmístění aktuálními způsoby ale není zcela ideální a potenciál šetrnějšího provozu sítě není zcela využit.

Oproti konvenčním recyklačním nádobám musí mít kontejnery na tuky zabezpečovací mechanismy, které zabrání případnému úniku tuku. Tuk na ulici může vyústit v problémy, jako je silný zápach či vysoce kluzký povrch, který může být nebezpečný pro širokou veřejnost.

Tato práce si stanovuje za cíl v teoretické rovině analyzovat současné trendy v odpadovém hospodářství, přičemž se zaměřuje na problém logistiky, který souvisí s rapidním nárůstem množství nově recyklovaného tukového odpadu. Popsáno je také využití a možnosti zpracování odpadních tuků, které je možno technologickými procesy přeměnit na lukrativní komodity a tím zužitkovat tento vysokoenergetický odpad místo pouhého skládkování.

Přínosem práce je navrhnutí možného řešení aktuální situace v logistice. Navrhnutý matematický model představuje alternativní řešení ke konvenčnímu umístování nádob osobami. Pro lepší praktické využití modelu jsou naznačeny směry a úpravy, které by toto řešení pomohly využít v praxi. Popsané následky a dopady neřešení nakládání s tukovým odpadem slouží ke zvýšení informovanosti a zdůvodnění smyslu recyklace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Odpadové hospodářství (OH) je široký pojem, který může zahrnovat spoustu odvětví oborů a zaměření. Veřejností nejvíce využívaným odvětvím je OH pevného odpadu, kde odpad představuje všechny typy pevných látek, které již nemají pro jeho majitele hodnotu. Významným typem těchto odpadů je komunální odpad (KO). Jde o odpad, který je vytvořen na území obce fyzickými osobami. Recyklace tohoto odpadu a jeho následné zpracování je široce používáno a stalo se součástí chodu domácností [1].

Existuje však nespočet jiných typů odpadu, které nejsou ani zdaleka tak recyklované. Jako jeden z těchto odpadů, který každá domácnost produkuje, je kuchyňský olej a jiné potravinářské tuky.

1.1 Stav odpadového hospodářství v EU

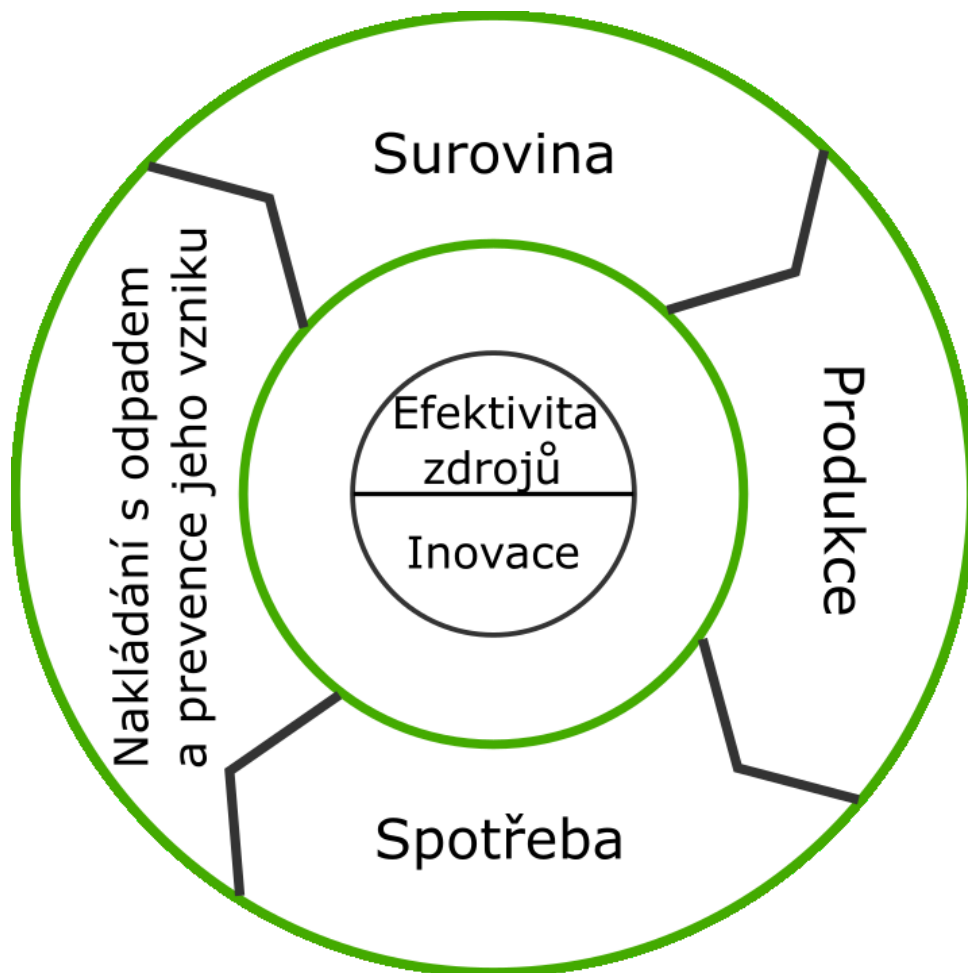
Na vývoj v oblasti životního prostředí klade důraz Evropská unie. Tato instituce má své vlastní vize a strategie, kterých by chtěla dosáhnout v oblasti OH. Tyto myšlenky by měly být implementovány do legislativy jednotlivých členských států a měly by vést k dlouhodobě udržitelné oběhové ekonomice.

1.1.1 Oběhová ekonomika

Oběhová ekonomika jako taková má za úkol vytvořit nové pracovní příležitosti, zredukovat uhlíkovou stopu evropských zemí a dosáhnout tak většího rozvoje. Tohoto cíle má dosáhnout za pomoci 6 kroků [2], viz Obr. 1. Jednotlivé segmenty představují postupy či oblasti, které směřují k požadovanému výsledku.

Čtyři tyto segmenty jsou propojeny a navzájem spolu souvisí. Pojem surovina představuje vrácení recyklovaných materiálů zpět do oběhu. Segment produkce klade důraz na podporu a propagaci ekologicky zaměřených produkcí. Spotřeba je úsek, kde je hlavní náplní poskytování spotřebitelům možnost ekologických produktů a zvýšení informovanosti. Poslední propojený segment se zaměřuje na redukci vzniku odpadu a na jeho správné zacházení.

Dvě oddělené součásti řetězce jsou neméně důležité, ale nevstupují přímo do životního cyklu využívaných zdrojů. Část efektivity zdrojů se zaměřuje na využívání používaného materiálu do jeho maximálního potenciálu. Inovační součást oběhové ekonomiky by měla podporovat nové ekologické technologie a inovace.



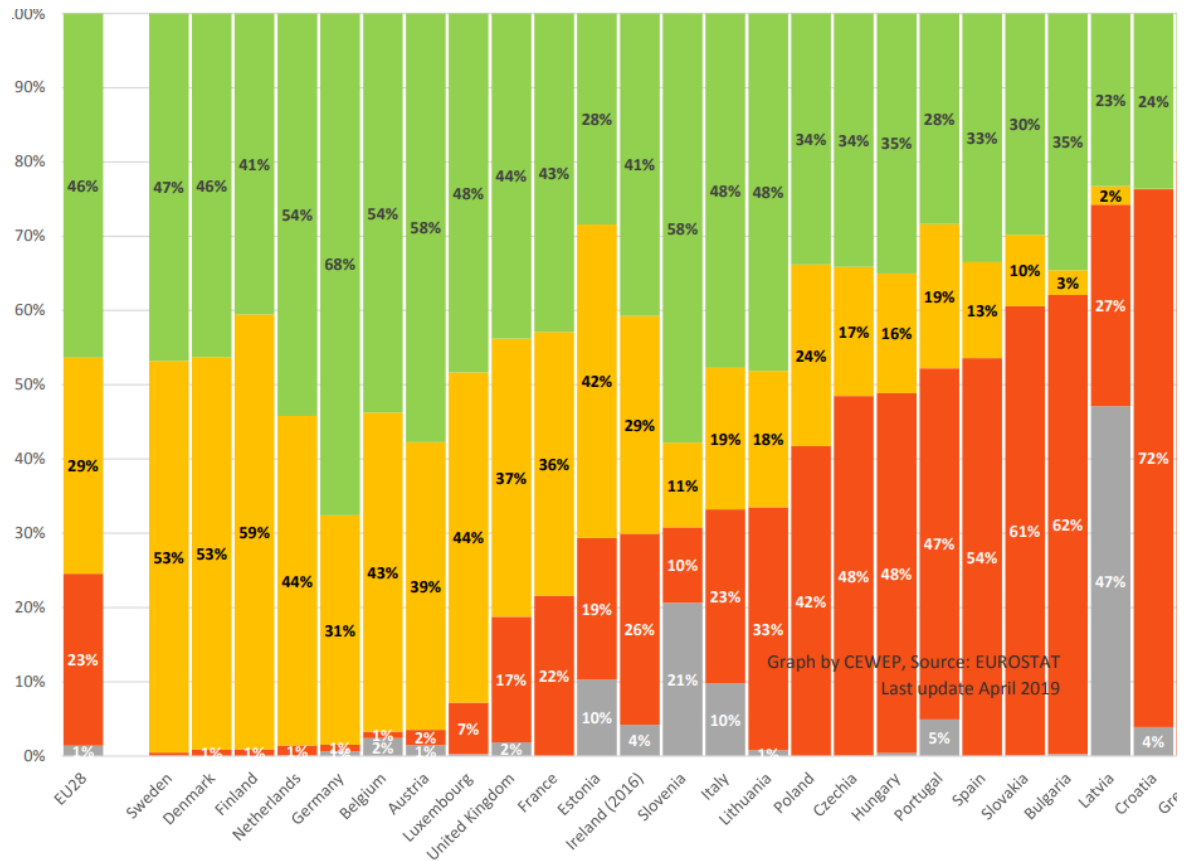
Obrázek 1 Hlavní body oběhové ekonomiky (převzato a upraveno [2])

1.1.2 Aktuální stav v členských zemích EU

Nakládání s odpady je i přes markantní rozdíly v jednotlivých státech všude tématem, a to nejčastěji na komunální úrovni politiky. Rozvoj OH se týká všech členských zemí EU. Některé z těchto zemí jsou zodpovědné k životnímu prostředí a aktivně se zajímají o zlepšení situace v této oblasti. Z hlediska statistik je nejvíce všeho druhu odpadu na osobu ve Finsku, kde na každého finského občana připadá 22,4 tuny odpadu za rok. Naopak nejméně vyprodukuje občan Chorvatska, kde připadá na jednoho občana 1,265 tuny odpadu. Tato čísla se zdají jako ohromná, je třeba je ovšem vidět v širším kontextu, jelikož odpad domácností představuje ve Finsku z celkové produkce pouhé 1 %, kdežto v Chorvatsku 22 % [3].

Problém ovšem nespočívá pouze v produkci odpadu, ale hlavně v jeho typu a následném zpracování. Finsko tedy na rozdíl od Chorvatska dokáže 41 % KO recyklovat a kompostovat, 59 % přeměnit na energii a pouhé 1 % se nachází na skládkách. Chorvatsko skládkuje 72 % KO a 24 % recykluje nebo kompostuje (o zbylém odpadu nejsou získána

data). Na Obr. 2. Je uvedeno srovnání vybraných zemí EU v nakládání s KO. Zelený sloupec znázorňuje recyklaci a kompostování, žlutý přeměněnu na energii (např. spalování), červený skládkování a šedý představuje chybějící data.



Obrázek 2 Nakládání s odpadem v roce 2017 [4]

Jako nejvíce ekologicky zaměřená země EU bývá označováno Švédsko. Důvodů, proč je v takové míře považováno za vedoucí zemi v tomto směru, je hned několik. Lidé ve Švédsku mají dostupné kvalitní informace o politice jejich vlády v oblasti životního prostředí, aktivně se zajímají o tuto oblast a upřednostňují nákup produktů z ekologicky zaměřeného hospodářství. Švédská vláda si také klade sama vlastní cíle na zlepšení situace v zemi a nespolehá se pouze na doporučení EU. Regulace a politika, kterou se Švédsko ubírá, bývá prosazována nejen na státní úrovni, ale mnohdy se toto děje i na lokální úrovni, což vede k většímu zapojení veřejnosti. Jedním z konkrétních kroků, které jsou ve Švédsku zavedeny, je daň za emise oxidu uhličitého, která je osvědčeným efektivním nástrojem [5].

1.2 Stav odpadového hospodářství v ČR

V ČR připadá na jednoho občana kolem 2402 kg odpadu [3]. Tento odpad ovšem zahrnuje všechny druhy, tedy i například odpad z těžby. Recyklace se již stala pro většinu domácností

samozřejmostí a součástí každodenního života. Následné nakládání s tímto odpadem ovšem není ani z daleka ideální. KO v ČR je z 48 % skládkován, 34 % recyklován nebo kompostován a zbylý končí v zařízeních na energetické využití odpadu (ZEVO) [4].

2 LOGISTIKA A OPTIMALIZACE V ODPADOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ

Odpadu je vytvářeno každý den ohromné množství, je tedy velmi důležité zajistit jeho správný a efektivní svoz a sběr. Podstatnými prvky systému při řešení této problematiky jsou především logistika a optimalizace. Tyto obory si kladou za cíl transportovat požadované typy materiálu na požadované místo co nejefektivnějším způsobem [6].

Příkladem problému při ideálním navržení logistického systému sběru může být rozmístění optimálních nádob a jejich umístění. Rozmístění těchto kontejnerů je omezen přístupovými cestami, jež ke kontejneru musí vést, a hlavně ve vlastnictví pozemku, na který jsou nádoby umístěny. Město, jež zpravidla určí místa sběru, musí počítat jen s pozemky, které nejsou v soukromém vlastnictví jiného subjektu.

Samotné rozmístění nádob pro sběr odpadu není jediný problém při řešení logistických a optimalizačních úkolů. Jeden z nejdůležitějších bodů pro efektivní a správné fungování systému je určení vhodných lokalit, ve kterých se bude odpad zpracovávat nebo soustřeďovat. Tato místa mohou představovat spalovny, recyklační střediska, skládky, překládací stanice, kompostárny nebo bioplynové stanice [7].

Výzkum v oblasti KO a veřejností dlouho recyklovaného odpadu je poměrně rozsáhlý. Tento výzkum probíhá na mnoha úrovních, jelikož je problematika kolem odpadového hospodářství poměrně rozsáhlá, výzkumy se mohou týkat spousty oborů a jejich směrů. Příkladem mohou být výzkumné činnosti, jež se týkají tvorby modelu sběru pevného KO [8], procesu skládkování papírového odpadu [9], analýzy oběhu biomateriálu [10], problematiky legislativních požadavků na využívání recyklovaného skla [11] nebo ekonomické analýzy sítě zařízení pro nakládání s odpady [12]. Díky výzkumu, zájmu veřejnosti, politickému tlaku a jiným faktorům, již existuje infrastruktura týkající se těchto odpadů. Cíle, které si vytyčila EU, však vyžadují kroky, které tuto infrastrukturu rozšíří či doplní.

Nedostatek výzkumné činnosti z pohledu optimalizace zpracovatelských řetězců se týká většinou nových a méně známých typů odpadu. Nejen díky tomuto je zde deficit funkční infrastruktury, která by zaštiťovala nakládání s těmito odpady. Ukázkovým příkladem tohoto nedostatku mohou být tuky, u kterých musí obce zajistit soustřeďování dle vyhlášky č. 321/2014 Sb. Text v následující podkapitole bude směřován beze ztráty obecnosti na tomto druhu odpadu.

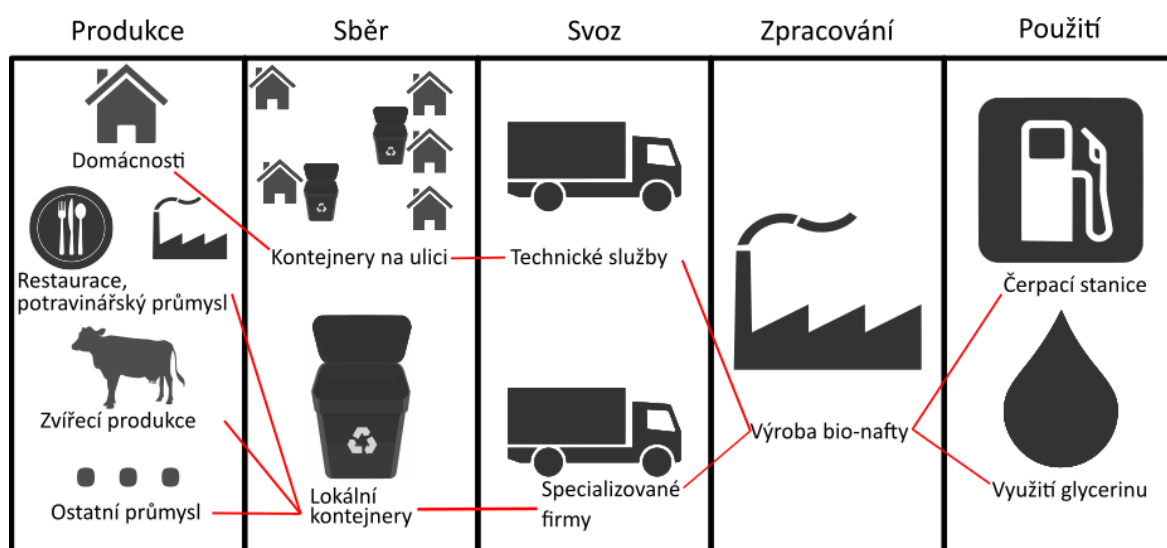
2.1 Dodavatelský řetězec

Jako jeden z nejdůležitějších pojmů v logistice, která souvisí s odpadovým hospodářstvím, je zpracovatelský řetězec. Tento pojem zahrnuje cestu materiálu z místa na místo a jeho zpracování. Řetězec je většinou odlišný a je sestavován pro každý zadaný problém zvlášť.

Cesta použitého jedlého oleje z domácnosti, který se technologickým postupem přemění na bionaftu a její následné využití je tedy jeden z reálných příkladů využití dodavatelského řetězce.

Nejprve je potřeba získat použitý jedlý tuk z domácnosti na lokální sběrné místo. Výběr lokálních sběrných míst probíhá v gesci obce, která dle různých kritérií určí, kde budou tyto kontejnery finálně umístěny. Z tohoto místa je následně obsah kontejneru převezen do distribučního centra, kde se soustřeďuje odpad tohoto typu. Distribuční centra jako taková nemají technické prostředky a vybavení pro výrobu bionafty z tuku. Tuto část obstarávají specializované továrny na výrobu bionafty, které následně dodávají finální produkt buď do jiných továren, anebo přímo na čerpací stanice. Další možností zpracování tuku je jeho přeměna na energii ve spalovnách. Na Obr. 3. je tento řetězec znázorněn.

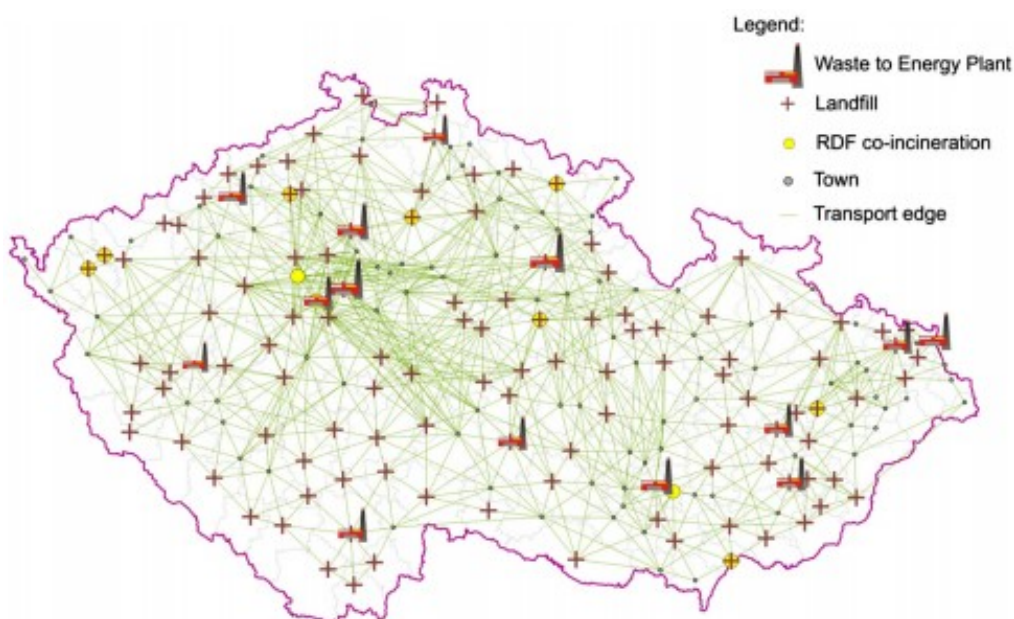
Své využití najde i vedlejší produkt výroby bionafty, tedy glycerin, a to v kosmetickém, potravinářském či zdravotnickém průmyslu, kde může sloužit jako součást produktů těchto odvětví.



Obrázek 3 Dodavatelský řetězec zaměřen na potravinářské tuky

2.1.1 Lokality vhodné pro výstavbu zpracovatelských zařízení

Díky optimalizované přepravě můžeme zrychlit proces recyklace odpadu a zlevnit samotný provoz služeb svozů odpadu [13]. Svoz je další z významných problémů, na které se logistika a optimalizace zaměřuje. Jedním z problémů, které se řeší, je umístění míst, do kterých se sesbíráný odpad sváží a soustřeďuje, viz Obr.4. Tato místa musí být zvolena takovým způsobem, aby provoz celého systému byl ekonomicky co nejméně zatěžující [14].



Obrázek 4 Příklad rozmístění spaloven pomocí logistiky [15]

2.2 Nádoby určené pro odpady

Jednotlivé druhy odpadů jsou převážně specifické svými vlastnostmi. Některé typy odpadů tedy potřebují odlišné druhy nádob, než jsou konvenční plastové kontejnery. Tyto prostředky sběru odpadu mohou být vyrobeny nejen z plastu, ale i z kovu. K jednoduchému rozlišení jednotlivých druhů nádob nám slouží barevné rozlišení.

2.2.1 Konvenční typ recyklačních nádob

Nejčastěji využívaným typem nádoby pro sběr recyklovaného odpadu je plastový kontejner o různých objemech, nejčastěji však ve variantách 120, 240, 660, 770 a 1100 litrů. Pro snadnou manipulaci jsou použita kolečka.

2.2.2 Speciální typy recyklačních nádob

Příkladem specifické potřeby nádob může být sběr jedlých tuků. Tento druh odpadu přináší problém ve vlastnostech kapalin a jejich zátěže na životní prostředí. Pokud by při sběru bylo využito konvenčních kontejnerů, mohlo by při jeho převrácení dojít k úniku tekutiny z nádoby. Tento stav představuje poměrně velký problém, jelikož olej jde velmi těžce odstranit z povrchů. Navíc tyto tuky po jejich zpracování silně zapáchají a jsou tak velmi nepříjemné pro občany.

Abychom předešli tomuto stavu, využívá se k recyklaci olejů kontejnerů, jež obsahují bezpečnostní mechanismus, který zajišťuje ochranu před průtokem i při převrácení. Jako prostředek ochrany se může využívat jednoduchý řetěz s visacím zámkem, popřípadě jiné mechanismy, viz Obr. 5. Do těchto nádob se následně vkládá olej v uzavíratelné PET lahvi. Poučení pro občany, jak nakládat s tímto zařízením, je taktéž důležitým prvkem nádob.



Obrázek 5 Nádoba pro sběr jedlých olejů a tuků [16]

2.2.3 Moderní odpadové nádoby

Nové technologie nám přináší spoustu nových příležitostí a možností, jak zlepšit a inovovat sběrné nádoby. Příkladem nového přístupu k těmto technickým prostředkům je inovativní

koš, jenž v sobě ukrývá LCD obrazovku, která promítá předpověď počasí, stav dopravy a jiné užitečné informace pro život občana ve městě, viz Obr. 6. Díky komunikaci s centrálou mohou být využívány státními složkami i v případě stavu nouze, kdy se na obrazovkách zobrazí hláška o dané situaci. Další funkce mohou přinášet bezdrátové připojení k internetu nebo jsou využívány pro komerční účely [17].



Obrázek 6 Moderní odpadová nádoba Renew [17]

2.2.4 Ostatní typy kontejnerů

Dalším příkladem jiných než konvenčních kontejnerů, jsou kontejnery podzemní. Díky uložení kontejneru pod zemí je šetřeno místo veřejného prostoru. Tyto kontejnery ale prozatím nejsou vhodné pro tukový odpad.

3 PRODUKCE A SBĚR OLEJŮ A TUKŮ

Efektivní nakládání s oleji a tuky pro splnění evropských směrnic není jedinou motivací, proč se na tento typ KO detailně zaměřit. Oleje a jiné tuky představují podstatný problém v kanalizační síti. Při ochlazení se v kombinaci s jinými pevnými částmi vytvoří odolná pružná hmota, která se velmi těžce odstraňuje. Tukové balvany se vytváří především společně s vlhčenými ubrousky, které občané vyhazují do kanalizační sítě (viz Obr. 7.). Následky těchto tukových nánosů mohou být různé, patří mezi ně zápach, omezení průtoku vody, kompletní ucpání kanalizace, havárie v kanalizaci či vytopení nemovitosti, u které došlo k ucpání. K omezení havárií kanalizací, které jsou finančně velmi náročné, může přispět efektivní recyklace olejů a tuků, jak je motivováno směrnicemi EU.



Obrázek 7 Ucpaná kanalizace tukovými balvany [18]

Správná identifikace subjektů, jež vytváří tukový odpad, je důležitým krokem k návrhu opatření, které vedou k efektivnímu sběru a svozu tohoto odpadu. Při nesprávném vyhodnocení a nastavení systému dojde ke zvýšení nákladů na svoz. Příkladem špatné identifikace subjektu může být soukromé restaurační zařízení, jež má povinnost si zajistit

nakládání s tímto odpadem na své vlastní náklady a nezatěžovat jím veřejné recyklační nádoby.

3.1 Producenti tukového odpadu

Největší producenti tukového odpadu jsou ekonomické subjekty jako restaurace, řetězce rychlého občerstvení, jídelny apod. Tato zařízení mají povinnost dle zákona č. 185/2001 Sb. zařizovat korektní nakládání s odpady.

Domácnosti jsou druhým největším spotřebitelem potravinových tuků. Neexistuje žádný předpis, který by přikazoval recyklaci tohoto druhu odpadu domácnostem v ČR. Nástroje, kterými můžeme zvýšit objem recyklovaného oleje, jsou tedy větší motivace, informovanost a dostatečný počet míst, kde mohou občané tento odpad odevzdávat.

Velká část populace ČR není motivována a ani informována, proč je dobré recyklovat tuky. Zvýšení informovanosti může být dosaženo několika způsoby. Velice účinný nástroj představuje reklamní kampaň. Tato kampaň by seznamovala občany se správným nakládáním s potravinovými tuky a vysvětlovala, proč je důležité je recyklovat a k čemu může tento odpad ještě posloužit.

3.2 Sběr tukového odpadu

Sběr tukového odpadu není v ČR povinný pro domácnosti. Do roku 2020 bylo oddělené soustředování jedlých olejů a tuků v rámci obce dobrovolné, bylo tedy jen na obci, zda bude tuto oblast zaštiťovat pro své občany či nikoliv. Od roku 2020 má však každá obec povinnost dle vyhlášky č. 210/2018 Sb. zajistit toto soustředování.

Obce nejčastěji plní tuto povinnost umístěním speciálních kontejnerů, které jsou určeny pro potravinové tuky. Další možnosti, které obce mohou využít, jsou soustředování do sběrných dvorů nebo distribuce speciálních nádob občanům, které následně lidé odevzdají na určené místo. Na rozdíl od kontejnerů v ulicích nejsou tato místa přístupná občanům nepřetržitě a jejich počet bývá výrazně menší, jsou tedy pro spoustu domácností vzdálené a tím klesá motivace.

V praxi funguje výběr míst pro umístění recyklačních nádob většinou jako odhad daného úředníka, jenž má za úkol určit tyto lokality. Určení lokalit je omezeno na místa, která nejsou v ničím soukromém vlastnictví (krom obce). Odhad nebývá optimální, abychom dosáhli

optimálního rozložení, využívá se matematických metod, které tohoto můžou dosáhnout. Mezi tyto metody patří například smíšené celočíselné lineární programování [19].

Důležitým faktorem pro efektivní sběr tohoto odpadu je docházková vzdálenost k jednotlivým kontejnerům. Čím menší tato vzdálenost bude, tím větší bude motivace lidí k odevzdávání tohoto odpadu [20]. Se vzrůstajícím počtem nádob však rostou také náklady na svoz a údržbu nádob. Jako řešení je tedy vhodné vybrat kompromis, jenž bere v potaz minimalizaci docházkové vzdálenosti k nádobě a počet nádob při zachování přijatelné efektivity systému [21].

3.3 Zpracování v čistírně odpadních vod

Potravinové a jiné tuky nepředstavují problém jen v kanalizační síti, ale i v čistírnách odpadních vod (ČOV). Voda, jenž do těchto zařízení směřuje, musí být tedy upravována a zbavena veškerého tuku. K oddělování tuků dochází v ČOV po filtraci hrubých částic ve vodě, tyto částice mohou představovat šterk, kamení, větve apod. Zároveň s touto separací může probíhat také odstranění písku, jenž se usazuje na spodu nádob. Lapač tuků v ČOV může být v provedení stěny, za kterou se shromažďuje tuk. Tento odpad se usazuje na povrchu vody a po soustředění za oddělovací stěnu systému je sesbírán stěrkou, která se pohybuje koridorem a odpad tak přenáší do příslušných nádob s tukem. Po dokončení sběru je stěrka omyta konstantně proudící vodou a potom se stěrka vrací na začátek koridoru, kdy po půl hodině opakuje tento úkon. Voda v separačních kádích písku a tuku není odebírána z vrchní vrstvy, jelikož ta obsahuje tuk a ani ze spodní vrstvy, která obsahuje písek. Na Obr. 8. je zachycena stěrka tuku v ČOV Malenovice, která shrabuje a zachycuje tento odpad.



Obrázek 8 Kád' se stěrkou

Jelikož takto sesbíraný tuk stěrkou stále obsahuje vodu, je zapotřebí další separace. Nádoby určené pro tuk tedy bývají v ČOV často tříkomorové. V každé komoře dochází k usazení odpadu, ten se postupně usazuje v první komoře, ze které následně přebytečná voda s tukem, jenž se neusadil, přechází do komory druhé, viz Obr. 9. Při posledním usazení v komoře třetí již voda obsahuje zanedbatelné množství tuku a je tak převedena zpět do kádí se separací písku a tuku.

V provozu může dojít k ucpání otvoru, jenž přivádí tuk s vodou, který nashromáždila stěrka. Jelikož se tuk usazuje na stěnách této trubky, musí být přívod odpadu rozmontován a ručně vyčištěn. Nádoby pro usazování tuku potřebují náležitou údržbu. Tento odpad je velmi tuhý, jelikož neobsahuje skoro žádnou vodu. Kádě jsou také ve venkovním prostředí a v zimních měsících mohou zatuhnout ještě více.

Tento vysoce pevný odpad musí být vybagrován, jelikož jeho odstranění lidskou silou je vysoce neefektivní. Vyvážení a údržba tohoto zařízení je prováděna dle potřeby, není stanoven periodický vývoz. Odhad údržby je odvoz kolem 6 tun odpadu jednou za 3 měsíce. Tento odpad je již těžce použitelný v průmyslu, ale stále má vysokou energetickou hodnotu. Tohoto využívají teplárny, které ho spálí a přemění ho na energii.



Obrázek 9 Odpad v tříkomorovém systému

3.4 Výroba bionafty z tuků

K výrobě bionafty z potravinářského tuku se využívá proces transesterifikace. Při tomto zpracování je do tuku přidán metanol společně s katalyzátorem. Díky tomuto se oddělí estery od glycerolu. Volné estery jsou výsledná bionafta. Po oddělení bionafty zůstane k následnému využití glycerin, jenž je nezbytnou součástí například kosmetického průmyslu. Alkohol, jenž byl přidán do procesu, je destilací oddělen a může být znovu použit.

Podmínky procesu výroby bionafty nejsou nijak zvlášť náročné. Při dodržení správných poměrů a postupů je proces výroby bezproblémový. Vyšší nároky jsou kladeny na prostředky, ve kterých se výroba uskutečňuje (viz Obr. 10), ty musí být konstrukčně kvalitně zpracovány, jelikož zde dochází k odpařování vysoce hořlavé látky. Tato látka je nebezpečná při vdechnutí člověkem, proto je nebezpečné provádět tento proces v domácím prostředí.



Obrázek 10 Vybavení pro výrobu biopaliva z tuku – FAI UTB

3.5 Vědecká činnost zaměřená na tukový odpad

Vědecký výzkum v oblasti odpadového hospodářství jako takového je stále aktuálním tématem. Oblasti, ve kterých je potřeba rozšíření výzkumu, jsou například logistika, zpracovatelský průmysl, skladování a nakládání s tímto odpadem. Tento vědecký výzkum je taktéž aktuální díky novým druhům odpadů a novým technologiím, které tento odpad mohou zpracovávat.

Jeden z těchto odpadů, ve kterém stále probíhá vědecký výzkum, je i tukový odpad, který byl dříve nezpracovatelný a představoval nevyužitou energii. Po zkoumání možností jeho využití se z něj stala komodita, která je využitelná. Nedostatečné pokrytí a využití neoptimálních metod a postupů v jeho zpracovatelském řetězci představuje nevyužitý

prostor pro vědecký výzkum. Při správném využití prostředků svozu tohoto odpadu dojde ke snížení nákladů na údržbu řetězce v chodu a energetické úspore.

3.5.1 Zaměření aktuální vědecké činnosti

V Tab. 1. je seznam aktuálních dostupných článků, které se zabývají problematikou odpadních tuků. Tabulka obsahuje kritéria dle zaměření článku, kde zaškrtnutí znázorňuje, že se článek zabývá danou částí řetězce. Z této tabulky je patrné, že na sběr tukového odpadu, jenž se odehrává na úrovni domácností, je deficit výzkumné činnosti. Při zaměření na tento problém je nejvýše vhodné využívat dostupných postupů z příbuzného tématu, jako je například KO. Určité metody, které se využívají u ostatních druhů odpadů, jsou však neslučitelné s tuky. Specifika tohoto odpadu vychází z jeho fyzikálních vlastností, které jsou odlišné od jakéhokoli jiného odpadu.

Logistické úlohy, které jsou řešeny pomocí optimalizačních metod, potřebují nezbytná data k jejich správnému vyřešení [22]. Deficit těchto důležitých dat představuje velký problém, který je zapříčiněn poměrně nedávným začátkem sběru tukového odpadu. Postupný sběr těchto potřebných dat vede k zpřesnění prognóz produkce tohoto odpadu, což vede k zefektivnění návrhu OH. Další potřebná data pro optimalizaci návrhu jsou zalidnění jednotlivých míst, vlastnosti dopravní infrastruktury, dostupná místa pro odevzdávání odpadu a jiné stěžejní údaje. Čím více dat má subjekt, jenž má zájem o optimalizaci návrhu OH, tím lepších výsledků a úspor může dosáhnout. Včasné zařazení sběru odpadu a zaznamenávání dosažených výsledků tedy vede k rychlejšímu zefektivnění dané sítě. Obce či města, které zavedly sběr dříve, než jim nařídila povinnost, tedy mohou disponovat lépe navrženými sítěmi.

Tabulka 1 Aktuální relevantní články zaměřené na tukový odpad [23]

Autor	Produkce	Sběr	Svoz	Zpracování	Využití	Závady v ČOV a kanalizacích
Ahmed a Hossain (2020)					✓	
Rekhate a Prajapati (2019)	✓			✓	✓	
Lopes et al. (2019)	✓					
Mayorga et al. (2019)					✓	
Araujo et al. (2019)					✓	✓
Simasatitkul a Arpornwichanop (2019)					✓	
Montecinos et al. (2018)			✓	✓	✓	
Emara et al. (2018)	✓		✓			
Gurd et al. (2018)						✓
Pirooz et al. (2018)	✓					✓
Zhang a Jiang (2017)	✓		✓	✓	✓	✓
Silviana et al. (2017)					✓	
Ortner et al. (2016)				✓	✓	✓
Chuah et al. (2016)					✓	
Panadare a Rathod (2015)					✓	✓
Puspa Asri a Puspita Sari (2015)				✓		✓
Husain et al. (2014)	✓				✓	✓
Ramos et al. (2013)	✓		✓			
Solymosi et al. (2013)					✓	
He et al. (2013)	✓					✓
Maceiras et al. (2010)					✓	
Math et al. (2010)	✓				✓	
Enweremadu et al. (2009)					✓	
Keener et al. (2008)	✓					✓
Stoll a Gupta (1997)	✓		✓		✓	

Budoucí výzkum, který může vést k vylepšení aktuální situace, může probíhat v několika směrech, které mohou představovat nejen technická řešení problému, ale především sběr dat. Jelikož se tukový odpad jako takový nerecykluje na úrovni obcí příliš dlouho, je zapotřebí sesbírat dostatek kvalitních dat ke korektnímu vyhotovení matematických modelů. Zhodnocení budoucího potenciálu recyklovaného odpadu z pohledu kvantity, ale i přístupu lidí k recyklaci, je dalším směrem možného budoucího výzkumu [23].

3.6 Aktuální data v ČR

Aktuální data o sběru odpadu na obecní úrovni naznačují malou produkci, jelikož obce začaly se svozem tohoto odpadu buď velmi nedávno, nebo až v návaznosti na nařízení, které jim tuto povinnost ukládá. Jedním z měst, které začalo se sběrem dříve, je Uherské Hradiště. V Uherském Hradišti nainstalovali do provozu 25 ks nádob v lednu 2019. Do těchto nádob občané mohou vhadzovat PET lahve s potravinářským tukem. Těchto 25 nádob je svázeno jednou za tři měsíce, případně dle potřeby. Dostupná poskytnutá data za půlrok vykázala

369 kg oleje za interval od nainstalování do dubna 2019 a v intervalu od dubna do června již 475 kg. Občané města jsou s řešením spokojeni a využívají ho.

Město Olomouc začalo se sběrem tukového odpadu do speciálních nádob na podzim roku 2015. Konkrétně město pořídilo 20 ks nádob o objemu 120 litrů. Před touto iniciativou bylo možno tento odpad odevzdávat jen na sběrné dvory, čehož nebylo využíváno. V roce 2013 na sběrný dvůr odevzdali občané 0,07 t odpadu. V roce 2014 a 2015 nebyl evidován žádný odevzdaný potravinářský tuk. V roce 2016 už lidé po informovanosti odevzdali 0,36 t tuku do sběrných nádob a 0,61 t na sběrné dvory. Po rozšíření informací se v roce 2017 trend otočil a více lidí odevzdávalo použitý potravinářský tuk do sběrných nádob a to 1,55 t a v roce 2018 to bylo již 1,72 t. Naopak odevzdávání tuku do sběrných dvorů postupně oslabovalo. Jelikož se městu toto řešení sběru osvědčilo a občané tuto možnost uvítali, došlo k rozšíření sítě na skoro dvojnásobný počet, a to na 39 ks speciálních sběrných nádob. Lidé dokonce sami žádají město a mají zájem o další rozšíření. Celý systém svozu spravuje externí firma, která zajišťuje servis bezplatně.

V provozu se někdy vyskytnou občané, kteří do tohoto kontejneru vhodí nesprávný druh oleje, nebo úplně jiný druh odpadu. Často se jedná o minerální a jiné technické oleje, které rozhodně nepatří do tohoto typu odpadu. Tento problém se vyskytuje ve všech provozech sběru tohoto odpadu a není to záležitost jenom jednoho města, ale všech, co tento problém řeší. Toto může být zčásti způsobeno špatnou informovaností občanů, která je při začátku provozu pochopitelná. Město Uherské Hradiště i Olomouc proto začalo s rozšiřováním povědomí občanů o správném recyklování tukových odpadů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MATEMATICKÝ MODEL

Tvorba matematického modelu je nejdůležitější částí optimalizačních úloh. Klíčová je správná formulace řešeného problému, která je nezbytná k nalezení optimálního řešení. Chybný návrh nebo matematický předpis požadavků úlohy vede k nesprávnému řešení problému.

4.1 Definice řešeného problému

Řešený problém se týká OH, konkrétně optimálního rozmístění kontejnerů na jedlé tuky na obecní úrovni. Obecní úroveň problému je klíčová, jelikož rozmístění kontejnerů a jejich počet v různých typech obcí, je značně rozdílné. Tento problém v současné době není optimálně vyřešen, jelikož tento odpad se liší v mnoha aspektech od odpadu jiného. Rozdíl, jak ve fyzikálních vlastnostech, tak i v množství a pravidelnosti recyklace tuků, je značný oproti dnes již konvenčním typům odpadu. Jelikož tento odpad vykazuje značný zápach při delší době v kontejneru, je zapotřebí zajistit periodický svoz.

Motivaci a ochotu lidí k separaci tukového odpadu zvyšuje umístění kontejnerů co nejbližší k nim, proto je zapotřebí navrhnout vhodnou síť kontejnerů. Parametry, které jsou klíčové k tvorbě této sítě, jsou hustota zalidnění, rozloha obce, průměrná produkce odpadu lidmi, dostupné objemy kontejnerů a vzdálenosti mezi jednotlivými kontejnery. Každý problém může mít svá další specifika, tyto konkrétní faktory byly identifikovány jako nejvýznamnější pro oblast daného problému.

4.1.1 Zadání úlohy

Požadovaný matematický model musí být schopen najít optimální rozmístění kontejnerů na tukový odpad. K řešení musí být využito postupů smíšeného celočíselného programování. Funkčnost bude ověřena zavedením modelu do softwaru GAMS a odzkoušena na datech 5 obcí v ČR.

4.1.2 Zajištění dat pro model

Pro korektní vyhotovení modelů jsou nezbytná data o potenciálních bodech sběrných míst, odhad množství odpadu pro dané adresní místo a vzdálenosti mezi jednotlivými body sestavené sítě. Tato data byla poskytnuta Ústavem procesního inženýrství Fakulty strojínského inženýrství Vysokého učení technického v Brně.

Data byla vygenerována pro pět obcí v ČR, a to konkrétně pro Holešov, Valašské Klobouky, Vizovice, Lidečko a Lačnov. Obce byly vybrány různého typu pro ověření funkčnosti modelu a srovnání výsledků.

4.2 Tvorba modelu

Jako první byl vytvořen teoretický matematický model, který byl následně implementován v softwaru GAMS, který umožňuje řešit optimalizační úlohy tohoto typu. Následující Tab. 2. poskytuje přehled o použitých množinách, parametrech a proměnných.

Tabulka 2 Popis symbolů matematického modelu

Množiny		
A		Množina adresních bodů (uzlů), $a \in A$
J		Množina hran, $j \in J$
Parametry		
p_a		Odhadovaná produkce tuku adresním bodem [kg]
d_j		Vzdálenost hrany [m]
$M_{out(j,a)}$		Matice hran vycházejících z uzlů [-]
$M_{in(j,a)}$		Matice vnitřních hran vstupujících do uzlů [-]
c_a		Kapacita kontejneru [l]
w_{max}		Maximální možná docházková vzdálenost [m]
w_{total}		Celkový počet sběrných míst [-]
u_a		Využití sběrného bodu v uzlu [-]
Proměnné		
z_1		Hodnota účelové funkce – počet sběrných míst [-]
z_2		Hodnota účelové funkce průměrné docházkové vzdálenosti [m]
x_j		Tok odpadu přes hranu j [-]
y_a		Přiřazení adresního bodu sběrnému místu [-]
w_a		Docházková vzdálenost adresního bodu [m]
q_a		Náklad ve sběrném místě [kg]
Binární proměnná	δ_a	Existence sběrného bodu v adresním bodu a [-]

První množinou, která je v modelu definována zastupuje adresní body (neboli uzly), které zároveň představují i potencionální místo pro umístění kontejneru. Druhá množina reprezentuje hrany, v zadaném problému tedy spojnice mezi adresními body.

Důležité definované parametry představují produkci adresního bodu a jeho populaci, tedy množství vyprodukovaného odpadu a odhadnutý počet občanů v daném bodě.

4.2.1 Účelové funkce modelu

Účelová funkce je část matematického modelu, která zahrnuje kritéria, jenž mají být optimalizována. Zda se bude funkce minimalizovat, či maximalizovat záleží na typu řešeného problému, v ekonomické sféře je tedy kupříkladu žádoucí maximalizace zisku, ale minimalizace nákladů.

$$\text{Min: } z_1 = \sum_a (\delta_a) \quad (1)$$

V zadaném problému jsou žádoucí minimalizace dvou funkcí, a to konkrétně funkce v rovnici (1) a v rovnici (2). Funkce (1), která minimalizuje počet sběrných míst, vede k ekonomicky šetrnějšímu provozu sítě sběru.

$$\text{Min: } z_2 = \frac{\sum_a (p_a \sum_j (x_j d_j M_{out(j,a)}))}{\sum_a (p_a)} \quad (2)$$

Funkce (2) minimalizuje průměrnou docházkovou vzdálenost, tedy zvyšuje komfort uživatelů sítě a zvyšuje motivaci pro separaci tohoto typu odpadu.

4.2.2 Omezení funkcí

Omezení jsou naprosto klíčová k dosažení správných výsledků optimalizace. V modelu bylo použito pět omezení (3), (4), (5), (6) a (7), která jsou nezbytná pro namodelování problému dle zadání úlohy výše.

$$\sum_a (\delta_a) \leq w_{total} \quad (3)$$

Základní sumarizace v rovnici (3), se týká celkového počtu sběrných míst, a slouží k výpočtu všech sběrných míst z adresních bodů. V rovnici (3) je zavedena regulace počtu sběrných pomocí podmínky. Tato podmínka umožňuje omezit uživatelem maximální počet kontejnerů hodnotou w_{total} . Pokud je tato hodnota velmi vysoká, toto omezení je v podstatě deaktivováno a nezávisí na něm, jelikož tento počet kontejnerů bude nadbytečný a síť může využít víc nádob, než je potřeba.

$$z_2 \leq w_{max} \quad (4)$$

K regulaci maximální docházkové vzdálenosti bylo použito omezení (4), jenž umožňuje nastavit hraniční hodnotu w_{max} . Průměrná docházková vzdálenost by teda měla být menší nebo rovna maximální přípustné stanovené hodnotě.

Při určení velmi vysoké hraniční hodnoty se tato podmínka nevyužije, jelikož maximální dostupná délka docházkové vzdálenosti bude větší než určená hraniční hodnota. To umožňuje uživateli modelu manipulovat s modelem dle typu problému, jenž řeší. Záleží-li v problému čistě na ideálním rozmístění několika dostupných kontejnerů, maximální docházková vzdálenost zde nehraje roli. Pokud bude ale cílem poskytnout každému občanovi možnost recyklovat olej do 200 m od jeho bydliště, je tato podmínka naprosto nezbytná pro správnou funkci.

$$q_a \leq \delta_a c_a \quad (5)$$

Kapacita odpadu, jenž pojme síť, musí být větší, nebo alespoň rovna odpadu, jenž adresní body produkují. Tato podmínka je zanesena v rovnici (5). Nesplnění této podmínky by znamenalo nedostatek kontejnerů nebo jejich nedostatečnou kapacitu a výpočet by byl neproveditelný

$$1 = y_a + \sum_j (x_j M_{out(j,a)}) \quad (6)$$

$$q_a = p_a y_a + \sum_j \sum_a (p_a x_j M_{out(j,a)} (-M_{in(j,a)})) \quad (7)$$

Pro rovnoměrné rozložení odpadu z adresního bodu slouží rovnice (6). Pro indikaci sběrných míst slouží poslední rovnice (7).

kód 1: Omezení trvání výpočtu

```
#1  *nastavení iterací, času, přesnosti
#2  option iterLim = 2100000000;
#3  option resLim=10000000000000000000;
#4  option optCR = 0.15;
```

Jako první byl nastaven iterační limit pomocí nastavení `iterLim`, který určuje maximální počet iterací, které se provedou. Při dosažení tohoto limitu iterací se řešení problému zastaví a přeruší se průběh. Toto slouží pro ochranu před příliš dlouhým výpočtem problému. Pro časovou regulaci provádění výpočtu bylo využito možnosti `resLim`, která omezuje vykonávání programu po nastavenou hodnotu v sekundách. Pokud by byl problém řešen příliš dlouhou dobu, může uživatel změnou konstanty omezit čas vykonávání.

Jako poslední regulační nastavení bylo použito nastavení tolerance optimálního řešení `optCR`. Tato konstanta akceptuje přípustnou odchylku od optimálního řešení. V prezentovaném problému je tato odchylka tolerována do 15 %, hodnota byla tedy stanovena na konstantu 0,15.

5.2 Zápis množin, parametrů, proměnných a rovnic

Množiny použité v matematickém modelu musí být deklarovány také v softwaru GAMS. Tyto množiny představují adresní body a jejich hrany. Adresní body jsou čísla, hrany mají čísla dvě. První číslo hrany představuje výchozí adresní bod a druhé cílový adresní bod.

kód 2: Deklarace množin, parametrů a proměnných

```
#5  sets
#6      a address points
#7      */1,2,3,4,5/
#8      ;
#9  alias(a,aa);
#10 sets
#11      j edges/
#12      *1+2,1+3,1+4,2+1,2+5,3+4,3+5,4+5,4+1,5+1,5+4
#13  $include Lačnov-CislaHrany.inc
#14  /;
```

Pro vložení množin navrženého modelu bylo využito funkce `sets`, kde hrany byly vloženy externím souborem. Z praktických důvodů následného zapsání podmínek byl množině `a` přiřazen alias `aa`, což umožňuje množinu nazývat nejen svým původním názvem, ale i přiřazeným touto funkcí. Pro zvýšení přehlednosti bylo využito komentářů, které

představují tvar jednotlivých inicializovaných entit. U inicializace všech proměnných, parametrů nebo množin je taktéž použito pomocných textů pro vysvětlení.

5.2.1 Parametry

Parametry jsou neměnná data, která vstupují do výpočtu. Všechny parametry matematického modelu musí být deklarovány v modelu. Uživatel může zadat celkový počet kontejnerů, maximální docházkovou vzdálenost a objem použitých kontejnerů.

kód 3: Deklarace parametrů

```
#15 parameters
#16         product(a)  production
#17 */1 30,2 50,3 70,4 90,5 60/
#18         popul(a)    population
#19         dist(j)     distance
#20 */1+2 5,1+3 7,1+4 9,2+1 5,2+5 6,3+4 2,3+5 11,4+5 3,4+1 9,5+1 11,5+4 3/
#21         matOut(j, a)  matrix of out edges from node a
#22 */1+2.1 1,1+3.1 1,1+4.1 1,2+1.2 1,2+5.2 1,3+4.3 1,3+5.3 1,4+5.4 1,4+1.4
1,5+1»
#23 .5 1,5+4.5 1/
#24         matIn(j, a)  matrix of in edges from node a
#25 */1+2.2 -1,1+3.3 -1,1+4.4 -1,2+1.1 -1,2+5.5 -1,3+4.4 -1,3+5.5 -1,4+5.5
-1,4+1»
#26 .1 -1,5+1.1 -1,5+4.4 -1/
#27         cap(a)      capacity
#28         tar_wal_dist  targeted walking distance
#29         tot_coll_points  total number of collection points
#30         util(a)     utilization of collection point
at node a
```

Použité parametry byly nastaveny dvěma způsoby. Pro zadání parametrů, které vyžadovaly externí data, byla využita funkce `$include`, ostatní parametry, které nevstupují externě, jsou inicializovány uvedeným standartním způsobem.

kód 4: Zavedení externích dat

```
#31 $GDXIN model.gdx
#32 $LOAD a product
#33 $GDXIN
#34 parameter matIn(j, a) /
#35 $include Hostějov-MaticeC.inc
#36 /;
#37 parameter dist(j) /
#38 $include Hostějov-Hrany.inc
#39 /;
#40
#41 parameter matOut(j, a) /
#42 $include Hostějov-MaticeB.inc
#43 /;
```

Pro propojení generovaných dat softwaru bylo využito funkce \$GDXIN. Tato funkce zaručuje import všech generovaných dat ze specifikovaného souboru. Z důvodu absence absolutní cesty se musí tyto soubory nacházet ve stejném adresáři jako program.

5.2.2 Proměnné

Pouze dvě proměnné mohou nabývat jak kladných, tak i záporných hodnot, a to hodnoty dvou účelových funkcí. Všechny ostatní proměnné musí z jejich podstaty být jen a pouze kladné.

kód 5: Deklarace proměnných

```
#44 binary variables
#45 delta(a)           existence of collection point
#46 ;
#47 variables
#48 z1 , z2           value of objective functions
#49 ;
#50 positive variables
#51 flow(j)           assignment of address point to collection points
#52 self(a)           assignment of address point to its collection point
#53 ad_walk_dist(a)   walking distance of address point
#54 load(a)           load of collection points
#55 coll_points       total number of collection points
#56 walk_dist         average walking distance for analysed area
#57 ;
```

Binární proměnná delta(a) může nabývat pouze hodnoty 1 nebo 0 a vyjadřuje existenci sběrného bodu, nebo jeho absenci.

5.2.3 Rovnice

Rovnice v navrženém matematickém modelu musí být zapsány ve správném formátu softwaru GAMS. Zápis matematických rovnic nemůže být proveden konvenčním matematickým zápisem.

kód 6: Zápis rovnic

```
#58 equations
#59 function_objective 1      minimization of collection points
#60 function_objective 2      minimization of average walking distance
#61 constraints_0            summarization of collection points
#62 constraints_0b          restriction of total number of collection points
#63 constraints_1            restriction of average walking distance
#64 constraints_1 b          calculation of average walking distance
#65 constraints_2(a)         waste from address point has to be redistributed and
balanced
#66 constraints_3(a)         indication variable for collection point selection
#67 constraints_4(a)         capacity constraint for collection points
#68
#69 function_objective1..     z1 =e= coll_points;
#70 function_objective2..     z2 =e= walk_dist;
#71 constraints_0..           coll_points =e= sum(a, delta(a));
#72 constraints_0b..          coll_points =l= tot_coll_points;
#73 constraints_1..           walk_dist =l= tar_wal_dist;
#74 constraints_1b..          sum(a, product(a) * sum(j, flow(j)*dist(j)*
matOut(j, a))) /sum(a,product(a)) =e= walk_dist;
#75 constraints_2(a)..         self(a) + sum(j, flow(j)* matOut(j, a)) =e= 1;
#76 constraints_3(a)..         product(a) * self(a) + sum(j, sum(aa,
product(aa) * »
#77 flow(j)* matOut(j, aa) * (-matIn(j, a))) =e= load(a);
#78 constraints_4(a)..         load(a) =l= delta(a)*cap(a);
```

Všechny navržené rovnice byly zapsány do bloku `equations`, kde byly nejprve inicializovány a následně popsány. První dvě rovnice byly definovány jako `function_objective`, tedy účelové funkce. Ostatní rovnice jsou zapsány jako `constraints`, představují tedy omezení.

5.3 Nastavení modelu a jeho spuštění

Jelikož je v modelu využito proměnných, které nabývají i jiných než čistě celočíselných hodnot, bylo použito k řešení metody smíšeného celočíselného programování. Jako vhodný řešitel byl zvolen Cplex 12.5.1.0, který je schopen řešit úlohy jak lineárního programování, tak i smíšeného celočíselného programování.

kód 7: Nastavení modelu

```
#79  model kontejnery_olej /all/;
#80  kontejnery_olej.optfile=1;
#81  * SETTING OF THE CALCULATION
#82  tot_coll_points=1000000000000;
#83  tar_wal_dist=0.25;
#84  cap(a)=120;
#85  *$ontext
#86  solve kontejnery_olej using mip minimizing z1;
#87  util(a) = load.l(a)/cap(a);
#88  display cap, util, flow.l, load.l, delta.l, self.l;
#89  *$offtext
#90  * SECOND ITERATION FOR THE DIFFERENT OBJECTIVE MINIMIZATION
#91  delta.fx(a) = delta.l(a);
#92  solve kontejnery_olej using mip minimizing z2;
#93  display cap, util, flow.l, load.l, delta.l, self.l;
```

Pro definování požadovaného počtu kontejnerů slouží proměnná `tot_coll_points`. Maximální docházková vzdálenost v kilometrech je nastavena proměnnou `tar_wal_dist`. Kapacita použitých kontejnerů je zadávána do proměnné `cap(a)`, je doporučeno používat standartních objemů běžných kontejnerů. Po vypočítání obou účelových funkcí jsou požadované proměnné zobrazeny s výsledky výpočtu.

6 VÝSLEDKY PRÁCE

Výsledky výpočtů jsou prezentovány zkrácenou formou z důvodu velkého objemu dat. Kompletní výsledky jsou k dispozici v přílohách. Časová náročnost výpočtu závisí nejen na výkonu stroje, na němž kalkulace probíhají, ale hlavně na velikosti řešené úlohy (počtu uzlů a hran sítě).

6.1 Nastavení výpočtu

Výpočty byly z důvodu porovnání nastaveny stejným způsobem. Maximální počet sběrných míst byl nastaven na vysokou hodnotu, tím se výpočet nebude omezovat určeným počtem nádob. Maximální docházková vzdálenost, měla hodnotu 250 m nebo 500 m. Kapacita kontejnerů byla nastavena na standardní objem menších recyklačních kontejnerů 120 l nebo 240 l. Tolerance oproti nejlepšímu možnému řešení byla nastavena na 15 %. Interval doby vývozu při generování dat byl nastaven na jednou za měsíc v méně obydlených oblastech a jednou týdně v hustě obydlených oblastech.

Při generování dat byla použita podmínka pro minimální počet cest z adresního bodu na 15. To znamená, že každý adresní bod musí mít minimálně dalších 15 hran vedoucích na další adresní body. Tímto dosáhneme zahuštění logistické sítě. Hustější síť umožňuje více možností k navržení sítě a může vést k hodnotnějším výsledkům modelu, zároveň se ale zvyšuje časová náročnost výpočtu.

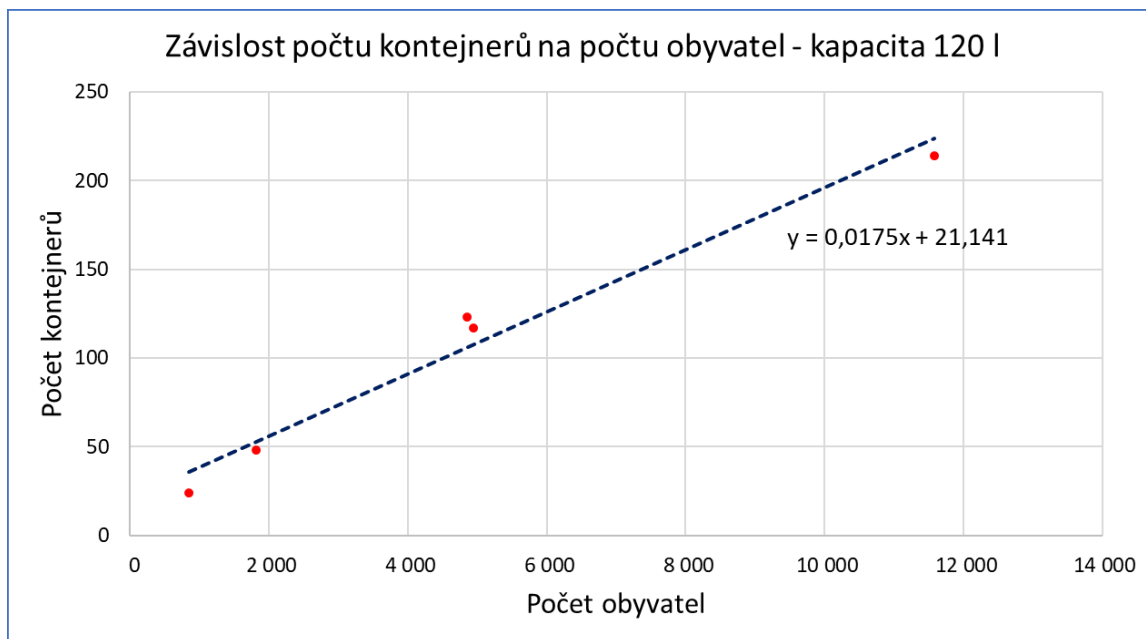
6.2 Výběr obcí a výsledky výpočtů

Pro výpočty bylo vybráno 5 obcí. Pro porovnání výsledků byly zvoleny obce s rozdílnými počty obyvatel a rozlohou. Největší vybraná města představovala Holešov, Valašské Klobouky a Vizovice. Menší obce byly zastoupeny obcemi Lidečko a Lačnov. Nejlidnatějším a zároveň největším městem z výběru je Holešov, počet obyvatel je 11579 a rozloha města činí 3394,7 ha. Město Vizovice mají druhou největší rozlohu a to 2856,6 ha, počet obyvatel dosahuje 4857. Rozlohou 2694,7 ha je třetí největší město Valašské Klobouky, počet obyvatel je druhý nejvyšší a to 4946. Druhou nejmenší obcí je obec Lidečko, která má rozlohu 1736,6 ha a počet obyvatel je zde 1819. Nejmenší obcí je Lačnov, který má rozlohu 1533,2 ha a počet obyvatel 849 [25].

Tabulka 3 Výsledky výpočtů

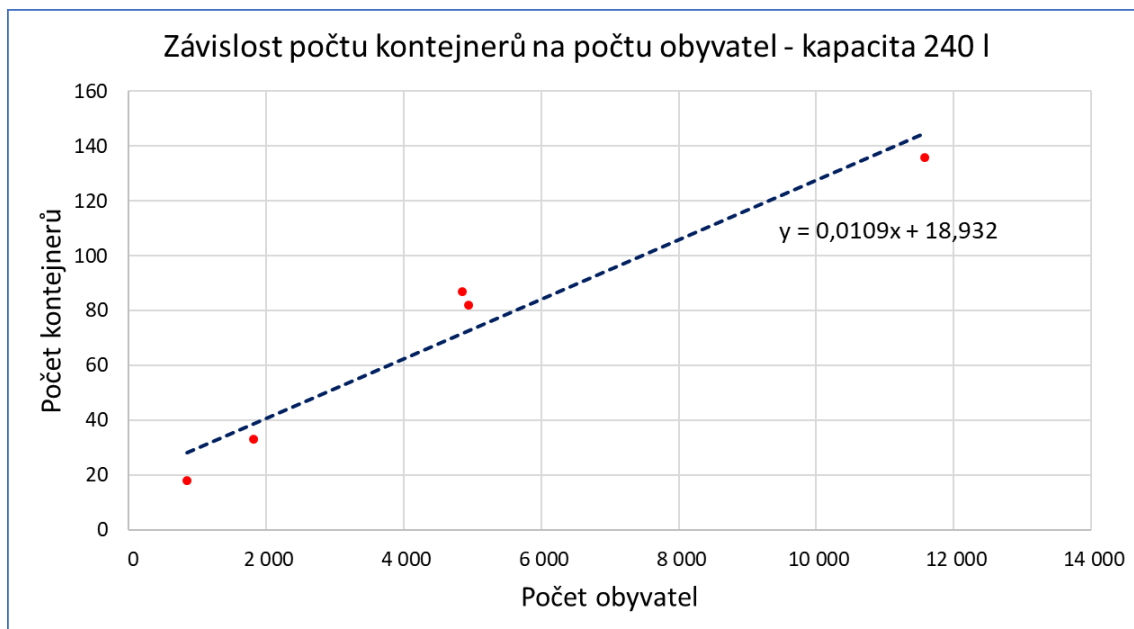
Obec	w_{max} [m]	c_a [l]	z_1 [-]	z_2 [m]
Holešov	250	120	214	46
Holešov	500	120	214	46
Holešov	250	240	136	57
Holešov	500	240	136	57
Lačnov	250	120	24	89
Lačnov	500	120	24	89
Lačnov	250	240	18	96
Lačnov	500	240	18	96
Lidečko	250	120	48	131
Lidečko	500	120	48	131
Lidečko	250	240	33	123
Lidečko	500	240	33	123
Valašské Klobouky	250	120	117	54
Valašské Klobouky	500	120	117	54
Valašské Klobouky	250	240	82	62
Valašské Klobouky	500	240	82	62
Vizovice	250	120	123	86
Vizovice	500	120	123	86
Vizovice	250	240	87	96
Vizovice	500	240	87	96

Hodnoty výpočtů byly zaneseny do tabulky. Sloupec w_{max} představuje maximální povolenou docházkovou vzdálenost ke kontejneru, hodnoty c_a určují kapacitu použitého kontejneru ve výpočtu, údaj z_1 vyjadřuje finální počet použitých kontejnerů a sloupec z_2 průměrnou docházkovou vzdálenost v obci.



Obrázek 12 Graf závislosti počtu kontejnerů na počet obyvatel 120 l

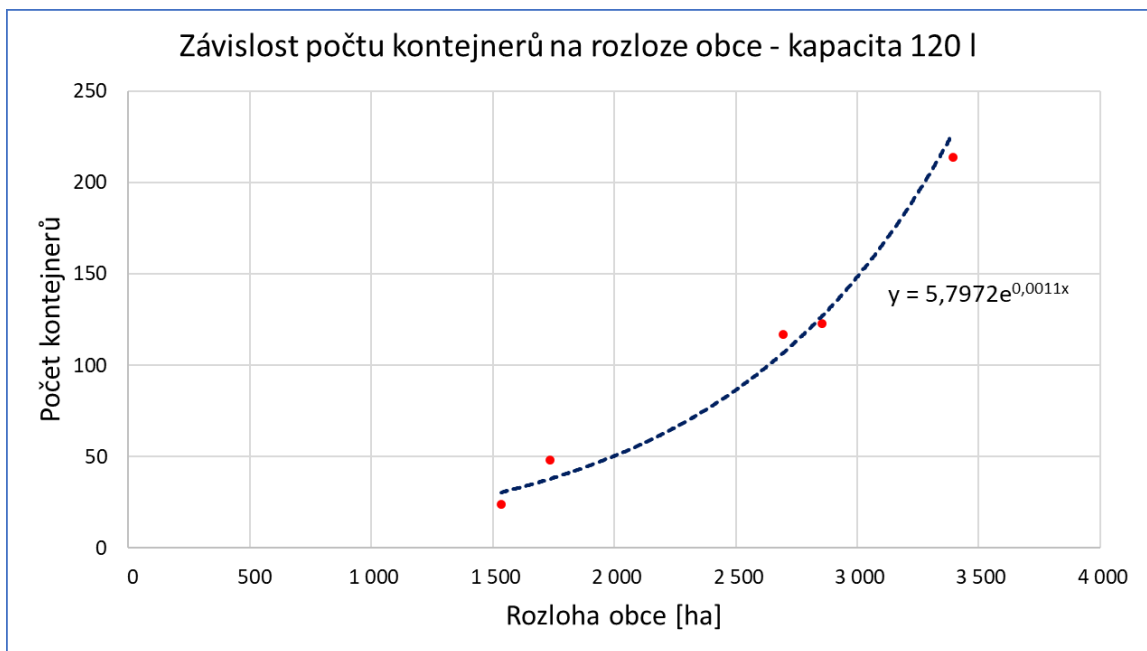
Pro porovnání závislosti počtu kontejnerů na počtu obyvatel slouží vytvořený graf využívající hodnoty z Tab. 3. Jednotlivé body na grafu představují obce. Graf je proložen spojnicí trendů (lineární regrese) pro znázornění průměrného nárůstu počtu kontejnerů na počet obyvatel.



Obrázek 13 Graf závislosti počtu kontejnerů na počet obyvatel 240 l

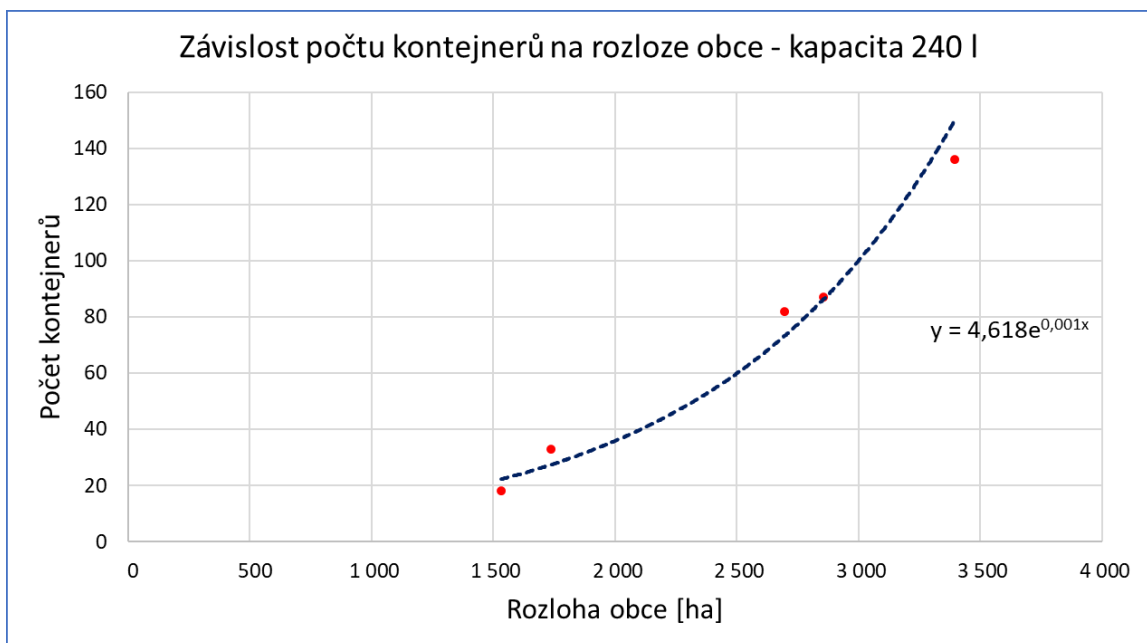
Pro porovnání s grafem, který obsahoval hodnoty pro případ použití kontejnerů o objemu 120 l, je znázorněn graf stejné závislosti při použití kontejnerů o objemu 240 l. Z předpisu

rovnice spojnice trendů vyplývá, že na stejný počet obyvatel je využito méně kontejnerů, což odpovídá předpokladům.



Obrázek 14 Graf závislosti počtu kontejnerů na rozloze 120 l

Na Obr. 14 je pro znázornění výsledků vytvořen graf vyjadřující závislost počtu kontejnerů na rozloze obce. Použitá kapacita kontejnerů byla 120 l. Spojnice trendů je exponenciální.



Obrázek 15 Graf závislosti počtu kontejnerů na rozloze 240 l

Graf na Obr. 15 využívá kapacity kontejnerů 240 l. Graf potvrzuje odhadované výsledky výpočtu, tedy že s větším počtem obyvatel je zapotřebí většího počtu kontejnerů.

6.3 Nedostatky a omezení výpočtu

Hlavní nedostatek výpočtů spočíval v chatových a jiných odlehlých oblastech. Tyto sekce jsou velmi daleko od ostatních a způsobí tedy problém při omezení docházkové vzdálenosti, kde je jediným řešením dodržení jeho limitu umístit kontejner přímo v adresním bodu a nikde jinde.

Optimalizaci omezuje také možnost umístění jenom jednoho druhu kontejneru. Na více zalidněná místa, kde je vhodný objemnější kontejner tedy musí být umístěno více kontejnerů stejného objemu. Alternativou k tomuto postupu by mohla být metoda výběru z několika objemů kontejnerů v jednom modelu.

6.4 Možné směry dalšího výzkumu

Výrazné zlepšení výzkumu by mohlo přinést vyřazení rekreačních či jiných odlehlých oblastí. Po odstranění těchto vybraných oblastí by byl výpočet aplikován jen na tuto podmnožinu obce. Každý typ zástavby má jinou produkci odpadu, kupříkladu sídliště a chatová oblast mohou mít výrazně jiné hodnoty průměrné produkce odpadu.

Implementace možnosti výběru z několika typů kontejnerů jiných kapacit je cesta k výraznému zlepšení situace rozmístění kontejnerů v hustě obydlených oblastech. V centrech města by modifikovaný výběr kapacity oproti navrhnutému způsobu rozdělení představoval výrazně praktičtější alternativu.

ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla vyhotovena rešerše a úvod do problematiky. Nejprve bylo popsáno odpadové hospodářství a jeho aktuální situace v měřítku EU a ČR. Popsán byl také koncept oběhové ekonomiky, jehož zavedení do praxe představuje jeden z cílů EU v této oblasti. Aktuálním tématem jsou odpadní tuky a jejich následné využívání. Z tohoto důvodu byl v celé práci kladen důraz na tuto oblast.

Sběr a zpracování dat byl proveden korespondencí s oslovenými subjekty, vyhledáním vhodných statistik a získání informací a poznatků z odborného pracoviště Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a z čistírny odpadních vod Malenovice. Díky osobnímu setkání byly získány i praktické informace ohledně závad způsobených tuky a problematiky separace tuků v zařízeních upravující vodu. V laboratorním zařízení univerzity, které disponuje technikou pro výrobu biopaliva z tuku, byl následně popsán postup a možnosti využití tukového odpadu.

Bezpečnostní problémy, které mohou nastat při výrobě biopaliva, separace tuku v čistírně odpadních vod a sběru tohoto odpadu byly identifikovány a popsány. Popsány byly také bezpečnostní požadavky na kontejnery pro tento druh odpadu.

Optimalizační metody byly využity jako nástroj pro řešení zadaného problému, který představoval optimální rozmístění kontejnerů pro separaci tuků. Správné nastavení a následné řešení této úlohy může sloužit k ušetření nákladů na návrh a provoz sítě kontejnerů všech obcí. Tyto finanční benefity mohou být dosaženy díky umístění co nejméně recyklačních nádob a následnému snížení nákladů na provoz svozu. Po zadání daného problému byl navrhnout matematický model, jenž problém popisuje a určuje omezení s ohledem na požadované výsledky. Po návrhu byl tento model přenesen do softwaru GAMS, který po zadání dat jednotlivých obcí vypočítal danou úlohu. Z důvodu pokrytí několika typových příkladů obcí bylo vybráno 5 obcí Zlínského kraje, lišící se svou rozlohou a počtem obyvatel.

Po vypočítání jednotlivých případů následovalo zaznamenání výsledků a popis nedostatků zvolených postupů a faktorů, které ovlivňují výsledek. Posledním bodem práce bylo určení možných zaměření dalšího výzkumu, které mohou vést k lepšímu a praktičtějšímu řešení problému.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GOEL, Sudha, ed. *Advances in Solid and Hazardous Waste Management* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1007/978-3-319-57076-1. ISBN 978-3-319-57074-7.
- [2] *Green growth and circular economy*. European Commission [online]. Brussels: European Union, 2020 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/green-growth/index_en.htm
- [3] *Waste statistics*. Eurostat Statistics explained [online]. Luxembourg: Eurostat, 2020 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
- [4] *Latest Eurostat Figures: Municipal Waste Treatment 2017*. Cewep [online]. Bruxelles: CEWEP e.V., 2019 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2017/>
- [5] *OECD Environmental Performance Reviews: Sweden 2014* [online]. OECD, 2014 [cit. 2020-07-27]. OECD Environmental Performance Reviews. DOI: 10.1787/9789264213715-en. ISBN 9789264213715.
- [6] GHIANI, Gianpaolo, Gilbert LAPORTE a Roberto MUSMANNO. *Introduction to logistics systems planning and control*. Hoboken, NJ, USA: J. Wiley, c2004. ISBN isbn:0-470-84917-7.
- [7] RAMOS, Tânia Rodrigues Pereira, Maria Isabel GOMES a Ana Paula BARBOSA-PÓVOA. *Planning waste cooking oil collection systems*. *Waste Management* [online]. 2013, 33(8), 1691-1703 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.04.005. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X13001748>
- [8] BATUR, Maliki Ejder, Ahmet CIHAN, Mahmut Kemal KORUCU, Nihal BEKTAŞ a Bülent KESKINLER. *A mixed integer linear programming model for long-term planning of municipal solid waste management systems: Against restricted mass balances*. *Waste Management* [online]. 2020, 105, 211-222 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.02.003. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X20300593>
- [9] MONTE, M.C., E. FUENTE, A. BLANCO a C. NEGRO. *Waste management from pulp and paper production in the European Union*. *Waste Management* [online]. 2009, 29(1), 293-

308 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.02.002. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X08000573>

[10] LANG, Daniel J., Claudia R. BINDER, Roland W. SCHOLZ, Konrad SCHLEISS a Beat STÄUBLI. Impact factors and regulatory mechanisms for material flow management: Integrating stakeholder and scientific perspectives. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2006, 47(2), 101-132 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.resconrec.2005.08.008. ISSN 09213449. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344905001540>

[11] BUTLER, John a Paul HOOPER. Dilemmas in optimising the environmental benefit from recycling: A case study of glass container waste management in the UK. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2005, 45(4), 331-355 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.resconrec.2005.02.006. ISSN 09213449. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344905000674>

[12] COLVERO, Diogo Appel, José RAMALHO, Ana Paula Duarte GOMES, Manuel Arlindo Amador de MATOS a Luís António da Cruz TARELHO. Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a metropolitan region. *Waste Management* [online]. 2020, 102, 823-837 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.11.033. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X19307299>

[13] GOTTINGER, Hans-Werner. *Economic models and applications of solid waste management*. New York: Gordon and Breach Science Publishers, c1991. ISBN 2-88124-398-3.

[14] JIANG, Yunjian a Yong ZHANG. Supply Chain Optimization of Biodiesel Produced from Waste Cooking Oil. *Transportation Research Procedia* [online]. 2016, 12, 938-949 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.045. ISSN 23521465. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352146516000466>

[15] ŠOMPLÁK, Radovan, Martin PAVLAS, Jiří KROPÁČ, Ondřej PUTNA a Vít PROCHÁZKA. Logistic model-based tool for policy-making towards sustainable waste management. *Clean Technologies and Environmental Policy* [online]. 2014, 16(7), 1275-1286 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1007/s10098-014-0744-5. ISSN 1618-954X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10098-014-0744-5>

[16] Hoříčáci mohou odevzdávat použité potravinářské oleje a tuky. Hořice [online]. Hořice: Město Hořice, 2019 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.horice.org/horicaci-mohou-odevzdavat-pouzite-potravinarske-oleje-a-tuky/d-12457>

[17] JORGIC, Drazen. Bomb-proof bins installed in London before Games. Reuters [online]. London: Reuters, 2012 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://uk.reuters.com/article/uk-britain-bins/bomb-proof-bins-installed-in-london-before-games-idUKTRE8121BV20120203>

[18] MESSENGER, BEN. Follow the 3Ps to Avoid Clogging Sewers with Waste Cooking Fats this Christmas. Waste management world [online]. Wien: WEKA Industrie Medien, 2017 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://waste-management-world.com/a/follow-the-3ps-to-avoid-clogging-sewers-with-waste-cooking-fats-this-christmas>

[19] ERDINÇ, Oğuzhan, Kaan YETILMEZSOY, Ayşe Kübra ERENOĞLU a Ozan ERDINÇ. Route optimization of an electric garbage truck fleet for sustainable environmental and energy management. Journal of Cleaner Production [online]. 2019, 234, 1275-1286 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.295. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619322607>

[20] GONZÁLEZ-TORRE, Pilar L. a B. ADENSO-DÍAZ. Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. Waste Management [online]. 2005, 25(1), 15-23 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1016/j.wasman.2004.08.007. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X04001503>

[21] NEVRLÝ, Vlastimír, Radovan ŠOMPLÁK, Lukáš KHÝR, Veronika SMEJKALOVÁ a Josef JADRNÝ. Municipal Solid Waste Container Location Based on Walking Distance and Distribution of Population. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS [online]. 2019, 2019(76), 553-558 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.3303/CET1976093. ISSN 2283-9216. Dostupné z: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1976093>

[22] HRABEC, Dušan, Radovan ŠOMPLÁK, Vlastimír NEVRLÝ, Adam VIKTORIN, Michal PLUHÁČEK a Pavel POPELA. Sustainable waste-to-energy facility location: Influence of demand on energy sales. Energy [online]. 2020, 207 [cit. 2020-08-05]. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118257. ISSN 03605442. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544220313645>

[23] MATUŠINEC, Josef, Dušan HRABEC, Radovan ŠOMPLÁK, Vlastimír NEVRLÝ, Jiří PECHA, Veronika SMEJKALOVÁ a Yury REDUTSKIYD. Cooking Oil and Fat Waste

Management: A Review of the Current State. Chemical Engineering Transactions [v tisku]. 2020, 2020(81) [cit. 2020-07-31]. ISSN 2283-9216. Dostupné z: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet>

[24] PEKÁR, Juraj, Ivan BREZINA, Jaroslav KULTAN, Iryna USHAKOVA a Oleksandr DOROKHOV. Computer tools for solving the traveling salesman problem. Development Management [online]. 2020, 18(1), 25-39 [cit. 2020-08-05]. DOI: 10.21511/dm.18(1).2020.03. ISSN 24139610. Dostupné z: <https://businessperspectives.org/development-management/issue-354/computer-tools-for-solving-the-traveling-salesman-problem>

[25] Veřejná databáze. Český statistický úřad [online]. Praha: Český statistický úřad (ČSÚ), 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=uziv-dotaz#>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

OH Odpadové hospodářství

KO Komunální odpad

ČOV Čistírna odpadních vod

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Hlavní body oběhové ekonomiky (převzato a upraveno [2]).....	12
Obrázek 2 Nakládání s odpadem v roce 2017 [4].....	13
Obrázek 3 Dodavatelský řetězec zaměřen na potravinářské tuky	16
Obrázek 4 Příklad rozmístění spaloven pomocí logistiky [15].....	17
Obrázek 5 Nádoba pro sběr jedlých olejů a tuků [16]	18
Obrázek 6 Moderní odpadová nádoba Renew [17]	19
Obrázek 7 Ucpaná kanalizace tukovými balvany [18]	20
Obrázek 8 Kád' se stěrkou.....	23
Obrázek 9 Odpad v tříkomorovém systému	24
Obrázek 10 Vybavení pro výrobu biopaliva z tuku – FAI UTB	25
Obrázek 11 Prostředí softwaru GAMS	34
Obrázek 12 Graf závislosti počtu kontejnerů na počet obyvatel 120 l	42
Obrázek 13 Graf závislosti počtu kontejnerů na počet obyvatel 240 l	42
Obrázek 14 Graf závislosti počtu kontejnerů na rozloze 120 l.....	43
Obrázek 15 Graf závislosti počtu kontejnerů na rozloze 240 l.....	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Aktuální relevantní články zaměřené na tukový odpad [23]	27
Tabulka 2 Popis symbolů matematického modelu	31
Tabulka 3 Výsledky výpočtů	41

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Obsah CD

PŘÍLOHA P I: OBSAH CD

Obsah CD:

- Složka Bakalářská práce – obsahuje bakalářskou práci ve formátu PDF
- Složky Holešov, Lačnov, Lidečko, Valašské Klobouky a Vizovice – obsahují složky pojmenované dle požadované docházkové vzdálenosti a objemu kontejneru pro danou obec. Ve zvolené složce jsou data pro výpočet v souborech typu .inc a v souboru model.gdx. Soubor kontejnery_olej.gms je zdrojový kód spustitelný v projektu projekt.gpr v softwaru GAMS.