



Optimalizace svozové trasy sběrných míst

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Stanislav Bartoň, CSc.

Vypracovala:

Jana Novotná



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Jana Novotná**
Studijní program: Technologie odpadů
Obor: Odpadové hospodářství
Název tématu: **Optimalizace svozové trasy sběrných míst**
Rozsah práce: 30-40 stran

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte stručný literární přehled řešených otázek, které se týkají dané problematiky.
2. Sestavte algoritmus optimalizace svozové trasy.
3. Algoritmus aplikujte v prostředí vhodného programu.
4. Funkčnost programu demonstруйте na jednoduché svozové trase.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Optimalizace svozové trasy sběrných míst** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmetná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

podpis

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce, kterým je pan doc. RNDr. Stanislav Bartoň, CSc. Poděkování mu patří za odbornou pomoc, cenné rady, poznámky i vstřícné konzultace. Dále děkuji panu Ing. Petříkovi za spolupráci při vytváření a úpravě algoritmu, který byl v této práci použit pro řešení problému obchodního cestujícího. Mé velké díky patří i jednateli Technických služeb VM s.r.o., panu Ing. Jaroslavu Mynářovi, za poskytnuté materiály, informace a data, bez nichž by tato práce nevznikla a dále za odborné konzultace, návrhy, nápady i neocenitelné zkušenosti, které obohatily tuto práci.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje optimalizaci svozových tras separovaných odpadů, které sváží společnost Technické služby VM s.r.o. Řešení je prováděno podle metod obchodního cestujícího s využitím algoritmu nejvzdálenějšího vložení. Tento algoritmus hledá řešení v prostředí dvou algebraických systémů Maple a Bjornsonovy aplikace. Výstupem jsou trasy pro svoz separovaných odpadů, které jsou mezi sebou porovnány.

Klíčová slova

Optimalizace, svozová trasa, algoritmus, odpad, separovaný odpad

Abstract

This bachelor thesis attends to the optimization of separated waste collection routes, the waste is being collected by the company Technické služby VM s.r.o. The solution is carried out according to the salesman's methods with farthest insertion's algorithm. This algorithm provides possible solutions in an interface of two algebraic systems Maple and Bjornson's application. The routes for separated waste collection, which are compared, constitute an output.

Keywords

Optimisation, collection route, algorithm, waste, separated waste

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíle bakalářské práce	12
3	Současný stav poznatků	14
3.1	Definice důležitých pojmů	14
3.2	Právní úprava.....	15
3.2.1	Předpis č. 185/2001 Sb.....	15
3.2.2	Předpis č. 477/2001 Sb.....	16
3.2.3	Předpis č. 352/2014 Sb.....	16
3.2.4	Předpis č. 93/2016 Sb.	16
3.2.5	Předpis č. 383/2001 Sb.....	16
3.2.6	Předpis č. 321/2014 Sb.....	17
3.2.7	Nařízení komise (EU) č. 1357/2014	17
3.2.8	Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009.....	17
3.3	Nakládání s odpadem	17
3.4	Sběrná místa.....	18
3.5	Sběrné nádoby.....	18
3.5.1	Papír	20
3.5.2	Plast	20
3.5.3	Sklo	20
3.5.4	Nápojové kartony.....	21
3.5.5	Biologicky rozložitelný odpad.....	21
3.5.6	Elektroodpad	21
3.5.7	Kovy.....	21
3.5.8	Textil	22
3.6	Svozová vozidla.....	22
3.7	Systémy sběru a přeprava	23

3.7.1	Způsoby sběru a svozu tříděného odpadu	23
3.7.2	Systemy sběru obalů a obalových odpadů	24
3.7.3	Způsoby přepravy separovaného odpadu.....	24
3.7.4	Fázová přeprava	25
3.8	Logistika svozu odpadu a optimalizace tras.....	25
3.9	Problém obchodního cestujícího.....	26
3.10	Metody řešení TSP	27
3.10.1	Nejbližší soused, hladové a vkládací algoritmy.....	27
4	Materiál a metodika zpracování	29
4.1	Technické služby VM, s.r.o.....	29
4.2	Základní informace o svozové oblasti.....	29
4.3	Svozové vozidlo a nástavba.....	30
4.4	Optimalizační software.....	31
4.4.1	Bjornsonova aplikace	31
4.4.2	Maple.....	33
5	Výsledky a diskuze	36
5.1	Stav současné trasy	36
5.2	Optimalizace tras.....	37
5.2.1	Optimalizovaná trasa – papír	38
5.2.2	Optimalizovaná trasa - plast.....	42
5.2.3	Optimalizovaná trasa – sklo barevné	44
5.2.4	Optimalizovaná trasa – sklo bílé	48
5.2.5	Optimalizovaná trasa – bioodpad.....	50
5.3	Diskuze	54
6	Závěr	58
7	Zdroje	59
7.1	Literární zdroje	59
7.2	Právní předpisy.....	60
7.3	Elektronické zdroje	61

8	Seznam obrázků	63
9	Seznam tabulek	65
10	Seznam použitých zkratk	66
11	Přílohy	67

1 Úvod

Produkce odpadů se stala součástí každodenního života. Se zvyšujícím se počtem obyvatel naší planety se zvyšuje i množství produkovaných odpadů. V dnešní době je tedy nezbytné dbát na omezování vzniku odpadu a především na efektivní nakládání s odpadem již vzniklým. Je známo mnoho účinných metod opětovného využívání odpadu či jeho odstranění. Ve většině případů je ovšem třeba odpad přemístit z místa vzniku do místa jeho zpracování. Aby byl celý proces nakládání s odpady opravdu účinný, je třeba zajistit i efektivní metody sběru, shromažďování, úpravy i přepravy odpadů. Tato práce se primárně věnuje problematice svozu odpadu z místa jejich shromáždění do míst, kde jsou odpady kontrolovány, využívány a upravovány.

Pro řešení problematiky efektivního svozu odpadu je využito metod obchodního cestujícího. Problém obchodního cestujícího patří do kategorie optimalizačních problémů, kdy cílem je nalézt co nejkratší trasu mezi body tak, aby optimalizovaná trasa procházela každým bodem právě jednou a vracela se zpět do výchozího bodu. Použitím optimalizačních metod při svozu a přepravě odpadu, lze nakládání s odpady značně zefektivnit a urychlit. Mnohé informační a logistické systémy pak dokáží velkou část procesů optimalizovat a automatizovat. To vede ke zvýšení kvality poskytovaných služeb, centralizaci dat, pohodlnější administraci úkonů i možnosti vyhodnocení a plánování činností.

Tato práce se věnuje optimalizaci tras sběrných míst. Metody obchodního cestujícího jsou tedy aplikovány na vybranou svozovou oblast a optimalizovaná trasa je vytvářena mezi obcemi, v nichž dochází ke svozu odpadů.

V první části práce je popsána problematika týkající se shromažďování a svozu odpadu. V této problematice je řešena legislativní opora procesu nakládání s odpady a jsou zde popsány prostředky sloužící ke sběru a svozu odpadů. Jelikož je tato práce vztažena na optimalizaci svozové trasy sběrných míst, jsou těmito prostředky sběrné nádoby a svozové vozy. Dále je zde obecně popsán problém obchodního cestujícího a také základní metody, které se pro řešení optimalizačních problémů používají. K těmto metodám patří hladový algoritmus, metoda nejbližšího souseda či vkládací algoritmy.

V další části práce je podrobně popsána lokalita, na kterou je aplikována jedna z metod obchodního cestujícího. Je zde popsán svozový prostředek a zdůvodnění výběru algoritmu nejbližšího vložení, který je k optimalizaci použit. Funkčnost a efektivita tohoto algoritmu je testována ve dvou algebraických systémech.

Tyto systémy jsou zde stručně popsány včetně postupu při tvorbě a aplikaci daného algoritmu.

Hlavní část práce obsahuje zhodnocení současného stavu svozu odpadů ve vybrané svozové oblasti a dále vyhodnocení výstupů z obou systémů při aplikaci algoritmu nejvzdálenějšího vložení.

V závěru práce je uvedeno porovnání jednotlivých výsledků a návrh na další podněty k zamyšlení a zkoumání.

2 Cíle bakalářské práce

Dílčím cílem bakalářské práce je popsat problematiku spojenou se svozem odpadu, která zahrnuje legislativní předpisy, metody realizace svozu odpadů, prostředky pro uskutečňování sběru a svozu odpadů a především problém obchodního cestujícího. Tyto otázky jsou řešeny obecně v teoretické části práce.

Cílem praktické části je aplikace jedné z metod obchodního cestujícího na reálná sběrná místa ve svozové oblasti společnosti Technické služby VM s.r.o. Pro optimalizaci tras pro svoz papíru, plastů, barevného skla, bílého skla a bioodpadů byl zvolen vkládací algoritmus nejvzdálenějšího vložení. Tento algoritmus vytváří optimalizované trasy v prostředí Bjornsonovy aplikace a algebraického systému Maple. Funkčnost tohoto algoritmu je ověřena porovnáním výstupů z obou systémů.

3 Současný stav poznatků

Tato kapitola obsahuje souhrn právních předpisů, které musí být dodržovány při nakládání s odpady. Je zde vytyčeno několik základních pojmů a definován pojem sběrné místo pro účely této práce. Dále je zde stručně popsána problematika spojená se separovaným odpadem, nakládáním s ním, jeho sběrem, dopravou a přepravou. Následují kapitoly řešící optimalizaci dopravy a popis metod, které tyto optimalizace umožňují.

3.1 Definice důležitých pojmů

V následující části jsou vysvětleny základní pojmy, které definuje zákon o odpadech (viz www.zakonyprolidi.cz), a které zmiňují ve své práci.

Pro účely zákona o odpadech se rozumí:

- odpadem každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit,
- komunálním odpadem – veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů pod 20, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání,
- nakládáním s odpady – obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů,
- zařízením – technické zařízení, místo, stavba nebo část stavby,
- shromažďováním odpadů – krátkodobé soustředování odpadů do shromažďovacích prostředků v místě jejich vzniku před dalším nakládáním s odpady,
- sběrem odpadů – soustředování odpadů právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných osob včetně jejich předběžného třídění a předběžného skladování za účelem jejich přepravy do zařízení na zpracování odpadu,
- tříděným sběrem – sběr, kdy je tok odpadů oddělen podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování,
- materiálovým využitím odpadů – způsob využití odpadů zahrnující recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie,

- recyklací odpadů – jakýkoliv způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití, včetně přepracování organických materiálů; recyklací odpadů není energetické využití a zpracování na výrobky, materiály nebo látky, které mají být použity jako palivo nebo zásypový materiál,
- původcem odpadů – právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, při jejíž činnosti vznikají odpady, nebo právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, které provádějí úpravu odpadů nebo jiné činnosti, jejichž výsledkem je změna povahy nebo složení odpadů, a dále obec od okamžiku, kdy nepodnikající fyzická osoba odpad odloží na místě k tomu určeném; obec se současně stane vlastníkem tohoto odpadu.

Všechny výše uvedené pojmy byly převzaty ze zákona O odpadech, jehož plné znění je k nahlédnutí na webových stránkách www.zakonyprolici.cz dle zdroje [23].

Tento zákon však nedefinuje všechny pojmy, které jsou obecně rozšířeny mezi veřejností a často používány. Následující pojmy jsou definovány pro účely této práce. Jedná se především o:

- separovaný odpad – někdy též tříděný odpad či separované složky komunálního odpadu. Jedná se o odpady, které lze shromažďovat do sběrných nádob dle druhu, kategorie a charakteru odpadu. Jako separovaný odpad se označují především odpady plastu, papíru, skla a biologicky rozložitelných odpadů,
- sběrné místo, sběrné hnízdo – místo, kde jsou shromážděny sběrné nádoby určené ke sběru separovaného odpadu.

3.2 Právní úprava

Nakládání s odpadem a separovatelnými složkami odpadu upravuje následující legislativa.

3.2.1 Předpis č. 185/2001 Sb.

Hlavním právním předpisem upravujícím problematiku spojenou s odpadovým hospodářstvím je v České republice zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech ve znění pozdějších předpisů. Je to hlavní právní předpis, který obsahuje výčet základních pojmů, povinnosti při nakládání s odpady, evidenci odpadů a plány odpadového hospodářství. Tento zákon upravuje:

- a) pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje a při omezování nepříznivých dopadů využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání,
- b) práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a
- c) působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství [23].

3.2.2 Předpis č. 477/2001 Sb.

Účelem Zákona č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů je chránit životní prostředí a jeho složky prostřednictvím předcházení vzniku odpadu z obalů. Toto je dosaženo snížením hmotnosti, škodlivosti a objemu obalů a chemických látek v nich obsažených. Osoby, které obal uvádí na trh, musí zajistit co nejmenší hmotnost a objem za splnění požadavků kladených na balený výrobek [24].

3.2.3 Předpis č. 352/2014 Sb.

Jedná se o předpis č. 352/2014 Sb. nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024 ve znění pozdějších předpisů. Plán odpadového hospodářství se zpracovává za účelem vytváření podmínek pro předcházení vzniku odpadů a nakládání s nimi podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. a zpracovává ho ministerstvo, kraje a obce. Plán odpadového hospodářství České republiky se skládá z části analytické, závazné a směrné [25].

3.2.4 Předpis č. 93/2016 Sb.

Důležitým právním předpisem je vyhláška Ministerstva životního prostředí 93/2016 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, postup pro zařazování odpadu podle Katalogu odpadů a náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností na zařazení odpadu podle Katalogu odpadů [26].

3.2.5 Předpis č. 383/2001 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady upravuje obecné požadavky na zařízení sloužící ke shromažďování odpadů. Dále upravuje rozsah a způsob vedení průběžné evidence odpadů, kterou musí vyplňovat původci odpadů [27].

3.2.6 Předpis č. 321/2014 Sb.

Vyhláška o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů. Tato vyhláška popisuje, jak původci mohou plnit povinnosti při nakládání s komunálním odpadem. Upravují se zde možnosti zajištění odděleného soustředování složek komunálního odpadu vhodnými zařízeními a sběrnými nádobami a jaké složky komunálního odpadu je obec jako původce povinna zajistit sbírat odděleně [28].

3.2.7 Nařízení komise (EU) č. 1357/2014

Nařízení ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech a o zrušení některých směrnic. Touto směrnicí se definují pojmy nebezpečných vlastností odpadů [29].

3.2.8 Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu) [30].

3.3 Nakládání s odpadem

Zákon O odpadech stanoví hierarchii způsobů nakládání s odpady, která musí být dodržována v rámci odpadového hospodářství. Tato hierarchie sestává z pěti kroků v následujícím pořadí:

- předcházení vzniku odpadů,
- příprava k opětovnému použití,
- recyklace odpadů,
- jiné využití odpadů, například energetické využití,
- odstranění odpadů [23].

Jelikož se obec stává vlastníkem odpadu, a tím i původcem odpadu, od okamžiku, kdy nepodnikající fyzická osoba odpad odloží na místě k tomu určeném, musí tato obec zajistit místa pro oddělené soustředování složek komunálního odpadu. Oddělený sběr musí zajistit minimálně pro odpady ze skla, plastů, papíru, kovů, nebezpečných odpadů a biologicky rozložitelných odpadů.

Mezi povinnosti původců odpadů patří shromažďovat odpady podle jednotlivých druhů a kategorií. Dle zákona O odpadech jsou původci a oprávněné osoby povinny zařazovat odpad podle Katalogu odpadů, který stanovuje Ministerstvo životního prostředí a vést průběžnou evidenci odpadů. Postup pro zařazování odpadů do Katalogu odpadů určuje vyhláška č. 93/2016 Sb. Každému odpadu je přiděleno šestimístné číslo. První dvojčíslí označuje skupinu odpadu, druhé dvojčíslí pak podskupinu a třetí dvojčíslí určuje druh odpadu.

Rozsah a způsob vedení průběžné evidence odpadů je popsán ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady. V této evidenci se uvádí katalogové číslo odpadu, kategorie odpadu, název druhu odpadu, množství přijatého a odevzdaného odpadu, kód způsobu nakládání s odpadem a údaje o provozovně.

Plán Odpadového hospodářství České republiky zakazuje od roku 2024 ukládat na skládky směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem [25].

3.4 Sběrná místa

Sběrnými místy začíná každý systém nakládání s komunálními odpady. V domácnostech a institucích to jsou místa s „koši na odpadky“, v obcích to jsou sběrné dvory, místa zpětného odběru, místa pro nádoby na směsný komunální odpad a výkupny druhotných surovin. Obce provozují i dočasná či stabilní sběrná místa, například stanoviště velkokapacitních kontejnerů. K úpravě některých odpadů před dalším zpracováním nebo využitím provozují svozové firmy překládací stanice [2].

Sběrným místem pro účely této práce je myšleno vyhrazené území obce v jejím katastru, kde se nachází veřejnosti přístupné sběrné nádoby na separovaný odpad z domácností. Tyto vyhrazené plochy se nazývají sběrná místa nebo sběrná hnízda. Sběrné nádoby mohou být uloženy na volné ploše s ohraničením zděného či plotového charakteru nebo bez něj. V některých obcích bývají zabezpečeny střechou proti nepříznivým povětrnostním podmínkám a dešťovým srážkám a také zámky proti poškození.

3.5 Sběrné nádoby

Sběrné nádoby lze rozlišovat podle několika kritérií, a to podle:

- funkce (shromažďování odpadů, shromažďování a přeprava odpadů),

- druhu sbíraného odpadu (nádoby na směsné odpady, separované odpady, bioodpady, nebezpečné odpady, textil, elektroodpad),
- materiálu nádob (kov, plast – HDPE, sklolaminát),
- objemu nádob (od 0,035 m³ do 50 m³),
- způsobu výsypu (s horním výsypem, se spodním výsypem),
- umístění v terénu (nadzemní, částečně zapuštěné, podzemní),
- počtu druhů odpadů shromažďovaných v jedné nádobě (jednodruhové, více-druhové) [2].

K oddělení (separaci) toku dále využitelných složek od směsných komunálních odpadů v obcích slouží nádoby (pytle) na separované odpady. Pro snadnou orientaci jsou nádoby na jednotlivé složky vyráběny v unifikovaném barevném provedení [2].

Obecně se pro sběr separovaných složek odpadu používají sběrné nádoby označené žlutou (plast), modrou (papír), zelenou (barevné sklo), bílou (čiré sklo), oranžovou (nápojové kartony), hnědou (biologicky rozložitelné odpady), červenou (nebezpečné odpady), černou (směsný komunální odpad) a fialovou barvou (na sběrnou nádobu se slovy popíše, ke sběru jakého odpadu slouží) [19].

Podle způsobu manipulace se kontejnery rozlišují na natahovací (hákový nosič) a vanové (ramenový nosič). Kontejnery mohou být otevřené a uzavřené, s plachtovou střechou, otvíracími vraty, sníženou bočnicí, žebříkem, sklopnou přejezdovou rampou. Existují velkokapacitní kontejnery pro silniční i kombinovanou (silnice/železnice) přepravu. Vývoj i zde směřuje k odlehčování kontejnerů (kvalitnější ocel, zlepšená konstrukce), aby se maximálně omezovala přepravovaná hmotnost a tím i náklady přepravy [2].

Mezi jedny z nejpoužívanějších sběrných nádob patří kontejnery. Tyto kontejnery bývají často vyrobeny z polyetylenu, čímž se redukuje váha a usnadňuje se manipulace při vyprazdňování nádoby, nebo je jako materiál pro výrobu použit sklolaminátový kompozit, žárově pozinkovaný plech či ocelová svařovaná konstrukce se stěnami z profilovaného plechu. Vyrábí se jak ve variantách mobilních tak stacionárních. Objem jednotlivých nádob pro separované odpady na sběrných místech se pohybuje v rozmezí od 1,1 m³ až po 15 m³. V závislosti na typu svozového vozidla, četnosti svozu a počtu obyvatel se určuje počet kontejnerů pro danou oblast a jejich objemové i hmotnostní zatížení.

Velkoobjemové kontejnery se využívají především ke shromažďování objemných odpadů. Jedná se o odpady, které díky jejich rozměrům nelze umístit do nádob na směsné a separované odpady. Mezi tyto odpady se řadí také některé biolo-

gicky rozložitelné odpady. Jedná se především o odpad z údržby parků a obecní zeleně.

3.5.1 Papír

Ke shromáždování a sběru papíru slouží modře označené sběrné nádoby.

Do těchto kontejnerů patří zejména noviny, časopisy, kancelářský papír, který může obsahovat kancelářské sponky, reklamní letáky, knihy bez tvrdé vazby, sešity, krabice, lepenka, kartón, papírové obaly i poštovní obálky s fóliovými okénky.

Vhazovat by se neměl znečištěný a zamaštěný papír a také celé svazky knih s tvrdými vazbami. Dále sem nepatří voskovaný a uhlový papír, obaly na vajíčka, papírové utěrky a kapesníky, papír zatavený do fólie a hygienické pomůcky [19], [31].

3.5.2 Plast

Do žlutých sběrných nádob se smí odkládat plastové obaly od pokrmů, kelímky, krabičky, PET lahve, sáčky, tašky, fólie, výrobky z plastů, textilie z polyesteru, nápojové kartony od mléka a džusů, plastové tašky a obaly od kosmetických a čistících produktů, obaly od chipsů, sušenek, bonbonů, pytlíky, bublinkové folie, polystyrenové díly, obaly od polévek a dalších potravin.

Vhazovat se nesmí plastové obaly od nebezpečných látek, podlahové krytiny, obaly znečištěné mastnotou, molitan, guma, koberce, novodurové trubky či obaly obsahující zbytky potravin [19], [31].

3.5.3 Sklo

Zeleně a bíle označené sběrné nádoby slouží pro sběr bílého a barevného skla.

Číré sklenice, rozbité skleničky a lahve od alkoholických i nealkoholických nápojů se vhazují do kontejnerů bílých. Číré tabulové sklo ze dveří i oken se však vhazují do zelených kontejnerů, kam patří i nevratné lahve z barevného skla a skleněné obaly od léků.

Do bílých ani zelených sběrných nádob se nevhazují zrcadla, autoskla, porcelánové výrobky, keramika, drátované sklo, zlacená a pokovená skla, žárovky, zářivky a výbojky, obrazovky televizorů a různé displeje [19], [31].

3.5.4 Nápojové kartony

Sběr nápojových kartonů ovlivňuje svozová společnost v dané oblasti. Je možné tyto odpady vhadzovat do sběrných nádob na plasty nebo papír pokud je na nich příslušné označení. Sběrné nádoby označeny oranžovou barvou jsou určeny pouze pro třídění kartonových obalů, jako jsou krabice od vína, mléka, mléčných výrobků nebo od džusů [19], [31].

3.5.5 Biologicky rozložitelný odpad

Hnědé kontejnery slouží ke sběru biologicky rozložitelného odpadu. Povinnost odděleného soustředování složek biologicky rozložitelného odpadu mají původci odpadu od roku 2015.

S ohledem na snadnou rozložitelnost bioodpadů a vysokou měrnou hmotnost mají nádoby na shromažďování bioodpadu zvláštní konstrukci. Tato konstrukce zvyšuje pevnost nádoby a omezuje vznik pachů. Materiál nádob na sběr bioodpadů obsahuje aditiva zabraňující ulpívání plísní a bakterií na vnitřním povrchu nádob [2], [19], [32].

Do hnědých sběrných nádob je možné odkládat biologické odpady rostlinného případně i živočišného původu při splnění podmínek, které stanoví Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu) [19], [30].

3.5.6 Elektroodpad

Obvykle červenou barvou označené nádoby slouží ke shromažďování elektroodpadu menších rozměrů. Patří sem například kalkulačky, baterie, rádia, telefony, elektronické hračky nebo drobné počítačové vybavení.

Odkládat by se zde neměly televizory, zářivky, žárovky, monitory a velké domácí spotřebiče. Tato elektrozařízení se mohou odevzdávat na sběrných dvorech [33].

3.5.7 Kovy

Je nezbytné dodržovat obecně závaznou vyhlášku, kterou se stanoví systém třídění kovů. Informace o možnosti odkládání odpadů lze získat na obecním úřadu. Pro sběr kovu se využívá sběrných nádob o objemu od 0,011 m³ až do 1,1m³. Tyto nádoby musí být řádně označeny.

Do sběrných nádob určených pro separaci kovů nepatří plechovky znečištěné od barev a nebezpečných látek, dále domácí spotřebiče a další zařízení, které se skládají z více materiálů, a demontované části těchto zařízení [31].

3.5.8 Textil

Pro separaci textilu se používají speciální označené sběrné nádoby. Vhazovat se do nich smí použitý textil, boty, doplňky, ložní prádlo, záclony, bytový textil, ručníky a ubrusy. Do těchto sběrných nádob nepatří koberce, matrace, molitan a znečištěné a mokré textilie [34].

3.6 Svozová vozidla

Sběr odpadů z nádob, svoz a přeprava k dalšímu nakládání s nimi musí být mimořádně efektivní. K tomu slouží velký počet druhů specializované techniky, kterou lze rozdělit do dvou základních skupin:

- sběr odpadů z nádob (vozidla komorová, nosiče přepravníků),
- dálková přeprava (přepravní soupravy, překládací stanice) [2].

Odpovídající efektivitu při sběru a přepravě odpadu je možné zajistit co nejméně pracnou a rychlou nakládkou odpadů z mnoha typů sběrných nádob. Pro maximální využití kapacity sběrného vozu musí být zajištěno funkční a efektivní stlačování odpadů v nástavbě. Na svozová vozidla jsou však kladeny i další nároky. Mezi ně se řadí snížení nákladů na provoz a omezení nároků na údržbu, dále pak bezproblémový zimní i letní provoz, možnost průjezdu centry měst, nízká hluchnost a splnění hygienických požadavků.

Výrobci v celé Evropě se s těmito požadavky vyrovnávají průběžným vývojem svozové techniky, podvozků i vlastních nástaveb (komora, stlačovací zařízení, vana, vyklápěč) a nosičů. Součástí moderního svozového prostředku je osvětlení pracovního prostoru, boční zábrany, kamerový systém, nezávislé vyklápěče, ochrana nádob při vyklápění, diagnostický a kontrolní systém apod. [2], [21].

Nástavby se liší objemem komory (od 6,5 m³ do 40 m³), způsobem zhutňování odpadů v komoře (rotační, lineární) i typem vyklápěcího zařízení (univerzální, specifické pro netradiční druhy nádob). Nástavby se montují na podvozky různých výrobců (např. Mercedes Benz, LIAZ, Volvo, Man, Renault, Iveco, DAF). Rotačního způsobu zhutňování odpadů se dosáhne otáčením komory vybavené šroubovicí na vnitřním obvodu a vestavěnými lopatkami. Komora nástavby vybavené lineárním stlačováním je obdélníkového průřezu. V této komoře se pohybuje zhutňovací

deska, proti níž zatlačuje odpad další otočně uložená deska v násypné vaně [2], [21].

Při výměnném způsobu přepravy odpadů se využívá výměny prázdného velkoobjemového kontejneru za plný. K manipulaci s těmito kontejnery se využívá mnoha typů nosičů, které můžeme rozdělit na ramenové, dvouramenné, hákové, jednoramenné a třmenové. Všechny druhy nosičů se mohou dodávat s příslušenstvím v podobě násypek pro přesypání kontejnerů, snímačů poloh ramen a podpěr, rádiového ovládání zkracujícího časy manipulace, hydraulické blokáce kontejneru v transportní poloze nebo kontejnerových přívěsů [2].

3.7 Systémy sběru a přeprava

Tato kapitola pojednává o způsobech sběru a přepravy odpadů.

3.7.1 Způsoby sběru a svozu tříděného odpadu

Oddělené soustředování složek komunálních odpadů může obec provádět prostřednictvím:

- **a)** sběrných dvorů,
- **b)** zařízení podle § 14 odst. 1 zákona a v případě biologicky rozložitelných komunálních odpadů také prostřednictvím malých zařízení podle § 33b zákona,
- **c)** velkoobjemových kontejnerů,
- **d)** sběrných nádob,
- **e)** pytlového způsobu sběru, nebo
- **f)** kombinací způsobů podle písmen a) až e) [28].

Mezi využívané systémy patří odvozní a donáškový způsob sběru. Donáškový způsob sběru využívá optimálně uložených kontejnerových nádob na sběrných místech, přičemž donášková vzdálenost by neměla překročit 150 m. Odvozní systém je realizován především v hustě osídlených oblastech, jako jsou panelová sídliště a jednotlivé druhy odpadů se sbírají do nádob o objemu od 0,08 m³ do 1,1 m³. Odnášková vzdálenost tu bývá menší a to do 50 m. [21]

3.7.2 Systémy sběru obalů a obalových odpadů

Předpis 477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech) v příloze č. 3 stanovuje míru recyklace prodejních obalů. K naplnění podmínek požadovaného rozsahu recyklace a celkového využití obalového odpadu značně přispívá systém sběru separovaných složek odpadu. Aby byl tento sběr efektivní, využívá se několik systémů sběrů obalů a obalových odpadů [24].

Paralelní neboli duální systém představuje dva samostatné systémy sběru. Současně s tříděním složek komunální odpadu, jehož původcem se stává obec, probíhá sběr obalového odpadu od distributorů a výrobců. Tento systém vychází z legislativy, kdy je po výrobcích a distributorech žádán zpětný odběr a zhodnocení obalů. Nevýhodou tohoto systému je zdvojení investic a provozních nákladů a především komplikace při výpočtu poplatků za tento sběr.

Při využití integrovaného systému sběru se nerozlišuje zdroj odpadu ale materiálové složení. Dochází k třídění veškerého shromážděného odpadu bez ohledu na jeho původ.

Zálohový systém využívá finanční motivace občanů. Tímto způsobem ovšem nelze shromažďovat a sbírat všechny druhy odpadů a je jak ekonomicky tak organizačně velmi náročný [21].

3.7.3 Způsoby přepravy separovaného odpadu

Přeprava odpadů může probíhat v pravidelných či nepravidelných intervalech či potrubním systémem.

Pravidelný odvoz se týká domácích odpadů, některých průmyslových odpadů, separovaných odpadů a odpadů z těžební činnosti nebo kalů, které se pravidelně v předem určených termínech odvázejí. Pro přepravu směsného komunální odpadu z domácností, plastů, papíru, skla, bioodpadu a dalších separovaných odpadů soustředěvaných do odpadních sběrných nádob je využíván přesypný postup. Odpady jsou v pravidelných intervalech svázeny svozovým vozem.

Pro objemný a průmyslový odpad je zaveden výměnný postup přepravy. Dochází k výměně naplněné sběrné nádoby za prázdnou.

Jednorázový postup je fyzicky nejnáročnější. Domovní, nemocniční a jiný odpad je shromažďován nejčastěji v pytlích a ručně pak obsluhou svozového vozu nakládán.

Nepravidelný odvoz se zřizuje pro odpady velkého objemu, malé hmotnosti či velkorozměrné odpady, které se vyskytují jen občas. Jedná ne například o stavební suť a odpad vzniklý při vyklízení pozůstalosti.

Potrubní způsob přepravy odpadů z místa jejich vzniku do místa zpracování má nejmenší nároky na pracovní sílu a zajišťuje hygieničnost sběru. S jeho realizací jsou však spojeny vyšší investiční náklady a náklady na energii a vodu. Tento systém přepravy se buduje například v nemocnicích či hotelech pro sběr špinavého prádla.

3.7.4 Fázová přeprava

Přeprava odpadů může na kratší vzdálenosti probíhat jednofázově. Separovaný odpad je přímo svážen po vysypání ze sběrné nádoby a po naplnění svozového vozu na místo, kde je dále zpracováván, upravován a využíván.

Na větší vzdálenosti je využívána vícefázová přeprava. Efektivní přeprava odpadů na delší vzdálenosti (nad 30 000 m) je realizována s využitím překládacích stanic a vozidel s návěsy, které jsou vybaveny velkokapacitními kontejnery (nad 30 m³). Překládací stanice slouží k přeložení volně ložených odpadů nebo ke zhutnění odpadů do velkokapacitních kontejnerů [2], [21].

3.8 Logistika svozu odpadu a optimalizace tras

Produkce odpadů se stala součástí každodenního života. Kromě zpracování odpadů a jeho ukládání je třeba počítat s další důležitou složkou v procesu nakládání s odpadem a tou je problematika svozu odpadu neboli logistika. Ke svážení a přepravě odpadu dnes slouží moderní technika, která umožňuje tomuto procesu probíhat rychle a efektivně a částečně tak regulovat náklady na zpracování odpadu.

Přeprava a svoz odpadů je věda sama o sobě. Hledají se a zavádějí metody pro systém tříděného sběru. Značnou část odpadu je navíc možno využít jako druhotný zdroj surovin. Vždy je třeba také splnit všechny požadavky norem a zákonů, zejména jde-li o přepravu nebezpečných odpadů, a zároveň poskytnout excelentní servis v podobě rychlého odvozu [18].

Prostoje techniky v dopravních zácpách, nevhodně zvolené objízdne trasy stejně jako nedodržování předepsaných tras a přejezdy vozů mezi nakládkou a vykládkou způsobují zvyšování nákladů na dopravu odpadů i veškerého převáženého zboží. Špatně zvolená trasa a nedostatečné vytížení vozu způsobují nejen ekonomické problémy, ale také značně ohrožují životní prostředí.

Na tyto problémy se zaměřují nejrůznější logistická centra i odborníci, kteří se snaží najít co nejoptimálnější podmínky pro dopravu odpadů, materiálů, zboží i lidí. Vyhledávání kratších, ekonomických, efektivních a tím pádem optimálních tras se obecně označuje jako problém obchodního cestujícího.

3.9 Problém obchodního cestujícího

Problém obchodního cestujícího (zkráceně jen TSP z anglického *traveling salesman problem*) je obtížný optimalizační problém, jehož cílem je nalézt nejkratší trasu mezi body tak, aby trasa procházela každým bodem právě jednou a vracela se zpět do výchozího bodu, přičemž známe počet bodů dané množiny a vzdálenost mezi každou dvojicí bodů.

TSP je fascinující tím, že stále odolává snaze ohromného počtu vynikajících matematiků najít nejkratší cestu podstatně rychleji než vypsáním všech možností. Je dokonce reálná možnost, že žádná taková efektivní metoda vůbec neexistuje [6].

Podle Karla Mengera by se problém dal řešit tak, že vyzkoušíme všechny možnosti, kterých je konečné množství. Doposud však nejsou známa žádná pravidla pro určení minimálního počtu kroků k nalezení optimálního řešení. Horní mez je tvořena počtem permutací všech bodů [6]. Jako efektivní řešení se nabízí to, které zadaný úkol vyřeší v přijatelném čase. Jelikož s počtem bodů obvykle doba řešení narůstá, je třeba rozhodnout, jaký časový nárůst je ještě přijatelný.

V dnešní době s relativně snadným přístupem k výpočetní technice, se nabízí hledat řešení TSP pomocí algoritmů. Jack Edmonds tyto algoritmy rozděluje na dobré a špatné. Jako dobrý algoritmus označuje ten, který provede práci v čase úměrném n^k , kde n představuje počet všech bodů v zadané množině a k je přirozené číslo, které je pevně fixováno a nemění se s n [6]. Toto rozdělení umožnilo matematikům tehdejší doby lépe a efektivněji aplikovat různé matematické metody na TSP.

TSP je aplikovatelný na problémy nejrůznějších vědních oborů. Hledání nejkratší spojnice mezi body může být využito u výroby mikročipů, plánování pohybu teleskopů pro pozorování vzdálených objektů ve vesmíru, zjišťování přesného umístění genetických markerů při genetickém výzkumu, navádění difraktometru v rentgenové krystalografii a v neposlední řadě v logistice. Metody řešící TSP však našly své uplatnění i při výrobě modelů a uměleckých artefaktů z krystalů, vrtání desek s tištěnými spoji, nanášení pájecí pasty na desku s tištěnými spoji, výrobě zákaznických integrovaných obvodů a dokonce i při třídění hudebních souborů a zobrazování textur ve videohrách [6], [20].

Mimo jiné se TSP využívá jako testovacích úloh k ověření, zda má nějaký algoritmus potenciál řešit komplikované úlohy.

3.10 Metody řešení TSP

Metody, kterými řešíme TSP, jsou závislé na tom, jakého chceme dosáhnout výsledku. Již Merrill Flood vyslovil v roce 1956 myšlenku, že pro TSP efektivní metoda řešení nemusí existovat [6]. Tato hypotéza nemění nic na věci, že osoby působící v logistice musí jednu z tras zvolit a použít. Stále ovšem mohou využít poznatků a matematických metod k nalezení téměř optimálního řešení úloh TSP.

V následující části jsou popsány základní metody, kterými řešíme TSP a které jsou základem pro většinu aplikovaných algoritmů.

3.10.1 Nejbližší soused, hladové a vkládací algoritmy

Algoritmus nejbližšího souseda je jednou z nejjednodušších úvah, jak řešit TSP. Volí totiž vždy jako další bod částečné trasy ten, který je nejbližší poslednímu zvolenému bodu a který není součástí již existující trasy. Často takto budovaná trasa vypadá z počátku velmi nadějně až do okamžiku, kdy se jako jediné možné řešení pro pokračování naskýtá spojnice vedená k vynechaným bodům vzdáleným i přes celý mapový podklad. Tato metoda se jeví jako neefektivní, jelikož u ní uvažujeme jen jeden krok dopředu [6].

Hladový algoritmus buduje novou trasu po částech. Jeho úkolem je najít vždy nejkratší možnou spojnici mezi body a trasu budovat od nejkratších po nejdelší úseky. Budovaná cesta opět zpočátku vypadá nadějně, ale již po několika krocích je nutné vytvořit spojnici mezi úseky pomocí více vzdálenějších bodů [6].

Základem metody vkládání měst do částečných cest je, začít budovat částečnou cestu s několika body a postupně v dalších krocích ji upravovat tak, aby v konečné fázi zahrnovala všechny body. Tyto techniky se obecně označují jako vkládací algoritmy. V současné době existuje několik variant těchto algoritmů, které se liší metodou výběru dalšího bodu. U všech variant se dbá na to, aby celková délka částečné trasy vzrostla co nejméně [6].

Varianta vkládacího algoritmu s nejlevnějším vložením volí další bod pro pokračování tak, aby délka částečné trasy vzrostla co nejméně. Varianta nejbližšího vložení vybírá jako další bod ten, který je nejbližší jednomu z bodů v již vybudované částečné cestě. Varianta s nejvzdálenějším vložením naopak vybere bod, který má vzdálenost největší. Varianta s náhodným vložením vybere další bod zcela náhodně s podmínkou, že takovýto bod nesmí být už součástí existující cesty [6], [35], [36].

Cook ve své publikaci uvádí, že varianty s nejlevnějším a nejbližším vložením najdou vždy spojnici, která nebude horší než dvojnásobek optimální trasy. Dále uvádí, že algoritmus nejvzdálenějšího vložení je v praxi nejlépe aplikovatelný

a zaručuje chybovost oproti optimální trase v řádu $\log n$, kde n je počet bodů, kterými má trasa procházet [6].

Jak je zřejmé, toto je jen pár základních metod, kterými může být TSP řešen. Mezi další metody je možné zařadit metodu stromových grafů či Christofidesův algoritmus. Výstupem všech těchto algoritmů je trasa, kterou v mnoha případech lze již na první pohled upravit, tedy optimalizovat. K tomu slouží například n -opt algoritmy. Písmeno n zde značí počet spojnic mezi dvěma body, kterými lze nahradit původní spojnice v existující trase, přičemž nová trasa bude kratší oproti původní. Opakováním výměn spojnic lze dosahovat lepších výsledků [6].

4 Materiál a metodika zpracování

Potřebné podklady pro vypracování práce byly získány z primárních respektive sekundárních zdrojů informací. Těmito zdroji byla legislativa odpadového hospodářství, odborná literatura a odborná periodika popisující problematiku odpadového hospodářství a problém obchodního cestujícího. Na základě ústního sdělení a poskytnutí písemných dokumentů k nahlédnutí, byla sesbírána data pro praktickou část této práce. Rozhovor o dané problematice probíhal s jednatelem společnosti Technické služby VM s.r.o. panem ing. Jaroslavem Mynářem. Analýza současné svozové trasy byla prováděna s využitím aplikace Webdispečink. Doplňující údaje o této aplikaci poskytli pracovníci prezentující tento systém na veletrhu Techagro. Tvorba svozové trasy probíhala v prostředí Bjornsonovy aplikace dostupné online z webových stránek <http://bjornson.inhb.de> a v prostředí programu Maple. Úprava a optimalizace trasy byla prováděna jak ručně tak pomocí programu Maple.

4.1 Technické služby VM, s.r.o.

Vlastníkem Technických služeb VM s.r.o. (dále jen TSVM) je město Velké Meziříčí. TSVM pro město a 54 přilehlých obcí včetně místních částí zajišťují veškeré služby a nakládání s odpadem. Ročně zajišťuje svoz odpadů přibližně pro 25 000 obyvatel z regionu Velké Meziříčí, z toho okolo 13 000 obyvatel je z okolních obcí.

Jednatelem společnosti je ing. Jaroslav Mynář a prokuristou ing. Rostislav Třeštík. Dozorčí radu tvoří RNDr. Miloš Vokoun, MVDr. Ivo Šulc a Miroslav Jágrik. TSVM mají nyní 62 stálých zaměstnanců.

TSVM jsou rozděleny na jednotlivá střediska, kterými jsou středisko Čistota města, komunikace, středisko Odpady, středisko Veřejné osvětlení, středisko Veřejná zeleň, hřbitovy, středisko Sportovní zařízení, středisko Sklad, prodej plynů, středisko Pohřební služba a středisko Správa. TSVM využívají čtyř areálů pro potřebné operace nakládání s odpadem. Tyto areály jsou skládka komunálního odpadu, překladiště, recyklační a sběrný dvůr.

4.2 Základní informace o svozové oblasti

Svozovou oblast TSVM tvoří město Velké Meziříčí a 54 přilehlých okolních obcí včetně místních částí. Svozová oblast je rozdělena na dva celky. První tvoří samotné město Velké Meziříčí s vlastními svozovými trasami zejména pro komunální

odpad. Druhý celek je tvořen okolními obcemi, který v současné době nemá vytvořenou stálou svozovou trasu pro všechny druhy separovaných odpadů. Svoz komunálního odpadu probíhá dle rychlosti plnění nástavby svozového vozu.

Každý den v týdnu mají zaměstnanci společnosti určenou danou oblast, v které musí zajistit svoz komunálního a separovaného odpadu, případně rozvoz plynů. Město Velké Meziříčí je rozděleno do čtyř území s vlastní svozovou trasou pro svoz komunálního odpadu. Tato území se sváží od pondělí do čtvrtka. Podobně probíhá i svoz separovaného odpadu. Každý den v týdnu se sváží jeden druh.

Ve všech obcích svozové oblasti se využívá pouze vlastní donáškový systém sběru a shromažďování separovaného odpadu v označených nádobách, které jsou umístěny v těsné blízkosti na sběrných místech. Sběrná místa se vyskytují v blízkosti obecních úřadů, obchodů či na návsi tak, aby byla dostupná pro všechny obyvatele. Počet sběrných nádob se mění v závislosti na ročním období a žádosti zastupitelů obce.

Tímto způsobem probíhá sběr papíru, plastu, barevného i bílého skla a biologicky rozložitelných odpadů

Sběr kovů a nebezpečných odpadů je upraven obecně závaznou vyhláškou. Ve většině obcí probíhá dvakrát ročně, kdy občané mohou tyto odpady zanechat na předem určeném místě.

Ve vybraných obcích probíhá současně sběr textilu, nápojových kartonů a elektroodpadu. Tyto složky však sváží jiná svozová společnost a nebudou tedy řešeny v rámci této práce.

4.3 Svozové vozidlo a nástavba

TSVM využívá ke svážení odpadu z okolních obcí jedno svozové vozidlo značky Renault Premium P6X2. Jedná se o třínápravové vozidlo s podvozkem sériového provedení [3].

Svozové vozidlo je osazeno speciální výměnnou nástavbou od firmy HALLER. Tato nástavba je typu X-2C. Cisterna je o objemu 22 m³ a provozní hmotnost vozu 14,6·10³ kg. Největší technicky přípustná hmotnost plně naloženého vozidla je 26·10³ kg. Nástavba má maximální tlak lisu 21 MPa. a celou nasypanou dávku ze sběrné nádoby slisuje do zásobníku do 23 sekund. Lisování separovaného odpadu probíhá ve čtyřech taktech. Sběrnou nádobu nelze ručně vyprázdnit. Vůz musí být tedy vybaven zařízením pro vyprázdnění. Tímto zařízením je hřebenový podavač typu SKI-PI-KG DĚLENÝ. Toto zařízení je kompatibilní se všemi typy sběrných nádob. Součástí hřebenové nástavby jsou hřebenové úchyty, které slouží k podávání a

následnému vyprázdnění nádob o objemu 0,06-0,77 m³, a otočná ramena, jejichž funkcí je podávání a vyprazdňování nádob s posuvným víkem o objemu 0,77-1,1 m³[3].

Do jmenované nástavby jsou pracovníci technických služeb schopni vyprázdnit všechny sběrné nádoby daného druhu separovaného odpadu v rámci jedné jízdy po okolních obcích. Kapacita nástavby je dostačující na to, aby mohla být vytvořena jedna optimální trasa pro každý druh odpadu.

4.4 Optimalizační software

S využitím online dostupné Bjornsonovy aplikace byly testovány čtyři algoritmy, které řeší TSP a na základě těchto testování a také z důvodu dobrých výsledků v praxi a nejmenší chybovosti byl pro účely této práce vybrán algoritmus nejvzdálenějšího vložení.

K vytvoření optimálních tras svozu separovaných složek odpadů bylo využito dvou počítačových softwarů. Jedním byla online dostupná aplikace nabízející čtyř heuristik k řešení TSP. Tato aplikace byla pracovně nazvána Bjornsonova aplikace [40]. Druhý software použitý k řešení TSP byl algebraický systém Maple a optimalizace byla prováděna s využitím Petříkova algoritmu nejvzdálenějšího vložení, který byl vhodně upraven pro potřeby této práce [13].

Oba tyto softwary vytváří optimální svozovou trasu s využitím algoritmu nejvzdálenějšího vložení. Porovnání výsledků optimalizovaných tras bude obsahem diskuze. Následující podkapitoly popisují uživatelské prostředí aplikací, postup při zpracovávání dat a výstupy všech optimalizací.

4.4.1 Bjornsonova aplikace

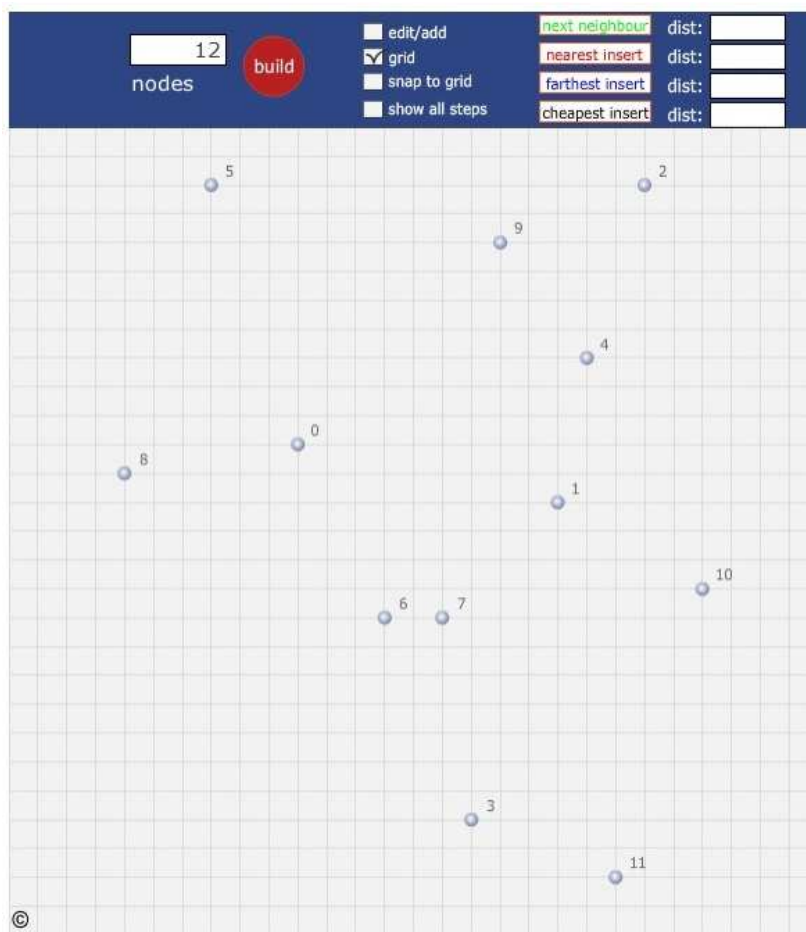
Bjornsonova aplikace umožňuje řešit TSP pomocí čtyř heuristik vkládacích algoritmů [40]. Aplikace umožňuje vložit až 300 bodových uzlů do pracovního prostředí. Sám uživatel si zvolí, zda zadaný počet bodů chce zobrazit náhodně nebo dané body ručně umístí na zobrazovanou mřížku. V nabídce je též přichycení bodů k mřížce nebo jejich volné umístění na ploše. Další využitelnou funkcí je možnost postupného vykreslování částečné trasy. Uživatel po jejím zvolení má možnost sledovat celý postup tvorby optimální trasy od počátku. Poslední zobrazovanou funkcí je funkce Dist, která přepočítává délku tras, zobrazuje jejich číselnou hodnotu a vybírá nejkratší z nich jako optimální.

Aplikace je velice jednoduchá na pochopení. Nevýhodou pro širší užití je nemožnost vložení zdrojových dat pro rychlé vytvoření vlastní sítě bodů a také chy-

běžící možnost pozastavení budované trasy. Další nevýhodou jsou chybějící popisky os a možnost očíslování mřížky. Základní zobrazení Bjornsonovy aplikace je na obrázku č. 1 s náhodně vygenerovanými body.

K dispozici jsou algoritmy Next neighbour, Nearest insert, Farthest insert a Cheapest insert. Algoritmus Next neighbour pracuje na principu nejbližšího souseda. Má počátek v bodě [0] a jako další bod, se kterým vytváří částečnou trasu, vybere ten, který je nejbližší poslednímu zvolenému bodu. Po vyčerpání všech možností výběru částečné trasy se vrací zpět do bodu [0] a vytváří tak uzavřený cyklus.

Další jmenované algoritmy patří do kategorie vkládacích algoritmů. Jedná se o algoritmy nejbližšího, nejvzdálenějšího a nejlevnějšího vložení. Tyto algoritmy byly popsány výše.



Obr. 1 Bjornsonova aplikace

Zdroj: vlastní

Vzhledem k tomu, že Bjornsonova aplikace neumožňuje vložit vlastní data, bylo nutné všem obcím, ve kterých se realizuje svoz daných separovaných odpadů na

příslušných sběrných místech, přiřadit souřadnice $[X,Y]$, které určují jejich polohu a vzájemnou vzdálenost na osách. Místo obcí, zobrazovaných běžně na mapových portálech, byla tedy vytvořena množina bodů, doplněná o bod $[0]$, který reprezentuje výchozí polohu každého vozidla, a konečný bod s nejvyšší možnou číselnou hodnotou, který reprezentuje poslední navštívené místo na trase (v tomto případě vždy místní skládka odpadů, kde dochází k vážení všech vozidel na vozidlové váze) před tím, než se vozidlo vrátí zpět do výchozího bodu $[0]$, kde dochází k vyprázdnění svozového vozu, jeho sanitaci, údržbě a potřebným administrativním úkonům. Tyto dva body jsou tedy součástí všech optimalizovaných tras pro každý separovaný odpad zvlášť.

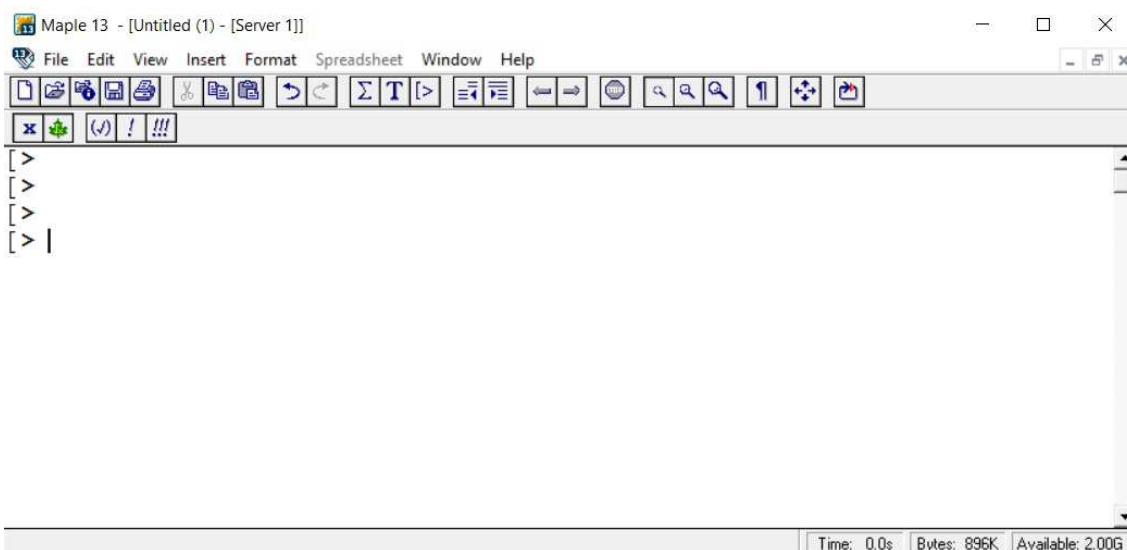
4.4.2 Maple

Algebraický systém Maple pracuje s algebraickými výrazy, získává výsledky v analyticko-algebraickém tvaru nebo numericky s libovolně zadanou přesností. Maple je interaktivní systém. Se získanými výsledky mohou být vykonávány další operace. Systém Maple umožňuje řešit matematické úlohy se speciálními algoritmy a má bohaté grafické možnosti vizualizace problémů a jejich řešení. Je to programovací jazyk, který je vybaven běžnými programovacími prostředky, jako jsou příkazy větvení, cykly a podprogramy nebo knihovny podprogramů [1]. Uživatelské prostředí algebraického systému Maple je vyobrazeno na obrázku č. 2.

Výhodou programu Maple je načtení množiny dat z externích souborů. Z toho důvodu byla v prostředí Microsoft Excel Worksheet vytvořena pro každou složku separovaného odpadu zvlášť tabulka, která zahrnuje pořadové číslo obcí, které byly seřazeny dle abecedy, název obce, ve které ke svozu dané složky dochází, a dále GPS souřadnice lokality sběrného místa. Celkem bylo vytvořeno 5 tabulek a to pro separaci papíru, plastu, barevného skla, bílého skla a biologicky rozložitelného odpadu. Tyto množiny dat obsahovaly jako výchozí místo bod $[1]$ (sídlo TSVM) a opět nejvyšší numerická hodnota byla přiřazena bodu, který reprezentuje lokalitu s váhou pro zvážení vozidla.

Pro optimalizaci dat byl využit jako výchozí Petříkův algoritmus [13]. Tento algoritmus byl po odborné konzultaci přizpůsoben a upraven tak, aby optimálně zpracovával vstupní data.

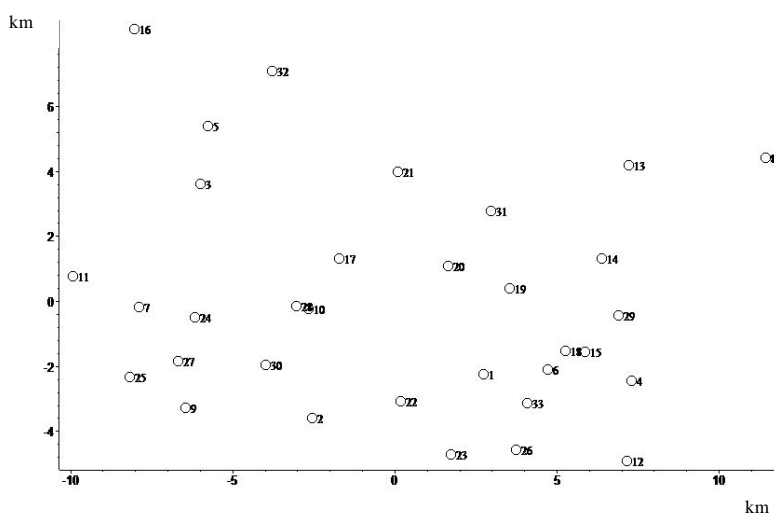
Prvním krokem v programu Maple tedy bylo vyvolání dat. Pomocí přiřazených GPS souřadnic byly vypočteny souřadnice středu svozové oblasti a bylo zohledněno zakřivení země. Tento střed svozové oblasti má vždy přiřazeny souřadnice $[0,0]$ v grafu. Pro ilustraci je na obrázku č. 3 zobrazen graf s body, které zastupují obce, v nichž probíhá sběr papíru.



Obr. 2 Uživatelské prostředí systému Maple

Zdroj: vlastní

Bodům v dané množině pak byla přiřazena pořadová čísla dle abecedního seznamu obcí a také nové souřadnice $[X,Y]$. Dále byl určen počet zpracovávaných bodů, který se liší v závislosti na druhu separovaného odpadu. Nejmenší počet bodů zahrnuje trasa pro svoz biologicky rozložitelných odpadů. Nejvíce bodů je pak v rámci trasy pro sběr a svoz plastu.



Obr. 3 Sběrná místa pro svoz papíru

Zdroj: Vlastní

Následně byla určena vzájemná vzdálenost každých dvou bodů a poté vytvořena matice vzdušných vzdáleností jednotlivých bodů.

Nyní bylo možné vytvořit algoritmus nejvzdálenějšího vložení.

Na počátku byla vytvořena smyčka, která postupně procházela všemi možnými počátečními dvojicemi bodů. Mezi vybranou dvojicí pak byla vytvořena úsečka a tato dvojice bodů byla vyřazena z matice. Byl určen počet zbývajících bodů v matici. Následně byla určena vzdálenost zbývajících bodů od vzniklé úsečky a následně byl vybrán bod, který se nacházel od úsečky nejdále. S tímto bodem pak byl vytvořen trojúhelník, který tvořil základ částečné trasy. Bod byl poté vyřazen z matice a došlo k opětovnému přepočtu vzdáleností zbývajících bodů od úseček. Opět byl vybrán nejvzdálenější bod. Do částečné trasy byl začleněn tak, že došlo k rozpojení existující úsečky a byly vytvořeny dvě nové úsečky s daným bodem.

Tento postup hledání a následného začlenění nejvzdálenějšího bodu do již existující částečné trasy byl opakován, dokud v matici nezbyl jediný bod. Pokud pomocí smyčky došlo k nalezení lepší počáteční dvojici bodů, jejichž výsledkem byla kratší trasa než u předešlého výběru, byla původní trasa nahrazena touto novou kratší trasou. Poslední krok pak vypsál průběh této trasy bod po bodu podle přiřazených pořadových čísel a spočetl jejich celkovou vzdálenost trasy. Optimální trasy vytvořené pomocí Maple byly následně graficky znázorněny a pro jednotlivé složky separovaného odpadu jsou zobrazeny s příslušným popisem v následující části této práce.

Celá obecná optimalizace v programu Maple s vyznačenými úpravami pro všechny druhy separovaných odpadů je obsahem Přílohy A.

5 Výsledky a diskuze

5.1 Stav současné trasy

Svoz z okolních obcí probíhá momentálně podle potřeb jednotlivých obcí. Plast a papír je svážen pravidelně jednou za čtrnáct dní. Barevné a bílé sklo se sváží obvykle jednou za měsíc. Je to způsobeno tím, že sběrné nádoby se tímto druhem odpadu plní pomaleji oproti sběrným nádobám určených na papír a plasty. Z tohoto důvodu se při svážení vytríděného barevného a bílého skla svozová trasa upravuje podle žádostí jednotlivých zastupitelů obcí, kteří mají danou problematiku na starost. V rámci této práce je však řešení optimalizováno pro všechny obce, v nichž sběr dané komodity probíhá.

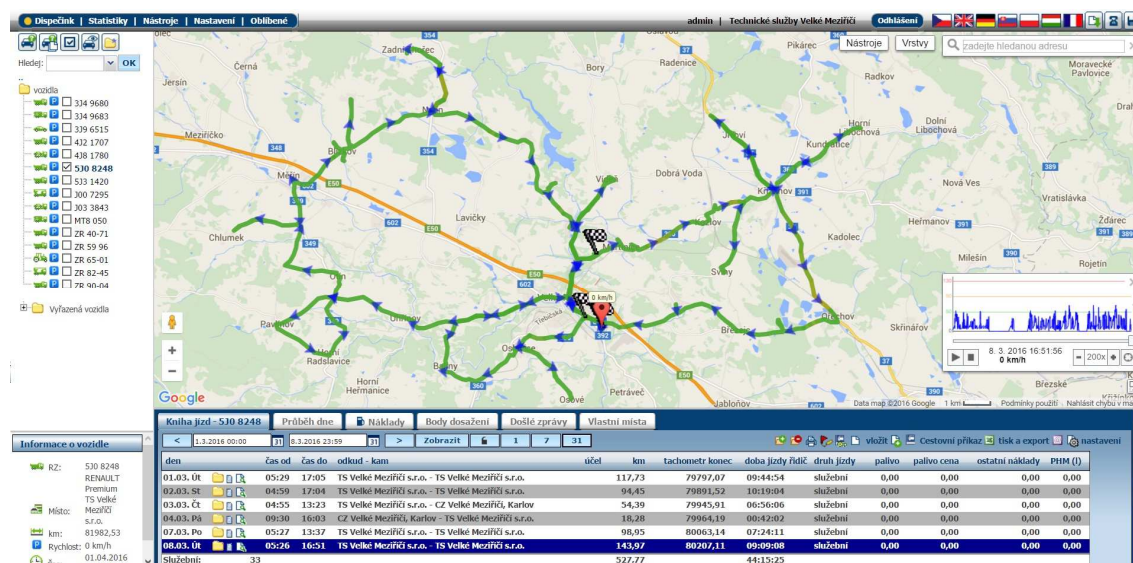
Svoz biologicky rozložitelného odpadu probíhá nepravidelně. Jelikož některé obce zřídily komunitní kompostárnu nebo zajistily občanům kompostovací nádoby, nevyskytují se sběrné nádoby na biologicky rozložitelný odpad na všech sběrných místech ve svozové oblasti. Mnoho obyvatel žijících na venkově taktéž využívá kompostéry vlastní výroby a tak dochází k plnění nádob svážených TSVM velmi pomalu. Jejich svoz je zajišťován po předchozí telefonické domluvě.

Sváženo je celkem 61 sběrných nádob modrého označení určených pro separaci papíru, 145 žlutých sběrných nádob na plast, 51 zeleně označených nádob pro sběr barevného skla a 46 bílých sběrných nádob na bílé sklo. Všechny tyto nádoby jsou o objemu 1,1 m³. Pro shromažďování biologicky rozložitelného odpadu je určeno 38 sběrných nádob o objemu 0,77 m³ a 16 kontejnerů o objemu 15 m³.

V současné době tak probíhá svoz separovaného odpadu z obcí v několika trasách, které se nepravidelně prolínají se svozovými trasami ve Velkém Meziříčí. Pro svoz separovaných složek z obcí tak nejsou vytvořeny samostatné svozové trasy, jelikož svoz probíhá do naplnění nástavby a poté se musí jet svozový vůz zvážit a vysypat na překladiště odpadů.

K lepšímu přehledu a jednodušší administraci využívají pracovníci TSVM online systému Webdispečink. Tato služba je komplexním systémem GPS sledování vozidel a po přihlášení má uživatel k dispozici kompletní přehled o všech svozových vozech a trasách. Zároveň tato služba automaticky vytváří knihu jízd a umožňuje analýzu celé řady dat, které má k dispozici jednotka Vetronics. Touto jednotkou musí být vybaveny všechny vozy, aby byla analýza umožněna.

Ukázka jedné z mnoha tras zaznamenaná tímto systémem je na obrázku č 4.



Obr. 4 Stav současné trasy svozu papíru

Zdroj: www.webdispecink.cz

V levé části obrázku je přehled všech vozů, které jsou ve vlastnictví TSVM. Sběr separovaného odpadu z okolních vesnic probíhá s využitím svozového vozu s poznávací značkou 5J0 8248. V levé spodní části obrázku jsou zobrazeny základní údaje o vozidle, sloužící k rychlejší orientaci. Pomocí vhodných nástrojů si uživatel navolí období, za které potřebuje zobrazit seznam svozových tras. Tyto trasy se podle data zobrazí ve spodní části obrázku. Současně se vypíšou základní údaje o trase jako najetá vzdálenost, doba trvání jízdy, druh jízdy a start a cíl jízdy. Součástí je součet najetých kilometrů za vybrané období. V hlavní mapové části je pak zobrazen průběh a směr svozové trasy pomocí šipek. Graf v pravé části obrázku zobrazuje průběh jízdy včetně přestávek, které se zobrazují na mapě v podobě vlajek.

Zobrazená svozová trasa byla uskutečněna dne 8. 1. 2016 a sváženou separovanou složkou byl papír. Celková ujetá vzdálenost za tento den činila 143 970 m a svozový vůz vytvořil 3 uzavřené trasy o různých délkách, přičemž vždy do svozové trasy začlenil i několik sběrných míst ve městě Velké Meziříčí, aby naplnil celý zásobník nástavby.

5.2 Optimalizace tras

Další podkapitoly obsahují zpracovaná data pro optimalizaci tras v podobě tabulek a následně vždy obrazovou ukázkou již optimalizovaných tras vytvořených pomocí Bjornsonovy aplikace a Petříkova algoritmu.

Tabulky obsahují v záhlaví pořadové číslo obce, seznam obcí seřazených abecedně, GPS souřadnice získané z webových stránek www.mapy.cz, a v posledním

sloupci následuje počet sběrných nádob v obci. Poslední řádek tabulky pak obsahuje součet (sumu) všech sběrných nádob. Tento styl tabulky je zachován u všech následně popsanych separovaných odpadů.

Pokud se ve sloupci Obec nachází závorka s názvem další obce, jedná se o místní část, ve které se nachází sběrné místo, a v závorce je uvedena obec, ke které tato místní část přísluší.

Pro tvorbu optimalizovaných tras byl použit algoritmus nejvzdálenějšího vložení u obou použitých aplikací. Tyto trasy byly následně popsány. V některých případech se srovnávané trasy mohou značně lišit i přes to, že u obou tras byl použit stejný algoritmus. Zatímco však Bjornsonova aplikace utváří počáteční dvojici pro tvorbu částečné trasy vždy s bodem $[0]$, Maple propočítává trasu pro různé počáteční dvojice bodů. Může se tedy stát, že počáteční úsečka nebude obecně tvořena body $[0, N]$, ale za dvojici budou zvoleny jiné dva body a tvorba částečné trasy bude probíhat zcela jiným způsobem. Do Bjornsonovy aplikace je taktéž potřeba zadat údaje ručně. Již drobné posunutí bodu oproti skutečnosti může způsobit odchylky v částečných trasách.

Měření vzdálenosti všech následně uvedených tras bylo provedeno nástrojem Měření vzdálenosti, který je součástí mapového portálu www.mapy.cz. Tento nástroj měří jednotlivé úseky mezi body s přesností na jednotky metrů. Celkovou délku trasy pak udává s přesností na desítky metrů. Snímky z jednotlivých měření jsou součástí přílohy č. B – F.

5.2.1 Optimalizovaná trasa – papír

Trasa musí procházet 33 body. Svozoový vůz trasu začíná v sídle Technických služeb VM, které se nachází ve Velkém Meziříčí, a toto sídlo nese označení jako bod $[0]$. Postupně v rámci jedné jízdy musí projet 31 bodů (obcí), jeden bod, který značí váhu, a následně se vrátit do výchozího bodu, kde dochází k vysypání separovaného odpadu. Celkem musí vyprázdnit 61 sběrných nádob. Svoz papíru probíhá vždy dvakrát do měsíce, obvykle v úterý.

V následující Tabulce č. 1 je uveden seznam obcí a místních částí, ve kterých je realizován svoz papíru.

Tab. 1 Svozoová oblast - papír

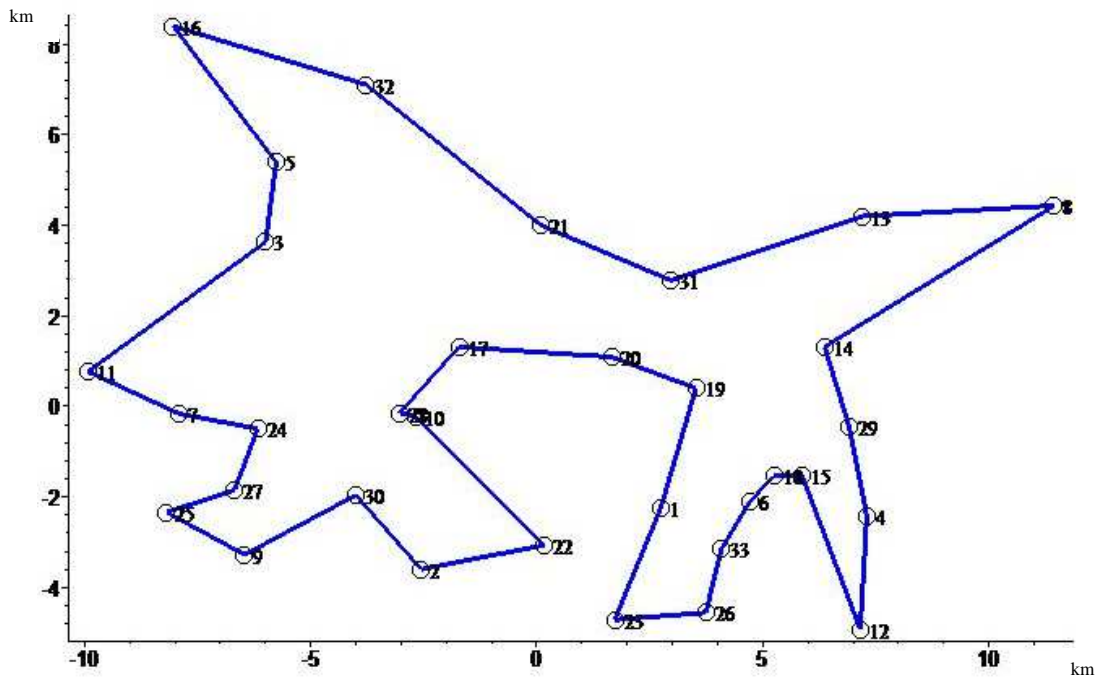
Pořadí	Obec	GPS	počet
0	Start	49.3475369N, 16.0293358E	0
1	Baliny	49.3354114N, 15.9563375E	1
2	Blížkov	49.4003444N, 15.9088386E	2
3	Březejc	49.3458956N, 16.0921719E	2

4	Dědkov (Blížkov)	49.4160981N, 15.9120039E	1
5	Dolní Radslavice	49.3487697N, 16.0564983E	1
6	Geršov (Otín)	49.3662281N, 15.8825639E	1
7	Horní Libochová	49.4074881N, 16.1494369E	1
8	Horní Radslavice	49.3382747N, 15.9023614E	1
9	Hrbov	49.3656961N, 15.9545725E	1
10	Chlumek	49.3745603N, 15.8545964E	1
11	Jabloňov	49.3235092N, 16.0902253E	2
12	Jívoví	49.4053656N, 16.0910392E	2
13	Kozlov	49.3795428N, 16.0792703E	4
14	Kúsky	49.3538969N, 16.0725225E	1
15	Kyjov	49.4431311N, 15.8805703E	1
16	Lavičky	49.3794861N, 15.9677508E	2
17	Lhotky	49.3540953N, 16.0640711E	1
18	Martinice	49.3712886N, 16.0400872E	3
19	Mostišťe	49.3775256N, 16.0143228E	6
20	Olší nad Oslavou	49.4036433N, 15.9928422E	6
21	Oslavice	49.3401600N, 15.9937883E	5
22	Osové	49.3253931N, 16.0153292E	1
23	Otín	49.3633092N, 15.9064156E	2
24	Pavlínov	49.3466714N, 15.8786225E	2
25	Petráveč	49.3268097N, 16.0430706E	4
26	Pohořílky (Otín)	49.3511150N, 15.8993036E	1
27	Svařenov	49.3663653N, 15.9496894E	0
28	Svíny	49.3637958N, 16.0868256E	1
29	Uhřínov	49.3501314N, 15.9362892E	1
30	Vídeň	49.3927019N, 16.0323914E	3
31	Zadní Zhořec	49.4314647N, 15.9393967E	1
32	Vozidlová váha	49.3395258N, 16.0479394E	0
Suma:			61

Zdroj: Data společnosti Technické služby VM s.r.o., upravila Novotná Jana

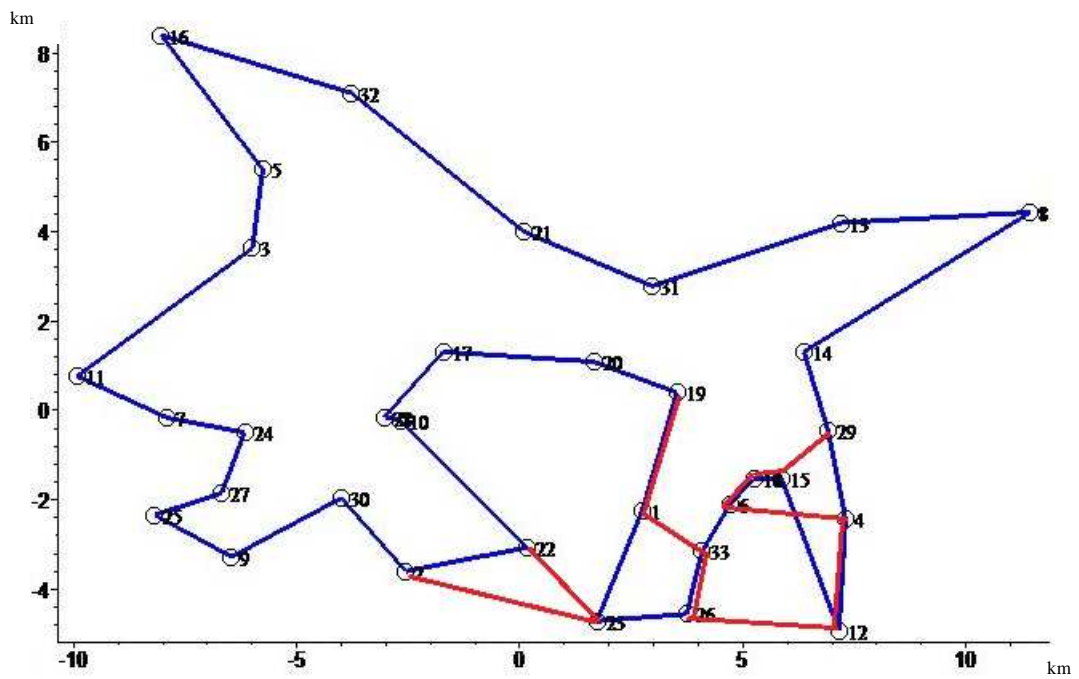
Optimalizovaná trasa pro svoz papíru vytvořená pomocí Bjornsonovy aplikace je znázorněna na obrázku č. 5. Trasa má počátek v bodě [0]. Vozidlo postupně projíždí obcemi směrem na západ až do obce Pavlínov [24], kde pokračuje plynule k nejsevernější obci svozové oblasti, obrací se směrem na východ a pokračuje až do obce Horní Libochová [7], kde se stáčí směrem k jihu, a po projetí bodem [32], který označuje polohu vozidlové váhy, se vozidlo vrací do výchozího bodu [0] a trasu uzavírá.

Podoba této trasy byla změřena za pomoci nástroje Měření vzdálenosti na webových stránkách mapy.cz. Celková vzdušná délka této trasy je 86 640 m.



Obr. 6 Optimalizovaná trasa – papír (Maple)

Zdroj: vlastní



Obr. 7 Optimalizovaná trasa s úpravami – papír (Maple)

Zdroj: vlastní

5.2.2 Optimalizovaná trasa - plast

Svoz plastu probíhá dvakrát do měsíce. Svozový vůz musí projet 36 obcí (bodů) a celkem vyprázdnit 145 sběrných nádob. Seznam všech obcí, kde sběr plastu probíhá, je v následující Tabulce č. 2.

Tab. 2 Svozová oblast - plast

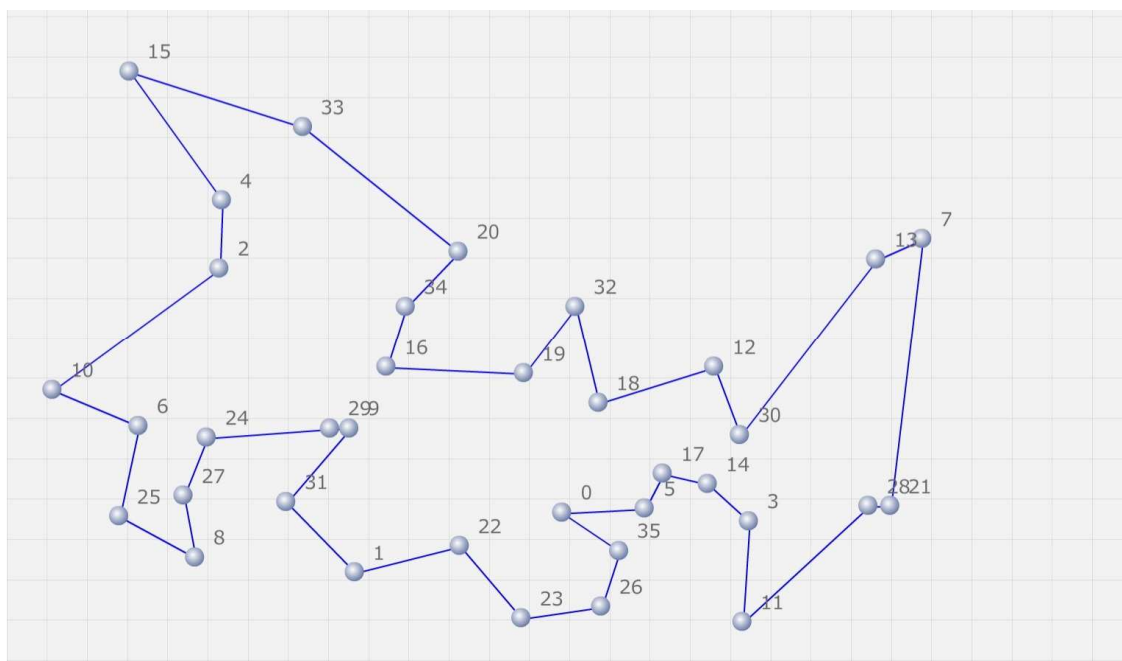
Pořadí	Obec	GPS	počet
0	Start	49.3475369N, 16.0293358E	0
1	Baliny	49.3354114N, 15.9563375E	3
2	Blížkov	49.4003444N, 15.9088386E	5
3	Březejc	49.3458956N, 16.0921719E	3
4	Dědkov (Blížkov)	49.4160981N, 15.9120039E	2
5	Dolní Radslavice	49.3487697N, 16.0564983E	3
6	Geršov (Otín)	49.3662281N, 15.8825639E	2
7	Horní Libochová	49.4074881N, 16.1494369E	3
8	Horní Radslavice	49.3382747N, 15.9023614E	2
9	Hrbov	49.3656961N, 15.9545725E	2
10	Chlumek	49.3745603N, 15.8545964E	3
11	Jabloňov	49.3235092N, 16.0902253E	10
12	Kozlov	49.3795428N, 16.0792703E	8
13	Kundratice	49.4024989N, 16.1346647E	1
14	Kúsky	49.3538969N, 16.0725225E	2
15	Kyjov	49.4431311N, 15.8805703E	2
16	Lavičky	49.3794861N, 15.9677508E	7
17	Lhotky	49.3540953N, 16.0640711E	2
18	Martinice	49.3712886N, 16.0400872E	7
19	Mostišťe	49.3775256N, 16.0143228E	11
20	Olší nad Oslavou	49.4036433N, 15.9928422E	3
21	Ořechov	49.3502019N, 16.1384264E	4
22	Oslavice	49.3401600N, 15.9937883E	12
23	Osové	49.3253931N, 16.0153292E	1
24	Otín	49.3633092N, 15.9064156E	6
25	Pavlínov	49.3466714N, 15.8786225E	7
26	Petráveč	49.3268097N, 16.0430706E	10
27	Pohořílky (Otín)	49.3511150N, 15.8993036E	3
28	Ronov (Ořechov)	49.3496183N, 16.1324586E	3
29	Svařenov	49.3663653N, 15.9496894E	1
30	Sviny	49.3637958N, 16.0868256E	2
31	Uhřínov	49.3501314N, 15.9362892E	5
32	Vídeň	49.3927019N, 16.0323914E	6
33	Zadní Zhořec	49.4314647N, 15.9393967E	2

34	Závist (Lavičky)	49.3916472N, 15.9732883E	2
35	Vozidlová váha	49.3395258N, 16.0479394E	0
Suma:			145

Zdroj: Data společnosti Technické služby VM s.r.o., upravila Novotná Jana

Optimalizované trasy pro tento druh odpadu jsou na obrázku č. 8 a 9. Letecká trasa vytvořena pomocí Bjornsonovy aplikace má počátek v sídle TSVM. Vozidlo vyjíždí směrem na východ, po projetí prvních čtyř sběrných míst se stáčí na jih k jediné obci a následně pokračuje směrem na sever. V Horní Libochové [7] se obrací na západ a tímto směrem pokračuje přes deset obcí ve svozové oblasti až do obce Kyjov [15]. Poté pokračuje směrem na jih do obce Horní Radslavice [8], po změně směru na východ a projetí dalších devíti obcí se dostává do bodu [35], kde dojde ke zvážení svozového vozu, a svou trasu opět ukončuje v bodě [0].

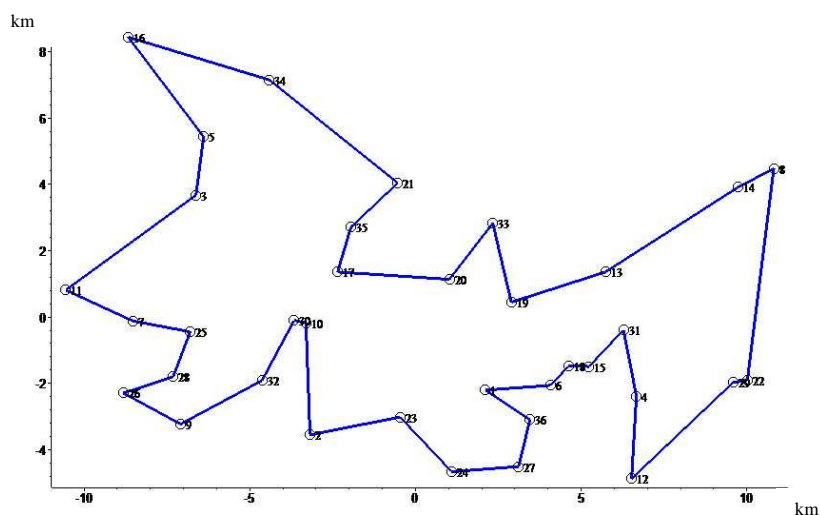
Délka takto optimalizované trasy činí 88 310 m a je zobrazena na obrázku č. 8.



Obr. 8 Optimalizovaná trasa – plast (Bjornsonova aplikace)

Zdroj: Vlastní

Petríkův algoritmus, pracující v prostředí Maple, vytvořil optimalizovanou trasu, která nemusela být ručně upravena. Trasa je na obrázku č. 9. Optimalizovaná trasa má délku 88 470 m.



Obr. 9 Optimalizovaná trasa – plast (Maple)

Zdroj: vlastní

5.2.3 Optimalizovaná trasa – sklo barevné

Barevné sklo je sbíráno v 31 obcích a místních částech do 51 sběrných nádob. Svozový vůz tedy musí projet 33 bodů. Seznam obcí a jejich GPS souřadnice jsou v následující Tabulce č. 3. Svoz barevného skla se uskutečňuje jednou do měsíce.

Tab. 3 Svozová oblast – sklo barevné

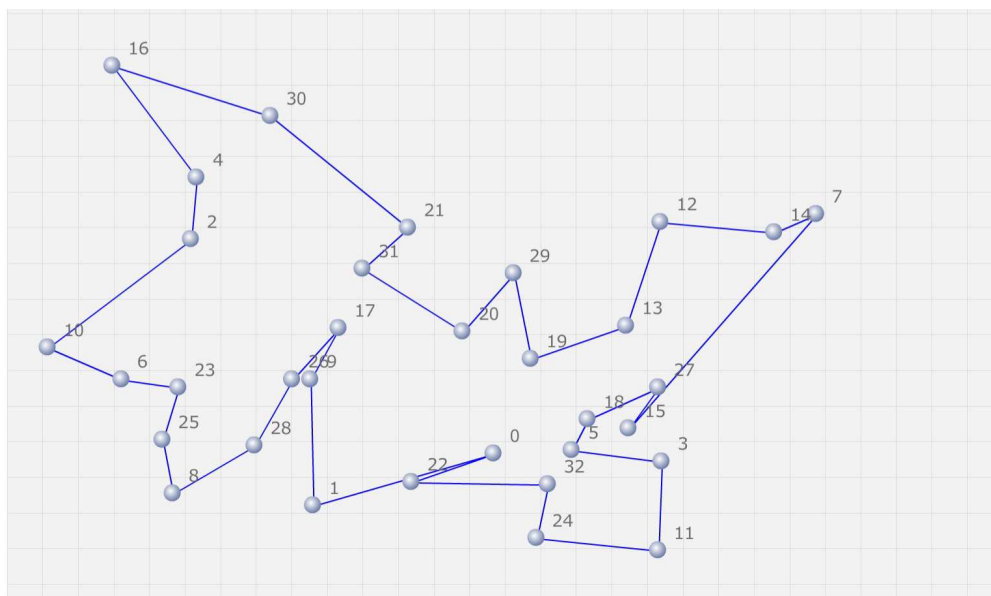
Pořadí	Obec	GPS	počet
0	Start	49.3475369N, 16.0293358E	0
1	Baliny	49.3354114N, 15.9563375E	1
2	Blížkov	49.4003444N, 15.9088386E	1
3	Březejc	49.3458956N, 16.0921719E	2
4	Dědkov (Blížkov)	49.4160981N, 15.9120039E	1
5	Dolní Radslavice	49.3487697N, 16.0564983E	1
6	Geršov (Otín)	49.3662281N, 15.8825639E	1
7	Horní Libochová	49.4074881N, 16.1494369E	2
8	Horní Radslavice	49.3382747N, 15.9023614E	1
9	Hrbov	49.3656961N, 15.9545725E	1
10	Chlumek	49.3745603N, 15.8545964E	1
11	Jabloňov	49.3235092N, 16.0902253E	1
12	Jívoví	49.4053656N, 16.0910392E	2
13	Kozlov	49.3795428N, 16.0792703E	4
14	Kundratice	49.4024989N, 16.1346647E	1
15	Kúsky	49.3538969N, 16.0725225E	1

16	Kyjov	49.4431311N, 15.8805703E	1
17	Lavičky	49.3794861N, 15.9677508E	1
18	Lhotky	49.3540953N, 16.0640711E	1
19	Martinice	49.3712886N, 16.0400872E	4
20	Mostišťe	49.3775256N, 16.0143228E	5
21	Olší nad Oslavou	49.4036433N, 15.9928422E	1
22	Oslavice	49.3401600N, 15.9937883E	2
23	Otín	49.3633092N, 15.9064156E	2
24	Petráveč	49.3268097N, 16.0430706E	4
25	Pohořilky (Otín)	49.3511150N, 15.8993036E	1
26	Svařenov	49.3663653N, 15.9496894E	1
27	Sviny	49.3637958N, 16.0868256E	1
28	Uhřínov	49.3501314N, 15.9362892E	1
29	Vídeň	49.3927019N, 16.0323914E	3
30	Zadní Zhořec	49.4314647N, 15.9393967E	1
31	Závist (Lavičky)	49.3916472N, 15.9732883E	1
32	Vozidlová váha	49.3395258N, 16.0479394E	0
Suma:			51

Zdroj: Data společnosti Technické služby VM s.r.o., upravila Novotná Jana

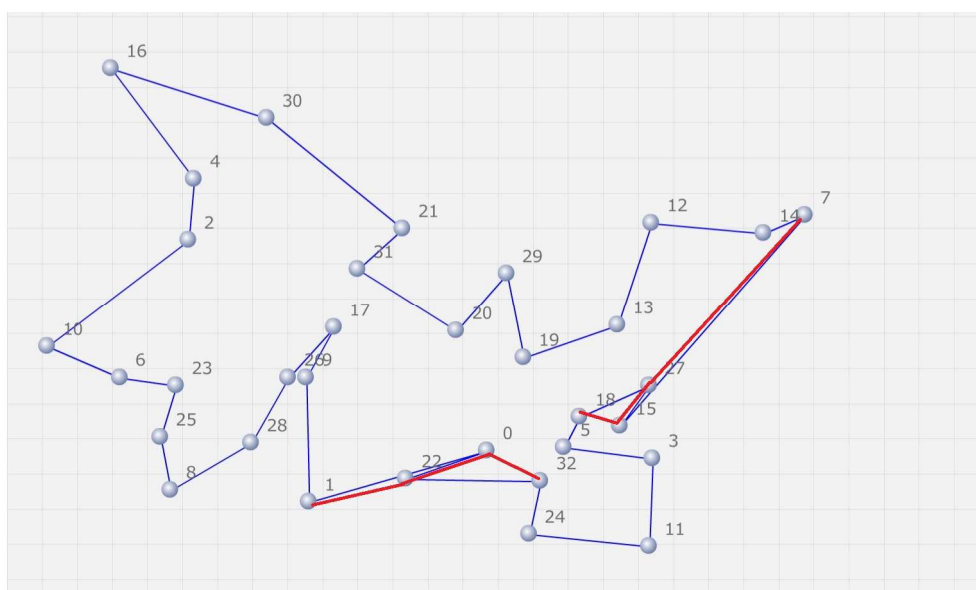
Na obrázku č. 10 je zobrazena optimalizovaná trasa vytvořena pomocí algoritmu nejvzdálenějšího vložení s využitím Bjornsonovy aplikace. Tato trasa má podobný průběh jako optimalizovaná trasa vytvořena pro svoz plastu v předešlé podkapitole. Již na první pohled ji ovšem lze upravit a optimalizovat. U této optimalizace se vyskytl problém, který u dvou předešlých optimalizací s využitím Bjornsonovy aplikace nenastal. Poslední bod trasy musí vždy tvořit místo s vozidlovou váhou a poté se vozidlo vrací vždy do výchozího bodu [0], kde dojde k vyložení odpadu. U optimalizace trasy pro svoz barevného skla se mezi těmito body ovšem vyskytuje jedna obec se sběrným místem a tak musela být trasa ručně upravena. Návrh úpravy trasy s ohledem na známost terénu je zobrazen na obrázku č. 11 spolu s další úpravou trasy zahrnující body [7, 15, 18 a 27]. Úpravy jsou znázorněny červenou barvou. I zde je na první pohled patrné, že lze provést optimalizaci trasy, která povede ke zkrácení konečné trasy. Původní částečná trasa probíhala body v pořadí [18 – 27 – 15 – 7]. Návrh pro optimalizaci trasy je [18 – 15 – 27 – 7].

Délka letecké trasy na obrázku č. 10 byla po změření pomocí nástroje Měření vzdálenosti na portálu mapy.cz 93 480 m. Tento nástroj je schopen vzdálenost měřit na desítky metrů. Po optimalizaci se tato vzdálenost zkrátila na 85 520 m. Rozdíl tedy činí 7 960 m.



Obr. 10 Optimalizovaná trasa – sklo barevné (Bjornsonova aplikace)

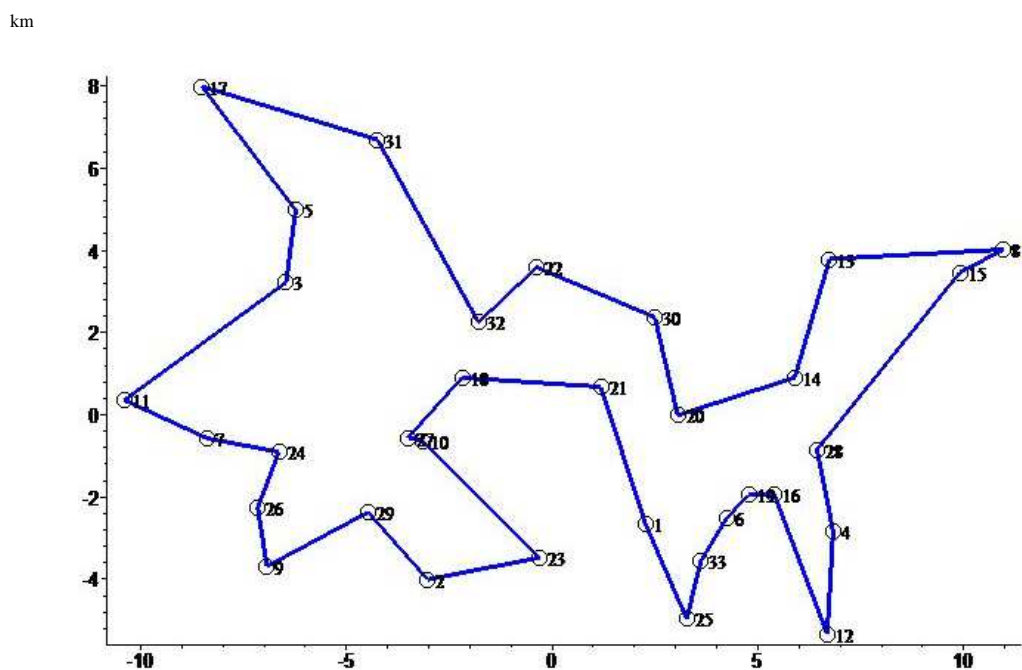
Zdroj: Vlastní



Obr. 11 Optimalizovaná trasa s úpravami – sklo barevné (Bjornsonova aplikace)

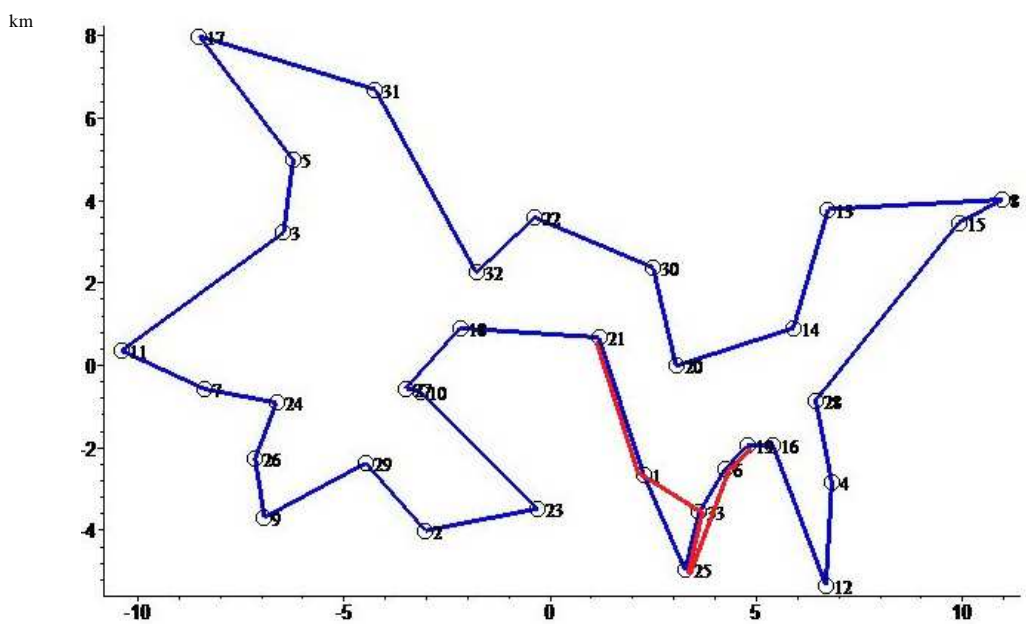
Zdroj: Vlastní

Maple s využitím Petříkova algoritmu vytvořil optimalizovanou trasu o délce 86 950 m. Vzdálenost této trasy byla změřena s přesností na desítky metrů nástrojem Měření vzdálenosti na webových stránkách mapy.cz. Tato trasa je vyobrazena na obrázku č. 12. Trasa byla ručně upravena. Provedené úpravy jsou zobrazeny na obrázku č. 13 červenou barvou. Úpravy trasy vedly k prodloužení vzdálenosti o 490 m. Délka trasy po všech úpravách je tedy 87 440 m.



Obr. 12 Optimalizovaná trasa – sklo barevné (Maple)

Zdroj: vlastní



Obr. 13 Optimalizovaná trasa s úpravami – sklo barevné (Maple)

Zdroj: vlastní

5.2.4 Optimalizovaná trasa – sklo bílé

Seznam obcí, ve kterých probíhá svoz separovaného bílého skla, obsahuje Tabulka č. 4. Těchto obcí se sběrnými místy se ve svozové oblasti nachází třicet. Svozový vůz tedy musí projet 32 body, přičemž musí vyprázdnit 46 sběrných nádob určených pro sběr a separaci bílého skla. Svoz bílého skla probíhá jednou měsíčně.

Tab. 4 Svozová oblast – sklo bílé

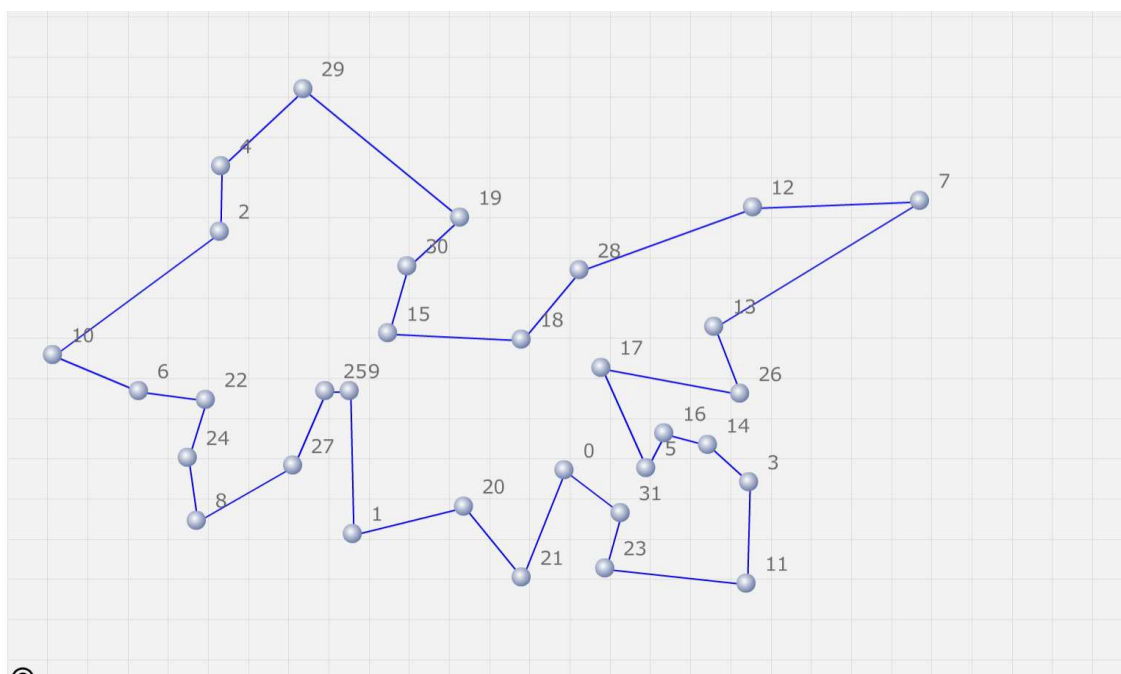
Pořadí	Obec	GPS	počet
0	Start	49.3475369N, 16.0293358E	0
1	Baliny	49.3354114N, 15.9563375E	1
2	Blížkov	49.4003444N, 15.9088386E	1
3	Březejc	49.3458956N, 16.0921719E	1
4	Dědkov (Blížkov)	49.4160981N, 15.9120039E	1
5	Dolní Radslavice	49.3487697N, 16.0564983E	1
6	Geršov (Otín)	49.3662281N, 15.8825639E	1
7	Horní Libochovná	49.4074881N, 16.1494369E	2
8	Horní Radslavice	49.3382747N, 15.9023614E	1
9	Hrbov	49.3656961N, 15.9545725E	1
10	Chlumek	49.3745603N, 15.8545964E	1
11	Jabloňov	49.3235092N, 16.0902253E	1
12	Jívoví	49.4053656N, 16.0910392E	2
13	Kozlov	49.3795428N, 16.0792703E	4
14	Kúsky	49.3538969N, 16.0725225E	1
15	Lavičky	49.3794861N, 15.9677508E	1
16	Lhotky	49.3540953N, 16.0640711E	1
17	Martinice	49.3712886N, 16.0400872E	4
18	Mostišťe	49.3775256N, 16.0143228E	4
19	Olší nad Oslavou	49.4036433N, 15.9928422E	1
20	Oslavice	49.3401600N, 15.9937883E	2
21	Osové	49.3253931N, 16.0153292E	1
22	Otín	49.3633092N, 15.9064156E	2
23	Petráveč	49.3268097N, 16.0430706E	2
24	Pohořilky (Otín)	49.3511150N, 15.8993036E	1
25	Svaňenov	49.3663653N, 15.9496894E	1
26	Sviny	49.3637958N, 16.0868256E	1
27	Uhřínov	49.3501314N, 15.9362892E	1
28	Vídeň	49.3927019N, 16.0323914E	3
29	Zadní Zhořec	49.4314647N, 15.9393967E	1
30	Závist (Lavičky)	49.3916472N, 15.9732883E	1

31	Vozidlová váha	49.3395258N, 16.0479394E	0
Suma:			46

Zdroj: Data společnosti Technické služby VM s.r.o., upravila Novotná Jana

Optimalizovaná trasa pro svoz bílého skla vytvořená pomocí Bjornsonovy aplikace je zobrazena na obrázku č. 14. Z počátečního bodu [0] pokračuje svozový vůz směrem na severozápad a poté na severovýchod do obce Zadní Zhořec [29] odkud postupuje směrem k obci Horní Libochová, která leží nejvíce na východ v rámci svozové oblasti. Odtud se svozový vůz stáčí jihozápadně a projíždí sběrná místa až do bodu [31], kde se nachází váha. Trasu uzavírá vůz přejetím zpět do výchozího bodu [0].

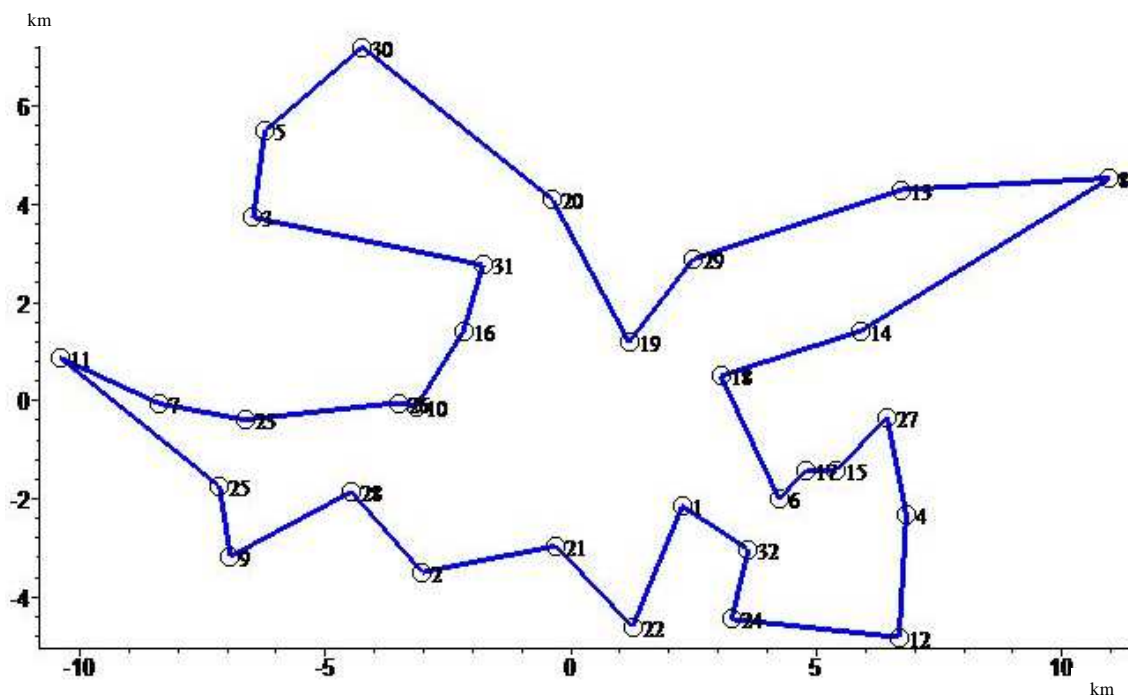
Tuto trasu již nebylo třeba ručně upravovat. Délka této letecké trasy po změření je 81 160 m.



Obr. 14 Optimalizovaná trasa – sklo bílé (Bjornsonova aplikace)

Zdroj: Vlastní

Obrázek č. 15 zobrazuje trasu, kterou vytvořil Petříkův algoritmus. Délka této svozové trasy činí 83 350 m. Trasu již nebylo třeba upravovat.



Obr. 15 Optimalizovaná trasa – sklo bílé (Maple)

Zdroj: vlastní

5.2.5 Optimalizovaná trasa – bioodpad

Svoz biologicky rozložitelných odpadů (zkráceně bioodpad) probíhá v současné době v 21 obcích. Celkem svozový vůz musí projet 23 body a musí vyprázdnit 38 sběrných nádob o objemu 0,77 m³ určených na bioodpad. Následující Tabulka č. 5 obsahuje výčet obcí, ve kterých se uskutečňuje svoz ze sběrných nádob o výše zmíněném objemu. V obcích, které jsou označeny hvězdičkou, jsou navíc přistaveny kontejnery o objemu 15 m³. Tyto kontejnery jsou po naplnění vyměněny za prázdné. Jejich svoz probíhá po telefonické domluvě s TSVM. Jelikož svoz těchto kontejnerů probíhá způsobem výměny prázdného za plný a musí se tedy každý kontejner vyměňovat zvlášť, nebude dále řešena optimalizace svozu těchto sběrných nádob.

Tab. 5 Svozová oblast – bioodpad

Pořadí	Obec	GPS	počet
0	Start	49.3475369N, 16.0293358E	0
1	Baliny	49.3354114N, 15.9563375E	1
2	Blížkov	49.4003444N, 15.9088386E	1
3	Březejc	49.3458956N, 16.0921719E	1
4	Dolní Radslavice	49.3487697N, 16.0564983E	1
5	Hrbov	49.3656961N, 15.9545725E	1
6	Kozlov*	49.3795428N, 16.0792703E	1

7	Křeptov (Ruda)	49.3170347N, 16.1388806E	1
8	Kúsky	49.3538969N, 16.0725225E	1
9	Lhotka (Ruda)	49.3058864N, 16.1153025E	1
10	Lhotky	49.3540953N, 16.0640711E	1
11	Mostišťe	49.3775256N, 16.0143228E	6
12	Olší nad Oslavou	49.4036433N, 15.9928422E	1
13	Oslavice	49.3401600N, 15.9937883E	8
14	Osové	49.3253931N, 16.0153292E	1
15	Radenice	49.4271239N, 16.0642817E	3
16	Ruda	49.3225822N, 16.1236711E	2
17	Sklené nad Oslavou	49.4378289N, 16.0569653E	2
18	Stránecká Zhoř	49.3801322N, 15.9272469E	1
19	Svařenov*	49.3663653N, 15.9496894E	1
20	Uhřínov	49.3501314N, 15.9362892E	2
21	Zadní Zhořec*	49.4314647N, 15.9393967E	1
22	Vozidlová váha	49.3395258N, 16.0479394E	0
Suma:			38

Zdroj: Data společnosti Technické služby VM s.r.o., upravila Novotná Jana

Svozová trasa vytvořena pomocí Bjornsonovy aplikace je zobrazena na obrázku č 16. Tato trasa se nejvíce liší od všech předchozích. Je to způsobeno značným úbytkem bodů v seznamu obcí a také několika novými obcemi, ve kterých se sběr ostatních separovaných odpadů nerealizuje. Jedná se především o obce Radenice, Sklené nad Oslavou, Stránecká Zhoř a Ruda s místními částmi Křeptov a Lhotka. První tři jmenované obce mají uzavřenou smlouvu o svozu separovaného odpadu s jinou svozovou společností a v obci Ruda s místními částmi jsou umístěny sběrné nádoby odlišného tvaru. Tyto nádoby jsou svázeny jiným svozovým vozidlem, které sváží odpad ze stejných sběrných nádob ve městě Velké Meziříčí.

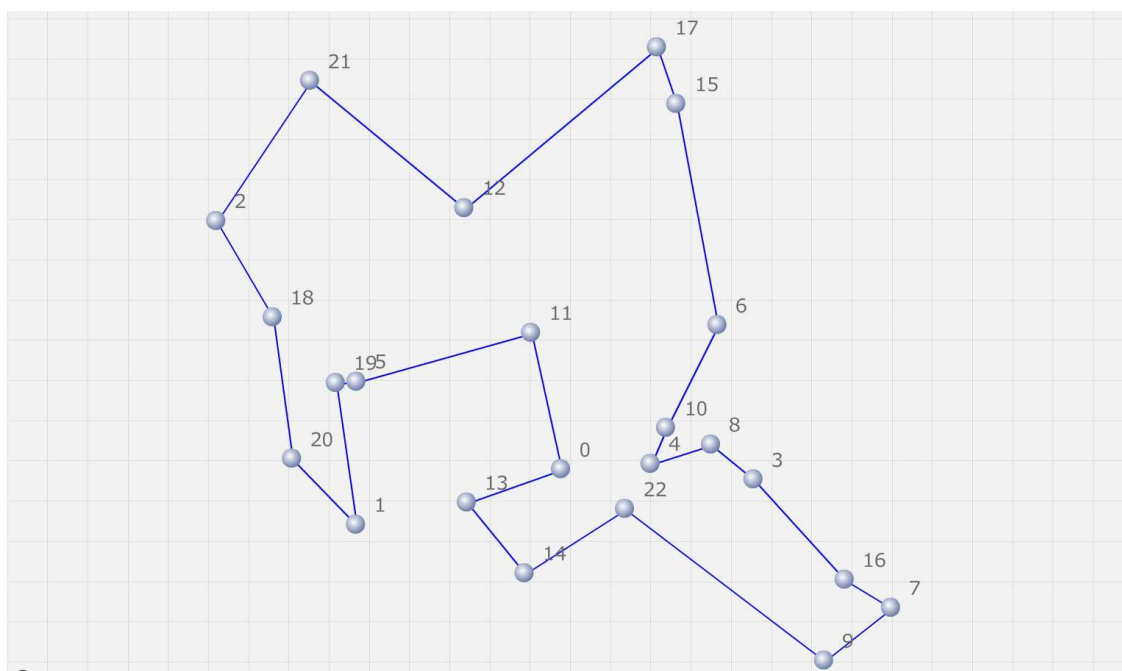
I u této optimalizované trasy však nastává podobný problém, který bylo nutno řešit při úpravě svozové trasy pro barevné sklo. Mezi bodem [22] označujícím vozidlovou váhu a výchozím bodem [0] se nachází obce Oslavice a Osové. Tyto dvě obce musí být zařazeny do jiné části trasy. Jelikož však tuto funkci Bjornsonova aplikace neobsahuje, musela být trasa upravena ručně. Možné řešení s ohledem na známost terénu a úprava je zobrazena na obrázku č 17. Nová trasa nyní prochází z počátečního bodu [0] nejprve obcí Osové [14], poté pokračuje obcí Oslavice [13] a následně se napojuje již na původní trasu v bodě [11] v obci Mostišťe.

Vůz dále pokračuje směrem na západ, obrací se na jih, kde musí projet dvě obce se sběrnými místy a stáčí se na sever do obce Zadní Zhořec [21], odkud putuje na východ do obce Sklené nad Oslavou [17]. Zde opět dochází ke změně směru na jihovýchod až do Lhotky [9], což je místní část obce Rudy, a následujícím bodem

trasy je vozidlová váha. Trasa je uzavřena navrácením se vozidla zpět do sídla TSVM, kde dojde k vysypání bioodpadu a jeho vizuální kontrole.

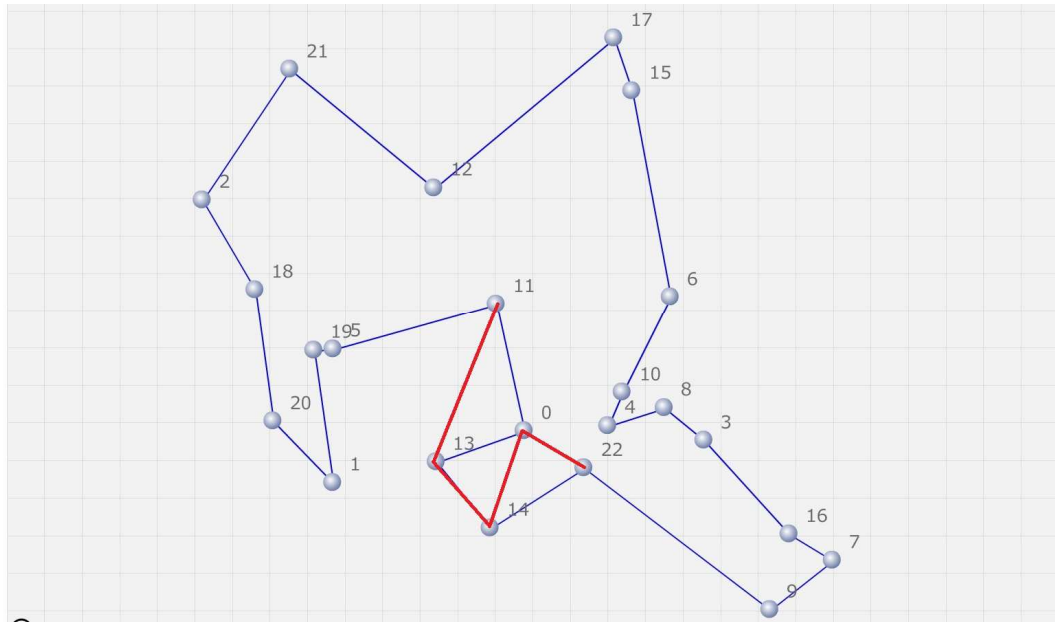
Délka původní trasy změřená s přesností na desítky metrů nástrojem Měření vzdálenosti činila 69 340 m. Trasa po úpravách má vzdálenost 68 570 m. Úpravou původní trasy bylo dosaženo optimalizace. Celková délka letecké trasy pro svoz bioodpadu byla zkrácena o 770 m.

Trasa pro svoz biologicky rozložitelného odpadu, která byla vytvořena Petříkovým algoritmem, je zobrazena na obrázku č. 18. Optimalizovaná trasa splňuje podmínku, která byla stanovena výše. Touto podmínkou je jízda svozového vozu po projetí všemi obcemi na vozidlovou váhu [23] a poté na TSVM [1], kde dojde k vyprázdnění svozového vozu a vizuální kontrole odpadu. Trasu tedy nebylo nutné dále upravovat a mohla být změřena její vzdálenost. Měření proběhlo nástrojem Měření vzdálenosti, který je přístupný na portálu mapy.cz. Délka této trasy je 65 020 m.



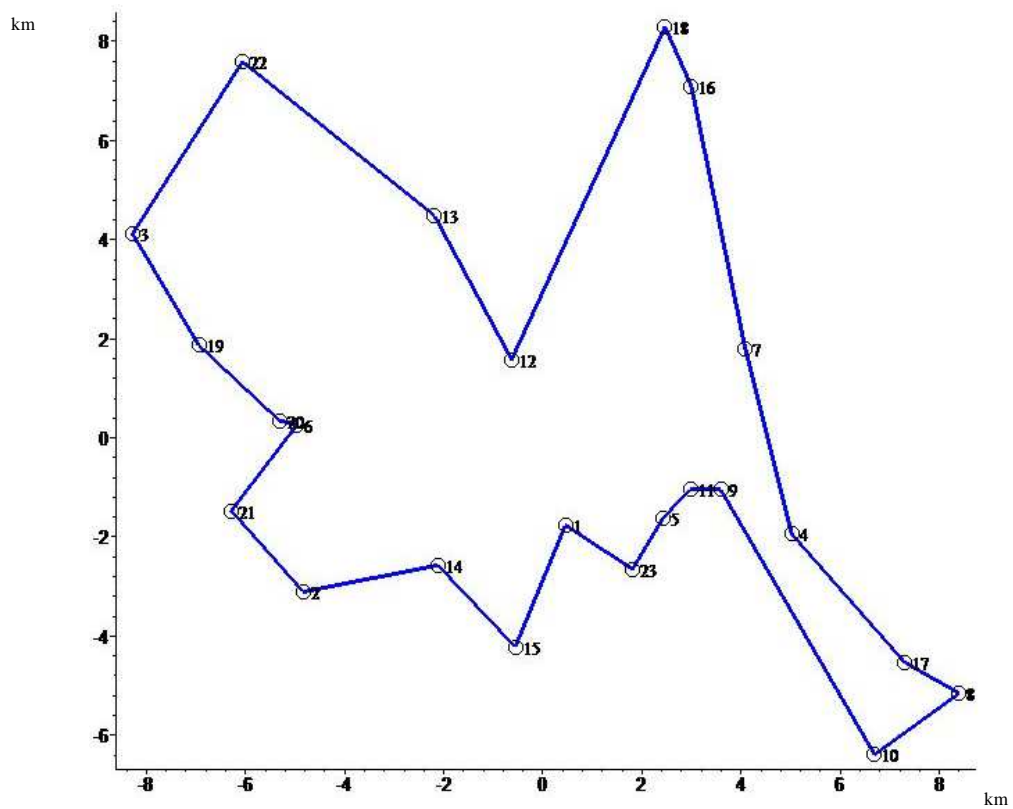
Obr. 16 Optimalizovaná trasa – bioodpad (Bjornsonova aplikace)

Zdroj: Vlastní



Obr. 17 Optimalizovaná trasa s úpravami – bioodpad (Bjornsonova aplikace)

Zdroj: Vlastní



Obr. 18 Optimalizovaná trasa – bioodpad (Maple)

Zdroj: vlastní

5.3 Diskuze

V současné době společnost Technické služby VM s.r.o. (dále TSVM) nevyužívá pro svoz separovaných odpadů z obcí a místních částí žádné uspořádané trasy. Svoz těchto odpadů probíhá v pravidelných časových intervalech, avšak pořadí obcí je voleno individuálně podle zaměstnanců, kteří zajišťují obsluhu svozového vozu pro daný den. I přes to, že svozový vůz svou kapacitou dovoluje vyprázdnit všechny sběrné nádoby jednoho druhu separovaného odpadu v rámci jedné trasy, této možnosti není v současnosti využíváno. Po analýze uskutečněných jízd bylo zjištěno, že daný svozový vůz obvykle za den vytvoří několik svozových tras, do kterých začlení vždy jen část obcí ze svozové oblasti a poté doplní zásobník nástavby odpady ze sběrných nádob ve Velkém Meziříčí. Délka těchto tras se pohybuje obvykle od 100 000 do 150 000 m.

Cílem této práce bylo vytvořit algoritmus, který by efektivně optimalizoval svozové trasy separovaných odpadů ve svozové oblasti TSVM. K optimalizaci byl vybrán algoritmus nejvzdálenějšího vložení, který vykazoval nejlepší výsledky ze čtyř zkoušených optimalizačních metod. Těmito metodami byly algoritmy nejbližšího, nejvzdálenějšího a nejlevnějšího vložení a algoritmus nejbližšího souseda, které byly testovány pomocí Bjornsonovy aplikace.

V algebraickém systému Maple byl použit algoritmus nejvzdálenějšího vložení, jehož základ vycházel z Petříkova algoritmu. Tento algoritmus musel být pro účely této práce upraven, aby byla zajištěna efektivita zpracování vstupních dat.

Výstupy z obou aplikací nelze kombinovat. Proto došlo ke změření délek optimalizovaných tras nezávislým nástrojem. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce č. 6 a jednotlivé údaje jsou mezi sebou porovnány. Kompletní tvar navržených tras je obsahem tabulkového editoru, který je připojen jako příloha na CD.

TSVM z obcí ve svozové oblasti svážejí papír, plasty, sklo barevné, sklo bílé a biologicky rozložitelný odpad. Jako vstupní data slouží GPS souřadnice obcí, ve kterých ke sběru a shromáždění daného druhu separovaného odpadu dochází. Ke svozu papíru dochází ve 31 obcích, plast se sváží z 34 obcí, barevné sklo z 31 obcí, bílé sklo z 30 obcí a biologicky rozložitelný odpad z 21 obcí. Tyto obce byly v práci prezentovány jako body, kterými musí svozový vůz projet. Do množiny těchto bodů byl přidán vždy bod a GPS souřadnice prezentující sídlo TSVM, kde má každá trasa počátek a konec, a bod s GPS souřadnicemi, který zastupuje vozidlovou váhu, pro zaznamenání hmotnosti sváženého odpadu v rámci jedné trasy.

V systému Maple tedy bylo vytvořeno pět optimalizovaných tras s využitím algoritmu nejvzdálenějšího vložení. Některé z tras byly ručně upraveny. Úprava byla

nutná pro splnění podmínky stanovené TSVM. Touto podmínkou je zvážení svozového vozu na vozidlové váze a jeho přesun do sídla TSVM poté, co vůz vyprázdní všechny sběrné nádoby optimalizované trasy.

Tabulka č. 6 obsahuje přehled jednotlivých délek optimalizovaných tras, které byly vytvořeny jak Bjornsonovou aplikací tak pomocí systému Maple. U tras, kde byla provedena ruční úprava a optimalizace, byla změřena délka těchto tras po úpravách a zaznamenán rozdíl, o jaký došlo k prodloužení či zkrácení trasy. Pokud došlo ke zkrácení trasy, je toto zkrácení označeno znaménkem „-“. Pokud došlo k prodloužení trasy, je toto prodloužení znázorněno znaménkem „+“. Délka konečné trasy je v tabulce zvýrazněna pro lepší orientaci tučně.

Záhlaví tabulky prezentuje druhy separovaných odpadů, pro které byla trasa optimalizována. První sloupec pak udává typ použité optimalizace. Všechny číselné údaje jsou zobrazeny v metrech, písmeno X znamená, že u dané trasy nedošlo k žádným ručním úpravám trasy. Těchto tras je šest. Měření délky tras probíhalo s využitím online dostupného nástroje Měření vzdálenosti na mapovém portálu www.mapy.cz. Tento nástroj měří dané vzdálenosti s přesností na desítky metrů.

Tab. 6 Délka svozových tras v metrech

Druh algoritmu	Druh separovaného odpadu				
	Papír	Plast	Sklo barevné	Sklo bílé	Biologicky rozložitelný odpad
Bjornsonova aplikace	86 640	88 310	93 480	81 160	69 340
Bjornsonova aplikace po úpravách	X	X	85 520	X	68 570
Rozdíl	X	X	-7 960	X	-770
Petříkův algoritmus	87 370	88 470	86 950	83 350	65 020
Petříkův algoritmus po úpravách	88 950	X	87 440	X	X
Rozdíl	+1 580	X	+490	X	X

Zdroj: Vlastní

Výstupem Bjornsonovy aplikace byly trasy pro svoz papíru, plastu a bílého skla, které splňovaly podmínku stanovenou TSVM a nebylo třeba je dále upravovat. U těchto tras byla změřená ideální letecká vzdálenost. Optimalizovaná trasa pro svoz papíru obsahovala 33 bodů, kterými svozový vůz musí projet, aby došlo k vyprázdnění všech sběrných nádob tohoto druhu separovaného odpadu. Tato trasa s přesností na desítky metrů má délku 86 640 m. Délka trasy pro svoz plastu

je 88 310 m a vůz musí projet 36 bodů. Pro svoz bílého skla musí svozový vůz projet 32 bodů a délka optimalizované trasy je 81 160 m.

Trasy pro svoz barevného skla a biologicky rozložitelných odpadů, které byly vytvořeny s použitím Bjornsonovy aplikace, musely být ručně upraveny. Úpravy probíhaly s ohledem na znalost terénních podmínek a těmito úpravami došlo k optimalizaci tras. Letecká trasa pro svoz barevného skla po všech úpravách byla zkrácena o 7 960 m, její celková délka je 85 520 m. Svovový vůz musí projet 33 bodů. Letecká délka trasy pro svoz biologicky rozložitelného odpadu je 68 570 m a tato trasa byla zkrácena úpravami o 770 m. Pro svoz tohoto druhu separovaného odpadu musí svovový vůz projet 23 bodů.

Upravený Petříkův algoritmus v prostředí Maple vytvořil optimalizované letecké trasy pro svoz plastu, bílého skla a biologicky rozložitelných odpadů, které již nebylo třeba upravovat. Délka optimalizované trasy pro svoz plastu je 88 470 m. V porovnání s konečnou trasou Bjornsonovy aplikace je trasa vytvořená v Maple delší o 160 m. Tato vzdálenost je s ohledem na celkovou vzdálenost trasy zanedbatelná. Trasa pro svoz bílého skla, která byla vytvořena v Maple, je dlouhá 83 350 m. Oproti optimalizované trase Bjornsonovy aplikace je delší o 2 190 m. V Maple vytvořená optimalizovaná trasa pro svoz biologicky rozložitelného odpadu je dlouhá 65 020 m. Tato trasa je v porovnání s trasou Bjornsonovy aplikace kratší o 3 550 m.

Trasy pro svoz papíru a barevného skla, které byly vytvořeny v Maple, musely být ručně upraveny. Zde nebyla splněna podmínka stanovená TSVM. U obou tras vedly úpravy k prodloužení těchto tras. U trasy pro svoz papíru došlo k prodloužení původní trasy o 1 580 m. Konečná trasa má délku 88 950 m. Je tedy o 2 310 m delší než trasa vytvořená Bjornsonovou aplikací. Trasa pro svoz barevného skla byla prodloužena o 490 m. Konečná délka letecké trasy je 87 440 m a tato trasa je o 1 920 m delší než trasa vytvořená Bjornsonovou aplikací.

Po porovnání délek konečných tras byla pomocí systému Maple vytvořena jediná trasa jejíž délka byla kratší než trasa optimalizovaná pomocí Bjornsonovy aplikace. Tato trasa je určena pro svoz biologicky rozložitelných odpadů. Další trasy pro svoz ostatních druhů separovaných odpadů byly v porovnání s Bjornsonovou aplikací delší. Nejmenší rozdíl v porovnání konečných tras byl 160 m a největší rozdíl 3 550 m. Tyto trasy jsou ovšem ideální leteckou optimalizací a neshodují se s reálně používanými trasami. Řešení nezahrnuje obce, do kterých vede pouze jedna cesta ani nezohledňuje skutečný profil terénu a stav cest.

Nicméně v porovnání se současným stavem svovových tras, které TSVM využívá, došlo ke značnému zkrácení jednotlivých tras. Toto zkrácení se pohybuje v řádu desítek kilometrů. V některých případech je trasa kratší až o 75 000 m (v

případě trasy pro svoz biologicky rozložitelných odpadů). Proto v porovnání s rozdílem vzdáleností, který nastává při použití Bjornsonovy aplikace a upraveného Petříkova algoritmu, se jeví tyto vzdálenosti jako zanedbatelné. Je tedy zřejmé, že algoritmus vytvářející optimalizované trasy v systému Maple pracuje efektivně a s podobnými výsledky jako druhá zvolená aplikace.

Současné výstupy obou systémů nabízí další možnosti pro zamyšlení, jak dané trasy optimalizovat. Jedním z možných návrhů je vytvořit příkaz zahrnující podmínku stanovenou TSVM přímo do algoritmu. Dalším krokem by mohlo být zohlednění obcí, do kterých vede pouze jedna cesta, a také vytvoření matice, která by obsahovala skutečné vzdálenosti mezi obcemi.

6 Závěr

Cílem této práce bylo teoreticky určit faktory, které ovlivňují problematiku svážení odpadu, sestavit algoritmus optimalizace svozové trasy, aplikovat ho v prostředí vhodného programu a ověřit jeho funkčnost. Tento cíl byl splněn vytvořením algoritmu, který vytváří optimalizované trasy v prostředí algebraického systému Maple. Algoritmus využíval metod obchodního cestujícího. Konkrétně byla testována funkčnost algoritmu nejvzdálenějšího vložení. Tento algoritmus byl aplikován na množiny bodů zastupujících obce, ve kterých dochází ke svozu pěti druhů separovaných odpadů. Těmito odpady jsou papír, plast, barevné sklo, bílé sklo a biologicky rozložitelný odpad.

Počáteční analýza dat proběhla v prostředí Bjornsonovy aplikace, která je dostupná online. Tato aplikace nabízí řešit problém obchodního cestujícího pomocí čtyř optimalizačních metod. Nevýhodou je, že se musí body umisťovat ručně na předem vytvořenou mřížku a tak je nutné zohlednit lidský faktor chybovosti. Bjornsonova aplikace však může výborně sloužit pro počáteční analýzu dat, na základě které je možné rozhodnout se pro výběr vhodnějšího algoritmu či zvolit jiný postup. Díky předběžné analýze dat byl pro další postup této práce zvolen algoritmus nejvzdálenějšího vložení.

V programu Maple byl sestaven algoritmus nejvzdálenějšího vložení, jehož základ vycházel z Petříkova algoritmu. Tento algoritmus vytvořil optimalizovanou trasu pro každý druh separovaného odpadu zvlášť. U těchto tras byla změřena jejich délka a ta byla porovnána s délkami tras, které vytvořila Bjornsonova aplikace.

Výstupem obou aplikací byly trasy, jejichž délka se lišila maximálně o 3 550 m u biologicky rozložitelného odpadu, o 2 190 m pro svozovou trasu bílého skla, o 1 920 m u trasy pro barevné sklo, o 2 320 m pro svoz papíru a o pouhých 160 m pro svozovou trasu plastů. Délka tras se pohybovala v rozmezí od 80 000 m do 90 000 m pro svoz papíru, plastu, barevného a bílého skla. Pro svozovou trasu biologicky rozložitelných odpadů byla délka těchto tras od 65 500 m do 70 000 m.

Obě aplikace ovšem vytváří pouze idealizované letecké trasy a tak by pro jejich budoucí použití bylo vhodné zohlednit skutečné délky tras mezi obcemi a profilem terénu.

7 Zdroje

7.1 Literární zdroje

- [1] BARTOŇ, Stanislav. *Maple V 4*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 1999. ISBN 80-227-1196-9,
- [2] BENEŠOVÁ, Libuše. *Komunální a podobné odpady*. 1. vyd. Praha: ENZO, 2011. ISBN 978-80-901732-1-7,
- [3] BĚLOCH, Zdeněk. *Návrh tras svozu komunálního odpadu ve Velkém Meziříčí*. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera,
- [4] BOŽEK, František, Zdeněk ZEMÁNEK a Rudolf URBAN. *Recyklace*. 1. vyd. Vyškov, 2003. ISBN 80-238-9919-8,
- [5] BURDOVÁ, Jana. *Heuristické a metaheuristické metody řešení úlohy obchodního cestujícího*. Praha, 2011. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Fakulta informatiky a statistiky. Katedra ekonometrie,
- [6] COOK, William. *Po stopách obchodního cestujícího: matematika na hranicích možností*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2012. Zip (Argo: Dokořán). ISBN 978-80-7363-412-4,
- [7] GOLUSH, Toma V. *Waste management research trends*. New York: Nova Science Publishers, c2008. ISBN 160456234X,
- [8] HOLOUBEK, Josef. *Ekonomicko-matematické metody*. 2., nezměn. vyd. V Brně: Mendelova univerzita, 2010. ISBN 978-80-7375-411-2,
- [9] CHODÚR, Jan. *Logistický modul pro optimalizaci rozvozových tras*. Brno, 2013. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Fakulta informatiky,
- [10] HŘEBÍČEK, Jiří, Jiří KALINA a Jan TOMEK. *Projektování nakládání s bioodpady v obcích*. 1. vyd. Brno: Littera, 2010. ISBN 978-80-85763-56-0,
- [11] KLIMÁNEK, Martin. *Digitální modely terénu*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-982-3,
- [12] MERTL, Jakub. *Rozvozní úloha s dělenou dodávkou – heuristické metody*. Praha. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Fakulta informatiky a statistiky. Katedra ekonometrie,
- [13] PETŘÍK, Michal. *Optimalizace logistických problémů svozu odpadů mikroregionu Mikulovsko*. Brno. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Ústav techniky a automobilové dopravy,

- [14] RUDA, Aleš. *GIS v regionálním rozvoji: klíčové aspekty a aplikace*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-853-0,
- [15] RUSTON, John a Richard A DENISON (eds.). *Recycling and incineration: evaluating the choices*. Washington: Island Press, 1990. ISBN 1-55963-054-X,
- [16] RYBIČKA, Jiří a Petra ČAČKOVÁ. *Programovací techniky*. 1. vyd. V Brně: Mendelova univerzita, 2014. ISBN 978-80-7509-136-9,
- [17] STODOLA, Josef, Josef MAREK a Jan FURCH. *Logistika*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-071-8,
- [18] Svoz odpadu lze zajistit rychle a efektivně i v malých obcích. *Odpady: odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí*. 2014, **2014**(6), 11. ISSN 1210-4922,
- [19] ŠŤASTNÁ, Jarmila. *Kam s nimi: jak správně třídit odpady a všechno, co s tím souvisí: s průvodkyní Martinou Vrbovou*. Vyd. 1. Praha: Česká televize, 2007. Edice České televize. ISBN 978-80-85005-72-1,
- [20] VOJÁČKOVÁ, Markéta. Routeplanning a optimalizace tras, sledování techniky. *Reliant Logistic News: magazín pro výrobu, obchod a supply chain*. 2015, **XII**(11), 38-39. ISSN 1802-3746,
- [21] VOŠTOVÁ, Věra. *Logistika odpadového hospodářství*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1,
- [22] ŽÁKOVSKÁ, Markéta. *Optimalizace dopravních tras v distribuční síti*. Přerov, 2012. Bakalářská práce. Vysoká škola logistiky o.p.s.

7.2 Právní předpisy

- [23] ČESKO. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2001, částka 71. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>> [cit. 2016-03-01]. ISSN 1211-1244,
- [24] ČESKO. Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2001, částka 172. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>> [cit. 2014-05-01]. ISSN 1211-1244,
- [25] ČESKO. Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2014, částka 141. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-352>> [cit. 2015-01-01]. ISSN 1211-1244,

- [26] ČESKO. Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2016, částka 38. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>> [cit. 2016-04-01]. ISSN 1211-1244,
- [27] ČESKO. Vyhláška č. 383/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2001, částka 145. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-383>> [cit. 2016-03-21]. ISSN 1211-1244,
- [28] ČESKO. Vyhláška č. 321/2014 Sb., o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2014, částka 128. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-321>> [cit. 2015-01-01]. ISSN 1211-1244,
- [29] Nařízení komise (EU) č. 1357/2014 ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech a o zrušení některých směrnic. [online]. (Úř. vest. L 365/89, 19.12.2014). Dostupné na: <<http://www.caoh.cz/data/article/narizeni1357-2014.pdf>> [cit. 2016-04-09]
- [30] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu). Zákon č. 166/1999 Sb., o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů (veterinární zákon), ve znění pozdějších předpisů. [online]. (Úř. věst. L 300/1, 14.11.2009). Dostupné na: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:300:0001:0033:CS:PDF> [cit. 2016-04-09].

7.3 Elektronické zdroje

- [31] Jak třídit: *Jak správně třídit – barevné kontejnery* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné na: <<http://jaktridit.cz/cz/trideni/jak-spravne-tridit---barevne-kontejnery/sklo>>
- [32] KOMPOSTUJ.CZ: Bioodpad a kompostování. [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné na: <<http://www.kompostuj.cz>>
- [33] Červené kontejnery: *Červená*. [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné na: <<http://www.cervenekontejnery.cz>>

- [34] Recyklace textilu: *Sběr a třídění textilního odpadu – Recyklace textilu – Kontejnery na textil*. [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné na:
<<http://www.recyklace-textilu.cz/sluzby/kontejnery/>>
- [35] Traveling salesman problem: *Insertion algorithms*. [online]. [cit.2016-02-26]. Dostupné na:
<http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/VEHICLE/TSP/TSP015_.HTM>
- [36] TSP heuristic approximation algorithms: *Farthest insertion*. [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné na:
<<http://faculty.washington.edu/jtenenbg/courses/342/f08/sessions/tsp.html>>
- [37] MORAVEC, Zdeněk. *Řešení pro plánování a optimalizaci distribučních tras*. [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z:
<<http://www.systemonline.cz/clanky/reseni-pro-planovani-a-optimalizaci-distribucnich-tras.htm>>
- [38] Sběrné nádoby: Poradenství v oblasti chemie a odpadů. [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné na: <<http://www.evidenceodpadu.cz/sberne-nadoby.html>>
- [39] Mapy.cz. [online]. Dostupné na: <www.mapy.cz>
- [40] Bjornson's blog: *Visualisation of heuristics to solve the Travelling Salesman Problem (TSP) in Flash*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné na:
<<http://bjornson.inhb.de>>

8 Seznam obrázků

Obr. 1	Bjornsonova aplikace	32
Obr. 2	Uživatelské prostředí systému Maple	34
Obr. 3	Sběrná místa pro svoz papíru	34
Obr. 4	Stav současné trasy svozu papíru	37
Obr. 5	Optimalizovaná trasa - papír (Bjornsonova aplikace)	40
Obr. 6	Optimalizovaná trasa - papír (Maple)	41
Obr. 7	Optimalizovaná trasa s úpravami - papír (Maple)	41
Obr. 8	Optimalizovaná trasa - plast (Bjornsonova aplikace)	43
Obr. 9	Optimalizovaná trasa - plast (Maple)	44
Obr. 10	Optimalizovaná trasa - sklo barevné (Bjornsonova aplikace)	46
Obr. 11	Optimalizovaná trasa s úpravami - sklo barevné (Bjornsonova aplikace)	46
Obr. 12	Optimalizovaná trasa - sklo barevné (Maple)	47
Obr. 13	Optimalizovaná trasa s úpravami - sklo barevné (Maple)	47
Obr. 14	Optimalizovaná trasa - sklo bílé (Bjornsonova aplikace)	49
Obr. 15	Optimalizovaná trasa - sklo bílé (Maple)	50
Obr. 16	Optimalizovaná trasa - bioodpad (Bjornsonova aplikace)	52
Obr. 17	Optimalizovaná trasa s úpravami - bioodpad (Bjornsonova aplikace)	53
Obr. 18	Optimalizovaná trasa - bioodpad (Maple)	53
Obr. 19	Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - papír	74

Obr. 20	Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - papír	74
Obr. 21	Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - plast	75
Obr. 22	Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - plast	75
Obr. 23	Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - sklo barevné	76
Obr. 24	Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - sklo barevné	76
Obr. 25	Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - sklo bílé	77
Obr. 26	Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - sklo bílé	77
Obr. 27	Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - bioodpad	78
Obr. 28	Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - bioodpad	78

9 Seznam tabulek

Tab. 1	Svozová oblast - papír	38
Tab. 2	Svozová oblast - plast	42
Tab. 3	Svozová oblast – sklo barevné	44
Tab. 4	Svozová oblast – sklo bílé	48
Tab. 5	Svozová oblast – bioodpad	50
Tab. 6	Délka svozových tras v metrech	55

10 Seznam použitých zkratk

a.s. – akciová společnost

bioodpad – biologicky rozložitelný odpad

BRO – biologicky rozložitelný odpad

FI – farthest insert

GPS – Globální polohový systém (z anglického Global Positioning System)

TSP – problém obchodního cestujícího (z anglického traveling salesman problém)

TSVM – Technické služby Velké Meziříčí

11 Přílohy

A	Maple – svoz separovaných odpadů	68
B	Srovnání a měření svozové trasy - papír	74
C	Srovnání a měření svozové trasy - plast	75
D	Srovnání a měření svozové trasy – sklo barevné	76
E	Srovnání a měření svozové trasy – sklo bílé	77
F	Srovnání a měření svozové trasy - bioodpad	78

A Maple – svoz separovaných odpadů

```
> restart;  
> with(plots): with(LinearAlgebra): with(combinat):
```

Pro zpracování ostatních druhů odpadů se mění obsah následujícího příkazového řádku:
Data pro svoz papíru:

```
> Data:=["Start", 49.3475369, 16.0293358], ["Baliny",  
49.3354114, 15.9563375], ["Blížkov", 49.4003444,  
15.9088386], ["Březejc", 49.3458956, 16.0921719], ["Děd-  
kov", 49.4160981, 15.9120039], ["Dolní Radslavice",  
49.3487697, 16.0564983], ["Geršov", 49.3662281,  
15.8825639], ["Horní Libochová", 49.4074881, 16.1494369],  
["Horní Radslavice", 49.3382747, 15.9023614], ["Hrbov",  
49.3656961, 15.9545725], ["Chlumek", 49.3745603,  
15.8545964], ["Jabloňov", 49.3235092, 16.0902253], ["Jívoví  
", 49.4053656, 16.0910392], ["Kozlov", 49.3795428,  
16.0792703], ["Kúsky", 49.3538969, 16.0725225], ["Kyjov",  
49.4431311, 15.8805703], ["Lavičky", 49.3794861,  
15.9677508], ["Lhotky", 49.3540953, 16.0640711], ["Martini-  
ce", 49.3712886, 16.0400872], ["Mostiště", 49.3775256,  
16.0143228], ["Olší nad Oslavou", 49.4036433, 15.9928422],  
["Oslavice", 49.3401600, 15.9937883], ["Osové", 49.3253931,  
16.0153292], ["Otín", 49.3633092, 15.9064156], ["Pavlínov",  
49.3466714, 15.8786225], ["Petráveč", 49.3268097,  
16.0430706], ["Pohořílky", 49.3511150, 15.8993036], ["Sva-  
řenov", 49.3663653, 15.9496894], ["Sviny", 49.3637958,  
16.0868256], ["Uhřínov", 49.3501314, 15.9362892], ["Vídeň",  
49.3927019, 16.0323914], ["Zadní Zhořec", 49.4314647,  
15.9393967], ["Cíl", 49.3395258, 16.0479394]]:
```

Data pro svoz plastu:

```
> Data:=["Start", 49.3475369, 16.0293358], ["Baliny",  
49.3354114, 15.9563375], ["Blížkov", 49.4003444,  
15.9088386], ["Březejc", 49.3458956, 16.0921719], ["Děd-  
kov", 49.4160981, 15.9120039], ["Dolní Radslavice",  
49.3487697, 16.0564983], ["Geršov", 49.3662281,  
15.8825639], ["Horní Libochová", 49.4074881, 16.1494369],  
["Horní Radslavice", 49.3382747, 15.9023614], ["Hrbov",  
49.3656961, 15.9545725], ["Chlumek", 49.3745603,  
15.8545964], ["Jabloňov", 49.3235092, 16.0902253], ["Koz-  
lov", 49.3795428, 16.0792703], ["Kundratice", 49.4024989,  
16.1346647], ["Kúsky", 49.3538969, 16.0725225], ["Kyjov",  
49.4431311, 15.8805703], ["Lavičky", 49.3794861,  
15.9677508], ["Lhotky", 49.3540953, 16.0640711], ["Martini-
```

```
ce", 49.3712886, 16.0400872], ["Mostiště", 49.3775256,
16.0143228], ["Olší nad Oslavou", 49.4036433, 15.9928422],
["Ořechov", 49.3502019, 16.1384264], ["Oslavice",
49.3401600, 15.9937883], ["Osové", 49.3253931, 16.0153292],
["Otín", 49.3633092, 15.9064156], ["Pavlínov", 49.3466714,
15.8786225], ["Petráveč", 49.3268097, 16.0430706], ["Poho-
řílky", 49.3511150, 15.8993036], ["Ronov", 49.3496183,
16.1324586], ["Svařenov", 49.3663653, 15.9496894], ["Svi-
ny", 49.3637958, 16.0868256], ["Uhřínov", 49.3501314,
15.9362892], ["Vídeň", 49.3927019, 16.0323914], ["Zadní
Zhořec", 49.4314647, 15.9393967], ["Závist", 49.3916472,
15.9732883], ["Cíl", 49.3395258, 16.0479394]]:
```

Data pro svoz barevného skla:

```
>Data:=["Start", 49.3475369, 16.0293358], ["Baliny",
49.3354114, 15.9563375], ["Blížkov", 49.4003444,
15.9088386], ["Březejc", 49.3458956, 16.0921719], ["Děd-
kov", 49.4160981, 15.9120039], ["Dolní Radslavice",
49.3487697, 16.0564983], ["Geršov", 49.3662281,
15.8825639], ["Horní Libochová", 49.4074881, 16.1494369],
["Horní Radslavice", 49.3382747, 15.9023614], ["Hrbov",
49.3656961, 15.9545725], ["Chlumek", 49.3745603,
15.8545964], ["Jabloňov", 49.3235092, 16.0902253], ["Jívoví
", 49.4053656, 16.0910392], ["Kozlov", 49.3795428,
16.0792703], ["Kundratice", 49.4024989, 16.1346647],
["Kúsky", 49.3538969, 16.0725225], ["Kyjov", 49.4431311,
15.8805703], ["Lavičky", 49.3794861, 15.9677508], ["Lhot-
ky", 49.3540953, 16.0640711], ["Martinice", 49.3712886,
16.0400872], ["Mostiště", 49.3775256, 16.0143228], ["Olší
nad Oslavou", 49.4036433, 15.9928422], ["Oslavice",
49.3401600, 15.9937883], ["Otín", 49.3633092, 15.9064156],
["Petráveč", 49.3268097, 16.0430706], ["Pohořílky",
49.3511150, 15.8993036], ["Svařenov", 49.3663653,
15.9496894], ["Sviny", 49.3637958, 16.0868256], ["Uhřínov",
49.3501314, 15.9362892], ["Vídeň", 49.3927019, 16.0323914],
["Zadní Zhořec", 49.4314647, 15.9393967], ["Závist",
49.3916472, 15.9732883], ["Cíl", 49.3395258, 16.0479394]]:
```

Data pro svoz bílého skla:

```
>Data:=["Start", 49.3475369, 16.0293358], ["Baliny",
49.3354114, 15.9563375], ["Blížkov", 49.4003444,
15.9088386], ["Březejc", 49.3458956, 16.0921719], ["Děd-
kov", 49.4160981, 15.9120039], ["Dolní Radslavice",
49.3487697, 16.0564983], ["Geršov", 49.3662281,
15.8825639], ["Horní Libochová", 49.4074881, 16.1494369],
["Horní Radslavice", 49.3382747, 15.9023614], ["Hrbov",
49.3656961, 15.9545725], ["Chlumek", 49.3745603,
```

```

15.8545964], ["Jabloňov", 49.3235092, 16.0902253], ["Jívoví",
49.4053656, 16.0910392], ["Kozlov", 49.3795428,
16.0792703], ["Kúsky", 49.3538969, 16.0725225], ["Lavičky",
49.3794861, 15.9677508], ["Lhotky", 49.3540953,
16.0640711], ["Martinice", 49.3712886, 16.0400872], ["Mos-
tiště", 49.3775256, 16.0143228], ["Olší nad Oslavou",
49.4036433, 15.9928422], ["Oslavice", 49.3401600,
15.9937883], ["Osové", 49.3253931, 16.0153292], ["Otín",
49.3633092, 15.9064156], ["Petráveč", 49.3268097,
16.0430706], ["Pohořílky", 49.3511150, 15.8993036], ["Sva-
řenov", 49.3663653, 15.9496894], ["Sviny", 49.3637958,
16.0868256], ["Uhřínov", 49.3501314, 15.9362892], ["Vídeň",
49.3927019, 16.0323914], ["Zadní Zhořec", 49.4314647,
15.9393967], ["Závist", 49.3916472, 15.9732883], ["Cíl",
49.3395258, 16.0479394]]:

```

Data pro svoz bioodpadu:

```

> Data:=["Start", 49.3475369, 16.0293358], ["Baliny",
49.3354114, 15.9563375], ["Blížkov", 49.4003444,
15.9088386], ["Březejc", 49.3458956, 16.0921719], ["Dolní
Radslavice", 49.3487697, 16.0564983], ["Hrbov", 49.3656961,
15.9545725], ["Kozlov", 49.3795428, 16.0792703], ["Křepťov",
49.3170347, 16.1388806], ["Kúsky", 49.3538969,
16.0725225], ["Lhotka", 49.3058864, 16.1153025], ["Lhotky",
49.3540953, 16.0640711], ["Mostiště", 49.3775256,
16.0143228], ["Olší nad Oslavou", 49.4036433, 15.9928422],
["Oslavice", 49.3401600, 15.9937883], ["Osové", 49.3253931,
16.0153292], ["Radenice", 49.4271239, 16.0642817], ["Ruda",
49.3225822, 16.1236711], ["Sklené nad Oslavou", 49.4378289,
16.0569653], ["Stránecká Zhoř", 49.3801322, 15.9272469],
["Svařenov", 49.3663653, 15.9496894], ["Uhřínov",
49.3501314, 15.9362892], ["Zadní Zhořec", 49.4314647,
15.9393967], ["Cíl", 49.3395258, 16.0479394]]:

```

Následující příkazy jsou již společné pro všechny druhy separovaných odpadů:

```
> N:=nops(Data);
```

```
> Nazvy:=map(u->u[1],Data):
```

Určení středových souřadnic svozové oblasti:

```
> S:=add(w,w=map(u->u[2..3],Data))/N;
```

```
> XY:=map(u->evalf([(u[3]-
S[2])*Pi/180*cos(S[1]*Pi/180)*6378,(u[2]-
S[1])*Pi/180*6378],6),Data);
```

```

> XY:=[seq([XY[i][],i],i=1..N)];

> xy:=[seq(i,i=1..N)];

> g1:=plot(map(u->
>u[1..2],XY),style=point,symbol=circle,symbolsize=20,color=
black):

> g2:=textplot(map(u->[u[1],u[2],cat("
",convert(u[3],string))],XY),align=RIGHT,color=black,font=[
TIMES,ROMAN,10]):

> G1:=display({g1,g2},scaling=constrained,axes=framed): G1;

> S:=(n1,n2)->sqrt((XY[n1][1]-XY[n2][1])^2+(XY[n1][2]-
XY[n2][2])^2);

> LS:=(n1,n2,n3)->
abs(((XY[n3][2]-XY[n1][2])*(XY[n2][1]-
XY[n1][1])+(XY[n1][1]-XY[n3][1])*(XY[n2][2]-XY[n1][2])))/
((XY[n2][1]-XY[n1][1])^2+(XY[n2][2]-XY[n1][2])^2)^(1/2);

> MS:=Matrix(N,S);

> Lmin:=infinity; TRC:=[]:

```

Začátek smyčky vytvářející optimální trasu algoritmem nejvzdálenějšího vložení:

```

>
> for i from 1 to N do;
  for j from i+1 to N do;
>   L:=[[i,j]]; print(L);
>   xy:=[seq(k,k=1..N)];
>   xy:=subs(map(v->v=NULL,{map(u->u[],L)}),xy);
>   nu:=nops(xy);
>   LLS:=[seq(LS([map(u->u[],L)[],w[]),w=xy)];
>   Max:=max(LLS);
>   K:=zip((u,v)->`if`(u=Max,v,NULL),LLS,xy)[];
>   L:=[map(u->[u,K],L[])[]];
>   nu:=nops(xy);
>   while nu<>1 do;
>     xy:=subs(map(v->v=NULL,{map(u->u[],L)}),xy):
nu:=nops(xy);

```

```

>         LLS:=[seq(map(u->LS([u[]],w[]),L),w=xy)]:
>         Max:=max(map(u->min(u),LLS));
>         K:=zip((u,v)->`if`(has(u,Max),v,NULL),LLS,xy)[];
>         SL:=map(u->MS[u[1],K]+MS[u[2],K]-MS(u[]),L):
>         Min:=min(SL);
>         KL:=seq(`if`(SL[k]=Min,k,NULL),k=1..nops(SL));
>         L:=[L[1..KL-
1][],[L[KL][1],K],[K,L[KL][2]],L[KL+1..-1][][]];
>         end do:
>         Lo:=L;
>         Lo:=map(u->{u[]},Lo);
>         LL:=[Lo[1][][]];
>         while nops(Lo)>1 do;
>             Lo:=subs({LL[-2..-1][][]}=NULL,Lo);
>             LL:=[LL[],remove(has,select(has,Lo,LL[-
1])[]),LL[-1][][]];
>         end do:
>         LT:=add(w,w=seq(MS(LL[k],LL[k+1]),k=1..N));
>         if LT<Lmin then Lmin:=LT;
print('Lmin'=Lmin,[i,j],LL); TRC:=[TRC[],LL]; end if;
>         nu:=6;
>         LTP:=[LL[],LL[2..nu+1][][]];
>         for s from 2 to N+1 do;
>             LP:=permute(LTP[s..s+nu-1]):
>             LP:=map(u->[LTP[s-1],u[],LTP[s+nu]],LP):
>             lt:=map(u-
>add(w,w=[seq(MS(u[k],u[k+1]),k=1..nu+1)],LP):
>             Min:=min(lt);
>             if lt[1]>Min then
>                 K:=seq(`if`(lt[k]=Min,k,NULL),k=1..nops(lt));
>                 LTP:=subs([seq(LTP[s-
2+k]=LP[K][k],k=1..nu+2)],LTP);
>                 s:=s-1;
>             end if;
>         end do:
>         LT:=add(w,w=seq(MS(LTP[k],LTP[k+1]),k=1..N));
>         if LT<Lmin then Lmin:=LT;
print('Lmin'=Lmin,[i,j],LTP[1..N+1]);
TRC:=[TRC[],LTP[1..N+1]];end if;
>         L2:=LTP[1..N+1];
>         end do:
> end do:

```


Vytvoření seznamu postupně ukládaných nejkratších tras, určení jejich délky a zobrazení nejkratší trasy:

```
> TRC;
```

```
> Lmin;
```

```
> LL:=TRC[-1];
```

```
> Path:=plot([seq([XY[LTP[k]][1..2],XY[LTP[k+1]][1..2]],k=1..N)],color=blue,thickness=3):
```

```
> display([G1,Path]);
```

Vztah pro odvození funkce počítající vzdálenost bodu C od přímky definované body A a B.

```
>
```

```
> restart; > p1:=[A[1]+k*V[1],A[2]+k*V[2]];
```

```
> p2:=[C[1]-1*V[2],C[2]+1*V[1]];
```

```
> sol:=solve({(p1-p2)[ ]},{k,1});
```

```
> Q:=simplify(subs(%,p2),symbolic);
```

```
> SL:=simplify(sqrt(add(w^2,w=Q-[C[1],C[2]])),symbolic);
```

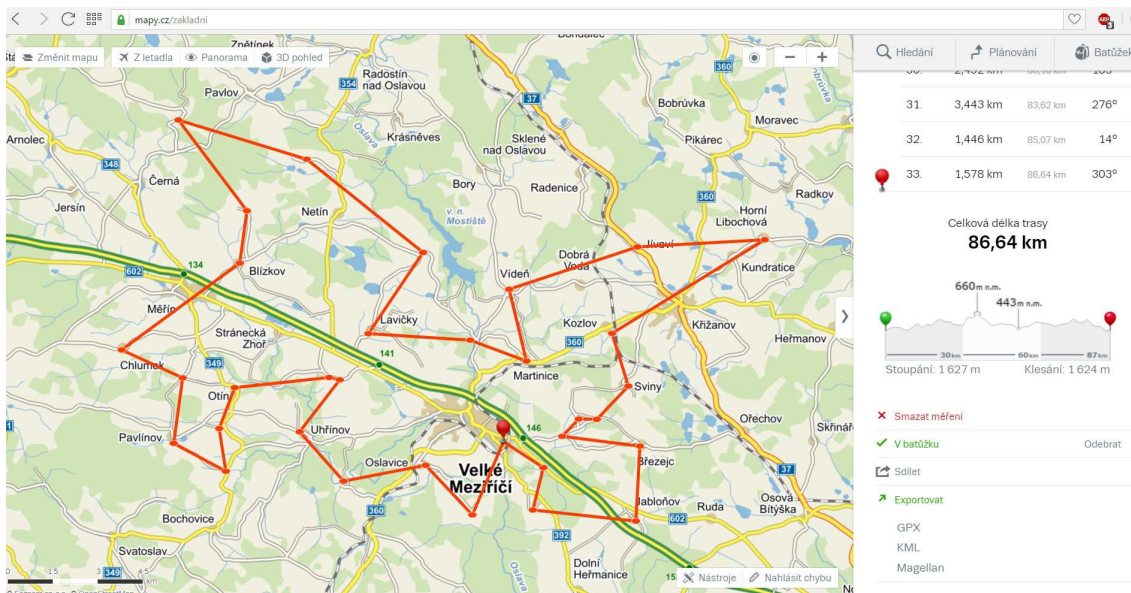
```
> SL:=subs( numer(SL)=collect(numer(SL),[V[1],V[2]]),SL);
```

```
> SL:=subs(V[1]=B[1]-A[1],V[2]=B[2]-A[2],SL);
```

```
> LD:=unapply(SL,A,B,C);
```

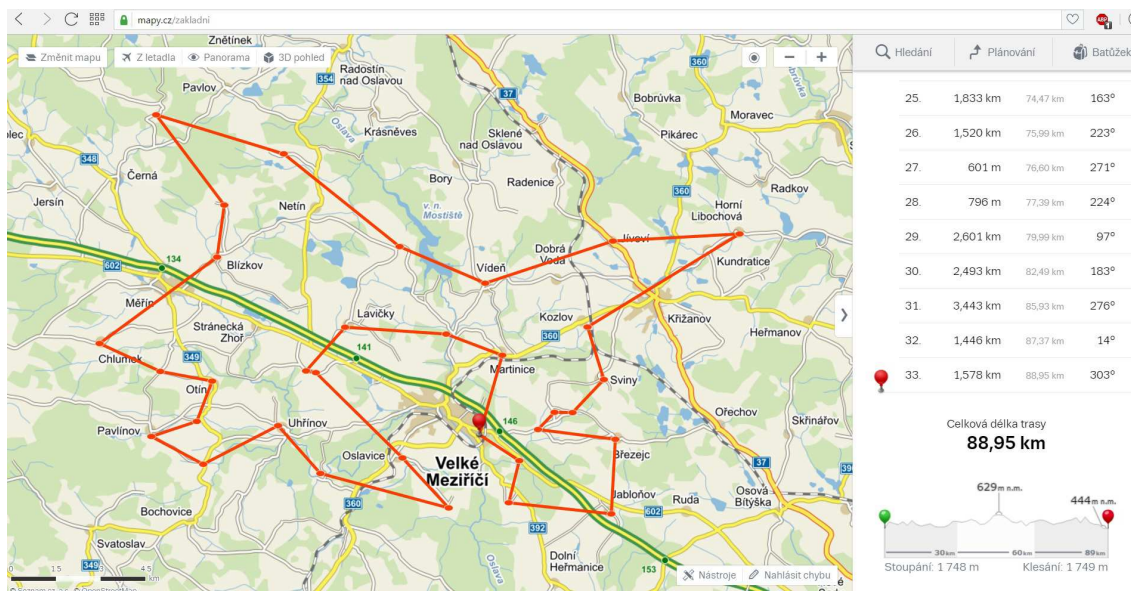
```
>
```

B Srovnání a měření svozové trasy - papír



Obr. 19 Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace - papír

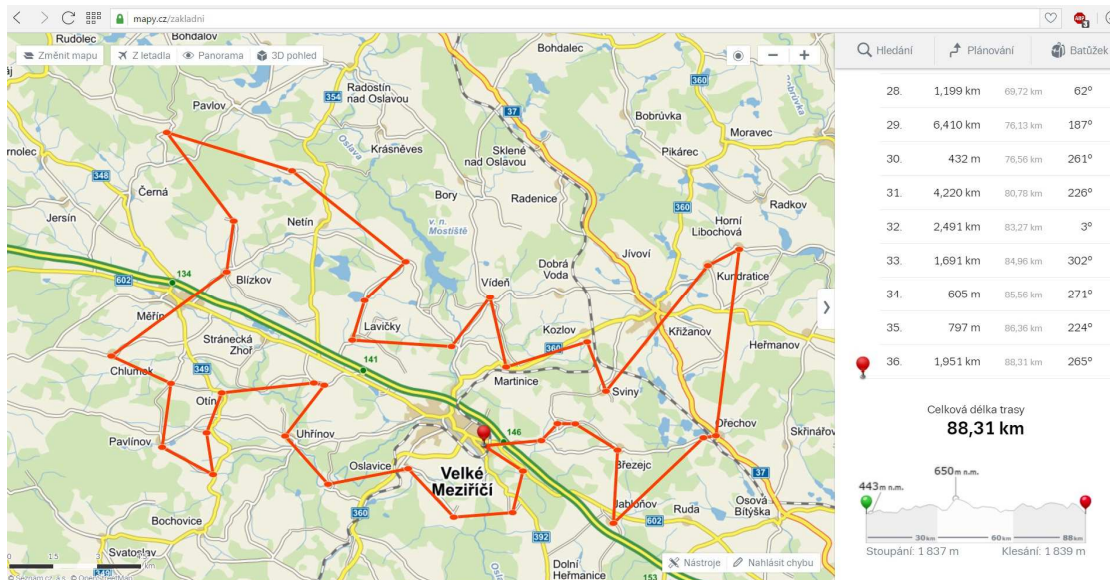
Zdroj: www.mapy.cz



Obr. 20 Měření vzdálenosti optimalizace v Maple - papír

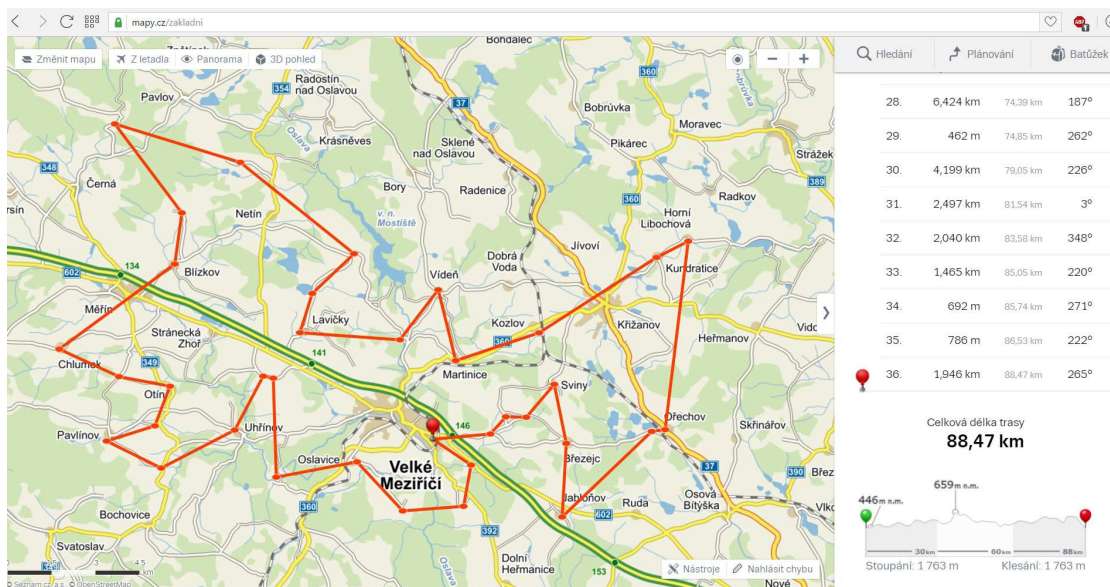
Zdroj: www.mapy.cz

C Srovnání a měření svozové trasy - plast



Obr. 21 Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace – plast

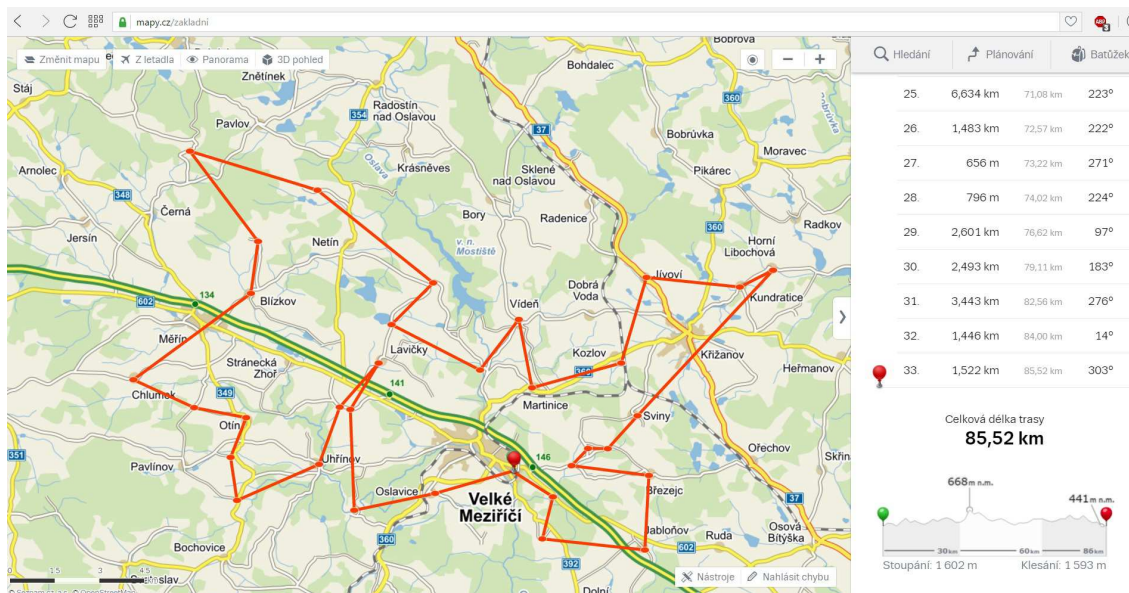
Zdroj: www.mapy.cz



Obr. 22 Měření vzdálenosti optimalizace v Maple – plast

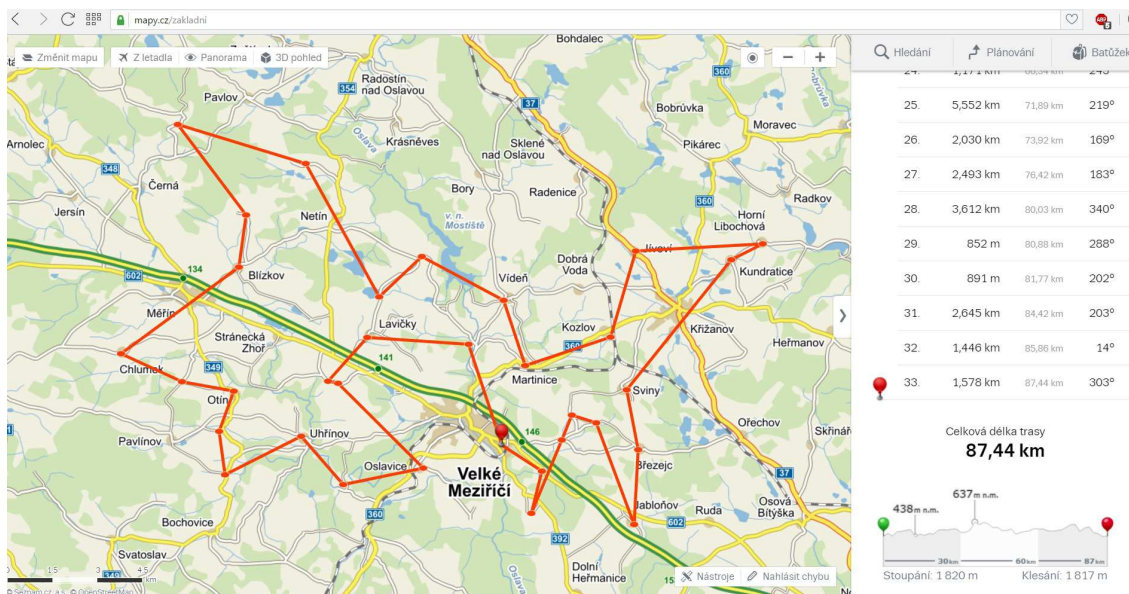
Zdroj: www.mapy.cz

D Srovnání a měření svozové trasy – sklo barevné



Obr. 23 Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace – sklo barevné

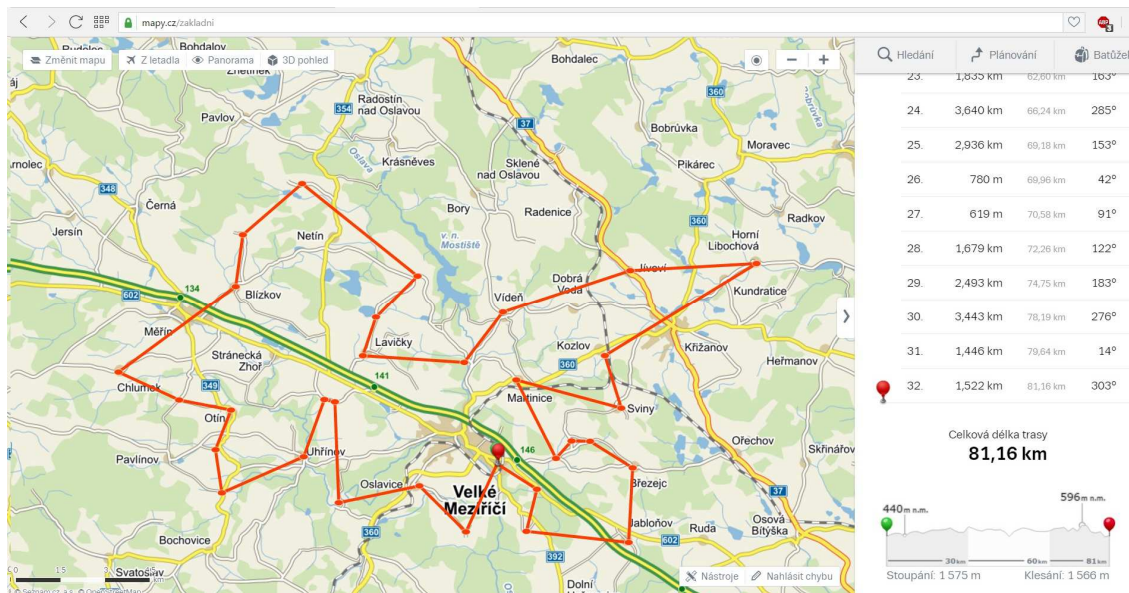
Zdroj: www.mapy.cz



Obr. 24 Měření vzdálenosti optimalizace v Maple – sklo barevné

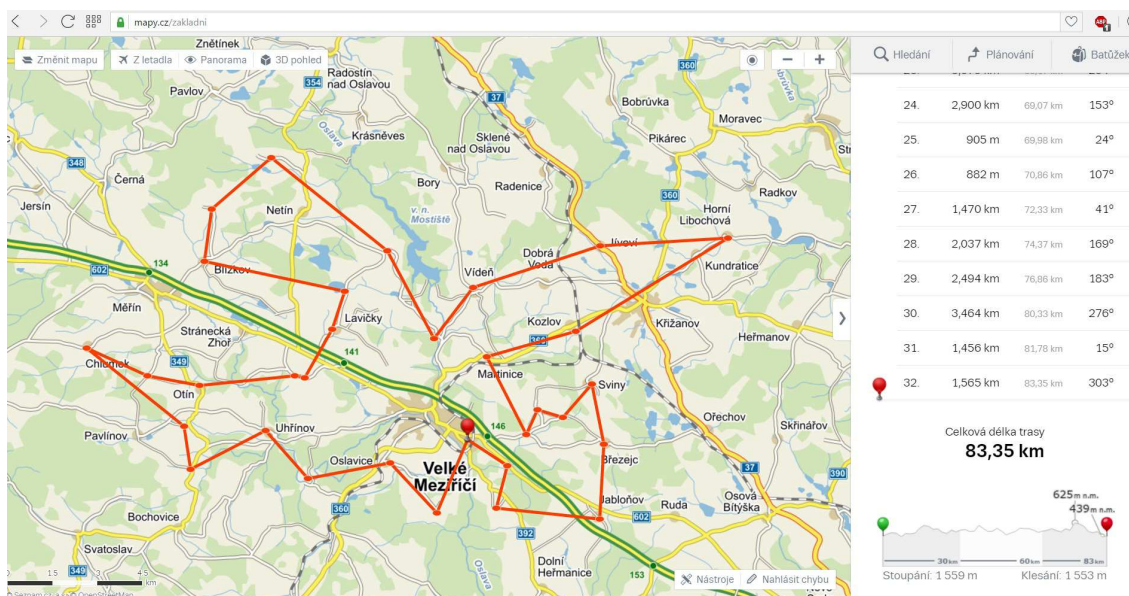
Zdroj: www.mapy.cz

E Srovnání a měření svozové trasy – sklo bílé



Obr. 25 Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace – sklo bílé

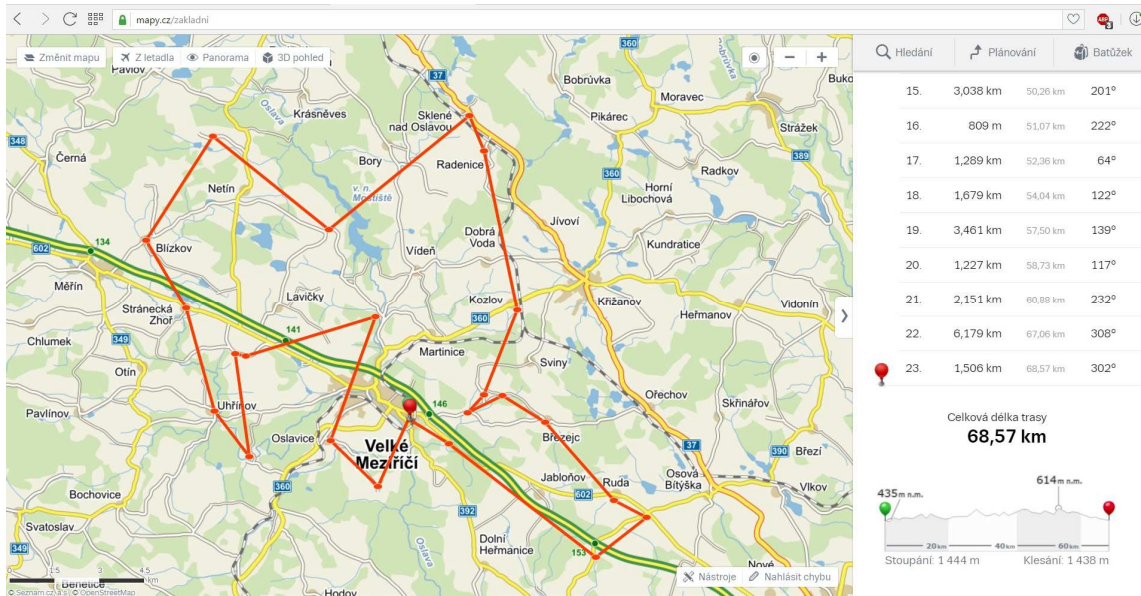
Zdroj: www.mapy.cz



Obr. 26 Měření vzdálenosti optimalizace v Maple – sklo bílé

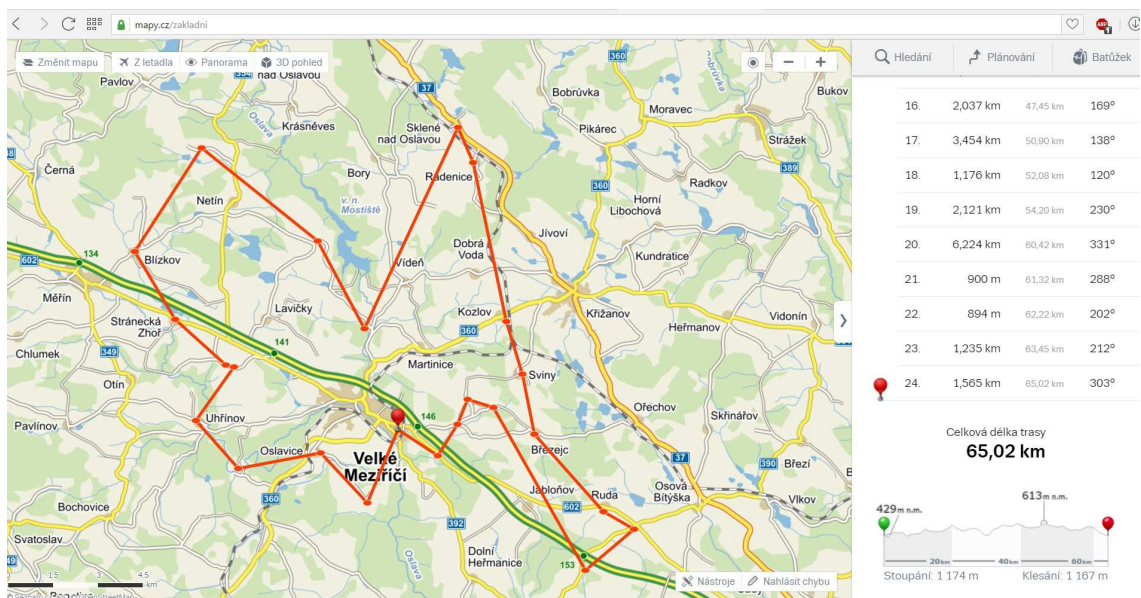
Zdroj: www.mapy.cz

F Srovnání a měření svozové trasy - bioodpad



Obr. 27 Měření vzdálenosti Bjornsonovy optimalizace – bioodpad

Zdroj: www.mapy.cz



Obr. 28 Měření vzdálenosti optimalizace v Maple – bioodpad

Zdroj: www.mapy.cz