

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208T088 Podniková ekonomika a management
provozu

**OPTIMALIZACE SVOZU TŘÍDĚNÉHO
ODPADU VE STARÉ BOLESLAVI**
Diplomová práce

Bc. Josef Tesař

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Bc. Josef Tesař**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Obor: **Podniková ekonomika a management provozu**

Název tématu: **Optimalizace svozu tříděného odpadu ve Staré Boleslavi**

Cíl: Práce je zaměřena na problematiku svozu odpadu ve městě, konkrétně svozu tříděného odpadu ve Staré Boleslavi. Teoretickým východiskem práce jsou matematické modely a metody pro řešení úlohy obchodního cestujícího a rozvozních úloh. Cílem je nalezení optimálních tras a časového rozvrhu svozu. V případě neúměrné výpočetní náročnosti úlohy budou použity heuristické algoritmy. Jestliže bude možné od firmy zajišťující svoz získat reálné údaje o stávajících trasách, bude provedeno jejich porovnání s výsledky získanými na základě optimalizace.

Rámcový obsah:

1. Teoretická část
 - úloha obchodního cestujícího,
 - rozvozní úloha,
 - heuristické algoritmy.
2. Praktická část
 - představení reálné úlohy ve Staré Boleslavi,
 - získání potřebných informací a parametrů,
 - aplikace optimalizačních modelů,
 - aplikace heuristických metod,
 - porovnání navržených tras se stávajícími trasami.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. BILÁ, T. *Svoz směsného odpadu v Poděbradech*. Diplomová práce. VŠE Praha, 2013.
2. Fábry, J. *Okružní a rozvozní úlohy*. Habilitační práce. Praha: FIS VŠE, 2014. 128 s.
3. Toth, P., Vigo, D. *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. ISBN 0-89871-579-2.

Datum zadání diplomové práce: prosinec 2017

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2020

L. S.

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Vedoucí práce

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.
Vedoucí ústavu

Bc. Josef Tesař
Autor práce

Mgr. Petr Šulc
Prorektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 31. 12. 2020

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'J. Ves'.

Děkuji doc. Ing. Janu Fábrymu, Ph.D. za odborné vedení mé závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Také děkuji společnosti AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o., jmenovitě panu Zdeňkovi Srbovi, vedoucímu provozu ve Staré Boleslavi, za poskytnutí rad a informací použitých pro účely této práce. A v neposlední řadě chci poděkovat svým blízkým a rodině za morální a materiální podporu, které se mi dostává po celou dobu studia.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Úvod	8
1 Úloha obchodního cestujícího	10
1.1 Standardní úloha obchodního cestujícího.....	10
1.2 Úloha s více obchodními cestujícími s minimalizací celkové ujeté vzdálenosti	14
2 Rozvozní úloha.....	18
2.1 Rozvozní úloha s jedním vozidlem	18
2.2 Rozvozní úloha s časovými okny.....	19
2.3 Rozvozní úloha s více vozidly.....	20
3 Heuristické algoritmy	22
3.1 Metoda nejbližšího souseda	22
3.2 Vkládací metoda	23
3.3 Metoda výhodnostních čísel	24
4 Představení reálné úlohy ve Staré Boleslavi	25
4.1 Třídění odpadu	25
4.2 Třídění odpadu ve Staré Boleslavi - Brandýse nad Labem.....	26
5 Optimalizace tras.....	31
5.1 Matice vzdáleností	31
5.2 MPL for Windows.....	33
5.3 Řešení v programu MPL for Windows	35
5.4 Výsledky v programu MPL.....	36
6 Aplikace heuristických metod	45
6.1 Aplikace metody výhodnostních čísel.....	45
6.2 Aplikace metody nejbližšího souseda	49
6.3 Aplikace vkládací metody	53
7 Porovnání výsledků optimalizace a heuristických metod a celkové vyhodnocení.....	58
Závěr.....	69
Seznam literatury	71

Seznam obrázků a tabulek.....	74
Seznam příloh.....	77

Seznam použitých zkratk a symbolů

MPL	Mathematical Programming Language, název počítačového programu
mTSP	Multiple Traveling Salesman Problem (Úloha s více obchodními cestujícími)
TSP	Traveling Salesman Problem (Úloha obchodního cestujícího)
TSPTW	Traveling Salesman Problem with Time Windows (Úloha obchodního cestujícího s časovými okny)
VBA	Programovací jazyk Visual Basics for Applications
VRP	Vehicle Routing Problem (Rozvozní úloha)

Úvod

Třídění odpadu je součástí lidské kultury od nepaměti. Již v pravěku byli lidé nuceni recyklovat. A bylo to tak zejména z důvodů hospodárného využití jejich omezených zdrojů. Kosti a kůže zvířat mohou být jedním z příkladů třídění v dobách pravěku. Později v historii jsme se mohli setkat s tříděním kovů, jako byly například měď, bronz a stříbro, nebo s tříděním skla a papíru. Nikdy ale tyto činnosti nebyly natolik organizované jako právě dnes. Žijeme v době, kdy dochází k významným nárůstům produkce odpadů a abychom se s tím mohli efektivně vyrovnat je třeba tento odpad i efektivně třídit. K tomu slouží nádoby na tříděný odpad, jenž jsou již po několik desetiletí součástí našeho každodenního života. Umístěním specializovaných kontejnerů na tříděný odpad do ulic měst a obcí nastala potřeba tento odpad jednotlivě svážet. Rok od roku přibývá lidí třídících odpad a přibývá i tříděných druhů odpadů. Nyní jsme v situaci, kdy se podíl tříděného odpadu na celkovém odpadu dlouhodobě zvyšuje a třídění se tak stává efektivnější. V návaznosti na to se neustále zvyšují nároky na jeho odvoz. Firmy zabývající se svozem odpadů musí každým rokem svážet větší množství odpadu a podnikají nejrůznější kroky k tomu, aby náklady udržely na co nejnižší úrovni a zároveň dostály všem nárokům na ně kladeným. Efektivní optimalizací tras svozových vozů by se tak dalo docílit úspor, jež mohou být rok od roku potřebnější.

Tato práce se zabývá optimalizací svozu tříděného odpadu ve Staré Boleslavi a Brandýse nad Labem. Klade si za cíl použít známé teorie z oboru operačního výzkumu a aplikovat je na svoz tříděného odpadu takovým způsobem, abychom docílili nalezení ideálních tras ke svozu jednotlivých druhů odpadu. Výsledky práce budou v závěru vyhodnoceny a na jejich základě budou navrženy optimální trasy svozu.

V první a druhé kapitole této práce jsou představeny modely operačního výzkumu aplikovatelné na svoz odpadu. Modely, jež budou v této práci uvedeny, se týkají úlohy obchodního cestujícího a rozvozní úlohy. V návaznosti budou ve třetí kapitole vysvětleny heuristické algoritmy, které se aplikují v případě neúměrně vysoké výpočetní náročnosti.

Ve čtvrté kapitole je představena reálná situace ve městě Stará Boleslav - Brandýs nad Labem, systém fungování sběru tříděného odpadu a několik statistik souvisejících s tříděním odpadu v České republice.

Náplní páté a šesté kapitoly je praktická aplikace modelů představených v prvních dvou kapitolách práce a heuristických metod popsanych ve třetí kapitole práce na data získaná z webových stránek města a data poskytnutá společností AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. Na základě těchto dat budou jednotlivými metodami získány trasy pro jednotlivé druhy svážených odpadů. Výsledné trasy jsou porovnány a vyhodnoceny v poslední, sedmé, kapitole této práce.

1 Úloha obchodního cestujícího

Úloha obchodního cestujícího (TSP) je jednou ze základních a nejjednodušších verzí okružních úloh. Obchodní cestující chce během své trasy navštívit všechna předem vybraná města, ale přitom minimalizovat ujetou vzdálenost z hlediska teorie grafů. Hledá se tudíž uzavřená cesta, při které jsou navštíveny všechny vrcholy grafu („města“). Spojnice vrcholů jsou ohodnoceny náklady (vzdálenost, čas, ...). Celková hodnota grafu je poté dána součtem všech nákladů. Cílem optimalizace je najít takový okruh, v němž jsou navštíveny všechny vrcholy a celkové náklady, dány součtem hodnot, jsou nejmenší (Pelikán, 2001). V takto jednoduché úloze se zatím nepočítá s omezením přepravní kapacity vozů. Rozšíření této úlohy o tuto kapacitní podmínku, je uvedeno v dalších kapitolách.

1.1 Standardní úloha obchodního cestujícího

Standardní úloha obchodního cestujícího předpokládá, že jsou předem známy všechny parametry optimalizace. Matematická formulace modelu (Fábry, 2006) je následující:

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

kde:

n ... počet míst, jenž musí vozidlo navštívit (včetně výchozího místa označeného indexem 1),

c_{ij} ... vzdálenost mezi místy i a j ,

x_{ij} ... binární proměnná, která se rovná hodnotě 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě.

Podmínky (2) a (3) zajišťují, že každé místo je navštíveno právě jednou. Soustava podmínek (4) s proměnnými u_i je opatřením proti vytváření parciálních cyklů (Fábry, 2006).

Uvedený model je platný pro nesymetrickou úlohu obchodního cestujícího. Taková úloha může být aplikována na nesymetrickou matici vzdáleností, kdy vzdálenost mezi i a j může být odlišná od vzdálenosti mezi j a i (Götz, 2015).

1.1.1 Symetrická úloha obchodního cestujícího

Dosud nebylo předpokládáno, že matice vzdáleností může být symetrická a proto, pokud zavedeme pravidlo $c_{ij} = c_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), je možné řešit úlohu obchodního cestujícího jako tzv. symetrickou. V takovém případě je možné definovat proměnné x_{ij} jen pro $i < j$, tedy pro $i = 1, 2, \dots, n-1, j = i+1, i+2, \dots, n$ a řešit úlohu pomocí Hamiltonova cyklu s minimálním součtem ohodnocení vybraných hran (Fábry, 2014).

Matematická formulace modelu vypadá následovně:

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (6)$$

Za podmínky, jež určuje, že bude každé místo navštíveno pouze jednou:

$$\sum_{j=1}^{i-1} x_{ji} + \sum_{j=i+1}^n x_{ij} = 2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

V potaz je ještě třeba brát riziko vzniku parciálních cyklů a definovat další podmínky. Zde ovšem není pouze jediná možnost, jak tak učinit. Možnosti jsou dvě a první, jež vychází z faktu, že v cyklu je stejný počet hran jako uzlů, vypadá následovně:

$$\sum_{i \in U'} \sum_{\substack{j \in U' \\ i < j}} x_{ij} \leq |U'| - 1, \quad \forall U' \subset U, \quad 3 \leq |U'| \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \quad (8)$$

kde:

$U = \{1, 2, \dots, n\}$ množina všech míst (uzlů),

$|U'|$ počet uzlů v množině U' ,

$\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ Celá část čísla $\frac{n}{2}$.

Druhá možnost, definující podmínky proti vzniku parciálních cyklů, vychází ze souvislosti výsledného grafu. Podmínky jsou zapsány následovně:

$$\sum_{i \in U'} \sum_{\substack{j \in U \setminus U' \\ i < j}} x_{ij} + \sum_{i \in U \setminus U'} \sum_{\substack{j \in U \\ i < j}} x_{ij} \geq 1, \quad \forall U' \subset U, \quad 3 \leq |U'| \leq \lfloor \frac{n}{2} \rfloor, \quad (9)$$

kde:

$U \setminus U'$ Doplněk množiny U' v množině U .

1.1.2 Úloha obchodního cestujícího s časovými okny

Úloha s časovými okny (TSPTW) je rozšířením klasické úlohy obchodního cestujícího. Jejím cílem je stanovit pořadí v jakém budou všechna předem známá místa navštívena, tak aby byly splněny veškeré požadavky a náklady na přepravu byly minimální. Rozšířením úlohy je přidání intervalu $\langle e_i, l_i \rangle$ ke každému místu i . Interval stanovuje dobu, v níž má být obsluha místa realizována. Spodní mez intervalu e_i stanovuje nejdříve přípustný čas obsluhy, horní mez intervalu l_i stanovuje nejpozději možný čas obsluhy. Dále se úloha rozšiřuje o proměnnou t_{ij} , jež definuje dobu přejezdu mezi body i a j a proměnnou τ_i , jež definuje dobu příjezdu do místa i ($\tau_i \in \langle e_i, l_i \rangle$) (Fábry, 2014).

Formulace matematického modelu je nyní následující (Fábry, 2006):

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (10)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$e_i \leq \tau_i \leq l_i, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (13)$$

$$\tau_i + t_{ij} - M(1 - x_{ij}) \leq \tau_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (14)$$

$$\tau_1 = 0, \quad (15)$$

$$\tau_i \geq 0, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (16)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

kde:

n ... počet míst, jež vozidlo musí navštívit (včetně výchozího místa označeného indexem 1),

c_{ij} ... vzdálenost mezi místy i a j ,

t_{ij} ... dobu trvání přejezdu mezi místy i a j ,

e_i ... nejdříve možný příjezd obsluhy do místa i ,

l_i ... nejpozději možný příjezd obsluhy do místa i ,

M ... vysoká konstanta,

x_{ij} ... binární proměnná, která se rovná hodnotě 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě,

τ_i ... doba příjezdu vozidla do místa i .

Podmínky (11) a (12) jsou shodné se standardní úlohou TSP. Podmínka (13) stanovuje, že bude místo obsluženo v době časového okna. Podmínka (14) stanovuje, že doba trvání přejezdu z místa i do místa j bude trvat minimálně t_{ij} . Díky vysoké konstantě M bude splněna i v případě, že vozidlo nepojede z místa i do místa j . Podmínka (15) zajišťuje nulový okamžik výjezdu vozidla.

1.1.3 Otevřená úloha obchodního cestujícího

Otevřená úloha obchodního cestujícího je jednoduchá modifikace úlohy TSP s předpokladem, že se vozidlo nebude vracet do výchozího místa. Vozidlo zůstává

u posledního navštíveného místa, a to se stává novým výchozím místem pro další optimalizaci. Realizace této úlohy se dá provést jednoduchou úpravou matematického modelu (1) – (5). Úprava se provede vynulováním prvního sloupce matice vzdáleností, čímž se zajistí teoretický přejezd vozidla do výchozího místa s nulovou délkou přejezdu (Fábry, 2014).

1.2 Úloha s více obchodními cestujícími s minimalizací celkové ujeté vzdálenosti

Speciální úpravou úlohy obchodního cestujícího, jež je více aplikovatelná na reálné úlohy, je úloha s více obchodními cestujícími (mTSP). Její řešení spočívá v optimalizaci tras pro m cestujících, kteří začínají a končí ve stejném místě tak, aby byla navštívena veškerá potřebná místa a celkové náklady byly minimalizovány. Minimalizace nákladů může být řešena přes náklady na vzdálenost, čas apod. Úloha může nabývat několik dalších modifikací, a to v závislosti na počtu výchozích míst, počtu cestujících (fixní/maximální), stanovení časových oken a nebo dle individuálních omezení na jednoho cestujícího (např. maximální počet míst, které může navštívit, ...) (Fábry, 2014; Götz, 2015).

1.2.1 Úloha mTSP s jedním výchozím místem

Matematický model pro výpočet úlohy s K počtem vozidel s jedním výchozím místem vypadá následovně (Bektas, 2006):

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (18)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (20)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = K, \quad (21)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = K, \quad (22)$$

$$u_i - u_j + px_{ij} \leq p - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (23)$$

$$x_{ii} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (24)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (25)$$

$$u_i \in R_0^+, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (26)$$

kde:

K ... počet vozidel,

n ... počet míst, jež vozidlo musí navštívit (včetně výchozího místa označeného indexem 1),

c_{ij} ... vzdálenost mezi místy i a j ,

x_{ij} ... binární proměnná, která se rovná hodnotě 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě.

Funkce (18) představuje celkovou ujetou vzdálenost všemi vozidly. Podmínky (19) a (20) stanovují navštívení každého místa pouze jednou, podmínky (21) a (22) stanovují, že počet vozidel K vyjede z výchozího místa a stejný počet se vrátí zpět. Podmínky (24) jsou omezením proti vzniku smyček.

Podmínky (23) zabraňují vzniku parciálních cyklů, konstanta p určuje maximální počet obsluhovaných míst jedním zákazníkem (Miller, Tucker a Zemlin, 1960). V případě, že tento parametr není znám, dá se vzniku parciálních cyklů zamezit náhradními podmínkami (Gavish, 1976):

$$u_i - u_j + (n - K)x_{ij} \leq n - K - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (27)$$

1.2.2 Úloha mTSP s vícero výchozími místy

Jak již bylo řečeno dříve, v úloze mTSP může být také uvažováno, že ne všechna vozidla musí vyjždět ze stejného stanoviště. Pro ukázkou výpočtu této úlohy budeme předpokládat, že se všechna vozidla vrátí zpět do stanoviště, z něhož vyjela.

Matematický model úlohy mTSP s vícero výchozími místy (Fábry, 2014):

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^{K+n} \sum_{j=1}^{K+n} c_{ij} x_{ij}, \quad (28)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^{K+n} x_{ij} = 1, \quad i = K + 1, K + 2, \dots, K + n, \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^{K+n} x_{ji} = 1, \quad j = K + 1, K + 2, \dots, K + n, \quad (30)$$

$$\sum_{j=K+1}^{K+n} x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad (31)$$

$$\sum_{j=K+1}^{K+n} x_{ij} = \sum_{j=K+1}^{K+n} x_{ji}, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad (32)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, K + n, \quad j = K + 1, K + 2, \dots, K + n, \quad i \neq j, \quad (33)$$

$$x_{ij} = 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, K, \quad (34)$$

$$x_{ii} = 0, \quad i = K + 1, K + 2, \dots, K + n, \quad (35)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, K + n, \quad (36)$$

$$u_i \in R_0^+, \quad i = K + 1, K + 2, \dots, K + n, \quad (37)$$

kde:

K ... počet stanovišť,

n ... počet míst, jež vozidla musí navštívit,

c_{ij} ... vzdálenost mezi místy i a j ,

x_{ij} ... binární proměnná, jež se rovná hodnotě 1 v případě, že některé vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě.

Funkce (28) představuje celkovou ujetou vzdálenost všemi vozidly. Podmínky (29) a (30) stanovují navštívení každého místa pouze jednou. Podmínky (31) stanovují, že z každého výchozího stanoviště vyjede maximálně jedno vozidlo. Podmínky (32) stanovují, že počet vozidel, jež z místa vyjedou se rovná počtu vozidel, jež se vrátí a podmínky (33) jsou omezení proti vzniku smyček. Podmínky (34) zakazují pohyb vozidel mezi výchozími místy a podmínky (35) zabraňují vzniku smyček u jednotlivých bodů obsluhy.

2 Rozvozní úloha

Rozvozní úloha (VRP) bere v úvahu další možné rozšíření, které u úlohy TSP nebylo bráno v potaz, a tož jest kapacitní omezení vozidel obsluhujících místa rozvozu. Nutno podotknout, že se setkáváme s českým označením rozvozní úloha, ale teorie je aplikovatelná i na úlohy svozu. V anglickém názvu úlohy Vehicle Routing Problem je oblast úlohy jednoznačněji popsána. V úloze TSP bylo předpokládáno, že všechna navštívená místa mají nulové požadavky, což se obtížně aplikuje na reálný problém (Fábry, 2014). V následujících kapitolách bude představeno několik variant výpočtu úloh právě s kapacitním omezením. Varianty výpočtu se liší podle dalších omezujících podmínek, stejně jako tomu bylo u úloh TSP.

2.1 Rozvozní úloha s jedním vozidlem

Rozvozní úloha s jedním vozidlem předpokládá, že jedinné vozidlo zajistí rozvoz, či svoz materiálu od $n - 1$ předem známých zákazníků s předem známou velikostí požadavku $0 < q_i \leq V$ ($i = 2, 3, \dots, n$). Pro výpočet je dále potřebné znát matici nejkratších vzdáleností mezi výchozím místem a všemi zákazníky (Fábry, 2014). Matematický model minimalizuje celkovou ujetou vzdálenost s požadavkem na nepřekročení stanovené kapacity vozidla (Fábry, 2006):

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (38)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad (40)$$

$$u_i + q_j - V(1 - x_{ij}) \leq u_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (41)$$

$$q_i \leq u_i \leq V, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (42)$$

$$u_1 = 0, \quad (43)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (44)$$

$$u_i \in R_0^+, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (45)$$

kde:

c_{ij} ... vzdálenost mezi místy i a j ,

x_{ij} ... binární proměnná, jež se rovná hodnotě 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě.

Podmínky (39) a (40) zajišťují, že každé místo bude navštíveno pouze jednou. Podmínky (41) zabraňují vzniku parciálních cyklů a zároveň bilancují náklad vozidla přes zvyšující se proměnnou u_i , jejíž hodnota se zvyšuje společně s nákladem. Podmínka (42) stanovuje nepřekročení povolené kapacity vozidla V a podmínka (43) zajišťuje, že bude vozidlo po výjezdu z výchozího místa prázdné.

2.2 Rozvozní úloha s časovými okny

Rozvozní úloha s časovými okny definuje opět u každého obsluhovaného místa časový interval, ve kterém proběhne obsluha. Tento časový interval se nazývá časové okno. Časový interval stanovuje nejdříve možnou dobu obsluhy a nejpozději možnou dobu obsluhy. Dále je definován parametr S_i ($i = 2, 3, \dots, n$), jenž definuje dobu strávenou nakládkou/vykládkou materiálu v místě (Toth a Vigo, 2001).

Matematický model rozvozní úlohy s časovými okny dle Fábryho (2014):

$$\text{Minimalizovat } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (46)$$

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (47)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad (48)$$

$$u_i + q_j - V(1 - x_{ij}) \leq u_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (49)$$

$$e_i \leq \tau_i \leq l_i, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (50)$$

$$\tau_i + S_i + t_{ij} - M(1 - x_{ij}) \leq \tau_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (51)$$

$$\tau_1 = 0, \quad (52)$$

$$q_i \leq u_i \leq V, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (53)$$

$$u_1 = 0, \quad (54)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (55)$$

$$u_i \in R_0^+, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (56)$$

Matematický model je shodný s modelem pro rozvoz jedním vozidlem, jenž je rozšířen o podmínky (49) – (51), jež zajišťují respektování časových oken. Jejich definice je stejná jako u úlohy obchodního cestujícího s časovými okny.

U úlohy s časovými okny hrozí riziko, že u některých míst mohou být časová okna stanovena, takovým způsobem, že by mohlo dojít k situaci, kdy bude jedno vozidlo muset obsloužit dvě různá místa ve stejný čas. Z toho důvodu je většinou nutné rozšířit úlohu o více vozidel.

2.3 Rozvozní úloha s více vozidly

Rozvozní úloha s více vozidly zajišťuje obsluhu míst s možností využít více vozidel. Tato vozidla mohou být umístěná ve více výchozích místech, či v jednom výchozím místě. Výhodou více vozidel je možnost zavedení časových oken bez rizika překrytí dob obsluhy u jednotlivých míst a také současná obsluha více okruhů pomocí několika vozidel (Fábry, 2014).

2.3.1 Rozvozní úloha s více vozidly s rozdílnou kapacitou

Rozvozní úloha s více vozidly s rozdílnou kapacitou stanovuje výpočet v případě K typů vozidel s rozdílnými kapacitami V_k ($k = 1, 2, \dots, K$). Matematický model vypadá následovně (Fábry, 2014):

$$\text{Minimalizovat} \quad z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}^k, \quad (57)$$

Za podmínek:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (58)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k = \sum_{i=1}^n x_{ji}^k, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (59)$$

$$u_i + q_j - \bar{V}(1 - x_{ij}^k) \leq u_j, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (60)$$

$$q_i \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \leq V_k, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (61)$$

$$u_i = 0, \quad (62)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (63)$$

$$u_i \in R_0^+, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (64)$$

kde:

x_{ij}^k ... binární proměnná s indexem k , jež se rovná hodnotě 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnotě 0 v opačném případě. Index k představuje pořadí typu vozidla.

Funkce (57) určuje celkovou vzdálenost všech vozidel, jež je minimalizována. Podmínka (58) určuje navštívení všech míst (kromě výchozího) pouze jedním vozidlem. Podmínka (59) zabraňuje vzniku parciálních cyklů se zohledněním bilance nákladu. Hodnota \bar{V} se rovná maximální kapacitě největší vozidla, případně může být vyšší. Podmínky (61) zajišťují splnění kapacit všech vozidel a podmínka (62) zajišťuje, že vozidla vyjíždějící z výchozího místa mají nulový náklad.

3 Heuristické algoritmy

V předchozích kapitolách byly popsány optimalizační úlohy s různými modifikacemi. Jednalo se o exaktní metody, které vždy dosáhnou optimálního řešení, pokud existuje. Avšak pro úlohy s vícero stanovišti rychle narůstá výpočetní složitost a doba výpočtu je neúměrně dlouhá. Mnohdy kvůli časové náročnosti ani optimálního řešení dosáhnout nelze. V takovém případě je nutné použít alternativní metody výpočtu, jakými jsou například heuristické algoritmy (Talska, 2019).

Tato kapitola bude věnována heuristickým algoritmům, jež se dají aplikovat pro optimalizační úlohy s neúměrnou výpočetní náročností, nebo v případech kdy složitost úlohy neumožňuje dosáhnout optimálního řešení v reálném čase. Tyto metody umožňují dosáhnout přípustného řešení aplikací funkčních zjednodušení (Pelikán, 2001). Heuristické metody jsou časově méně náročné a jejich aplikací je možno uspokojivě vyřešit i rozsáhlé úlohy. Jejich nevýhodou je ovšem možná suboptimalita výsledného řešení. To musí splňovat dva základní požadavky. Prvním z nich je být co nejbližší optimálnímu řešení úlohy a druhým je býti optimálním pro určité podmínky (Bilá, 2013).

Heuristické metody pro úlohy obchodního cestujícího a rozvozní úlohy se dají rozdělit do 3 základních skupin dle Fábryho (2014):

1. Heuristiky generující trasu – tvorba trasy přidáváním jednotlivých míst.
2. Heuristiky zlepšující trasu – hledají efektivnější řešení u již vytvořené trasy.
3. Zatřídňující heuristiky – na základě nepřipustného řešení, obsahujícího několik ilegálních (parciálních) cyklů, se postupným zatříděním těchto cyklů získá přípustné řešení.

3.1 Metoda nejbližšího souseda

Metoda nejbližšího souseda je jednou z nejjednodušších heuristik generujících trasu. Princip této metody je založen na tvorbě trasy metodou hledání nejbližších míst, jež zatím nebyly navštíveny (Fábry, 2014). Všechny zařazené hrany do trasy musí splňovat podmínku, že po přidání hrany nevzniká kružnice a že z jednoho,

nebo do jednoho bodu nevstupuje více než jedna hrana. Do trasy je poté přidána hrana s nejnižším ohodnocením, která splnila stanovené podmínky (Talska, 2019).

Postup této metody je popsán pomocí těchto kroků (Pelikán, 2001):

Krok 1.

Volba počátečního bodu trasy

Krok 2.

Hledání nejbližšího bodu (zatím nenavštíveného), k poslednímu zvolenému, z matice vzdáleností. Tento bod zvolíme jako následující bod trasy.

Krok 3.

Opakování kroku 2 do doby, než jsou navštívena všechna místa matice vzdáleností.

3.2 Vkládací metoda

Metoda vkládací využívá principu propojení výchozího a konečného bodu, mezi něž jsou postupně vloženy další body trasy, dokud není naplněna kapacita vozu. Takto lze dosáhnout uzavřeného cyklu mezi vstupním a výstupním bodem (Kochánková, 2008).

Metoda je založena na postupu, jak uvádí Pelikán (2001):

Označme E' množinu hran, vytvářející uzavřenou výslednou cestu. Tato množina bude zpočátku obsahovat 1 hranu a během výpočtu se bude postupně rozšiřovat o hrany další, až bude úplnou výslednou množinou hran, tvořících výslednou trasu. Množinou V' označme souhrn vrcholů, ležících na výsledné trase.

Krok 1.

Volba počátečního bodu a jeho označení číslem 1.

Krok 2.

Nalezení nejvzdálenějšího bodu s od bodu 1 a tvorba uzavřeného cyklu $C: 1 - s - 1$.

Množina $E' = \{(1, s), (s, 1)\}$ a $V' = \{1, s\}$.

Krok 3.

Nalezení vrcholu k neležící na C , který je nejbližší uzlům v cyklu C .

Krok 4.

Nalezení hrany (i, j) ležící na C , pro níž je minimální $d_{ik} + d_{kj} - d_{ij}$ a vložení vrcholu k mezi vrcholy i a j v cyklu C . Následné doplnění V' o vrchol k a množinu E' o hrany $(i, k), (k, j)$, kde současně vyřadíme hranu (i, j) .

Krok 5.

Opakování kroku 3. a 4. do doby, než cyklus C obsahuje všechny vrcholy grafu.

3.3 Metoda výhodnostních čísel

Tato metoda byla poprvé navržena autory Clarkem a Wrightem v roce 1964 a je založena na výpočtu „výhodnostních“ čísel pro každou dvojici uzlů matice (Fábry, 2014). Výhodnostní čísla vyjadřují výhodnost propojení mezi dvěma vrcholy. Čísla jsou sestupně seřazena a tím získána výsledná trasa.

Postup výpočtu dle Pelikána (2001):

Krok 1.

Výpočet matice výhodnostních čísel $s_{ij} = d_{i1} + d_{1j} - d_{ij}$, pro $i, j = 2, 3, \dots, n, i \neq j$, kde $D = \{d_{ij}\}$ je matice nejkratších vzdáleností mezi vrcholy grafu.

Krok 2.

Setřídění čísel s_{ij} sestupně.

Krok 3.

Spojení uzlů i a j a dalších podle setřídění čísel s_{ij} pro vznik výsledného cyklu (podmínkou je vynechání výhodnostních čísel, která by spojením vrcholů vytvořila předčasně cyklus).

4 Představení reálné úlohy ve Staré Boleslavi

Stará Boleslav je městskou částí města Brandýs nad Labem – Stará Boleslav. Počet obyvatel města je 17 301 k 1. 1. 2020. (MVČR, 2020). Město leží necelých 10 kilometrů severo-východně od Prahy na řece Labi a vzniklo sloučením dvou dříve sousedních měst Brandýsa nad Labem a Staré Boleslavi. K tomuto sloučení došlo v roce 1960.

V současné době má město uzavřenou smlouvu s firmou AVE CZ odpadové hospodářství s. r. o. (dále jen AVE CZ). Tato firma zajišťuje na území města nakládání s komunálním, tříděným, nebezpečným a objemným odpadem a taktéž zajišťuje provoz sběrných dvorů na území města. Dle plánu odpadového hospodářství města: „Nakládání s odpady na území města Brandýs nad Labem se řídí obecně závaznou vyhláškou č. 1/2003, která stanovuje systém shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů vznikající na území města a systém nakládání se stavebním odpadem. Vyhlášku schválilo zastupitelstvo města dne 16. 12. 2002.“ (Brandysko.cz, 2014, str. 7).

4.1 Třídění odpadu

Pro důkladné pochopení problému svozu tříděného odpadu je třeba si nejdříve vysvětlit jakým způsobem svoz probíhá a jaké druhy odpadu se sváží. Nejdříve je ale potřeba si určit, co je myšleno termínem odpad a zejména pak termínem třídění odpadu. Odpověď může poskytnout zákon č. 185/2001 Sb., neboli Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. V něm je uvedeno, že „Opad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se zbavit“ (Zákon č. 185/2001 Sb., 2001, § 3 odst. 1). Dále se v něm pak uvádí, že tříděný sběr je takový, kdy je tok odpadů oddělen podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování (Zákon č. 185/2001 Sb., 2001).

Třídění odpadu v České republice se dá představit stručnými daty z nejnovějších dostupných statistik, která říkají, že 73 % všech obyvatel republiky třídí odpad (Samosebou.cz, 2019). Za rok 2018 se znovu využilo 69,6 % z celkové produkce

obalových materiálů (Eurostat, 2020b). Průměrná česká domácnost za rok 2018 vytrídila 55 kg papíru, 38 kg plastů a 35 kg skla (EKO-KOM, 2020). Průměrná vzdálenost k nádobám na tříděný odpad je aktuálně v České republice 91 metrů a je zde v současné době umístěno přibližně 413 tisíc nádob na tříděný odpad (Samosebou.cz, 2019). Z celkového objemu všech odpadů je zrecyklováno 34,5 % (Eurostat, 2020).

4.2 Třídění odpadu ve Staré Boleslavi - Brandýse nad Labem

Jak již bylo zmíněno, svozem tříděného odpadu na území města, tak i v městských částech Stará Boleslav a Brandýs nad Labem, se zabývá firma AVE CZ. Dle plánu odpadového hospodářství města se shromažďuje největší množství tříděného odpadu v nádobách rozmístěných ve městě a ve sběrných dvorech (Brandysko.cz, 2014). Pro účely této práce jsou ale podstatná pouze místa s nádobami na tříděný odpad, protože právě jejich svoz se bude optimalizovat. V plánu odpadového hospodářství se také uvádí, že je potřeba v budoucnu navyšovat počet míst s nádobami na tříděný odpad. Tím by se snížila docházková vzdálenost obyvatel k těmto místům a navýšil se tím podíl tříděného odpadu. Taktéž to znamená, že bude třeba upravovat trasy svozu tak, aby byla obsloužena všechna místa (Brandysko.cz, 2014).

Na území města dochází k třídění do specializovaných nádob následujícího odpadu (Vyhláška Města č. 3/2006):

- papír,
- bílé sklo,
- barevné sklo,
- odpadní plasty,
- krabice od nápojů – tetrapak.

Dle informací poskytnutých firmou AVE CZ jsou pro odpady určeny nádoby v rozsahu objemů 240, 1100, 1300, popř. 1500 l, a jsou rozlišené pomocí barev a popisků viz tabulka 1.

Tab. 1 Seznam druhů odpadu

Druh odpadu	Barva	Objem
Papír	modrá	1100 l, 240 l
Plast	žlutá	1100 l, 240 l
Bílé sklo	bílá	1300 l
Barevné sklo	zelená	1300 l
Tetrapak	oranžová	1100 l
Sklo DUO	bílo-zelená	1500 l

Zdroj: sestaveno dle informací od AVE CZ

V posledních letech ve městě přibyla taktéž místa s podzemními kontejnery na tříděný odpad, ty jsou barevně rozlišeny stejným způsobem (Brandysko.cz, 2014). Pro účely práce nicméně podzemní kontejnery nebudou zahrnuty z důvodu, že jejich svoz probíhá separátně nepravidelně (dle naplněnosti) speciálním vozidlem. Jejich počet na území města je velmi nízký (10 míst) a tak optimalizace trasy není příliš zajímavá a pro účely této práce nebude zohledněna. Všechna sběrná místa jsou uvedena v tabulce 2.

Tab. 2 Seznam všech sběrných míst na území města

	Adresa	Papír	Sklo DUO	Sklo bílé	Sklo barevné	Plast	Tetrapak
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	1	1			1	
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	2	1			2	
3	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	2		1	1	2	1
4	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	2	1			3	
5	Palackého 27, Stará Boleslav	2			1	2	
6	Lázeňská 12, Stará Boleslav	1	1			2	1
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	2	1			3	
8	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	3	1			3	1
9	Slovanská, Stará Boleslav	1		1	1	1	
10	17. listopadu 5, Stará Boleslav	1				1	
11	Šárochova, Stará Boleslav	1			1	2	
12	Lomená alej, Stará Boleslav	2			1	2	
13	Na proporci, Stará Boleslav	1			1	1	
14	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	1	1			1	1
15	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	1				1x 240l	
16	Hlavenecká, Stará Boleslav	1	1			1	
17	Generála Lišky, Stará Boleslav	2	1				
18	Mělnická 62, Stará Boleslav	1			1	1	1

	Adresa	Papír	Sklo DUO	Sklo bílé	Sklo barevné	Plast	Tatrapak
19	Třebízského 1435, Stará Boleslav	3			1	3	
20	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	1			1	1	
21	Skorkovská, Stará Boleslav	1			1	1	
22	U Pramene, Stará Boleslav	1	1			1	
23	Táhlá, Stará Boleslav	1			1	1	
24	Augustína Lukeše 1, Brandýs nad Labem	1				1	
25	Brázdinská 3, Brandýs nad Labem	2	1			2	
26	E. Petišky, Brandýs nad Labem	1		1	1	2	
27	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	1	1			2	1
28	Husova 11, Brandýs nad Labem	2	1			3	
29	Husova 27, Brandýs nad Labem	1			1	1	
30	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	1			1	1	
31	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	2			1	2	1
32	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	1		1	1	1	
33	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	2			1	2	
34	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	1	1			1	
35	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	1			1	2	
36	Pražská 77, Brandýs nad Labem	2			1	2	
37	Kostecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	1			1	2	1
38	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem	2			1	2	
39	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem	2	1			2	
40	Královická - sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	2		1	1	2	
41	Kralupská I, Brandýs nad Labem	1		1	1	1	
42	Kralupská II, Brandýs nad Labem	1		1	1	1	
43	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	3	1			3	1
44	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	1		1	1	2	
45	Martinovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem	2			1	2	1
46	Na Betháni, Brandýs nad Labem	2				2	
47	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	1			1	1	
48	Na Okraji, Brandýs nad Labem	1			1	2	
49	Na Prádle, Brandýs nad Labem	1			1	1	
50	náměstí č. p. 34, Brandýs nad Labem	1x 240l					
51	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	3	3			4	
52	Palachova , Brandýs nad Labem	1	1			2	
53	Palachova - škola, Brandýs nad Labem					2	
54	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem	2	1			2	
55	Polní, Brandýs nad Labem	2	1			2	
56	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs n. L.	1				1	
57	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem	1	1			1	1
58	Sasanková, Brandýs nad Labem	2			1	2	
59	Zahradnická 1723, Brandýs n. L.					3	

	Adresa	Papír	Sklo DUO	Sklo bílé	Sklo barevné	Plast	Tatrapak
60	U Rokle, Brandýs nad Labem	1				2	
61	U Vodárny, Brandýs nad Labem	2			1	2	
62	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	3			1	2	
63	U vodojemu u školky, Brandýs nad Labem	1					
64	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs nad Labem	1				1	
65	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	1			1	1	
66	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs nad Labem	1			1	2	
67	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	2		1	1	2	
68	Na Vinici, Brandýs nad Labem	1	1			1	
69	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem					1x 240l	
70	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	1	1			1	
71	Kostecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	1	1			1	
72	Spořilov II, Brandýs nad Labem	1			1	1	
73	Fotbalový stadion Brandýs	1				1	

Zdroj: sestaveno dle informací poskytnutých firmou AVE CZ

Na základě informací poskytnutých firmou AVE CZ je každý druh odpadu svážen jednotlivě specializovaným vozem. Plast je svážen 2x týdně, papír 2x týdně, sklo barevné 1x za měsíc, sklo bílé 6x ročně a tetrapak 6x ročně. V současné době jsou pro svoz všech druhů tříděného odpadu používána specializovaná vozidla s objemem nákladového prostoru 20 m³. Vozy používané pro svoz disponují lisem pro stlačení obsahu nákladového prostoru. Přesné hodnoty poměrů stlačení pro jednotlivé druhy odpadů nebyly firmou AVE CZ poskytnuty, získána byla pouze orientační informace o přibližném poměru stlačení 1:5 pro všechny druhy odpadu. Dá se ovšem předpokládat, že pro různé typy odpadů budou poměry stlačení odlišné. Kochánková k tomuto tématu uvádí: „Průzkumem bylo zjištěno, že papír je v průměru stlačován o 50 %, plasty o 50 %, tetrapak (nápojové kartony) taktéž o 50 % a oba druhy skla - bílé i barevné jsou stlačeny o cca 10 %.“ (Kochánková, 2008, str. 34). Tato informace, ale nebyla jinde potvrzena. Pokud budeme vycházet z informací od firmy AVE CZ, tak vůz o objemu 20 m³ pojme při objemu stlačení 1:5 100 m³ odpadu. Nejvíce stanovišť ze všech druhů odpadu má na území města plast a to 70 míst se 116 nádobami 1100 l a dvěma 240 l. S kapacitou jednotlivých nádob 1,1 m³ a 0,24 m³ se při předpokladu plné naplněnosti všech kontejnerů dostaneme na celkový objem 128 m³. Teoreticky by tak mohla nastat situace, kdy dojde k maximálnímu naplnění vozu ještě před navštívením všech stanovišť. Firma AVE

CZ si je tohoto problému vědoma a harmonogram svozů je naplánován tak, aby nedocházelo k přeplňování kontejnerů ve městě a tudíž i potenciálnímu přeplnění kapacity vozu. V případě, že by se tak stávalo pravidelně, tak by svozová firma zavedla častější svoz. Pokud se tak stane nárazově, je problém vyřešen buď nasazením dodatečného vozu, nebo opakovaným svozem. Pro účely této práce nicméně vyplývá, že bude optimalizována nejkratší možná trasa, bez ohledu na kapacitu vozidla. Ta by měla být, dle zkušeností firmy dostačující.

V tabulce 3 je uveden přehled pro jednotlivé druhy odpadu s počtem lokací, celkovým počtem nádob a kapacitou jednotlivých nádob. Dá se tak podle celkového objemu určit maximální kapacita vozidla potřebná pro svoz na území města.

Tab. 3 Přehled celkového počtu nádob na území města

Druh	Kapacita nádob (l)	Počet lokací	Počet nádob
Papír	240	1	1
	1100	69	101
Sklo DUO	1500	24	26
Sklo barevné	1300	36	36
Sklo bílé	1300	9	9
Plast	240	2	2
	1100	68	116
Tetrapak	1100	11	11

Zdroj: sestaveno dle informací od AVE CZ

Svoz tříděného odpadu na území města Stará Boleslav – Brandýs nad Labem je zajišťován z depa firmy AVE CZ v Benátkách nad Jizerou, jež je vzdáleno od Staré Boleslavi přibližně 16 kilometrů. Všechny typy tříděného odpadu jsou sváženy do Benátek nad Jizerou na třídící linku, nebo na skládku. Optimalizace tras je prováděna na základě zkušeností řidiče a možnosti techniky a lidí.

5 Optimalizace tras

Pro účely optimalizace tras je v první řadě nutné získat matici vzdáleností mezi jednotlivými místy. K získání matice vzdáleností je zapotřebí určit přesnou polohu všech stanovišť. Na internetových stránkách města Stará Boleslav – Brandýs nad Labem je nahrána mapa s umístěním jednotlivých kontejnerů na území města (viz příloha 1 a 2). Tato mapa zobrazuje ovšem pouze orientační polohy a samostatně pro přesné určení polohy je nedostačující. K přesnému určení polohy jednotlivých míst bylo potřeba oslovit společnost AVE CZ, jež má svoz odpadu na starosti. Společností poskytnutá tabulka kontejnerů s odpadem uvedená v tabulce 2 obsahuje adresy jednotlivých míst. Je ovšem třeba předpokládat, že hnízda s odpady jsou často umístěná na místech, jež mohou být od adres budov lehce odlišná. Proto ke zjištění přesného geografického umístění byla použita kombinace mapy z internetových stránek města a tabulky společnosti AVE CZ. Odečtení zeměpisných souřadnic místa bylo provedeno za pomoci mapových podkladů společnosti Google. Výsledná tabulka adres se zeměpisnými souřadnicemi je umístěna v příloze 3.

5.1 Matice vzdáleností

Pro optimalizaci trasy svozového vozu je třeba získat vzdálenosti mezi jednotlivými místy. Tyto vzdálenosti musí být uvažovány po komunikacích za dodržení silničních pravidel. Vzdálenosti mezi jednotlivými místy jsou poté vloženy do tabulky, tzv. matice vzdáleností. Matice vzdáleností je tabulka s údaji o vzdálenosti mezi všemi jednotlivými místy. Na ose x i na ose y je uveden seznam míst, vzdálenosti mezi nimi jsou uvedené v poli jimi vytyčeném. Pokud bychom neuvažovali pravidla silničního provozu, byla by matice symetrická podle diagonály. V tomto případě ovšem tato pravidla musí být uvažována. Vzdálenosti mezi stanovišti se v různých směrech mohou lišit z důvodů jednosměrných ulic či zákazů vjezdů. To způsobí, že výsledná matice vzdáleností není symetrická.

K získání délky trasy mezi souřadnicemi by se dalo použít hned několik mapových nástrojů dostupných online. Získání takovéto matice vzdáleností ručně mezi 74 místy navzájem (73 stanovišť + výchozí místo) by zabralo neúměrně mnoho času, a proto byl využit program, který zjistí na základě vložených dvojic souřadnic, či adres, vzdálenost za pomoci mapových podkladů Google.

Program, který byl použitý pro výpočet se nazývá filltraveltimes.xls a byl vytvořen Desmondem Oshiwambou. Je volně ke stažení na jeho webových stránkách (Oshiwambo, 2018). Program, jež je navržený v prostředí Microsoft Excel využívá programovacího jazyka Visual Basic a zpřístupnění zdrojových kódů Google Maps Directions API. Google Maps Directions API umožní uživateli s příslušným identifikačním přístupovým klíčem přímý přístup k mapovým databázím společnosti Google bez nutnosti použití klientské části, tedy grafického rozhraní (Google Maps Platform, 2020). Toto umožní za určitých podmínek zautomatizovat výpočet tras mezi mnoha místy přístupem z jiné aplikace, jež je identifikována pomocí klíče. Funkce je dle účelu použití omezena (pro výzkumné a studijní účely je možné získat určitý počet operací bezplatně). Přístupový identifikační klíč je možné získat po registraci na webových stránkách Google Maps Platform (2020).

Pro účely získání matice vzdáleností mezi stanovišti byla v programu Desmonda Oshiwamba vytvořena tabulka zobrazující všechny možné dvojice stanovišť ($74 \times 74 = 5476$ kombinací). Program poté za pomoci Google Maps Directions API doplnil ke každé dvojici stanovišť vzdálenost a dobu přejezdu. Tato tabulka byla následně transformována do přehledné matice vzdáleností. Ukázka z programu filltraveltimes.xls je na obrázku 1.

Matice vzdáleností získaná programem filltraveltimes je v příloženém souboru Vzdalenost_MPL.xlsx na listu „Komplet“. Tabulka je také umístěna v příloze 4. Matice časů pro přejezdy mezi stanovišti je v příloženém souboru Vzdalenost_MPL.xlsx na listu „Komplet_čas“. Tato tabulka je taktéž umístěna v příloze 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	From	To	Distance	Travel Time														
2	50.202225, 14.685478	50.202225, 14.685478	0,00	0:00														
3	50.201451, 14.683331	50.202225, 14.685478	0,2	0:00														
4	50.196623, 14.681191	50.202225, 14.685478	0,9	0:03														
5	50.196265, 14.687003	50.202225, 14.685478	1,3	0:03														
6	50.194216, 14.683663	50.202225, 14.685478	1,2	0:03														
7	50.193758, 14.677285	50.202225, 14.685478	1,4	0:03														
8	50.198441, 14.675496	50.202225, 14.685478	1,6	0:04														
9	50.195131, 14.679025	50.202225, 14.685478	1,3	0:03														
10	50.199483, 14.687769	50.202225, 14.685478	0,7	0:02														
11	50.199945, 14.685782	50.202225, 14.685478	0,5	0:01														
12	50.194776, 14.674920	50.202225, 14.685478	1,5	0:04														
13	50.194171, 14.703006	50.202225, 14.685478	2,8	0:04														
14	50.196987, 14.691828	50.202225, 14.685478	2,1	0:03														
15	50.201040, 14.681073	50.202225, 14.685478	0,5	0:01														
16	50.196047, 14.675192	50.202225, 14.685478	1,4	0:04														
17	50.203792, 14.681053	50.202225, 14.685478	0,6	0:02														
18	50.208597, 14.665677	50.202225, 14.685478	2,4	0:04														
19	50.202240, 14.671078	50.202225, 14.685478	1,4	0:03														
20	50.203423, 14.677023	50.202225, 14.685478	0,9	0:02														
21	50.199817, 14.685005	50.202225, 14.685478	0,5	0:02														
22	50.201718, 14.688692	50.202225, 14.685478	0,8	0:03														
23	50.199900, 14.675340	50.202225, 14.685478	1,1	0:02														
24	50.205719, 14.680034	50.202225, 14.685478	0,9	0:03														
25	50.180974, 14.663535	50.202225, 14.685478	3,8	0:08														
26	50.188266, 14.65243	50.202225, 14.685478	3,7	0:08														
27	50.178824, 14.685740	50.202225, 14.685478	4,7	0:09														
28	50.184876, 14.668088	50.202225, 14.685478	3,3	0:06														
29	50.182411, 14.672584	50.202225, 14.685478	3,6	0:07														
30	50.180710, 14.677715	50.202225, 14.685478	4,3	0:08														
31	50.184201, 14.670549	50.202225, 14.685478	1,4	0:06														
32	50.185603, 14.655555	50.202225, 14.685478	2,6	0:08														
33	50.185195, 14.671529	50.202225, 14.685478	2,5	0:07														
34	50.182215, 14.664051	50.202225, 14.685478	2,4	0:07														
35	50.186383, 14.657908	50.202225, 14.685478	2,2	0:07														
36	50.192473, 14.652870	50.202225, 14.685478	4,1	0:08														

Zdroj: Oshiwambo, 2018, s vlastní úpravou

Obr. 1 Ukázka uživatelského rozhraní v programu filltraveltimes.xls s částí výpočtů pro matici vzdáleností

Kompletní matice vzdáleností bylo třeba přizpůsobit pro jednotlivé druhy odpadu dle tabulky 2 tak, aby pro každý druh odpadu vznikla jedna matice vzdáleností. Výsledné tabulky pro papír, plast, sklo bílé, sklo barevné, sklo duo a tetrapak jsou uvedeny v přílohách 6 až 11.

5.2 MPL for Windows

Program MPL for Windows je otevřený modelovací software umožňující mimo jiné řešení různých typů optimalizačních úloh (Maximal software, 2016). Otevřený program je poskytován bezplatně a jeho zdrojový kód může být volně kýmkoliv upraven (Cambridge Dictionary, 2020). Verze používaná pro účely práce využívá integraci řešitele CPLEX300 pro lineární a smíšeně celočíselné modely, počítající s nejvíce 300 proměnnými (Jablonský, 2011).

Pro výpočet úlohy této diplomové práce bylo třeba definovat model v modelovacím jazyce programu, jenž obsahuje tyto části (Jablonský, 2011):

- TITLE – název modelu.
- OPTIONS – obsahuje odkaz na soubor a list programu Microsoft Excel, ze kterého program čerpá data matice vzdáleností potřebné pro výpočet.
- INDEX – umožňuje definici numerických indexů, použitých pro formulaci proměnných a omezujících podmínek. V příkladu obrázku 2 načítáme indexy ze souboru MS Excel z pole definovaného pod označením „misto_papir“.
- DATA – obsahuje specifikaci vstupních dat. V příkladu obrázku 2 obsahuje pole matice vzdáleností definovaného pod názvem „vzdalenost_papir“.
- BINARY VARIABLES – obsahuje pole souboru MS Excel definovaného v příkladu obrázku 2 pod názvem „trasa_papir“, do kterého program zapíše pomocí binárních proměnných, informaci o zvolené trase.
- VARIABLES – určení pole v MS Excel definovaného v příkladu obrázku 2 pod názvem „poradi_papir“, do kterého program exportuje informaci o pořadí trasy.
- MODEL – obsahuje zápis funkce, která bude optimalizována. V příkladu obrázku 2 minimalizační funkce (MIN) s informací o buňce v souboru MS Excel definované pod názvem „celkem_papir“, kam se zapíše výsledek funkce.
- SUBJECT TO – obsahuje zápis omezujících podmínek, důležitých pro správný výpočet modelu.
- END – ukončení modelu.

Model programu byl vytvořen na základě obecné formulace úlohy obchodního cestujícího s účelovou rovnicí (1) a omezujícími podmínkami (2) – (5).

```
TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkbook="Uzdalenosti.xlsx";
ExcelSheetName="Papír";

INDEX
i := EXCEL RANGE("misto_papir");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCEL RANGE("vzdalenost_papir");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCEL RANGE("trasa_papir");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCEL RANGE("poradi_papir");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCEL RANGE("celkem_papir") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END
```

Main model file: example16.mpl 1:1

Zdroj: Maximal Software, 2018, s vlastní úpravou

Obr. 2 Uživatelského prostředí programu MPL for Windows s modelem pro optimalizaci trasy svozu papíru

5.3 Řešení v programu MPL for Windows

Pro výpočet optimálního řešení a nalezení optimální trasy byl použit program MPL for Windows a řešitel CPLEX v plné verzi. K řešení bylo potřeba vytvořit model pro každý druh odpadu zvlášť, ukázka modelu pro svoz papíru je na obrázku 2. Model byl propojen se souborem Vzдалenost.xlsx programu Excel, v němž jsou uloženy matice vzdáleností pro každý odpad zvlášť na separátním listu. Matice vzdáleností použité pro výpočet jsou uvedeny v přílohách 6 až 11.

Každý list souboru Vzдалenost.xlsx byl pro potřeby programu MPL upraven tak, aby data uložená v souboru Excel mohla být identifikována programem MPL. Identifikace dat byla provedena přes pojmenování buněk s obsahem určeným jako podklad pro výpočet a obsahem určeným pro export dat z výpočtu programu MPL.

Soubor byl v modelu odkázán svým názvem – umístění se předpokládá ve stejném adresáři jako model (V příkladu obrázku 2 – ExcelWorkBook=“Vzdalenost.xlsx“). Kromě odkazu byl v modelu taktéž odkázán list určený pro výpočet (v příkladu obrázku 2 – ExcelSheetName=“Papír“). Dále byla ještě specifikována pole listu důležitá pro výpočet programem. Rozsah buněk pojmenovaný jako „místo_papír“ je sloupec určující index pozice, neboli číselné označení pozice odpadu v rozsahu 1- n , kde n je stanoviště s nejvyšším označením (v příkladu papíru rozsah 1 až 71). Rozsah buněk definovaný jako „vzdalenost_papír“ určuje pozici matice vzdáleností. Rozsah „trasa_papír“ určuje pole pro zápis trasy programem MPL, který po skončení výpočtu exportuje matici o stejném rozměru jako matice vzdálenosti se záznamem, zda se trasa jede (=1) či nikoliv (=0). Dle podmínek stanovených modelem musí být součet každého řádku i sloupce této matice roven přesně 1. Rozsah buněk „poradi_papír“ je opět sloupec rozsahu 1- n , kde n je rovno maximálnímu indexu matice, a přiřazuje každému indexu číselné pořadí v jakém se místo projede. Buňka „celkem_papír“ nakonec určuje pozici v listu, kam bude vložen celkový součet vzdáleností výsledné optimální trasy.

Stejným způsobem byly definovány i pozice rozsahů buněk na jiných listech souboru Excel a modely v programu MPL modifikovány pro každý druh odpadu změnou jejich názvu (například pozice_papír → pozice_sklo_duo apod.).

5.4 Výsledky v programu MPL

Modelem úlohy obchodního cestujícího, který byl zapsán programu MPL, se dá docílit optimálního řešení, nicméně výpočet je tím obtížnější, čím více pozic trasy je potřeba zahrnout do výpočtu. S rostoucím počtem zastávek na trase rostou i nároky na výpočetní výkon počítače. Pro účely této práce byl pro výpočet použit počítač Apple Macbook Pro 15“ Mid 2015 s procesorem Intel Core i7-4870HQ 2,5 GHz, 16GB RAM, externí grafickou kartou AMD Radeon R9 M370X 2GB a interní grafickou kartou Intel Iris Pro 1536 MB. Program MPL for Windows (v5.0) s řešitelem CPLEX (v12.5) byl na počítači spuštěn přes virtualizaci operačního systému Windows 10 v programu Parallels Desktop 13 s nastaveným maximálním využitím výkonu počítače.

5.4.1 Svoz papíru

Výsledek optimalizace pomocí programu MPL pro matici vzdáleností je uveden na obrázku 3. Z výsledků je patrné, že program nedospěl k optimálnímu (hodnoty horní a dolní meze účelové funkce se liší), ale pouze k dostačujícímu řešení z důvodu předčasného manuálního ukončení výpočtu. Výpočet probíhal 1 hodinu a 53 sekund a poté byl ukončen. Ukončen byl proto, že výsledný interval funkce modelu se již zužoval pouze minimálně s narůstajícím počtem iterací a k dosažení optimálního řešení by bylo třeba neúměrně více času. Na úlohu budou dále aplikovány heuristické metody za účelem pokusu o nalezení nejoptimálnějšího možného řešení. Podrobný výsledek programu MPL je uveden na listu „Papír“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Nejzajímavějšími údaji na výsledcích modelu jsou dvě hodnoty tvořící interval, ve kterém leží optimální řešení úlohy. Tato čísla jsou uvedena na obrázku 3 v dialogovém okně označena jako „Objective Function“. Jedná se o interval [63148; 67300], ze kterého můžeme vyčíst hned několik informací. Nižší číslo se dá vyjádřit jako dolní odhad hodnoty funkce, tedy, že lepší hodnoty už nebude možno dosáhnout. Vyšší číslo se pak dá vyjádřit jako prozatím nejlepší nalezené řešení funkce. Čím větší je rozsah intervalu, tím obtížněji se dá odhadnout hodnota optimálního řešení a tím méně přesnějšího řešení se dosáhlo. Rozdíl mezi vypočteným a optimálním řešením může být v tomto případě až 4,15 km. Dle nalezeného výsledku modelu programu MPL je tedy celková vypočtená vzdálenost trasy 67,3 km. Pořadí míst na této je uvedeno v tabulce 4.

Tab. 4 Pořadí míst na trase svozu papíru

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Neratovická, za samoobsl., Brandýs n. L.	48	Polní, Brandýs nad Labem
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	25	Kralupská II, Brandýs nad Labem	49	Výletní x Pražská, Brandýs n. L.
2	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	26	Kralupská I, Brandýs nad Labem	50	Vrábská x Krátká, Brandýs n. L.
3	Skorkovská, Stará Boleslav	27	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	51	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
4	Slovanská, Stará Boleslav	28	Na Vinici, Brandýs nad Labem	52	U Vodárny, Brandýs nad Labem
5	17. listopadu 5, Stará Boleslav	29	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	53	Sasanková, Brandýs nad Labem
6	Erbenova 2, Stará Boleslav	30	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	54	Pražská 77, Brandýs nad Labem
7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	55	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	56	U vodojemu u školky, Brandýs n. L.
9	Táhlá, Stará Boleslav	33	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n. L.	57	U Rokle, Brandýs nad Labem
10	Třebízského 1435, Stará Boleslav	34	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	58	Na Okraji, Brandýs nad Labem
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Krajířské náměstí, Brandýs n. Labem	59	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
12	Generála Lišky, Stará Boleslav	36	náměstí čp. 34, Brandýs nad Labem	60	Palachova , Brandýs nad Labem

13	U Pramene, Stará Boleslav	37	Plantáž x Královická, Brandýs n. L.	61	Na Betháni, Brandýs nad Labem
14	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	38	Husova 11, Brandýs nad Labem	62	Na Prádle, Brandýs nad Labem
15	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	39	Husova 27, Brandýs nad Labem	63	Šárochova, Stará Boleslav
16	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	40	E. Petišky, Brandýs nad Labem	64	Lazeňská 12, Stará Boleslav
17	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	41	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	65	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
18	Kostelecká – parkov. 5.ZŠ, Brandýs n. L.	42	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	66	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
19	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	43	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	67	Palackého 27, Stará Boleslav
20	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	44	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	68	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
21	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	45	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
22	Fotbalový stadion Brandýs	46	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	70	Na proporci, Stará Boleslav
23	Spořilov II, Brandýs nad Labem	47	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. L.	71	Skládka Benátky nad Jizerou

The screenshot shows a window titled "\\Mac\Home\Documents\Diplomova_prace\Konzultace\example16_papir.mpl" containing the following code:

```

TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkBook="Uzdaelenosti_MPL.xlsx";
ExcelSheetName="Papír";

INDEX
i := EXCELRange("misto_papir");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCELRange("uzdaelenost_papir");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCELRange("trasa_papir");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCELRange("poradi_papir");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCELRange("Celkem_papir") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END

```

Overlaid on the code is a "Status Window" dialog box with the following content:

Aborted in MIP, current solution integer feasible

Main File	Lines	Memory	Time
example16_papir.mpl	29	1057K	1:00:53

Model			
Variables:	5112	Nonzeros:	29961
Constraints:	5112	Integers:	5041

Solver	Integer	Objective Function
Nodes:	1216286 (31)	63148.0476
Iterations:	8672569	67300.0000

Buttons: OK, View

Obr. 3 Výsledek modelu pro svoz papíru v programu MPL

5.4.2 Svoz skla DUO

Výsledek optimalizace trasy svozu skla DUO je uveden na obrázku 4. Výpočet byl stejně jako v případě svozu papíru předčasně ukončen ze stejného důvodu po 27 minutách a 23 sekundách. Nebylo nalezeno optimální, avšak pouze dostačující řešení úlohy s výsledkem 52,6 km. Interval funkce byl v tomto případě v porovnání s výsledky svozu papíru výrazně užší, a to [51,55; 52,6]. Výsledek je tedy

v porovnání s výsledky svozu papíru jednoznačně přesnější a případné optimální řešení se může odlišovat od nalezeného řešení o maximálně 1,05 km. Na úlohu budou v další části práce aplikovány heuristické metody. Podrobný výsledek programu MPL je uveden na listu „Sklo DUO“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Pořadí obsluhy míst trasy je uvedeno v tabulce 5.

Tab. 5 Pořadí míst na trase svozu skla DUO

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	14	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	15	Polní, Brandýs nad Labem
3	Hlavenecká, Stará Boleslav	16	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem
4	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	17	Palachova , Brandýs nad Labem
5	Generála Lišky, Stará Boleslav	18	Husova 11, Brandýs nad Labem
6	U Pramene, Stará Boleslav	19	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	20	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
8	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	21	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem
9	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	22	Lazeňská 12, Stará Boleslav
10	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	23	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
11	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	24	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
12	Na Vinici, Brandýs nad Labem	25	Skládka Benátky nad Jizerou

The screenshot shows the MPL software interface. The main window displays the model file content:

```

TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkbook="Uzdalenosti_MPL.xlsx";
ExcelSheetName="Sklo DUO";

INDEX
i := EXCEL RANGE("misto_sklo_duo");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCEL RANGE("vzdalenost_sklo_duo");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCEL RANGE("trasa_sklo_duo");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCEL RANGE("poradi_sklo_duo");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCEL RANGE("Celkem_sklo_duo") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END

```

The Status Window on the right provides the following information:

- Status: Aborted in MIP, current solution integer feasible
- Main File: example16_sklo_duo.mpl, Lines: 29, Memory: 513K, Time: 0:27:23
- Model Statistics:

Variables:	650	Nonzeros:	3651
Constraints:	650	Integers:	625
- Solver Statistics:

Solver:	Integer	Objective Function
Nodes:	3592450 (23)	51.5500
Iterations:	23949016	52.6000

Obr. 4 Výsledek modelu pro svoz skla DUO v programu MPL

5.4.3 Svoz bílého skla

Výsledek optimalizace svozu bílého skla je uveden na obrázku 5. Výpočet v tomto případě dospěl k optimálnímu řešení za necelé 2 sekundy. Optimálním řešením této úlohy je trasa o vzdálenosti 46,9 km v pořadí uvedeném v tabulce 6. Ačkoliv byl nalezen optimální výsledek úlohy, v další části práce budou na tento případ taktéž aplikovány heuristické metody. Bude tak možno určit o kolik se liší výsledky metod od optimálního řešení. Podrobný výsledek programu MPL je uveden na listu „Sklo bílé“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“.

Tab. 6 Pořadí míst na trase svozu bílého skla

0	Skládka Benátky nad Jizerou	6	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
1	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	7	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem
2	E. Petišky, Brandýs nad Labem	8	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
3	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	9	Slovanská, Stará Boleslav
4	Kralupská II, Brandýs nad Labem	10	Skládka Benátky nad Jizerou
5	Kralupská I, Brandýs nad Labem		

```

\\Mac\Home\Documents\Diplomova_prace\Konzultace\example16_sklo_bile.mpl
TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkbook="Uzdalenosti_MPL.xlsx";
ExcelSheetName="Sklo bile";

INDEX
i := EXCELRange("misto_sklo_bile");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCELRange("vzdalenost_sklo_bile");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCELRange("trasa_sklo_bile");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCELRange("poradi_sklo_bile");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCELRange("Celkem_sklo_bile") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END
  
```

Status Window

Optimal integer solution found

Main File	Lines	Memory	Time
example16_sklo_bile.mpl	29	477K	1:95

Model	
Variables:	110 Nonzeros: 561
Constraints:	110 Integers: 100

Solver		Integer	Objective Function
Nodes:	1804 (35)		46900.0000
Iterations:	10035		46900.0000

OK View

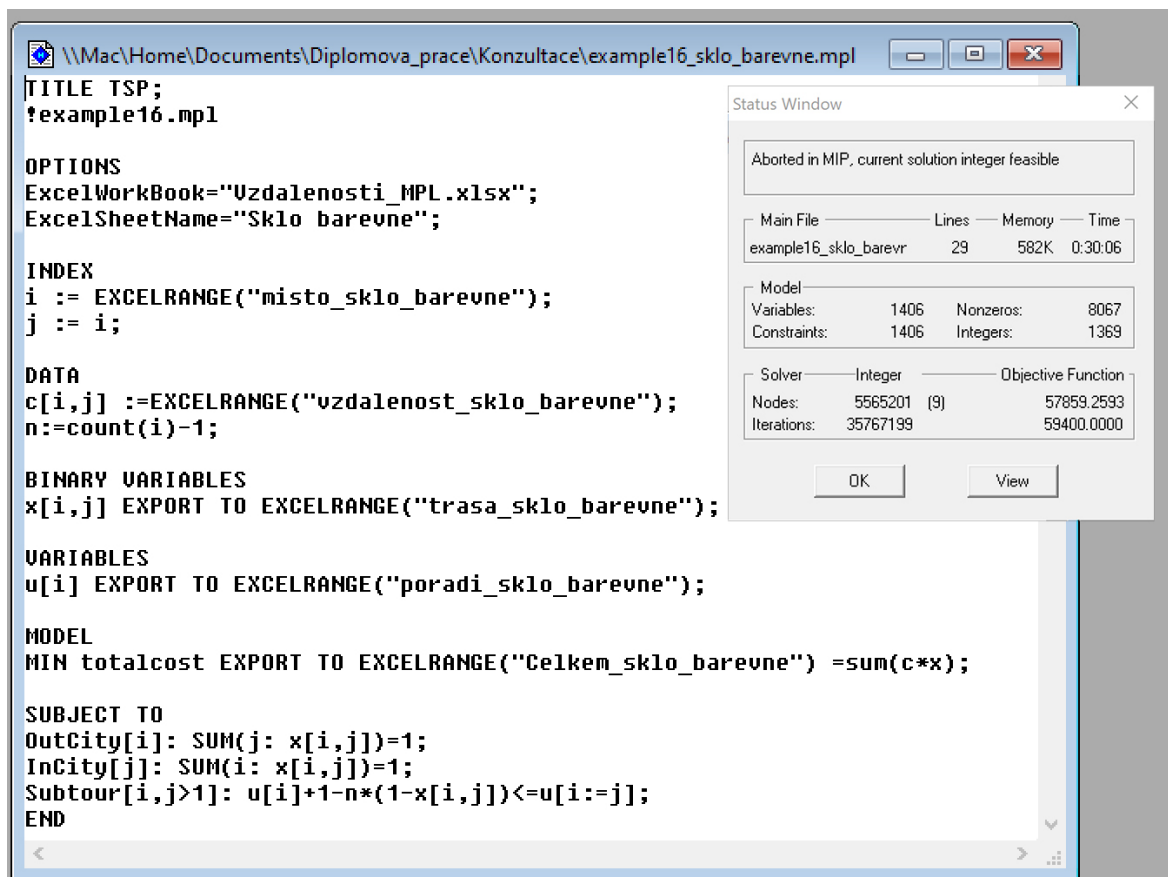
Obr. 5 Výsledek optimalizace modelu pro svoz bílého skla v programu MPL

5.4.4 Svoz barevného skla

Výsledek optimalizace modelu pro svoz barevného skla je uveden na obrázku 6 a podrobný výsledek je umístěn na listu „Sklo barevne“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výpočet bohužel musel být opět manuálně přerušeno po 30 minutách z důvodu stejných jako v předchozích případech. Nalezené řešení úlohy je trasa o délce 59,4 km. Maximální odchylka řešení od optimální hodnoty je v tomto případě 1,54 km. V další části této práce budou na úlohu aplikovány heuristické metody. V tabulce 7 je uvedeno pořadí obsluhy míst svozu.

Tab. 7 Pořadí míst na trase svozu barevného skla

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Kralupská II, Brandýs n. Labem	26	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem
1	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	14	Kralupská I, Brandýs n. Labem	27	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem
2	Slovanská, Stará Boleslav	15	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	28	E. Petišky, Brandýs nad Labem
3	Skorkovská, Stará Boleslav	16	Jasanová 1494, Brandýs nad L.	29	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.
4	Táhlá, Stará Boleslav	17	Lipová 1502, Brandýs nad L.	30	Husova 27, Brandýs nad Labem
5	Třebízského 1435, Stará Boleslav	18	Sasanková, Brandýs nad Labem	31	Krajířské náměstí, Brandýs nad Labem
6	Mělnická 62, Stará Boleslav	19	U Vodárny, Brandýs nad Labem	32	Šárochova, Stará Boleslav
7	Na Prádle, Brandýs nad Labem	20	Pražská 77, Brandýs nad Labem	33	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
8	Na Nižším Hrádku, Brandýs n. L.	21	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	34	Palackého 27, Stará Boleslav
9	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	22	Na Okraji, Brandýs nad Labem	35	Lomená alej, Stará Boleslav
10	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	23	Vrábská x Krátká, Brandýs n. L.	36	Na proporci, Stará Boleslav
11	Pavla Lista 37, Brandýs n. L.	24	Výletní x Pražská, Brandýs n. L.	37	Skládka Benátky nad Jizerou
12	Spořilov II, Brandýs nad Labem	25	Karla Sebora 15, Brandýs n. L.		



Obr. 6 Výsledek modelu pro svoz barevného skla v programu MPL

5.4.5 Svoz plastu

Optimalizace modelu pro svoz plastu v programu MPL je uvedena na obrázku 7 a podrobný výsledek je umístěn na listu „Plast“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Úloha byla opět z důvodu přílišné náročnosti přerušena po 43 minutách. Nalezené, avšak nikoliv optimální řešení úlohy, je trasa o délce 65 km. Maximální odchylka od optimálního řešení je 3 km. V další části této práce budou na úlohu aplikovány heuristické metody. V tabulce 8 je uvedeno pořadí obsluhy míst svozu dle nalezeného řešení.

Tab. 8 Pořadí míst na trase svozu plastů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Palachova - škola, Brandýs n. L.	48	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem
1	Na klouboučku 1105, Stará Boleslav	25	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	49	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
2	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	26	Augustina Lukeše 1, Brandýs nad Labem	50	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
3	Skorkovská, Stará Boleslav	27	Polní, Brandýs nad Labem	51	Vrábská x Krátká, Brandýs n. Labem
4	Slovanská, Stará Boleslav	28	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	52	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
5	17. listopadu 5, Stará Boleslav	29	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L	53	U Vodárny, Brandýs nad Labem
6	Erbenova 2, Stará Boleslav	30	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	54	Sasanková, Brandýs nad Labem

7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Krajiřské náměstí, Brandýs nad Labem	55	Pražská 77, Brandýs nad Labem
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	Na Prádle, Brandýs nad Labem	56	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
9	Táhlá, Stará Boleslav	33	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	57	U Rokle, Brandýs nad Labem
10	Třebízského 1435, Stará Boleslav	34	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	58	Na Okraji, Brandýs nad Labem
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Kostelecká – park. 5.ZŠ, Brandýs n. L.	59	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem
12	U Pramene, Stará Boleslav	36	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	60	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
13	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	37	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	61	Palachova , Brandýs nad Labem
14	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	38	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	62	Na Betháni, Brandýs nad Labem
15	Plantáž x Královická, Brandýs n. L.	39	Fotbalový stadion Brandýs	63	Šárochova, Stará Boleslav
16	Husova 11, Brandýs nad Labem	40	Spořilov II, Brandýs nad Labem	64	Lazeňská 12, Stará Boleslav
17	Husova 27, Brandýs nad Labem	41	Neratovická, za samoobl., Brandýs n. L.	65	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
18	E. Petišky, Brandýs nad Labem	42	Kralupská II, Brandýs nad Labem	66	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
19	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	43	Kralupská I, Brandýs nad Labem	67	Palackého 27, Stará Boleslav
20	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	44	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	68	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
21	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	45	Na Vinici, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
22	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	46	Zahradnická 1723, Brandýs n. L.	70	Na proporci, Stará Boleslav
23	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	47	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	71	Skládka Benátky nad Jizerou

The screenshot shows the MPL software interface. The main window displays the following code for a model named 'example16.mpl':

```

TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkbook="UzdaLenosti_MPL.xlsx";
ExcelSheetName="Plast";

INDEX
i := EXCELRange("misto_plast");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCELRange("vzdalenost_plast");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCELRange("trasa_plast");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCELRange("poradi_plast");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCELRange("Celkem_plast") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END

```

Overlaid on the right is a 'Status Window' with the following information:

- Message: Aborted in MIP, current solution integer feasible
- Main File: example16_plast.mpl
- Lines: 29
- Memory: 1057K
- Time: 0:43:20
- Model Statistics:

Variables:	5112	Nonzeros:	29961
Constraints:	5112	Integers:	5041
- Solver Statistics:

Solver:	Integer	Objective Function
Nodes:	1545064 (87)	61960.1190
Iterations:	20450905	65000.0000

Buttons for 'OK' and 'View' are visible at the bottom of the status window.

Obr. 7 Výsledek optimalizace modelu pro svoz plastů v programu MPL

5.4.6 Svoz tetrapaku

Výsledek optimalizace modelu pro svoz tetrapaku je uveden na obrázku 8. Výpočet dospěl k optimálnímu řešení za necelé 2 sekundy. Optimálním řešením této úlohy je trasa o vzdálenosti 46,2 km v pořadí uvedeném v tabulce 9. Na tuto úlohu budou v další části práce taktéž aplikovány heuristické metody, pro jejich přímé porovnání. Podrobný výsledek programu MPL je uveden na listu „Tetrapak“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“.

Tab. 9 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku

0	Skládka Benátky nad Jizerou	7	Martinovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem
1	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	8	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
2	Mělnická 62, Stará Boleslav	9	Lazeňská 12, Stará Boleslav
3	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	10	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
4	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem	11	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
5	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	12	Skládka Benátky nad Jizerou
6	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem		

The screenshot shows the MPL software interface. The main window displays the model code for 'example16_tetrapak.mpl'. The code includes the following sections:

```

TITLE TSP;
!example16.mpl

OPTIONS
ExcelWorkbook="Vzdalenosti_MPL.xlsx";
ExcelSheetName="Tetrapak";

INDEX
i := EXCELRange("misto_tetrapak");
j := i;

DATA
c[i,j] :=EXCELRange("vzdalenost_tetrapak");
n:=count(i)-1;

BINARY VARIABLES
x[i,j] EXPORT TO EXCELRange("trasa_tetrapak");

VARIABLES
u[i] EXPORT TO EXCELRange("poradi_tetrapak");

MODEL
MIN totalcost EXPORT TO EXCELRange("Celkem_tetrapak") =sum(c*x);

SUBJECT TO
OutCity[i]: SUM(j: x[i,j])=1;
InCity[j]: SUM(i: x[i,j])=1;
Subtour[i,j>1]: u[i]+1-n*(1-x[i,j])<=u[i:=j];
END

```

The Status Window on the right displays the following information:

- Optimal integer solution found
- Main File: example16_tetrapak.mp (29 Lines, 477K Memory, 0:98 Time)
- Model: Variables: 156, Nonzeros: 817, Constraints: 156, Integers: 144
- Solver: Integer, Objective Function: Nodes: 249 (19), Iterations: 1383, Objective Value: 46200.0000

Buttons for 'OK' and 'View' are visible at the bottom of the Status Window.

Obr. 8 Výsledek optimalizace modelu pro svoz tetrapaku v programu MPL

6 Aplikace heuristických metod

V předchozích kapitolách byl popsán výpočet pomocí optimalizačních modelů a ve většině případů došlo k problému neúměrně vysoké výpočetní složitosti. K dispozici tak není řešení optimální, ale pouze suboptimální. K tomu, aby bylo možno získat optimální řešení, by bylo zapotřebí většího výpočetního výkonu a neúměrně více času, nicméně ani to by nezaručilo jeho získání. Může být ale proveden pokus o zjednodušení úloh pomocí heuristických metod a porovnání s výsledky optimalizačních modelů. Výsledkem aplikace heuristických metod může být řešení vhodnější, blíží se více optimální hodnotě oproti suboptimálnímu řešení z předchozích výpočtů.

Každá z úloh bude nyní podrobena třem vybraným heuristikám. Konkrétně se jedná o metodu nejbližšího souseda, vkládací metodu a metodu výhodnostních čísel. Výsledky metod budou mezi sebou porovnány společně s dosaženým výsledkem v programu MPL a nejnižší hodnota bude moci být považována za efektivní řešení. Případy, v nichž se podařilo dospět k optimálnímu řešení v programu MPL budou těmto heuristikám podrobeni taktéž. Tím se docílí přímého srovnání mezi suboptimálními výsledky jednotlivých heuristik a skutečným optimálním řešením.

6.1 Aplikace metody výhodnostních čísel

Jak již bylo popsáno v kapitole o heuristických metodách, aplikace metody výhodnostních čísel spočívá v nalezení suboptimálního řešení pomocí vyhodnocení výhodnostních čísel spočtených pro trasy mezi jednotlivými stanovišti. Výsledná trasa je pak suboptimálním řešením úlohy. K aplikaci heuristické metody výhodnostních čísel, na data dříve použitá pro výpočet v programu MPL, byl použit program v jazyce Visual Basic for Applications (dále jen VBA) v aplikaci Excel vytvořený Janem Kalendovským (2013). Tento program je navržený pro řešení tří typů rozvozních úloh, které lze řešit třemi typy metod výhodnostních čísel. Pro účely této práce bude použita standardní rozvozní metoda s aplikací základní metody výhodnostních čísel. Zbývající dvě metody v programu jsou metody rozšířené o aplikaci časových oken a nákladů závislých na denních pásmech, které nejsou pro účely této práce potřebné.

6.1.1 Svoz papíru

Pro výpočet úlohy svozu papíru metodou výhodnostních čísel byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Papír“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 82,1 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 10. Program s výsledky je přiložen v souboru „Papir_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 10 Pořadí míst na trase svozu papíru (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	48	Spořilov II, Brandýs nad Labem
1	Na proporci, Stará Boleslav	25	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	49	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem
2	Lomená alej, Stará Boleslav	26	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	50	Kralupská II, Brandýs nad Labem
3	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	27	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.	51	Kralupská I, Brandýs nad Labem
4	Palackého 27, Stará Boleslav	28	Karla Sebor 15, Brandýs nad Labem	52	Na Vinici, Brandýs nad Labem
5	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	29	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	53	Brázdinská 3, Brandýs nad Labem
6	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	30	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	54	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem
7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Husova 11, Brandýs nad Labem	55	náměstí čp. 34, Brandýs nad Labem
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	Husova 27, Brandýs nad Labem	56	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.
9	Třebízského 1435, Stará Boleslav	33	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	57	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
10	Táhlá, Stará Boleslav	34	E. Petišky, Brandýs nad Labem	58	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	59	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.
12	Generála Lišky, Stará Boleslav	36	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	60	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem
13	U Pramene, Stará Boleslav	37	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem	61	Pražská 77, Brandýs nad Labem
14	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	38	Polní, Brandýs nad Labem	62	Šárochova, Stará Boleslav
15	Na Prádle, Brandýs nad Labem	39	Sasanková, Brandýs nad Labem	63	Lazeňská 12, Stará Boleslav
16	Na Betháni, Brandýs nad Labem	40	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	64	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav
17	Plantáž x Královická, Brandýs n. Labem	41	U Rokle, Brandýs nad Labem	65	Erbenova 2, Stará Boleslav
18	Palachova , Brandýs nad Labem	42	U vodojemu u školky, Brandýs n. L.	66	Slovanská, Stará Boleslav
19	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L	43	Na Okraji, Brandýs nad Labem	67	17. listopadu 5, Stará Boleslav
20	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	44	U Vodárny, Brandýs nad Labem	68	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
21	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	45	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.	69	Skorkovská, Stará Boleslav
22	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	46	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	70	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav
23	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	47	Fotbalový stadion Brandýs	71	Skládka Benátky nad Jizerou

6.1.2 Svoz skla DUO

Pro výpočet úlohy svozu skla DUO byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo DUO“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 52,9 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 11. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_DUO_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 11 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	14	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	15	Husova 11, Brandýs nad Labem
3	Hlavenecká, Stará Boleslav	16	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem
4	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	17	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
5	Generála Lišky, Stará Boleslav	18	Polní, Brandýs nad Labem
6	U Pramene, Stará Boleslav	19	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	20	Palachova , Brandýs nad Labem
8	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	21	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem
9	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	22	Lazeňská 12, Stará Boleslav
10	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	23	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
11	Brázdinská 3, Brandýs nad Labem	24	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
12	Na Vinici, Brandýs nad Labem	25	Skládka Benátky nad Jizerou

6.1.3 Svoz bílého skla

Pro výpočet úlohy svozu bílého skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo bílé“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 48,8 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 12. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_bile_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 12 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	6	E. Petišky, Brandýs nad Labem
1	Slovanská, Stará Boleslav	7	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem
2	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	8	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem
3	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	9	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
4	Kralupská II, Brandýs nad Labem	10	Skládka Benátky nad Jizerou
5	Kralupská I, Brandýs nad Labem		

6.1.4 Svoz barevného skla

Pro výpočet úlohy svozu barevného skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo barevné“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 68,4 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 13. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_barevne_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 13 Pořadí míst na trase svozu barevného skla (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	26	Kralupská I, Brandýs nad Labem
1	Skorkovská, Stará Boleslav	14	E. Petišky, Brandýs nad Labem	27	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.
2	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	15	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	28	Kostecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.
3	Slovanská, Stará Boleslav	16	Husova 27, Brandýs nad Labem	29	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.
4	Třebízského 1435, Stará Boleslav	17	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	30	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem
5	Táhlá, Stará Boleslav	18	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	31	Na Prádle, Brandýs nad Labem
6	Mělnická 62, Stará Boleslav	19	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	32	Šárochova, Stará Boleslav
7	Pražská 77, Brandýs nad Labem	20	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	33	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
8	Sasanková, Brandýs nad Labem	21	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	34	Palackého 27, Stará Boleslav
9	U Vodárny, Brandýs nad Labem	22	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	35	Lomená alej, Stará Boleslav
10	Na Okraji, Brandýs nad Labem	23	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem	36	Na proporci, Stará Boleslav
11	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	24	Spořilov II, Brandýs nad Labem	37	Skládka Benátky nad Jizerou
12	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	25	Kralupská II, Brandýs nad Labem		

6.1.5 Svoz plastu

Pro výpočet úlohy svozu plastu byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Plast“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 81,8 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 14. Program s výsledky je přiložen v souboru „Plast_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 14 Pořadí míst na trase svozu plastu (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	48	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem
1	Na proporci, Stará Boleslav	25	E. Petišky, Brandýs nad Labem	49	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem
2	Lomená alej, Stará Boleslav	26	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	50	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
3	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	27	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	51	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem
4	Palackého 27, Stará Boleslav	28	Palachova - škola, Brandýs nad Labem	52	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem
5	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	29	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem	53	Kostecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.
6	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	30	Polní, Brandýs nad Labem	54	Kostecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Sasanková, Brandýs nad Labem	55	Zahradnická 1723, Brandýs nad Labem
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	U Vodárny, Brandýs nad Labem	56	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
9	Třebízského 1435, Stará Boleslav	33	Na Okraji, Brandýs nad Labem	57	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs nad Labem
10	Táhlá, Stará Boleslav	34	U Rokle, Brandýs nad Labem	58	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	59	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.
12	U Pramene, Stará Boleslav	36	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.	60	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem
13	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	37	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	61	Pražská 77, Brandýs nad Labem
14	Na Prádle, Brandýs nad Labem	38	Fotbalový stadion Brandýs	62	Šárochova, Stará Boleslav
15	Na Betháni, Brandýs nad Labem	39	Spořilov II, Brandýs nad Labem	63	Lazeňská 12, Stará Boleslav
16	Plantáž x Královická, Brandýs n. Labem	40	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	64	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav
17	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	41	Kralupská II, Brandýs nad Labem	65	Erbenova 2, Stará Boleslav
18	Palachova , Brandýs nad Labem	42	Kralupská I, Brandýs nad Labem	66	Slovanská, Stará Boleslav
19	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	43	Na Vinici, Brandýs nad Labem	67	17. listopadu 5, Stará Boleslav

20	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	44	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	68	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
21	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	45	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem	69	Skorkovská, Stará Boleslav
22	Husova 11, Brandýs nad Labem	46	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	70	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav
23	Husova 27, Brandýs nad Labem	47	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.	71	Skládka Benátky nad Jizerou

6.1.6 Svoz tetrapaku

Pro výpočet úlohy svozu tetrapaku metodou výhodnostních čísel byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Tetrapak“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená standardní rozvozní úlohou s aplikací metody výhodnostních čísel je 47,5 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 15. Program s výsledky je přiložen v souboru „Tetrapak_vyhodnostni_cisla.xlsm“.

Tab. 15 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (metodou výhodnostních čísel)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	7	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem
1	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	8	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem
2	Mělnická 62, Stará Boleslav	9	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
3	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	10	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
4	Lazeňská 12, Stará Boleslav	11	Martinovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem
5	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	12	Skládka Benátky nad Jizerou
6	Fakultní 1, Brandýs nad Labem		

6.2 Aplikace metody nejbližšího souseda

Metoda nejbližšího souseda je založena na principu tvorby trasy postupným přidáváním míst, která jsou nejbližší předchozí pozici a ještě nebyla zahrnuta do trasy. Tímto způsobem je vygenerována suboptimální trasa svozu. Pro výpočet byl použit VBA program v aplikaci Excel vytvořený vedoucím práce Janem Fábrym v rámci specializovaného kurzu Praktikum z operačního výzkumu. Tento program postupně tvoří trasy metodou nejbližšího souseda. V každé iteraci výpočtu se zvolí za výchozí místo jiné stanoviště. Tento postup se opakuje, až se postupně vyčerpají všechna stanoviště trasy. Následně je vybrána ta trasa, která je nejkratší. Na výchozím místě v tomto případě nezáleží, protože trasa je celistvým okruhem, nezáleží tak, které místo se ve výpočtu zvolí jako výchozí. V programu byly jako data použity matice vzdáleností dříve použité pro výpočet v MPL.

6.2.1 Svoz papíru

Pro výpočet úlohy svozu papíru byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Papír“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 72,8 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 16. Program s výsledky je přiložen v souboru „Papir_nejblicsi_soused.xlsm“.

Tab. 16 Pořadí míst na trase svozu papíru (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	48	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.
1	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	25	Kostelecká - areál 5. ZŠ, Brandýs n. L.	49	Husova 11, Brandýs nad Labem
2	17. listopadu 5, Stará Boleslav	26	Kostelecká - parkoviště 5. ZŠ, Brandýs nad Labem	50	Husova 27, Brandýs nad Labem
3	Erbenova 2, Stará Boleslav	27	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	51	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem
4	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	28	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	52	E. Petišky, Brandýs nad Labem
5	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	29	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	53	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
6	Hlavenecká, Stará Boleslav	30	Fotbalový stadion Brandýs	54	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem
7	Táhlá, Stará Boleslav	31	Spořilov II, Brandýs nad Labem	55	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem
8	Třebízského 1435, Stará Boleslav	32	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	56	Polní, Brandýs nad Labem
9	U Pramene, Stará Boleslav	33	Kralupská II, Brandýs nad Labem	57	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem
10	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	34	Kralupská I, Brandýs nad Labem	58	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
11	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	35	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	59	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem
12	Šárochova, Stará Boleslav	36	Na Vinici, Brandýs nad Labem	60	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem
13	Lazeňská 12, Stará Boleslav	37	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	61	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
14	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	38	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	62	Na Okraji, Brandýs nad Labem
15	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	39	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	63	U Rokle, Brandýs nad Labem
16	Palackého 27, Stará Boleslav	40	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs nad Labem	64	U vodojemu u školky, Brandýs n. L.
17	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	41	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	65	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
18	Slovanská, Stará Boleslav	42	náměstí čp. 34, Brandýs nad Labem	66	Pražská 77, Brandýs nad Labem
19	Skorkovská, Stará Boleslav	43	Krajiřské náměstí, Brandýs nad Labem	67	Sasanková, Brandýs nad Labem
20	Mělnická 62, Stará Boleslav	44	Palachova , Brandýs nad Labem	68	U Vodárny, Brandýs nad Labem
21	Generála Lišky, Stará Boleslav	45	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
22	Na Betháni, Brandýs nad Labem	46	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	70	Na proporci, Stará Boleslav
23	Na Prádle, Brandýs nad Labem	47	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	71	Skládka Benátky nad Jizerou

6.2.2 Svoz skla DUO

Pro výpočet úlohy svozu skla DUO byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo DUO“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 56,3 km. Pořadí obsluhy jednotlivých

míst na trase je uvedeno v tabulce 17. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_DUO_nejblizsi_soused.xlsx“.

Tab. 17 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
1	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	14	Kostecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	15	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem
3	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	16	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem
4	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	17	Na Vinici, Brandýs nad Labem
5	Hlavenecká, Stará Boleslav	18	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem
6	U Pramene, Stará Boleslav	19	Polní, Brandýs nad Labem
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	20	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem
8	Lazeňská 12, Stará Boleslav	21	Husova 11, Brandýs nad Labem
9	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	22	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem
10	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem	23	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
11	Palachova , Brandýs nad Labem	24	Generála Lišky, Stará Boleslav
12	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	25	Skládka Benátky nad Jizerou

6.2.3 Svoz bílého skla

Pro výpočet úlohy svozu bílého skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo bílé“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 46,9 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 18. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_bile_nejblizsi_soused.xlsx“.

Tab. 18 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	6	Kralupská I, Brandýs nad Labem
1	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	7	Kralupská II, Brandýs nad Labem
2	E. Petišky, Brandýs nad Labem	8	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
3	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	9	Slovanská, Stará Boleslav
4	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	10	Skládka Benátky nad Jizerou
5	Lipová 1502, Brandýs nad Labem		

6.2.4 Svoz barevného skla

Pro výpočet úlohy svozu barevného skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo barevné“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 62,1 km. Pořadí obsluhy

jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 19. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_barevne_nejblihsi_soused.xlsm“.

Tab. 19 Pořadí míst na trase svozu barevného skla (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	26	Šárochova, Stará Boleslav
1	Pražská 77, Brandýs nad Labem	14	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	27	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
2	Sasanková, Brandýs nad Labem	15	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	28	Palackého 27, Stará Boleslav
3	U Vodárny, Brandýs nad Labem	16	Spořilov II, Brandýs nad Labem	29	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
4	Na Okraji, Brandýs nad Labem	17	Kralupská II, Brandýs nad Labem	30	Slovanská, Stará Boleslav
5	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	18	Kralupská I, Brandýs nad Labem	31	Skorkovská, Stará Boleslav
6	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	19	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	32	Táhlá, Stará Boleslav
7	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	20	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	33	Třebízského 1435, Stará Boleslav
8	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	21	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	34	Mělnická 62, Stará Boleslav
9	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	22	Husova 27, Brandýs nad Labem	35	Lomená alej, Stará Boleslav
10	Kostecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	23	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	36	Na proporci, Stará Boleslav
11	Krajířské náměstí, Brandýs nad Labem	24	E. Petišky, Brandýs nad Labem	37	Skládka Benátky nad Jizerou
12	Na Prádle, Brandýs nad Labem	25	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem		

6.2.5 Svoz plastu

Pro výpočet úlohy svozu plastu byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Plast“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 72,2 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 20. Program s výsledky je přiložen v souboru „Plast_nejblihsi_soused.xlsm“.

Tab. 20 Pořadí míst na trase svozu plastu (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Kostecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	48	Husova 27, Brandýs nad Labem
1	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	25	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	49	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem
2	17. listopadu 5, Stará Boleslav	26	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	50	E. Petišky, Brandýs nad Labem
3	Erbenova 2, Stará Boleslav	27	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	51	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
4	Na klouboučku 1105, Stará Boleslav	28	Fotbalový stadion Brandýs	52	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
5	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	29	Spořilov II, Brandýs nad Labem	53	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
6	Hlavenecká, Stará Boleslav	30	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	54	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n.L.
7	Táhlá, Stará Boleslav	31	Kralupská II, Brandýs nad Labem	55	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
8	Třebízského 1435, Stará Boleslav	32	Kralupská I, Brandýs nad Labem	56	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem
9	U Pramene, Stará Boleslav	33	Zahradnická 1723, Brandýs nad Labem	57	Na Vinici, Brandýs nad Labem
10	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	34	Krajířské náměstí, Brandýs nad Labem	58	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.
11	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	35	Palachova , Brandýs nad Labem	59	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem
12	Šárochova, Stará Boleslav	36	Plantáž x Královická, Brandýs n. Labem	60	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem

13	Lazeňská 12, Stará Boleslav	37	Palachova - škola, Brandýs nad Labem	61	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem
14	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	38	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	62	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
15	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	39	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem	63	Na Okraji, Brandýs nad Labem
16	Palackého 27, Stará Boleslav	40	Polní, Brandýs nad Labem	64	U Rokle, Brandýs nad Labem
17	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	41	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	65	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
18	Slovanská, Stará Boleslav	42	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.	66	Pražská 77, Brandýs nad Labem
19	Skorkovská, Stará Boleslav	43	Na Betháni, Brandýs nad Labem	67	Sasanková, Brandýs nad Labem
20	Mělnická 62, Stará Boleslav	44	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	68	U Vodárny, Brandýs nad Labem
21	Na Prádle, Brandýs nad Labem	45	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
22	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	46	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	70	Na proporci, Stará Boleslav
23	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	47	Husova 11, Brandýs nad Labem	71	Skládka Benátky nad Jizerou

6.2.6 Svoz tetrapaku

Pro výpočet úlohy svozu tetrapaku byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Tetrapak“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená metodou nejbližšího souseda je 48,7 km. Pořadí obsluhy jednotlivých míst na trase je uvedeno v tabulce 21. Program s výsledky je přiložen v souboru „Tetrapak_nejblihsi_soused.xlsm“.

Tab. 21 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (metodou nejbližšího souseda)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	7	Lazeňská 12, Stará Boleslav
1	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	8	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
2	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	9	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
3	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	10	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav
4	Martinovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem	11	Mělnická 62, Stará Boleslav
5	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem	12	Skládka Benátky nad Jizerou
6	Fakultní 1, Brandýs nad Labem		

6.3 Aplikace vkládací metody

Vkládací metoda hledá trasu tvorbou okruhu mezi počátečním a nejvzdálenějším bodem postupným vkládáním bodů nejbližších k dvěma sousedním vrcholům už ležícím na této trase. Takto je dosaženo vytvoření okruhu který je suboptimálním řešením trasy svozu. Pro výpočet byl použit VBA program v aplikaci Excel vytvořený vedoucím práce Janem Fábrym. Tento program řeší mimo jiné i další heuristické metody, které ovšem nebudou předmětem zkoumání. K výpočtům byly jako data použity matice vzdáleností dříve použité pro výpočet v MPL.

6.3.1 Svoz papíru

K výpočtu úlohy svozu papíru byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Papír“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 72,6 km. Pořadí svozu jednotlivých kontejnerů je uvedeno v tabulce 22. Program s výsledky je přiložen v souboru „Papir_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 22 Pořadí míst na trase svozu papíru (vkládací metodou)

0	Skládká Benátky nad Jizerou	24	Husova 11, Brandýs nad Labem	48	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav
1	Pražská 77, Brandýs nad Labem	25	Husova 27, Brandýs nad Labem	49	Šárochova, Stará Boleslav
2	Sasanková, Brandýs nad Labem	26	E. Petišky, Brandýs nad Labem	50	Lazeňská 12, Stará Boleslav
3	U Vodárny, Brandýs nad Labem	27	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	51	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
4	U vodojemu u školky, Brandýs n. L.	28	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	52	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
5	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	29	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	53	Palackého 27, Stará Boleslav
6	U Rokle, Brandýs nad Labem	30	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	54	Na proporci, Stará Boleslav
7	Na Okraji, Brandýs nad Labem	31	Na Betháni, Brandýs nad Labem	55	Lomená alej, Stará Boleslav
8	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.	32	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	56	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
9	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	33	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	57	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
10	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	34	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	58	Skorkovská, Stará Boleslav
11	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	35	Na Vinici, Brandýs nad Labem	59	17. listopadu 5, Stará Boleslav
12	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	36	Kralupská I, Brandýs nad Labem	60	Slovanská, Stará Boleslav
13	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	37	Kralupská II, Brandýs nad Labem	61	Hlavenecká, Stará Boleslav
14	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	38	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs n. L.	62	Táhlá, Stará Boleslav
15	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs n. L.	39	Spořilov II, Brandýs nad Labem	63	Třebízského 1435, Stará Boleslav
16	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	40	Fotbalový stadion Brandýs	64	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav
17	Polní, Brandýs nad Labem	41	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	65	U Pramene, Stará Boleslav
18	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem	42	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	66	Mělnická 62, Stará Boleslav
19	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	43	Kostelecká - areál 5. ZŠ, Brandýs n. L.	67	Generála Lišky, Stará Boleslav
20	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.	44	Kostelecká - parkoviště 5. ZŠ, Brandýs n. L.	68	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav
21	Palachova , Brandýs nad Labem	45	náměstí čp. 34, Brandýs nad Labem	69	Erbenova 2, Stará Boleslav
22	Plantáž x Královická, Brandýs n. Labem	46	Krajiřské náměstí, Brandýs nad Labem	70	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav
23	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	47	Na Prádle, Brandýs nad Labem	71	Skládká Benátky nad Jizerou

6.3.2 Svoz skla DUO

K výpočtu úlohy svozu skla DUO byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo DUO“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 53,1 km. Pořadí svozu jednotlivých kontejnerů

je uvedeno v tabulce 23. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_DUO_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 23 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (vkládací metodou)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	14	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	15	Na Vínici, Brandýs nad Labem
3	Hlavenecká, Stará Boleslav	16	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem
4	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	17	Martínovská u hřbitova, Brandýs nad Labem
5	Generála Lišky, Stará Boleslav	18	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
6	U Pramene, Stará Boleslav	19	Polní, Brandýs nad Labem
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	20	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem
8	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem	21	Palachova , Brandýs nad Labem
9	Husova 11, Brandýs nad Labem	22	Lazeňská 12, Stará Boleslav
10	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem	23	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
11	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	24	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
12	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	25	Skládka Benátky nad Jizerou

6.3.3 Svoz bílého skla

K výpočtu úlohy svozu bílého skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo bílé“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 47,1 km. Pořadí svozu jednotlivých kontejnerů je uvedeno v tabulce 24. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_bile_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 24 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (vkládací metodou)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	6	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
1	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	7	Kralupská II, Brandýs nad Labem
2	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	8	Kralupská I, Brandýs nad Labem
3	E. Petišky, Brandýs nad Labem	9	Slovanská, Stará Boleslav
4	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	10	Skládka Benátky nad Jizerou
5	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem		

6.3.4 Svoz barevného skla

K výpočtu úlohy svozu barevného skla byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Sklo barevné“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 60,5 km. Pořadí svozu jednotlivých

kontejnerů je uvedeno v tabulce 25. Program s výsledky je přiložen v souboru „Sklo_barevne_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 25 Pořadí míst na trase svozu barevného skla (vkládací metodou)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	26	Šárochova, Stará Boleslav
1	Pražská 77, Brandýs nad Labem	14	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	27	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
2	U Vodárny, Brandýs nad Labem	15	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	28	Palackého 27, Stará Boleslav
3	Sasanková, Brandýs nad Labem	16	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	29	Mělnická 62, Stará Boleslav
4	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	17	Spořilov II, Brandýs nad Labem	30	Třebízského 1435, Stará Boleslav
5	Na Okraji, Brandýs nad Labem	18	Kralupská II, Brandýs nad Labem	31	Táhlá, Stará Boleslav
6	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	19	Kralupská I, Brandýs nad Labem	32	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
7	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	20	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	33	Skorkovská, Stará Boleslav
8	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	21	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	34	Slovanská, Stará Boleslav
9	Husova 27, Brandýs nad Labem	22	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	35	Lomená alej, Stará Boleslav
10	E. Petišky, Brandýs nad Labem	23	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	36	Na proporci, Stará Boleslav
11	Královická. sídliště č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	24	Krajiřské náměstí, Brandýs nad Labem	37	Skládka Benátky nad Jizerou
12	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	25	Na Prádle, Brandýs nad Labem		

6.3.5 Svoz plastu

K výpočtu úlohy svozu plastu byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Plast“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 69,4 km. Pořadí svozu jednotlivých kontejnerů je uvedeno v tabulce 26. Program s výsledky je přiložen v souboru „Plast_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 26 Pořadí míst na trase svozu plastu (vkládací metodou)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Karla Seborá 15, Brandýs nad Labem	48	Na Prádle, Brandýs nad Labem
1	Pražská 77, Brandýs nad Labem	25	Na Betháni, Brandýs nad Labem	49	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav
2	Sasanková, Brandýs nad Labem	26	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	50	Šárochova, Stará Boleslav
3	U Vodárny, Brandýs nad Labem	27	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	51	Lazeňská 12, Stará Boleslav
4	U Rokle, Brandýs nad Labem	28	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs n. L.	52	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
5	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	29	Spořilov II, Brandýs nad Labem	53	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
6	Na Okraji, Brandýs nad Labem	30	Fotbalový stadion Brandýs	54	Palackého 27, Stará Boleslav
7	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.	31	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	55	Na proporci, Stará Boleslav
8	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	32	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	56	Lomená alej, Stará Boleslav
9	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	33	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	57	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
10	Polní, Brandýs nad Labem	34	Kostelecká - parkoviště 5. ZŠ, Brandýs nad Labem	58	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav
11	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.	35	Zahradnická 1723, Brandýs nad Labem	59	Skorkovská, Stará Boleslav
12	Palachova , Brandýs nad Labem	36	Na Vinici, Brandýs nad Labem	60	17. listopadu 5, Stará Boleslav

13	Plantáž x Královická, Brandýs n. Labem	37	Brázdinská 3, Brandýs nad Labem	61	Slovanská, Stará Boleslav
14	Husova 11, Brandýs nad Labem	38	Kralupská II, Brandýs nad Labem	62	Hlavenecká, Stará Boleslav
15	Husova 27, Brandýs nad Labem	39	Kralupská I, Brandýs nad Labem	63	Táhlá, Stará Boleslav
16	E. Petišky, Brandýs nad Labem	40	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	64	Třebízského 1435, Stará Boleslav
17	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	41	Vrbová 1476, Brandýs nad Labem	65	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav
18	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	42	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	66	U Pramene, Stará Boleslav
19	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	43	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	67	Mělnická 62, Stará Boleslav
20	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	44	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	68	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav
21	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	45	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs n. L.	69	Erbenova 2, Stará Boleslav
22	Palachova - škola, Brandýs nad Labem	46	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	70	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav
23	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. Labem	47	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem	71	Skládka Benátky nad Jizerou

6.3.6 Svoz tetrapaku

K výpočtu úlohy svozu tetrapaku byla použita matice vzdáleností uvedená na listu „Tetrapak“ v souboru „Vzdalenosti_MPL.xlsx“. Výsledná vzdálenost trasy svozu vypočtená vkládací metodou je 47,6 km. Pořadí svozu jednotlivých kontejnerů je uvedeno v tabulce 27. Program s výsledky je přiložen v souboru „Tetrapak_vkladaci_metoda.xlsm“.

Tab. 27 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (vkládací metodou)

0	Skládka Benátky nad Jizerou	7	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.
1	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	8	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.
2	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	9	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
3	Mělnická 62, Stará Boleslav	10	Lazeňská 12, Stará Boleslav
4	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	11	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
5	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	12	Skládka Benátky nad Jizerou
6	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem		

7 Porovnání výsledků optimalizace a heuristických metod a celkové vyhodnocení

Tato kapitola se věnuje porovnání výsledků dosažených různými metodami popsanými v předchozích kapitolách. V tabulce 28 jsou zobrazeny výsledky všech 4 metod výpočtů. Hodnoty uvedené v závorce udávají procentuální změnu oproti nejlepšímu nalezenému řešení.

Tab. 28 Porovnání výsledků jednotlivých metod výpočtů

v km	Model	Výhodnostní čísla (+11,7 %)	Nejbližší soused (+6 %)	Vkládací metoda (+3,5 %)
Papír 71	67,3	82,1 (+22 %)	72,8 (+8,2 %)	72,6 (+7,9 %)
Sklo DUO 25	52,6	52,9 (+0,6 %)	56,3 (+7 %)	53,1 (+1 %)
Sklo bílé 10	46,9*	48,8 (+4 %)	46,9 (+0 %)	47,1 (+0,4 %)
Sklo barevné 37	59,4	68,4 (+15,2 %)	62,1 (+4,5 %)	60,5 (+1,9 %)
Plast 71	65,0	81,8 (+25,8 %)	72,2 (+11,1 %)	69,4 (+6,8 %)
Tetrapak 12	46,2*	47,5 (+2,8 %)	48,7 (+5,4 %)	47,6 (+3 %)

*optimální řešení, tučně – nejkratší vzdálenost, červeně – nejdelší vzdálenost

Při přímém srovnání výsledků jednotlivých metod je patrné, že pro všechny druhy odpadu vychází nejlépe hodnoty dosažené modelem v programu MPL for Windows. A to i přesto, že byl výpočet modelu předčasně manuálně ukončen z důvodů neúměrné časové náročnosti. Pro všech šest druhů odpadu vychází minimální hodnota tras nejlépe právě pro model. Výsledky heuristických metod se odlišují v rozmezí až +25,8 % v případě výhodnostních čísel aplikovaných na svoz plastu. Nedá se ovšem jednoznačně určit která z heuristických metod má nejpřesnější výsledky. V přímém porovnání pouze mezi heuristickými metodami je totiž například u svozu tetrapaku dosaženo nejlepší hodnoty pro metodu výhodnostních čísel (+2,8 %). Naopak v případě svozu barevného skla tato metoda poskytuje výsledek nejhorší (+15,2 %) a nejlepšího výsledku dosáhla metoda vkládací (+1,9 %). V případě svozu bílého skla pak bylo dosaženo nejlepší hodnoty metodou nejbližšího souseda, kdy se dokonce jako v jediném případě povedlo dosáhnout heuristickou metodou optimální hodnoty. Vyplývá z toho tedy doporučení aplikovat vícero heuristických metod najednou a zvýšit tak pravděpodobnost nalezení nejvhodnějšího řešení.

Z průměrných hodnot odchylek pro jednotlivé druhy odpadů byla určena orientační průměrná odchylka podle druhu heuristické metody. Dle tohoto výsledku nejpřesnějších hodnot dosáhla metoda vkládací s průměrnou odchylkou od modelu +3,5 %. Na druhém místě metoda nejbližšího souseda s průměrnou hodnotou odchylky +6 % a na třetím místě metoda výhodnostních čísel s průměrnou odchylkou +11,7 %. Tyto výsledky ovšem vypovídají pouze o obecné úspěšnosti použití jednotlivých metod na úlohou použitá data. Nedají se interpretovat jako ukazatel vhodnosti, či nevhodnosti jednotlivých heuristických metod.

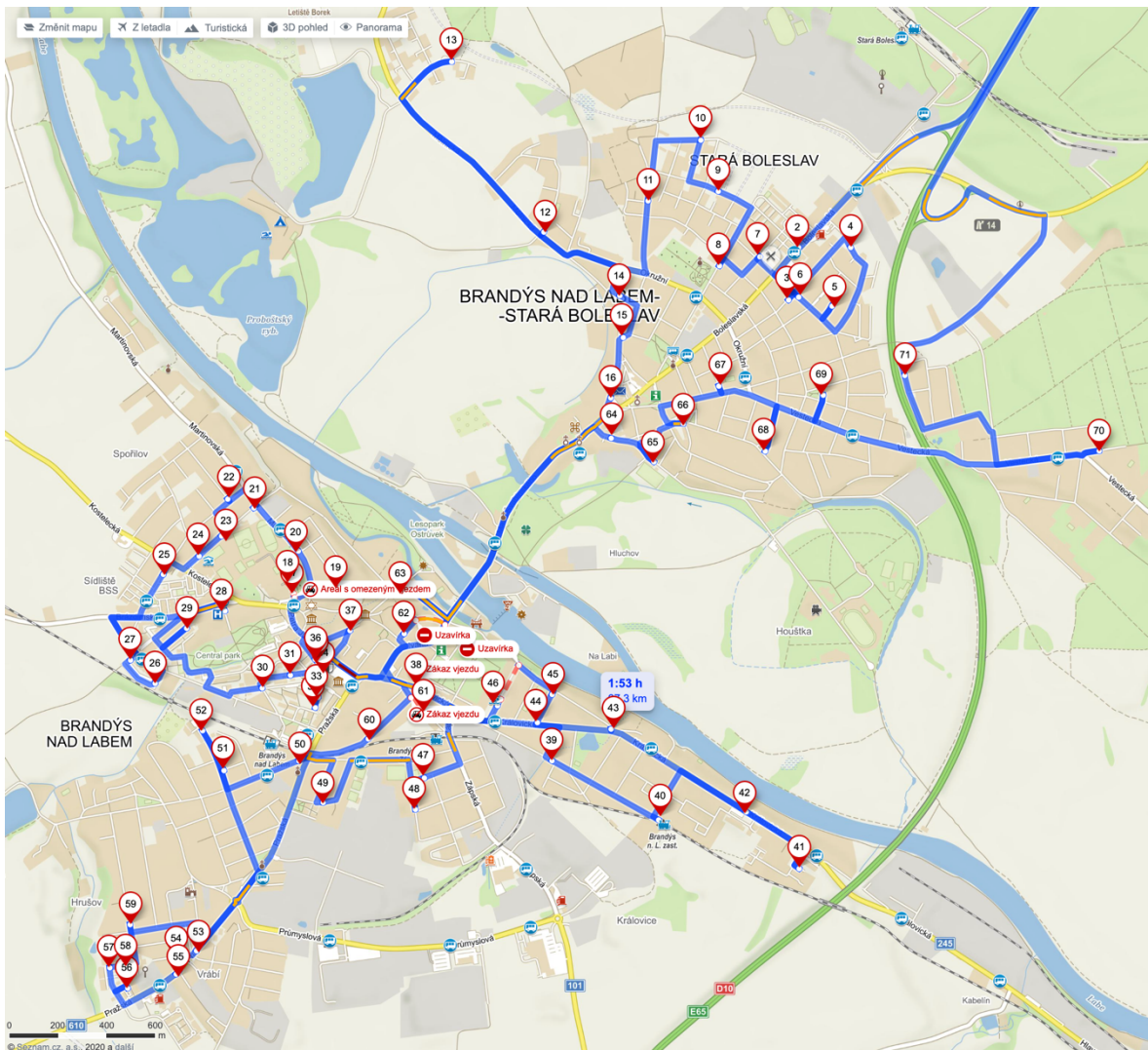
Níže, v tabulkách 29 až 34, jsou uvedeny výsledné trasy svozů pro jednotlivé druhy odpadů doplněné o časy přejezdů mezi jednotlivými stanovišti, získané programem Desmonda Oshiwamby (2018). Na obrázcích 9 až 14 jsou poté trasy zobrazeny vizuálně v mapových podkladech Mapy.cz (2020). Za účelem použití, co největšího měřítko mapy a co nejpodrobnějšího zobrazení trasy byla skládka v Benátkách nad Jizerou na obrázcích záměrně vynechána z důvodu velké vzdálenosti od města.

Bohužel z důvodů nařízení interní směrnice firmy AVE CZ nebylo možné získat data o stávajících trasách pro jednotlivé druhy odpadu. Nabízela by se tak jedinečná příležitost přímého porovnání dosažených výsledků s realitou, která ovšem nebude vyhodnocena.

Tab. 29 Výsledná trasa pro svoz papíru doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Neratovická, za samoobsl., Brandýs n. L.	48	Polní, Brandýs nad Labem
	0:11		0:01		0:01
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	25	Kralupská II, Brandýs nad Labem	49	Výletní x Pražská, Brandýs n. L.
	0:02		0:01		0:01
2	Zdeňka Fibicha 1710, Stará Boleslav	26	Kralupská I, Brandýs nad Labem	50	Vrábská x Krátká, Brandýs n. L.
	0:01		0:02		0:01
3	Skorkovská, Stará Boleslav	27	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	51	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
	0:01		0:02		0:03
4	Slovanská, Stará Boleslav	28	Na Vinici, Brandýs nad Labem	52	U Vodárny, Brandýs nad Labem
	0:01		0:03		0:01
5	17. listopadu 5, Stará Boleslav	29	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	53	Sasanková, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
6	Erbenova 2, Stará Boleslav	30	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	54	Pražská 77, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	55	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	56	U vodojemu u školky, Brandýs n. L.

	0:01		0:01		0:01
9	Táhlá, Stará Boleslav	33	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n. L.	57	U Rokle, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
10	Třebízského 1435, Stará Boleslav	34	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	58	Na Okraji, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:03
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Krajčířské náměstí, Brandýs n. Labem	59	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
	0:02		0:01		0:01
12	Generála Lišky, Stará Boleslav	36	náměstí čp. 34, Brandýs nad Labem	60	Palachova , Brandýs nad Labem
	0:02		0:02		0:01
13	U Pramene, Stará Boleslav	37	Plantáž x Královická, Brandýs n. L.	61	Na Betháni, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
14	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	38	Husova 11, Brandýs nad Labem	62	Na Prádle, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:02
15	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	39	Husova 27, Brandýs nad Labem	63	Šárochova, Stará Boleslav
	0:03		0:02		0:01
16	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	40	E. Petišky, Brandýs nad Labem	64	Lazeňská 12, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:02
17	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	41	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	65	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
18	Kostelecká – parkov. 5.ZŠ, Brandýs n. L.	42	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	66	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
19	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	43	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	67	Palackého 27, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
20	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	44	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	68	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:02
21	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	45	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:02
22	Fotbalový stadion Brandýs	46	Karla Sebora 15, Brandýs nad Labem	70	Na proporci, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:13
23	Spořilov II, Brandýs nad Labem	47	Augustina Lukeše 1, Brandýs n. L.	71	Skládka Benátky nad Jizerou
	0:01		0:02		



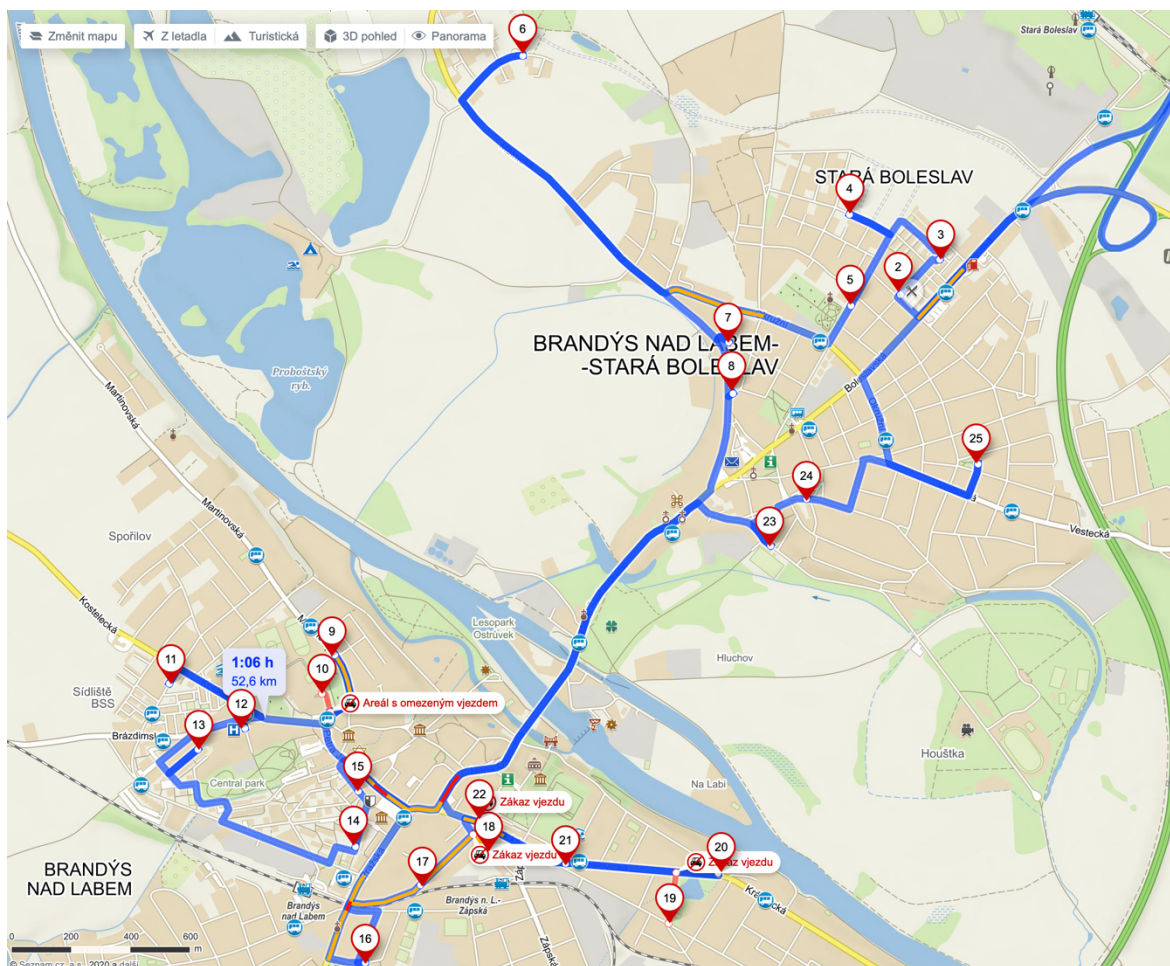
Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 9 Návrh trasy pro svoz papíru na základě optimalizace

Tab. 30 Výsledná trasa pro svoz skla DUO doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	9	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	18	Husova 11, Brandýs nad Labem
	0:11		0:01		0:01
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	10	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	19	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	11	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	20	Fakultní 1, Brandýs nad Labem
	0:01		0:02		0:01
3	Hlavenecká, Stará Boleslav	12	Na Vinici, Brandýs nad Labem	21	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem
	0:01		0:03		0:03
4	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	13	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	22	Lazeňská 12, Stará Boleslav
	0:03		0:01		0:02
5	Generála Lišky, Stará Boleslav	14	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	23	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
	0:02		0:04		0:02

6	U Pramene, Stará Boleslav	15	Polní, Brandýs nad Labem	24	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:14
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	16	Riegrova (u želez. trati), Brandýs nad Labem	25	Skládka Benátky nad Jizerou
	0:04		0:01		
8	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	17	Palachova, Brandýs nad Labem		
	0:01		0:02		



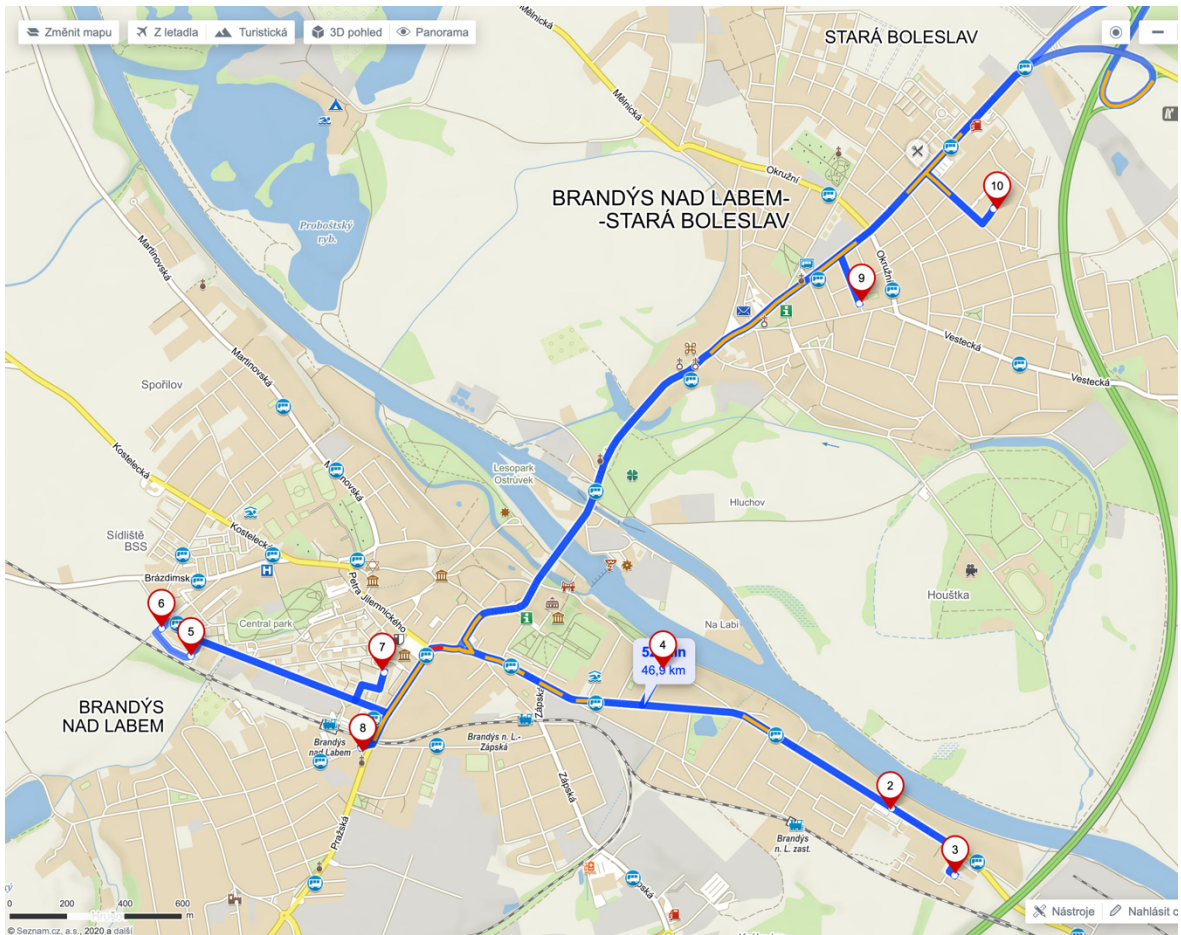
Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 10 Návrh trasy pro svoz skla DUO na základě optimalizace

Tab. 31 Výsledná trasa pro svoz bílého skla doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou		0:02
	0:18	6	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
1	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem		0:01
	0:01	7	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem
2	E. Petišky, Brandýs nad Labem		0:05
	0:02	8	Dr. Janského 6, Stará Boleslav

3	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	0:02
0:04	9	Slovanská, Stará Boleslav
4	Kralupská II, Brandýs nad Labem	0:13
0:01	10	Skládka Benátky nad Jizerou
5	Kralupská I, Brandýs nad Labem	



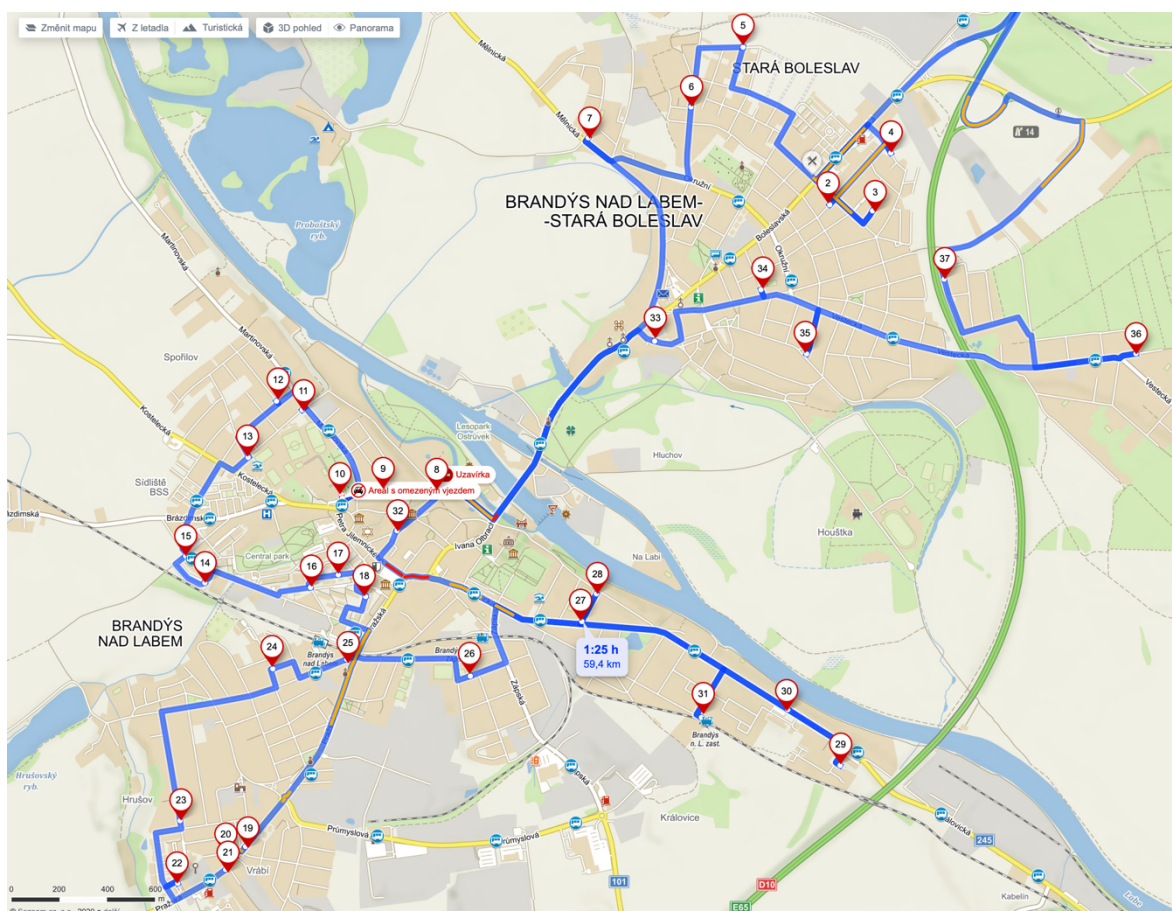
Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 11 Návrh trasy pro svoz bílého skla na základě optimalizace

Tab. 32 Výsledná trasa pro svoz barevného skla doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	13	Kralupská II, Brandýs n. Labem	26	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem
0:12		0:01		0:01	
1	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	14	Kralupská I, Brandýs n. Labem	27	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem
0:01		0:02		0:02	
2	Slovanská, Stará Boleslav	15	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	28	E. Petišky, Brandýs nad Labem
0:01		0:02		0:01	
3	Skorkovská, Stará Boleslav	16	Jasanová 1494, Brandýs nad L.	29	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.
0:04		0:01		0:01	

4	Táhlá, Stará Boleslav	17	Lipová 1502, Brandýs nad L.	30	Husova 27, Brandýs nad Labem
	0:01		0:05		0:04
5	Třebízského 1435, Stará Boleslav	18	Sasanková, Brandýs nad Labem	31	Krajiřské náměstí, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:03
6	Mělnická 62, Stará Boleslav	19	U Vodárny, Brandýs nad Labem	32	Šarochova, Stará Boleslav
	0:03		0:01		0:02
7	Na Prádle, Brandýs nad Labem	20	Pražská 77, Brandýs nad Labem	33	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
8	Na Nižším Hrádku, Brandýs n. L.	21	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	34	Palackého 27, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:02
9	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	22	Na Okraji, Brandýs nad Labem	35	Lomená alej, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:02
10	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	23	Vrábská x Krátká, Brandýs n. L.	36	Na proporci, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:13
11	Pavla Lista 37, Brandýs n. L.	24	Výletní x Pražská, Brandýs n. L.	37	Skládka Benátky nad Jizerou
	0:01		0:01		
12	Spořilov II, Brandýs nad Labem	25	Karla Sebora 15, Brandýs n. L.		
	0:01		0:02		



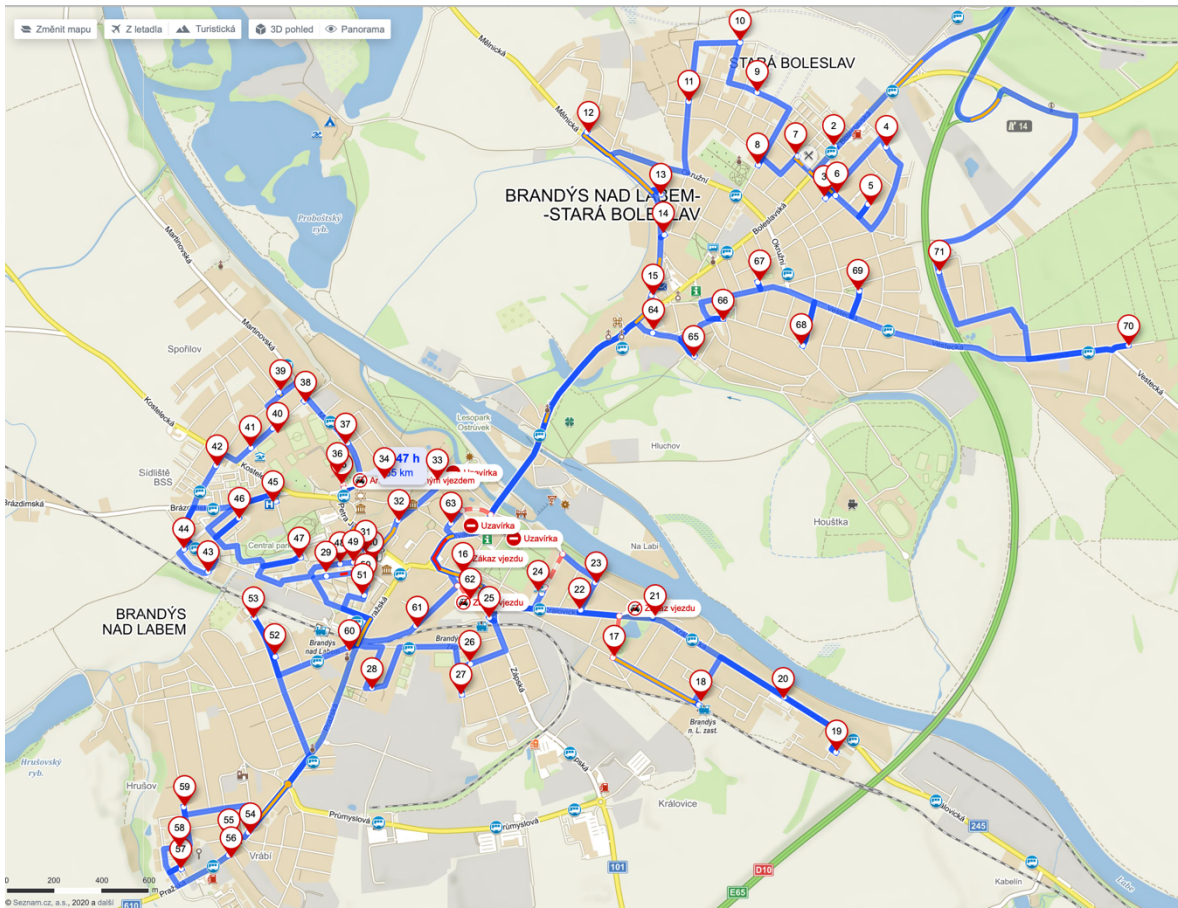
Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 12 Návrh trasy pro svoz barevného skla na základě optimalizace

Tab. 33 Výsledná trasa pro svoz plastu doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	24	Palachova - škola, Brandýs n. L.	48	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem
	0:11		0:01		0:01
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	25	Karla Sebor 15, Brandýs nad Labem	49	Lipová 1502, Brandýs nad Labem
	0:02		0:01		0:01
2	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	26	Augustina Lukeše 1, Brandýs nad Labem	50	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem
	0:01		0:02		0:02
3	Skorkovská, Stará Boleslav	27	Polní, Brandýs nad Labem	51	Vrábská x Krátká, Brandýs n. Labem
	0:01		0:02		0:01
4	Slovanská, Stará Boleslav	28	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	52	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs n. L.
	0:01		0:01		0:03
5	17. listopadu 5, Stará Boleslav	29	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L	53	U Vodárny, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
6	Erbenova 2, Stará Boleslav	30	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	54	Sasanková, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
7	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	31	Krajišské náměstí, Brandýs nad Labem	55	Pražská 77, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
8	Hlavenecká, Stará Boleslav	32	Na Prádle, Brandýs nad Labem	56	Za Dvorem, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
9	Táhlá, Stará Boleslav	33	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	57	U Rokle, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
10	Třebízského 1435, Stará Boleslav	34	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs n. L.	58	Na Okraji, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:02
11	Mělnická 62, Stará Boleslav	35	Kostelecká – park. 5.ZŠ, Brandýs n. L.	59	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
12	U Pramene, Stará Boleslav	36	Martinovská u hřbitova, Brandýs n. L.	60	Riegrova (u želez.trati), Brandýs n. L.
	0:01		0:01		0:01
13	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	37	Martinovská x Spořilov I, Brandýs n. L.	61	Palachova , Brandýs nad Labem
	0:01		0:01		0:01
14	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	38	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	62	Na Betháni, Brandýs nad Labem
	0:03		0:01		0:02
15	Plantáž x Královická, Brandýs n. L.	39	Fotbalový stadion Brandýs	63	Šárochova, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
16	Husova 11, Brandýs nad Labem	40	Spořilov II, Brandýs nad Labem	64	Lazeňská 12, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:02
17	Husova 27, Brandýs nad Labem	41	Neratovická, za samoobsl., Brandýs n. L.	65	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
	0:02		0:01		0:01
18	E. Petišky, Brandýs nad Labem	42	Kralupská II, Brandýs nad Labem	66	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
	0:01		0:01		0:01
19	Královická. sídl. č.p. 1685-9, Brandýs n. L.	43	Kralupská I, Brandýs nad Labem	67	Palackého 27, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:01
20	Královická x Jiskrova, Brandýs n. L.	44	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	68	Jana Opletala 2, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:02
21	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	45	Na Vínici, Brandýs nad Labem	69	Lomená alej, Stará Boleslav
	0:01		0:02		0:02
22	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	46	Zahradnická 1723, Brandýs n. L.	70	Na proporci, Stará Boleslav

0:01	0:02	0:13
23 Fakultní 1, Brandýs nad Labem	47 Vrbová, (pod večerkou), Brandýs n. L.	71 Skládka Benátky nad Jizerou
0:01	0:01	



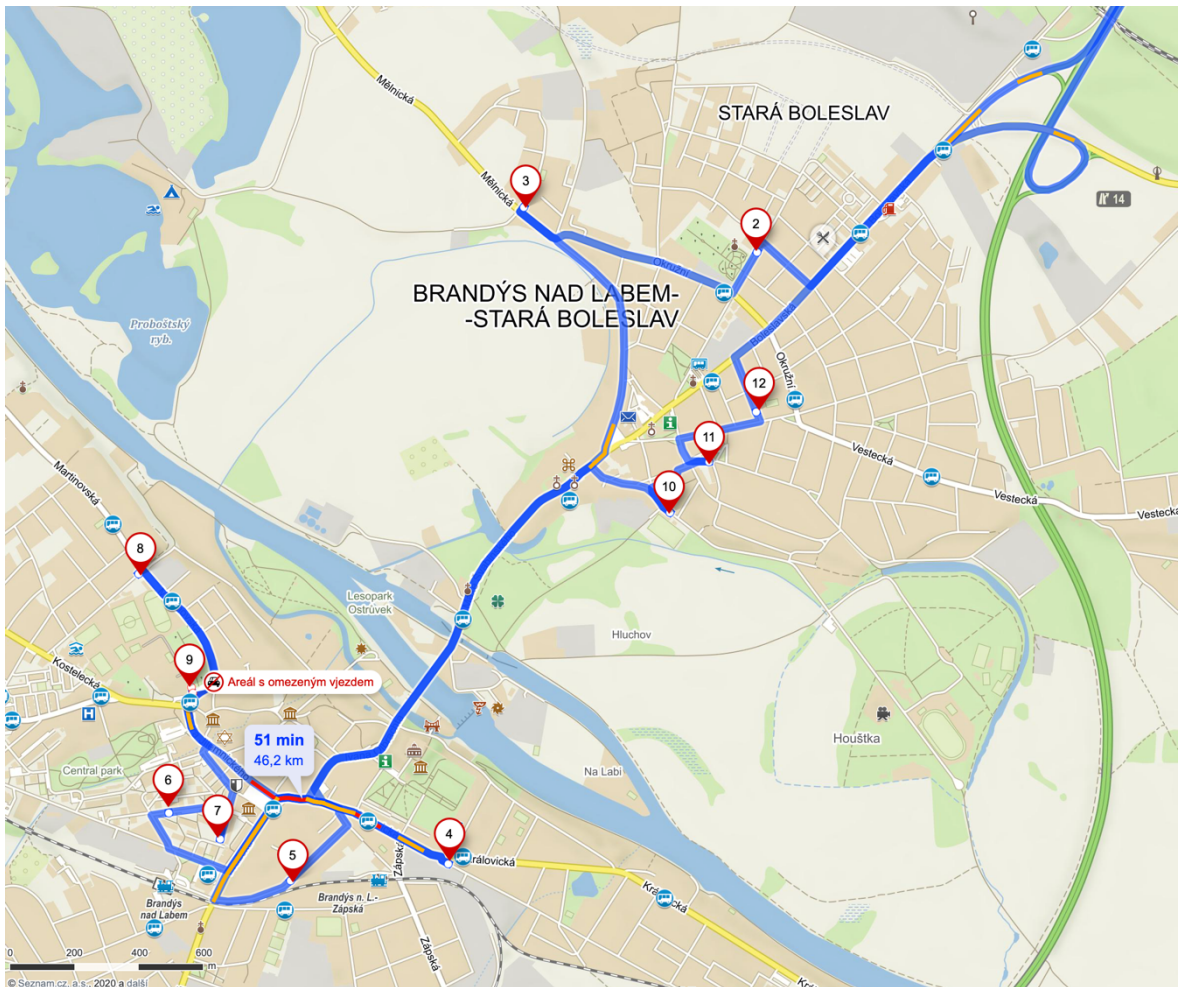
Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 13 Návrh trasy pro svoz plastu na základě optimalizace

Tab. 34 Výsledná trasa pro svoz tetrapaku doplněná o časy přejezdů

0	Skládka Benátky nad Jizerou	7	Martínovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem
	0:12		0:01
1	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	8	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem
	0:01		0:05
2	Mělnická 62, Stará Boleslav	9	Lazeňská 12, Stará Boleslav
	0:05		0:02
3	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	10	Areál na Dolíku, Stará Boleslav
	0:03		0:01
4	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem	11	Dr. Janského 6, Stará Boleslav
	0:04		0:14
5	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	12	Skládka Benátky nad Jizerou
	0:01		

6	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem		
	0:04		



Zdroj: mapy.cz, 2020

Obr. 14 Návrh trasy pro svoz tetrapaku na základě optimalizace

Výsledné trasy této práce se dají brát jako rámcový podklad pro další optimalizaci manuálním způsobem. Například eliminací některých nadbytečných cest, které zkušený řidič, znající prostředí identifikuje. Tyto nadbytečné cesty jsou v modelu způsobené zohledněním pravidel silničního provozu v kombinaci s přesnou geografickou pozicí kontejnerů a mohou být odhalena pouze s vizuálním zobrazením trasy. Může se totiž stát, že vůz míjí skutečnou pozici kontejnerů o pár desítek metrů, ale protože mohou být kontejnery umístěné za překážkou, nebo v jednosměrné ulici, bylo by potřeba k nim ujet větší vzdálenost. Pokud je takové místo identifikováno, je třeba zkušeným řidičem uvážit, zda není vhodné kontejnery ručně přiblížit. Tato optimalizace ale nelze zahrnout do modelu, je patrná

až s vizuálním zobrazením trasy. V praxi jsou dokonce běžné případy, kdy svozový vůz zacouvá do jednosměrné ulice v protisměru, aby ušetřil čas nutný na objetí. Tyto způsoby optimalizace jsou ovšem v rozporu s předpisy a v této práci zahrnuty nejsou.

Závěr

Cílem této práce bylo aplikovat známé teorie operačního výzkumu na svoz tříděného odpadu ve Staré Boleslavi - Brandýse nad Labem. Pomocí těchto metod nalézt nejkratší trasy potřebné ke svozu jednotlivých druhů tříděného odpadu a přispět tak k optimalizaci svozu odpadu na území města.

Tato práce se skládá ze dvou částí. První část je věnována teorii a je rozdělena do tří kapitol. První kapitola popisuje úlohu obchodního cestujícího s několika modifikacemi. Druhá kapitola se věnuje rozvozní úloze a jejím modifikacím. Třetí kapitola je poté věnována popisu heuristických metod aplikovaných v této práci. Jedná se o metodu nejbližšího souseda, vkládací metodu a metodu výhodnostních čísel. Druhá část práce začíná čtvrtou kapitolou popisující reálnou situaci ve městě Stará Boleslav – Brandýs nad Labem, způsob fungování sběru tříděného odpadu na území města, seznam všech sběrných míst a informace poskytnuté firmou AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. zajišťující svoz tříděného odpadu. Dále tato kapitola obsahuje obecné informace týkající se sběru tříděného odpadu na území České republiky. V páté kapitole práce je popsán vlastní návrh řešení pomocí optimalizačního modelu, definice matice vzdáleností potřebné pro výpočet, popis programu MPL for Windows použitého pro výpočet a popis aplikace modelu obchodního cestujícího definovaný v tomto programu s nainstalovaným řešitelem CPLEX. V závěru kapitoly jsou uvedeny podrobné výsledky výpočtů dosažených optimalizačními modely. Jelikož se nepovedlo na základě těchto modelů dosáhnout optima pro všechny druhy tříděného odpadu, byly dále na data aplikovány tři heuristické algoritmy – metoda výhodnostních čísel, vkládací metoda a metoda nejbližšího souseda. Popis této aplikace je uveden v šesté kapitole práce. Poslední, sedmá kapitola práce se pak věnuje porovnání výsledků heuristických metod s výsledky optimalizačních modelů. Na základě těchto porovnání jsou vyhodnoceny výsledné nejkratší trasy s časovým rozvrhem pro jednotlivé druhy tříděného odpadu a doporučení na další možné kroky k další optimalizaci tras. Současné trasy svozu bohužel nebylo možné získat z důvodu vnitřní směrnice firmy, a není tak možné je přímo porovnat.

V práci byly pro výpočet použity dvě metody. První z nich byla aplikace nezjednodušeného modelu definovaného v programu MPL s rozšířením o řešitele

CPLEX. Druhá metoda byla aplikace heuristických metod, používajících funkční zjednodušení modelů definovaných v programu Microsoft Excel. Celkové výsledky dosažené oběma metodami nezaručily získání optimální hodnoty. Výsledky dosažené modelem byly pro všechny druhy odpadu nejlepší, ale obecně lze říci, že výsledky heuristických metod lze považovat za dostačující pokud vybereme vždy nejlepší řešení ze všech tří metod. Jejich velikou výhodou je, že není třeba kupovat drahý software u kterého ani tak není zaručeno získání optimálního řešení. Potenciálním možným třetím řešením problému by pak mohlo být použití komerčního software, který je dnes přímo pro účely optimalizace tras vyvíjen. Jedná se ovšem o řešení, které bude finančně nejnáročnější a vyplatí se spíše pro více komplexní úlohy, které bude třeba řešit na území větších měst.

Seznam literatury

BEKTAS, Tolga. The Multiple Traveling Salesman Problem: an Overview of Formulations and Solution Procedures. *Omega - The International Journal of Management Science* [online]. 2006, 34, 209-219 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: https://www.academia.edu/23697129/The_multiple_traveling_salesman_problem_an_overview_of_formulations_and_solution_procedures

BILÁ, Tereza. *Svoz směsného odpadu v Poděbradech*. Praha, 2013. Diplomová práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra ekonometrie.

EKO-KOM. *Jak třídit*. [online]. ©2020 [cit. 2020-10-06]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/priroda/>

Eurostat. *Recycling rate of municipal waste*. [online]. 2020 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=sdg_11_60&plugin=1

Eurostat. *Recycling rates of packaging waste*. [online]. 2020b [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00063&language=en>

FÁBRY, Jan. *Dynamické okružní a rozvozní úlohy*. Praha, 2006. Disertační práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra demografie.

FÁBRY, Jan. *Okružní a rozvozní úlohy*. Praha, 2014. Habilitační práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra demografie.

GAVISH, B. A Note on 'The Formulation of the *M-Salesman Traveling Salesman Problem*'. *Management Science*. 1976. 704–5.

Get an API Key. In: *Google Maps Platform* [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/get-api-key>

Google Maps [webová aplikace]. ©2020 [cit. 2020-09-13]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>

GÖTZ, Ondřej. *Využití metody výhodnostních čísel v úlohách kurýrní služby*. Praha, 2015. Diplomová práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra ekonometrie.

KALEDOVSKÝ, Jan. *Heuristické metody řešení zobecněných rozvozních úloh*. Praha, 2013. Diplomová práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra ekonometrie.

KOCHÁNKOVÁ, Věra. *Optimalizace svozu tříděného odpadu*. Praha, 2008. Diplomová práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra ekonometrie.

Mapa umístění hnízd na tříděné odpady. *Brandysko.cz*. [online]. 2017 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z:

https://brandysko.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=904&id=3899&n=mapa%2Dumisteni%2Dhnizd%2Dna%2Dtridene%2Dodpady

Mapy.cz [webová aplikace]. ©2020 [cit. 2020-09-13]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz>

MPL Modeling System. *Maximal Software*. [online]. ©2016 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.maximalsoftware.com/mpl/>

MILLER, C.E., TUCKER, A.W. a ZEMLIN, R.A. Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*. 1960. 326–9.

Open-source. In: *Cambridge Dictionary* [online]. ©2020 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/open-source>

OSHIWAMBO, Desmond. *How to get Google Travel Time and Distance in VBA by using Google Directions API*. [online]. 2018 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://desmondoshiwambo.wordpress.com/2013/06/20/how-to-get-google-travel-time-and-distance-in-vba/>

PELIKÁN, Jan. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Praha: Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.

Plán odpadového hospodářství. *Brandysko.cz*. [online]. 2014 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://brandysko.cz/plan%2Dodpadoveho%2Dhospodarstvi/d-6291/p1=1038>

Počty obyvatel v obcích. *MVČR*. [online]. 2020 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/statistiky-pocty-obyvatel-v-obcich.aspx>

TALSKA, Alona. *Problém obchodního cestujícího, aplikace v dopravních a logistických systémech*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy.

TOTH, Paolo a VIGO, Daniele, ed. *The Vehicle Routing Problem*. SIAM. 2001. ISBN 0-98971-579-2.

Výsledky třídění a recyklace odpadu za rok 2018. *Samosebou.cz*. [online]. 2019 [cit. 2020-11-06]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/05/26/vysledky-trideni-a-recyklace-odpadu-za-rok-2018/>

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.
Ministerstvo životního prostředí. 2001. Dostupný také z:
<https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8fc3e5c15334ab9dc125727b00339581?OpenDocument>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka uživatelského rozhraní v programu filltraveltimes.xls s částí výpočtů pro matici vzdáleností	33
Obr. 2 Uživatelského prostředí programu MPL for Windows s modelem pro optimalizaci trasy svozu papíru	35
Obr. 3 Výsledek modelu pro svoz papíru v programu MPL.....	38
Obr. 4 Výsledek modelu pro svoz skla DUO v programu MPL.....	39
Obr. 5 Výsledek optimalizace modelu pro svoz bílého skla v programu MPL.....	40
Obr. 6 Výsledek modelu pro svoz barevného skla v programu MPL.....	42
Obr. 7 Výsledek optimalizace modelu pro svoz plastů v programu MPL	43
Obr. 8 Výsledek optimalizace modelu pro svoz tetrapaku v programu MPL	44
Obr. 9 Návrh trasy pro svoz papíru na základě optimalizace.....	61
Obr. 10 Návrh trasy pro svoz skla DUO na základě optimalizace.....	62
Obr. 11 Návrh trasy pro svoz bílého skla na základě optimalizace	63
Obr. 12 Návrh trasy pro svoz barevného skla na základě optimalizace.....	64
Obr. 13 Návrh trasy pro svoz plastu na základě optimalizace.....	66
Obr. 14 Návrh trasy pro svoz tetrapaku na základě optimalizace	67

Seznam tabulek

Tab. 1 Seznam druhů odpadu.....	27
Tab. 2 Seznam všech sběrných míst na území města.....	27
Tab. 3 Přehled celkového počtu nádob na území města	30
Tab. 4 Pořadí míst na trase svozu papíru	37
Tab. 5 Pořadí míst na trase svozu skla DUO.....	39
Tab. 6 Pořadí míst na trase svozu bílého skla	40

Tab. 7 Pořadí míst na trase svozu barevného skla	41
Tab. 8 Pořadí míst na trase svozu plastů.....	42
Tab. 9 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku	44
Tab. 10 Pořadí míst na trase svozu papíru (metodou výhodnostních čísel)	46
Tab. 11 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (metodou výhodnostních čísel)	47
Tab. 12 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (metodou výhodnostních čísel)...	47
Tab. 13 Pořadí míst na trase svozu barev. skla (metodou výhodnostních čísel) ..	48
Tab. 14 Pořadí míst na trase svozu plastu (metodou výhodnostních čísel).....	48
Tab. 15 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (metodou výhodnostních čísel).....	49
Tab. 16 Pořadí míst na trase svozu papíru (metodou nejbližšího souseda)	50
Tab. 17 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (metodou nejbližšího souseda)	51
Tab. 18 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (metodou nejbližšího souseda)...	51
Tab. 19 Pořadí míst na trase svozu barev. skla (metodou nejbližšího souseda) ..	52
Tab. 20 Pořadí míst na trase svozu plastu (metodou nejbližšího souseda).....	52
Tab. 21 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (metodou nejbližšího souseda).....	53
Tab. 22 Pořadí míst na trase svozu papíru (vkládací metodou).....	54
Tab. 23 Pořadí míst na trase svozu skla DUO (vkládací metodou).....	55
Tab. 24 Pořadí míst na trase svozu bílého skla (vkládací metodou).....	55
Tab. 25 Pořadí míst na trase svozu barevného skla (vkládací metodou).....	56
Tab. 26 Pořadí míst na trase svozu plastu (vkládací metodou)	56
Tab. 27 Pořadí míst na trase svozu tetrapaku (vkládací metodou).....	57
Tab. 28 Porovnání výsledků jednotlivých metod výpočtů.....	58
Tab. 29 Výsledná trasa pro svoz papíru doplněná o časy přejezdů.....	59
Tab. 30 Výsledná trasa pro svoz skla DUO doplněná o časy přejezdů.....	61
Tab. 31 Výsledná trasa pro svoz bílého skla doplněná o časy přejezdů.....	62
Tab. 32 Výsledná trasa pro svoz barevného skla doplněná o časy přejezdů.....	63

Tab. 33 Výsledná trasa pro svoz plastu doplněná o časy přejezdů	65
Tab. 34 Výsledná trasa pro svoz tetrapaku doplněná o časy přejezdů	66

Seznam příloh

Příloha č. 1 Mapa rozmístění hnízd se sběrnými nádobami – Stará Boleslav.....	78
Příloha č. 2 Mapa rozmístění hnízd se sběrnými nádobami – Brandýs n. L.....	79
Příloha č. 3 Tabulka sběrných míst s jejich zeměpisnými souřadnicemi.....	80
Příloha č. 4 Kompletní tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy.....	82
Příloha č. 5 Kompletní tabulka časů jízd mezi sběrnými místy.....	83
Příloha č. 6 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na papír	84
Příloha č. 7 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na sklo DUO	85
Příloha č. 8 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na sklo bílé	85
Příloha č. 9 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na sklo barevné	86
Příloha č. 10 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na tetrapak.....	86
Příloha č. 11 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na plast	87

Příloha č. 1 Mapa rozmístění hnízd se sběrnými nádobami – Stará Boleslav



Zdroj: Brandysko.cz, 2017

Příloha č. 2 Mapa rozmístění hnízd se sběrnými nádobami – Brandýs n. L.



Zdroj: Brandýsko.cz, 2017

Příloha č. 3 Tabulka sběrných míst s jejich zeměpisnými souřadnicemi

	Adresa	Souřadnice
1	Na kloboučku 1105, Stará Boleslav	50.202225, 14.685478
2	Erbenova 2, Stará Boleslav	50.201431, 14.683331
3	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	50.196623, 14.681191
4	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	50.196265, 14.687003
5	Palackého 27, Stará Boleslav	50.194216, 14.683663
6	Lázeňská 12, Stará Boleslav	50.193758, 14.677285
7	Mělnická x Třebízského, Stará Boleslav	50.198441, 14.675496
8	Areál na Dolíku, Stará Boleslav	50.195131, 14.679025
9	Slovanská, Stará Boleslav	50.199483, 14.687769
10	17. listopadu 5, Stará Boleslav	50.199945, 14.685782
11	Šárochova, Stará Boleslav	50.194776, 14.674920
12	Lomená alej, Stará Boleslav	50.194171, 14.703006
13	Na proporci, Stará Boleslav	50.196987, 14.691828
14	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	50.201040, 14.681073
15	Mariánské nám. 10, Stará Boleslav	50.196047, 14.675192
16	Hlavenecká, Stará Boleslav	50.203792, 14.681053
17	Generála Lišky, Stará Boleslav	50.208597, 14.665677
18	Mělnická 62, Stará Boleslav	50.202240, 14.671078
19	Třebízského 1435, Stará Boleslav	50.203423, 14.677023
20	Zdeňka Fibicha 1710, , Stará Boleslav	50.199817, 14.685005
21	Skorkovská, Stará Boleslav	50.201718, 14.688692
22	U Pramene, Stará Boleslav	50.199900, 14.675340
23	Táhlá, Stará Boleslav	50.205719, 14.680034
24	Augustína Lukeše 1, Brandýs nad Labem	50.180974, 14.663535
25	Brázdimská 3, Brandýs nad Labem	50.188266, 14.652430
26	E. Petišky, Brandýs nad Labem	50.178824, 14.685740
27	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	50.184876, 14.668088
28	Husova 11, Brandýs nad Labem	50.182411, 14.672584
29	Husova 27, Brandýs nad Labem	50.180710, 14.677715
30	Josefa Kožíška, Brandýs nad Labem	50.184201, 14.670549
31	Jasanová 1494, Brandýs nad Labem	50.185603, 14.655555
32	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	50.185195, 14.671529
33	Karla Sebora 15, Brandýs nad Labem	50.182215, 14.664051
34	Karla Tajka 2, Brandýs nad Labem	50.186383, 14.657908
35	Pavla Lista 37, Brandýs nad Labem	50.192473, 14.652870
36	Pražská 77, Brandýs nad Labem	50.174780, 14.649950
37	Kostelecká - areál 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	50.188939, 14.656481
38	Krajířské náměstí, Brandýs nad Labem	50.187547, 14.659873
39	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem	50.183951, 14.675016
40	Královická - sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	50.180818, 14.682581
41	Kralupská I, Brandýs nad Labem	50.185613, 14.648596
42	Kralupská II, Brandýs nad Labem	50.186492, 14.647158
43	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	50.184753, 14.657705
44	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	50.185125, 14.657897
45	Martinovská x Spořilov I, Brandýs nad Labem	50.192037, 14.654351
46	Na Betháni, Brandýs nad Labem	50.187457, 14.662940
47	Na Nižším Hrádku, Brandýs nad Labem	50.189136, 14.659004
48	Na Okraji, Brandýs nad Labem	50.176729, 14.647201
49	Na Prádle, Brandýs nad Labem	50.188917, 14.662739
50	náměstí č. p. 34, Brandýs nad Labem	50.186581, 14.658136
51	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	50.189617, 14.649124
52	Palachova , Brandýs nad Labem	50.184576, 14.664077

53	Palachova - škola, Brandýs nad Labem	50.183880, 14.665199
54	Plantáž x Královická, Brandýs nad Labem	50.185542, 14.663646
55	Polní, Brandýs nad Labem	50.181184, 14.658269
56	Masarykovo nám. Radnice Brandýs n/L, Brandýs nad Labem	50.185990, 14.658302
57	Riegrova (u želez.trati), Brandýs nad Labem	50.183516, 14.660959
58	Sasanková, Brandýs nad Labem	50.175688, 14.651097
59	Sídlště - volně stojící (1 x Zahradnická 1723, 2 x pod večerkou), Brandýs nad Labem	50.186130, 14.653971
60	U Rokle, Brandýs nad Labem	50.175173, 14.646901
61	U Vodárny, Brandýs nad Labem	50.175461, 14.649817
62	Za Dvorem, Brandýs nad Labem	50.174369, 14.646969
63	U vodojemu u školky, Brandýs nad Labem	50.175129, 14.645946
64	Vrábská - u Pampelišky, Brandýs nad Labem	50.183863, 14.651268
65	Vrábská x Krátká, Brandýs nad Labem	50.182471, 14.652516
66	Vrbová, (pod večerkou), Brandýs nad Labem	50.185960, 14.656375
67	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	50.182620, 14.656953
68	Na Vinici, Brandýs nad Labem	50.187632, 14.650439
69	Vrbová 1476 , Brandýs nad Labem	50.186012, 14.657169
70	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	50.190445, 14.656705
71	Kostelecká - parkoviště 5.ZŠ, Brandýs nad Labem	50.189330, 14.656237
72	Spořilov II, Brandýs nad Labem	50.190344, 14.651085
73	Fotbalový stadion Brandýs	50.190856, 14.652695

Příloha č. 6 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na papír

Číslo sběrného místa	Název sběrného místa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
1	Číslo sběrného místa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
2	Název sběrného místa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
3	Vzdálenost	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Příloha č. 7 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na sklo DUO

Sklo DUO		AVE CZ odpadové hospodářství, s. r. o. - Skládky Benátky nad Jizerou																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Na Koboučce 1105, Stará Boleslav	0,0	16,5	16,8	17,4	17,7	18,1	17,6	17,0	17,2	18,9	17,6	20,0	20,7	19,9	19,9	20,0	19,7	20,2	19,3	19,0	23,2	23,4	20,3	19,4	19,4
	Ebenova 2, Stará Boleslav	17,3	0,0	0,2	1,0	1,4	1,8	1,3	0,6	0,7	2,6	1,3	3,7	4,4	3,6	3,6	3,7	3,4	3,8	2,9	2,7	3,5	4,1	4,0	3,1	3,1
	Jana Opletala 2, Stará Boleslav	18,4	1,3	0,9	0,0	1,1	1,9	0,9	1,0	1,4	2,7	1,3	3,8	4,4	3,6	3,6	3,8	3,4	3,9	3,0	2,8	3,6	4,2	4,1	3,2	3,2
	Lazčická 12, Stará Boleslav	18,5	1,4	1,2	1,1	0,0	2,0	0,5	1,1	1,5	2,8	1,4	2,9	3,5	2,7	2,7	2,8	2,5	3,0	2,1	1,8	2,6	3,2	3,1	2,2	2,2
	Mlénská x Třebízského, Stará Boleslav	18,7	1,6	1,4	1,4	0,7	0,0	0,7	1,3	1,7	2,9	0,2	2,8	3,4	2,6	2,6	2,8	2,4	2,9	2,0	1,8	2,6	3,2	3,1	2,2	2,2
	Anoň na Dolní, Stará Boleslav	18,3	1,3	1,0	0,9	0,7	1,8	0,0	0,9	1,4	2,6	1,3	3,0	2,4	2,8	2,8	2,9	2,6	3,1	2,1	1,9	2,8	3,3	3,3	2,4	2,3
	Josefa Truhláře 8, Stará Boleslav	17,8	0,5	0,2	1,0	1,1	1,1	0,9	0,0	0,4	1,9	0,6	3,4	4,0	3,2	3,2	3,4	3,0	3,5	2,6	2,4	3,2	3,8	3,7	2,8	2,8
	Hřevenské, Stará Boleslav	17,9	0,7	0,4	1,2	1,5	1,5	1,4	0,4	0,0	2,3	0,9	3,8	4,5	3,7	3,7	3,8	3,5	3,9	3,1	2,8	3,6	4,2	4,1	3,2	3,2
	Generála Lišky, Stará Boleslav	19,6	2,4	2,2	2,7	2,3	1,6	2,3	1,9	2,3	0,0	1,5	4,4	5,0	4,3	4,3	4,4	4,1	4,5	3,6	3,4	4,2	4,8	4,7	3,8	3,8
	U Přemene, Stará Boleslav	18,3	1,1	0,9	1,4	0,9	0,2	0,9	0,6	0,9	1,6	0,0	3,0	3,6	2,9	2,9	3,0	2,7	3,1	2,2	2,2	2,8	3,4	3,3	2,4	2,4
	Brázdímská 3, Brandýs nad Labem	20,8	3,7	3,5	3,5	2,7	4,3	2,8	3,4	3,8	5,0	3,7	0,0	2,6	1,9	1,6	2,0	1,4	0,6	1,2	1,1	1,8	2,4	0,5	0,8	0,6
	Fakultní 1, Brandýs nad Labem	23,0	3,3	3,0	3,0	2,2	3,8	2,4	2,9	3,4	4,6	3,2	1,5	0,0	0,5	1,4	0,6	1,2	1,7	0,6	0,4	1,1	1,3	1,8	1,4	1,2
	Husova 11, Brandýs nad Labem	23,3	3,6	3,3	3,3	2,5	4,1	2,7	3,2	3,7	4,9	3,6	1,9	2,0	0,0	1,7	0,4	1,5	2,0	0,9	0,7	1,5	1,6	2,1	1,7	1,5
	Karfa Tajka 2, Brandýs nad Labem	20,3	3,2	3,0	3,0	2,2	3,8	2,4	2,9	3,3	4,6	3,2	0,7	2,2	1,4	0,0	1,5	1,0	0,9	0,7	0,7	1,1	1,9	0,9	0,6	0,4
	Královická x Jiskrova, Brandýs nad Labem	23,4	3,7	3,4	3,4	2,7	4,2	2,8	3,4	3,8	5,0	3,7	2,0	0,7	0,4	1,8	0,0	1,6	2,1	1,0	0,9	1,6	1,7	2,3	1,8	1,6
	Lipová 1497 C, Brandýs nad Labem	20,4	3,4	3,1	3,1	2,3	3,9	2,5	3,0	3,5	4,7	3,4	1,5	2,3	1,5	0,2	1,6	0,0	1,2	0,8	0,8	0,7	2,0	1,1	0,8	0,6
	Neratovická, za samoobsluhou, Brandýs nad Labem	20,9	3,8	3,6	3,6	2,8	4,4	3,0	3,5	3,9	5,2	3,8	0,6	2,8	2,0	1,4	2,1	1,2	0,0	1,3	1,3	1,6	2,5	0,7	0,9	0,7
	Palachova, Brandýs nad Labem	20,0	2,9	2,7	2,7	1,9	3,4	2,0	2,6	3,0	4,2	2,9	1,2	1,7	0,9	1,1	1,0	0,8	1,3	0,0	0,2	1,2	1,4	1,5	1,0	0,8
	Přibitě x Královická, Brandýs nad Labem	19,7	2,7	2,4	2,4	1,7	3,2	1,8	2,4	2,8	4,0	2,7	1,1	1,5	0,7	1,0	0,9	0,8	1,3	0,2	0,0	1,1	1,2	1,4	1,0	0,8
	Polní, Brandýs nad Labem	23,2	3,6	3,4	3,4	2,6	4,2	2,7	3,2	3,7	4,9	3,6	2,0	2,2	1,4	1,0	1,5	1,7	1,0	1,0	0,6	0,7	1,5	1,5	1,3	1,3
	Riegrova (u Želez. tratě), Brandýs nad Labem	20,2	3,1	2,9	2,9	2,1	3,6	2,2	2,8	3,2	4,4	3,1	1,4	1,9	1,1	1,2	1,2	1,0	1,5	0,3	0,4	1,4	0,0	1,7	1,2	1,0
	Na Vinici, Brandýs nad Labem	21,1	4,0	3,8	3,8	3,0	4,6	3,1	3,7	4,1	5,3	4,0	0,5	2,9	2,2	1,2	2,3	1,0	0,7	1,5	1,4	1,4	2,3	0,0	1,1	0,9
	Martinovská u hřbitova, Brandýs nad Labem	20,6	3,5	3,3	3,3	2,5	4,1	2,7	3,2	3,6	4,9	3,5	0,8	2,5	1,7	1,5	1,8	1,2	0,9	1,0	1,0	1,4	2,2	1,1	0,0	0,3
	Kostelecká - parkoviště 5-Z, Brandýs nad Labem	20,4	3,4	3,1	3,1	2,3	3,9	2,5	3,0	3,5	4,7	3,4	0,6	2,3	1,5	1,3	1,6	1,1	0,7	0,8	0,8	1,2	2,0	0,9	0,3	0,0

Příloha č. 8 Tabulka vzdáleností mezi sběrnými místy na sklo bílé

Sklo Bílé		AVE CZ odpadové hospodářství, s. r. o. - Skládky Benátky nad Jizerou									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Dr. Janského 6, Stará Boleslav	0,0	17,3	17,0	21,1	22,6	20,6	20,2	20,3	19,7	19,6
	Slovanská, Stará Boleslav	18,0	0,0	0,9	4,1	2,9	3,7	3,3	3,4	2,8	2,7
	E. Petišky, Brandýs nad Labem	17,7	0,9	0,0	4,7	3,5	4,3	3,8	4,0	3,4	3,2
	Jiskrova 1566, Brandýs nad Labem	24,4	4,0	4,7	0,0	1,3	0,4	3,1	3,2	2,7	2,5
	Královická, sídliště č.p. 1685-9, Brandýs nad Labem	23,2	2,8	3,5	1,3	0,0	1,0	1,9	2,0	1,5	1,3
	Kralupská I, Brandýs nad Labem	24,0	3,6	4,3	0,4	1,0	0,0	2,8	2,9	2,3	2,2
	Kralupská II, Brandýs nad Labem	20,9	3,1	3,8	3,1	1,9	2,8	0,0	0,2	0,8	0,9
	Lipová 1502, Brandýs nad Labem	21,0	3,2	4,0	3,2	2,0	2,9	0,2	0,0	0,9	1,0
	Výletní x Pražská, Brandýs nad Labem	20,5	2,7	3,4	2,7	1,5	2,3	0,8	0,9	0,0	0,5
		23,2	2,5	3,2	2,5	1,3	2,2	0,9	1,0	0,5	0,0

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Josef Tesař		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208T088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace svozu tříděného odpadu ve Staré Boleslavi		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2020
POČET STRAN	87		
POČET OBRÁZKŮ	14		
POČET TABULEK	34		
POČET PŘÍLOH	11		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tato práce se zabývá optimalizací svozu tříděného odpadu na území města Stará Boleslav aplikací vhodných modelů operačního výzkumu a heuristických metod. Data použitá pro výpočet byla získána kombinací veřejných informací z portálu města a informací poskytnutých svozovou firmou. Výpočty tras pro celkem šest druhů odpadů byly provedeny pomocí exaktního modelu a třech heuristických metod, načež jejich výsledky byly mezi sebou porovnány a vyhodnoceny. V závěru práce jsou uvedeny nejkratší nalezené trasy s časy přejezdů mezi jednotlivými místy pro šest druhů odpadů umístěných na území města a to v podobě tabulky i vizuální mapy.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>Operační výzkum, rozvozní úloha, úloha obchodního cestujícího, heuristické metody, metoda výhodnostních čísel, vkládací metoda, metoda nejbližšího souseda, Stará Boleslav, Brandýs nad Labem, svoz tříděného odpadu, optimalizace tras, matice vzdáleností, VBA, MPL for Windows</p>		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Josef Tesař		
FIELD	6208T088 Business Administration and Operations		
THESIS TITLE	Optimisation of recycled waste collection in Stará Boleslav		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2020
NUMBER OF PAGES	87		
NUMBER OF PICTURES	14		
NUMBER OF TABLES	34		
NUMBER OF APPENDICES	11		
SUMMARY	<p>This diploma thesis deals with optimisation of the recycled waste collection in Stará Boleslav by applying appropriate models of operational research and heuristic methods. Data used for the calculation were obtained by combining public information from the city web portal and information provided by the company responsible for waste collection. Route calculations for six different types of the waste were performed using an exact model and three heuristic methods, after which the results were compared and evaluated. The final shortest routes with travel times between locations are displayed at the end of the thesis in the form of a table and a map for all six types of the waste located in the city.</p>		
KEY WORDS	<p>Operational research, vehicle routing problem, travelling salesman problem, heuristics, savings algorithm, insertion algorithm, nearest neighbor algorithm, Stará Boleslav, Brandýs nad Labem, recycled waste collection, route optimisation, distance matrix, VBA, MPL for Windows</p>		