

UNIVERZITA PARDUBICE

Dopravní fakulta Jana Pernera

**Optimalizace odpadového hospodářství
v Kolíně**

Bc. Jan Vocásek

Diplomová práce

2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VOCÁSEK**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Aplikovaná informatika v dopravě**
Název tématu: **Optimalizace odpadového hospodářství v Kolíně**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky v dopravě**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce bude zaměřena do oblasti optimalizace odpadového hospodářství ve městě Kolín. Na základě analýzy současného stavu bude navržen programový nástroj umožňující automatizovaný návrh svozných tras jednotlivých separovaně tříděných složek komunálního odpadu. Hlavní důraz bude kladen na svoz papíru, skla, plastů a tetrapakových obalů. Kromě návrhů svozných tras nástroj umožní výstupy statistik umožňujících hodnocení efektivnosti odpadového hospodářství.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50 normostran

Forma zpracování diplomové práce:

tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Praha : Academia, 2002. 257 s. ISBN 80-200-0990-6.
2. CHRISTOFIDES, N. *Graph theory : an algorithmic approach*. New York : Academic Press, 1975. 400 s. ISBN 0-12-174350-0.
3. VOLEK, J. *Operační výzkum I*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2002. 111 s. ISBN 80-7194-410-6.
4. GASS, S. I. *Lineárne programovanie : metódy a aplikácie*. Bratislava : ALFA, 1972. 400 s.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Josef Volek, CSc.

Katedra informatiky v dopravě

Datum zadání diplomové práce:

24. listopadu 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

24. května 2010



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Josef Volek, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. listopadu 2009

Souhrn

Diplomová práce se zabývá problematikou svozu separovaného odpadu na území města Kolín. Práce obsahuje popis nakládání s obalovými odpady v EU a ČR. Práce dále obsahuje analýzu nakládání s obalovými odpady v Kolíně s popisem současného systému sběru a svozu obalového odpadu.

Hlavním cílem práce je optimalizace svozu obalového odpadu v Kolíně. Práce obsahuje popis metod a algoritmů pro návrh optimálních tras svozu. Popsané metody jsou použity pro programové řešení problému.

Klíčová slova

odpadové hospodářství, separovaný sběr, obalový odpad domácností, teorie grafů, hledání nejkratších cest, okružní jízdy

Title

Optimization of waste management in Kolín

Abstract

Graduation thesis deals with selective collection household packaging waste in Kolín. Work contents description manages of packaging waste in Czech Republic and Europe union. It involves analysis of manages of selective collection in Kolín. There is description current system of waste handling and transport.

The main goal of diploma work is optimization of transport packaging waste in the town Kolín. The work includes methods and algorithms for optimization routing of waste collection vehicles. Briefly described algorithms are used in optimization program application.

Keywords

waste management, selective collection, household packaging waste, graph theory, shortest path problem, vehicle routing problem

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Josefu Volkovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady, které mi poskytl v průběhu práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	13
2	PRÁVNÍ PROSTŘEDÍ NAKLÁDÁNÍ S OBALOVÝMI ODPADY	15
2.1	Legislativa Evropské unie	15
2.2	Legislativa platná v ČR	17
3	SYSTÉM EKO-KOM	21
3.1	Povinné osoby	22
3.2	Obce.....	22
3.3	Výsledky systému EKO-KOM.....	23
4	REALIZACE SYSTÉMU ZPĚTNÉHO ODBĚRU A VYUŽITÍ ODPADŮ Z OBALŮ VE STÁTECH EU	25
4.1	Národních systémy zpětného odběru a využití odpadů.....	25
4.2	Fostplus.....	27
5	ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ NA ÚZEMÍ MĚSTA KOLÍN	29
5.1	AVE CZ.....	29
5.2	Právní úprava nakládání s odpadem na území města.	30
5.3	Plán odpadového hospodářství města Kolín.....	30
5.4	Současný stav sběru separovaného odpadu z domácností v Kolíně.....	32
6	TEORETICKÉ ŘEŠENÍ DOPRAVNÍCH PROBLÉMŮ NA DOPRAVNÍ SÍTI.....	37
6.1	Dopravní systém.....	37
6.2	Druhy metod řešení	37
6.3	Základní pojmy teorie grafů	38
6.4	Metody pro stanovení optimálních tras	40
6.5	Nalezení minimální cesty	41
6.6	Eulerovský tah	43
6.7	Hamiltonovské cesty a kružnice	45

6.8 Okružní jízdy.....	49
7 PROGRAMOVÁ IMPLEMENTACE OPTIMALIZACE SVOZU SEPAROVANÉHO ODPADU	53
7.1 Rozsah projektu.....	53
7.2 Systémové požadavky	54
7.3 Vývojové prostředí.....	54
7.4 Vstupy aplikace	54
7.5 Výstupy aplikace	56
7.6 Datová struktura pro uliční síť	56
7.7 Popis algoritmu pro konstrukci okružních jízd	58
7.8 Uživatelský popis aplikace.....	60
7.9 Nasazení aplikace na svozně oblasti sídliště	64
8 ZÁVĚR.....	65
SOUPIS BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ	66

Seznam obrázků

Obrázek 1 Identifikační systém pro obalové materiály podle 94/62/ES (zdroj [15]).....	19
Obrázek 2 Fungování systému EKO-KOM (zdroj [16]).....	21
Obrázek 3 Vývoj počtu klientů a obcí (zdroj [16])	23
Obrázek 4 Struktura fungování systému Fostlpus (zdroj [19])	27
Obrázek 5 Vývoj recyklace obalových odpadů domácností v Belgii (zdroj [28])	28
Obrázek 6 Sběrné hnízdo (zdroj [20])	34
Obrázek 7 Svozový vůz Mercedes-Benz Actros 2532 L (zdroj [21])	35
Obrázek 8 Mapa Kolína s vyznačení svozných oblastí	36
Obrázek 9 Orientovaný graf	38
Obrázek 10 Běh Dijkstra algoritmu (zdroj [4])	41
Obrázek 11 Vysvětlení k popisu Floydova algoritmu (zdroj [5])	43
Obrázek 12 Vytváření prastromu(zdroj [3]).....	47
Obrázek 13 Sdružování tras (zdroj [22])	50
Obrázek 14 Reprezentace grafu datovou strukturou pole-seznam	56
Obrázek 15 Diagram tříd datové struktury	57
Obrázek 16 Hlavní okno aplikace	61
Obrázek 17 Hlavní okno aplikace s menu Soubor	62
Obrázek 18 Hlavní okno aplikace s menu Silniční síť	62
Obrázek 19 Okno nastavení.....	63
Obrázek 20 Okno s informacemi o aplikaci	64

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výskyt obalových odpadů v ČR v roce 1997.....	13
Tabulka 2 Požadovaný rozsah recyklace a využití recyklovaných obalů	19
Tabulka 3 Výsledky systému EKO-KOM	24
Tabulka 4 Procenta recyklace odpadů z nevratných obalů	24
Tabulka 5 Výpočet okružní jízdy	50
Tabulka 6 Příklad použití metody CW.....	51
Tabulka 7 Sdružení trasy 0-2-0 a 0-3-0.....	51
Tabulka 8 Sdružení trasy 0-4-0 a 0-5-0.....	52
Tabulka 9 Sdružení trasy 0-1-0 a 0-4-5-0	52
Tabulka 10 Výsledek sdružování tras	52

1 Úvod

Ekonomický rozvoj po 2. světové válce vedl ve většině vyspělého světa k růstu životní úrovně. Měřítkem životní úrovně se stala dosažená velikost spotřeby zboží a míra růstu. Tento fenomén ovlivnil celospolečenský vývoj, který vyústil ve vznik konzumní společnosti. Dnešní konzumní společnost je tedy založena na neustálé výrobě a spotřebě zboží. Tato spotřeba je na straně vstupu spojena s využíváním zdrojů surovin. Na výstupu je spojena s produkcí odpadů. Z důvodu stále vzrůstajícího množství odpadu je nutné intenzivně řešit problematiku nakládání a zpracování odpadu. Intenzivní využívání zdrojů spolu s produkcí odpadů má negativní dopad na životní prostředí. V globálním měřítku to má dopad na změny klimatu, což následně způsobuje i návazné sociální problémy. Proto se vyspělé společnosti snaží minimalizovat produkci odpadů a maximalizovat využití odpadů. Recyklaci odpadu jsou odpady zpracovány na nové materiály. Jejich následné užití jako vstupní suroviny ve výrobě má za důsledek snížení objemu skládkování odpadu a úsporu přírodních zdrojů surovin.

Problematika odpadového hospodářství je komplexní a zahrnuje v sobě využití několika vědních disciplín. V této práci jsem se zaměřil pouze na dopravní část. Aby bylo možné odpad zpracovat, je nutné jej nejdříve dostat od producentů ke zpracovateli. Jednou ze součástí komunálního odpadu od drobných producentů jsou i odpady obalové. Recyklovat lze jen separovaný odpad. Proto jsem se zaměřil na optimalizaci svozu separovaného obalového odpadu z domácností.

Nakládání s obalovými odpady má svůj historický vývoj. Po roce 1989 došlo k výrazným změnám. Do roku 1989 převažovala produkce papírových obalových odpadů, které byly vykupovány prostřednictvím sběren surovin. V devadesátých letech dochází ke změně skladby obalových odpadů. Roste podíl plastů, přicházejí na trh nevrátne plastové PET lahve, což vede k růstu odpadů PET a poklesu skleněného odpadu. Dalšími obalovými odpady se stávají obaly Tetra pack. Proto jako reakce na porevoluční vývoj dochází v roce 1997 ke změnám právního prostředí pro nakládání s odpady.

Tabulka 1 Výskyt obalových odpadů v ČR v roce 1997

Obaly na trhu	Komunální obalový odpad	Průmyslový obalový odpad
Celkové množství	430-450 kt	382-420 kt
Papír	26 %	67 %
Sklo	45 %	1 %
Plasty	23 %	19 %
Kovy	2 %	10 %
Ostatní	4 %	3 %

Zdroj [14]

Ve druhé kapitole je uveden přehled o platných zákonech v odpadovém hospodářství v ČR a EU. Dále je v kapitole definován obalový odpad, povinnosti producentů obalů, jejich spotřebitelů a jakou roli má státní správa se samosprávou. Kromě popisu příslušných zákonů je zde stručně zmíněna koncepce odpadového hospodářství ČR a jednotlivých krajů.

Třetí kapitola pojednává o integrovaném systému zpětného odběru a využití obalových odpadů v České republice. Je zde popsána činnost neziskové akciové společnosti EKO-KOM, které ministerstvo životního prostředí pověřilo realizací systému zpětného odběru.

Čtvrtá kapitola stručně pojednává o způsobu řešení systému zpětného odběru v ostatních členských zemích Evropské unie. Detailnější popis je věnován Belgii a zde působící společnosti FOST plus.

V páté kapitole je detailně popsána problematika obalových odpadů v Kolíně. Je zde zmíněna místní vyhláška o nakládání s odpady na území města a koncepce s nakládáním s odpady. Dále je zde vylíčeno provedení nakládání s obalovými odpady pověřenou společností AVE. Jsou zde zmíněna východiska pro realizaci praktické části diplomové práce.

Následuje seznámení s vybranými oddíly teorie rovinných grafů, které jsou potřebné pro optimalizaci svozových tras. Minimalizace délky svozných tras vozidel svážející separovaný odpad z veřejných sběrných hnízd má velkou důležitost. Hlavním významem je ekologie svozu. Dalším důvodem je minimalizace nákladů spojených se svozem. Minimalizace nákladů je velmi důležitá, protože většinu nákladů spojených se zpětným odběrem hradí obce z veřejných prostředků.

Cílem diplomové práce je vytvořit racionalizační nástroj sestavy svozu na bázi počítačového programu. Dalším cílem práce je seznámit s problematikou nakládání s obalovými odpady. Popsat situaci systému zpětného odběru obalových odpadů na příkladu středně velkého města.

Na základě analýzy stávající situace bude navrhnout programový nástroj pro optimalizaci svozových tras separovaného odpadu. Nástroj bude vycházet z informací poskytnutých pověřenou společností pro nakládání s odpady na území města. Nástroj bude zohledňovat omezující podmínky vyplývající z konkrétní situace ve městě. Výstupem programu bude návrh optimálních tras svozu separovaného odpadu ze sběrných hnízd.

Smyslem celé práce je navrhnout optimální alternativu ke stávajícímu řešení problému svozu separovaného obalového odpadu.

2 Právní prostředí nakládání s obalovými odpady

Nakládání s odpady je státem usměrňováno s cílem chránit životní prostředí, chránit zdraví lidí a podporovat trvale udržitelný rozvoj. V souladu s politikou EU je pomocí zákonů předcházeno vzniku odpadů včetně odpadů z obalů. Hlavním cílem je zejména snižování hmotnosti, objemu a škodlivosti odpadů. Zákony určují práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a určují kompetence orgánů veřejné správy v této oblasti.

2.1 Legislativa Evropské unie

V EU byly v oblasti s nakládání s obalovými odpady přijaty tyto legislativní normy:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES o obalech a obalových odpadech** ze dne 20. 12. 1994
- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/12/ES** novela směrnice 94/62/ES ze dne 11.2 2005
- **Rozhodnutí Komise 97/129/ES** identifikační systém pro obalové materiály ze dne 28.1 1997

2.1.1 Směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech

Cíle

Cílem této směrnice je harmonizovat národní opatření týkající se hospodaření s obaly a obalovými odpady za účelem jednak zabránit jakýmkoli jejich účinkům na životní prostředí všech členských států i třetích zemí nebo tyto účinky zmenšit, a tím dosáhnout vysoké úrovně ochrany životního prostředí, a jednak zabezpečit fungování vnitřního trhu, vyloučit překážky, které brání obchodu a narušení a omezování soutěže v rámci Společenství.

Za tímto účelem stanoví směrnice opatření, jejichž první prioritou je prevence vzniku obalových odpadů a doplňkovým základním principem je opakované používání obalů, recyklace a další formy zhodnocení obalových odpadů, jimiž se omezí rozsah konečného zneškodňování tohoto odpadu.

Směrnice se vztahuje na veškeré obaly, které jsou v EU uváděny na trh, a veškerý obalový odpad, ať již jsou užívány nebo vznikají v průmyslu, ve velkoobchodu či v maloobchodu, v kancelářích, ve službách, v domácnostech nebo na jakékoli jiné úrovni, bez ohledu na použitý materiál.^[1]

Definice

Obaly jsou veškeré výrobky zhotovené z jakéhokoli materiálu, které mají být použity k pojmnutí, ochraně, manipulaci, dodávce a předvádění zboží, od surovin až po hotový výrobek, od výrobce až po uživatele či spotřebitele. Za obaly se rovněž pokládají nevrátitelné části, používané k totožným účelům.^[1]

Obaly zahrnují pouze:

- a) spotřebitelský obal neboli primární obal, tzn. obal určený k tomu, aby tvořil v místě nákupu prodejní jednotku pro konečného uživatele či spotřebitele;

- b) skupinový obchodní obal neboli sekundární obal, tzn. obal určený k tomu, aby v místě nákupu tvořil skupinu určitého počtu prodejních jednotek, ať již je tato skupina prodávána konečnému uživateli či spotřebiteli nebo slouží pouze jako pomůcka pro umístění do regálů v místě prodeje; může být z výrobku odstraněn, aniž se tím ovlivní jeho vlastnosti;
- c) přepravní obal neboli terciární obal, tzn. obal, který je určen k usnadnění manipulace a přepravy určitého množství prodejních jednotek nebo skupinových obchodních balení, aby se při manipulaci a přepravě zabránilo jejich fyzickému poškození. Za přepravní obaly se nepokládají silniční, železniční, lodní a letecké kontejnery.^[1]

Obalový odpad je jakýkoli obal či obalový materiál, na který se vztahuje definice odpadu podle směrnice 75/442.^[1]

Využití odpadu

1. **Opakované použití** je jakákoli operace, při níž se obal, který byl určen a navržen, aby během své životnosti vykonal určitý minimální počet obrátek či cyklů, znovu plní nebo používá k témuž účelu, pro nějž byl navržen, s podporou nebo bez podpory pomocných výrobků dostupných na trhu, které opětovné plnění obalů umožňují; jakmile se opakovaně používané obaly přestanou jako takové používat, stávají se obalovým odpadem;
2. **zhodnocení** je kterákoli z použitelných operací uvedených v příloze II.B ke směrnici 75/442/EHS;
3. **recyklace** je přepracování odpadních materiálů pomocí určité výrobní technologie k původnímu účelu nebo pro jiné účely, včetně organické recyklace, s výjimkou energetického využití;
4. **energetické využití** je použití hořlavého obalového odpadu jako prostředku k výrobě energie přímým spálením, společně s dalším odpadem nebo bez něj, avšak s využitím získaného tepla;
5. **organická recyklace** je aerobní zpracování (kompostování) nebo anaerobní zpracování (biometanizace) biologicky rozložitelných složek obalového odpadu za kontrolovaných podmínek a s použitím mikroorganismů za vzniku stabilizovaných zplodin nebo metanu. Skládání se za formu organické recyklace nepokládá;
6. **zneškodnění** je kterákoli z použitelných operací uvedených v příloze II.A ke směrnici 75/442/EHS.^[1]

Systemy vracení, sběru a zhodnocení

Za účelem plnění cílů stanovených touto směrnicí členské státy přijímají nezbytná opatření, aby zajistily vytvoření systémů pro:

- a) vracení a/nebo sběr použitých obalů a/nebo obalových odpadů od spotřebitelů a jiných konečných uživatelů nebo z toku odpadů za účelem jejich usměrnění do nejvhodnějších alternativ odpadového hospodářství;
- b) opakované použití nebo zhodnocení, včetně recyklace obalů a/nebo sebraných obalových odpadů.

Tyto systémy musí být otevřeny pro účast ekonomických činitelů ze zainteresovaných sektorů a oprávněných úředních orgánů. Rovněž musí být aplikovatelné pro dovážené

výrobky za nediskriminačních podmínek, včetně podrobných provozních podmínek a veškerých tarifů stanovených pro přístup k těmto systémům, a musí být navrženy tak, aby v souladu se Smlouvou o Evropském společenství nezpůsobovaly překážky obchodu a deformování soutěže.^[1]

2.2 Legislativa platná v ČR

Legislativa ČR se v rámci přístupových jednání pro vstup do Evropské unie zavázala k harmonizaci legislativy s EU. Z tohoto důvodu byla již před vstupem do EU přijata řada zákonů, jejichž cílem bylo uvést nakládání s odpady do souladu se standardy EU. Jelikož některé cíle nebylo možné v krátké době naplnit, byla udělena řada výjimek.

Přehled legislativy:

- **Zákon č. 125/1997 Sb., o odpadech**
- **Vyhláška č.338/97 Sb., o podrobnostech s nakládání s odpady**
- **Nařízení vlády č. 31/99 Sb., o povinnosti zpětného odběru obalů a výrobků**
- **Související technické normy**
- **Zákon č. 185/2001 Sb., novela zákona o odpadech**
- **Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech**
- **Zákon č. 94/2004 Sb. novela zákona o obalech**
- **Zákon č. 66/2006 Sb. novela zákona o obalech**

2.2.1 Zákon č. 125/1997 Sb., o odpadech

Tento zákon předchází zákonu o obalech. Neukládá povinnost zpětného odběru a využití obalů. V § 18 definuje povinnosti při sběru a výkupu odpadů. Dále v § 19 určuje povinnosti při využívání odpadů, tedy i obalových odpadů.

2.2.2 Vyhláška č.338/97 Sb., o podrobnostech s nakládání s odpady

Vyhláška MŽP je prováděcím předpisem k zákonu o odpadech. § 17 a § 18 definuje detaily nakládání s obaly. § 17 stanovuje maximální přípustnou koncentraci těžkých kovů v obalech. § 18 vymezuje, že od 1. 1. 2001 podíl využívání odpadu z veškerých obalových materiálů musí být nejméně 35% jeho hmotnosti. Podíl recyklace musí být 15% z veškerého obalového odpadu.

2.2.3 Nařízení vlády č. 31/99 Sb., o povinnosti zpětného odběru obalů a výrobků

Nařízení vlády stanovuje pro vyjmenované výrobky a obaly povinnost zpětného odběru bez nároku na úhradu. Zpětně odebrané výrobky a obaly musí být nejpozději do konce následujícího roku využity a recyklovány.

2.2.4 Související technické normy

- ČSN 770052 – odpady z obalů.
- ČSN 770053 – obalové odpady, pokyny a informace o nakládání s použitým obalem.
- ČSN EN 13430 – obaly, požadavky na obaly využitelné k recyklaci materiálu.

- ČSN EN 13431 – obaly, požadavky na obaly využitelné jako zdroj energie, včetně specifikace nejnižší výhřevnosti.
- ČSN ČR 13504 – využití materiálu, kritéria pro nejmenší obsah recyklovaného materiálu.

2.2.5 Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech

Tento zákon a související administrativní opatření uplatňují směrnici Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES z 20. prosince 1994 o obalech a obalových odpadech, dále aplikuje směrnici Evropského parlamentu a Rady 2004/12/ES ze dne 11. února 2004, kterou se mění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech.

Cíle tohoto zákona tedy vycházejí ze směrnic EU. § 2 definuje základní pojmy, tedy co je to obal, vratný obal, zpětný odběr atd. Příloha zákona číslo 1. uvádí názorné příklady, které upřesňují pojem obal.

Povinnosti vyplývající ze zákona o obalech

Zákon se týká všech výrobců obalových prostředků, plničů, dovozců a distributorů zboží. Jejich povinností je zajistit zpětný odběr těchto obalů nebo odpadu z těchto obalů. Zpětný odběr musí zajišťovat bez nároku na úplatu. Jsou povinni dbát na dostatečnou četnost sběrných míst a jejich dostupnost.

Výjimku mají jen povinné osoby¹, které vyprodukují menší množství obalového odpadu než 300 kg/rok a zároveň jejich roční obrat nepřesáhne 4,5 mil. Kč.

Zpětný odběr mohou povinné osoby, která uvádí obaly do oběhu, zajistit tak, že uzavřou smlouvu s Autorizovanou obalovou společností. Autorizovaná obalová společnost zajistí sdružené plnění povinností zpětného odběru a využití odpadů z obalů prostřednictvím systémů tříděného sběru v obcích.

Povinná osoba je dále podle § 3 povinná předcházet vzniku odpadů. Dle § 3 osoba, která uvádí na trh obal, je povinna zajistit, aby hmotnost a objem obalu byly co nejmenší při dodržení požadavků kladených na balený výrobek a při zachování jeho přijatelnosti pro spotřebitele nebo jiného konečného uživatele, s cílem snížit množství odpadu z obalů, který je nutno odstranit.

§ 4 ukládá povinné osobě, za jakých podmínek může uvést obal na trh. Obal nesmí být nebezpečný. Koncentrace nebezpečných látek v obalu musí být pod limitními hodnotami stanovenými příslušnými právními předpisy platnými v ČR. Obal musí být opakovatelně použitelný nebo po použití dále využitelný. Způsob dalšího využití obalu může být recyklace, energetické využití nebo organická recyklace. Pokud byl obal vyroben v souladu s českými technickými normami, měl by již tyto podmínky splňovat.

Pokud povinná osoba označí obal jako recyklovatelný, musí být recyklace provedena v souladu s právem Evropského společenství.

¹ výrobce obalových prostředků, plnič, dovozce a distributorů zboží



PET



Obrázek 1 Identifikační systém pro obalové materiály podle 94/62/ES (zdroj [15])

Některé povinnosti plynoucí ze zákona může povinná osoba smluvně zajistit s AOS. Dle § 10 je to zpětný odběr obalového odpadu. Jak již bylo uvedeno, jedná se o bezúplatný zpětný odběr. V případě využití AOS musí být o tom odběratel a spotřebitelé informováni.

§ 12 definuje následné využití obalových odpadů. Tomuto zpracování odpadu se může povinná osoba vyhnout, pokud prokáže, že z obalu nevznikl odpad.

Jednou z forem využití odpadu je jeho recyklace. Tabulka uvádí požadovaný rozsah recyklace podle přílohy č. 3 k zákonu o obalových odpadech.

Tabulka 2 Požadovaný rozsah recyklace a využití recyklovaných obalů

Materiál	Do 31.12.2006		Do 31.12.2007		Do 31.12.2008		Do 31.12.2009		Do 31.12.2010		Do 31.12.2011		Do 31.12.2012	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Papír a lepenka	60		63		65		67		69		70		70	
Sklo	65		66		67		68		69		70		70	
Plast	24		25		25		26		26		27		27	
Kovy	33		36		39		41		44		47		50	
Dřevo	4		6		8		9		11		13		15	
Celkem	47	50	49	50	50	52	52	54	53	56	54	58	55	60

Zdroj [15]

V tabulce 2, A znamená recyklaci, B celkové využití obalového odpadu. Recyklace je zahrnuta do procent využití jako jeho jedna z forem.

Povinná osoba je také podle § 14 povinná provést zápis do seznamu osob, které jsou nositeli povinnosti zpětného odběru nebo využití odpadu z obalů, pokud za ní tuto činnost nevykonává AOS. Pokud povinná osoba využívá služeb AOS, registraci a platbu evidenčního poplatku provádí AOS. Osoba vedená v seznamu musí dle § 15 provádět průběžně evidenci o obalech a odpadech z obalů a o způsobech nakládání s nimi. Údaje z této evidence za uplynulý kalendářní rok musí nejpozději do 15. února následujícího roku nahlásit Ministerstvu životního prostředí.

Výkon státní správy v oblasti nakládání s obaly a obalovými odpady

Státní správu v oblasti nakládání s obaly a odpady z obalů dle § 31 vykonávají:

- a) Ministerstvo životního prostředí,
 - a. vede seznam povinných osob,
 - b. vede souhrnnou evidenci obalů a odpadů z obalů,
 - c. rozhoduje o autorizaci AOS,
 - d. dohlíží na činnost AOS,
 - e. podává podněty ke kontrole ČIŽ.
- b) Ministerstvo průmyslu a obchodu, vydává stanovisko Ministerstvu životního prostředí k žádosti o autorizaci.
- c) Ministerstvo zemědělství, vydává stanovisko Ministerstvu životního prostředí k žádosti o autorizaci.
- d) Krajské hygienické stanice (Hygienická stanice hlavního města Prahy),
 - a. kontroluje uvádění obalů na trh,
 - b. při zjištění porušení povinností ukládá ochranná opatření a pokuty.
- e) Česká obchodní inspekce,
 - a. kontroluje uvádění obalů na trh,
 - b. kontroluje plnění povinností zpětného odběru u prodejců,
 - c. při zjištění porušení povinností ukládá nápravná opatření a pokuty.
- f) Česká inspekce životního prostředí,
 - a. kontroluje plnění povinností zpětného odběru a využití obalových odpadů,
 - b. při zjištění porušení povinností ukládá nápravná opatření a pokuty.
- g) Česká zemědělská a potravinářská inspekce, kontroluje uvádění obalů na trh, u obalů které přicházejí do přímého styku s potravinami.
- h) Státní ústav pro kontrolu léčiv, kontroluje uvádění obalů na trh, u obalů léčivých přípravků a u obalů surovin pro výrobu léčivých přípravků.
- i) Ústav pro státní kontrolu veterinárních biopreparátů a léčiv, kontroluje uvádění obalů na trh, u obalů veterinárních přípravků a u obalů surovin pro jejich výrobu.
- j) Celní orgány, kontrolují, jestli obaly a balené výrobky dovážené do ČR splňují požadavky zákona o obalech.

Při zjištění porušení povinností vyplývajících ze zákona, může příslušný správní úřad zakázat uvádět obaly na trh nebo uložit pokutu.

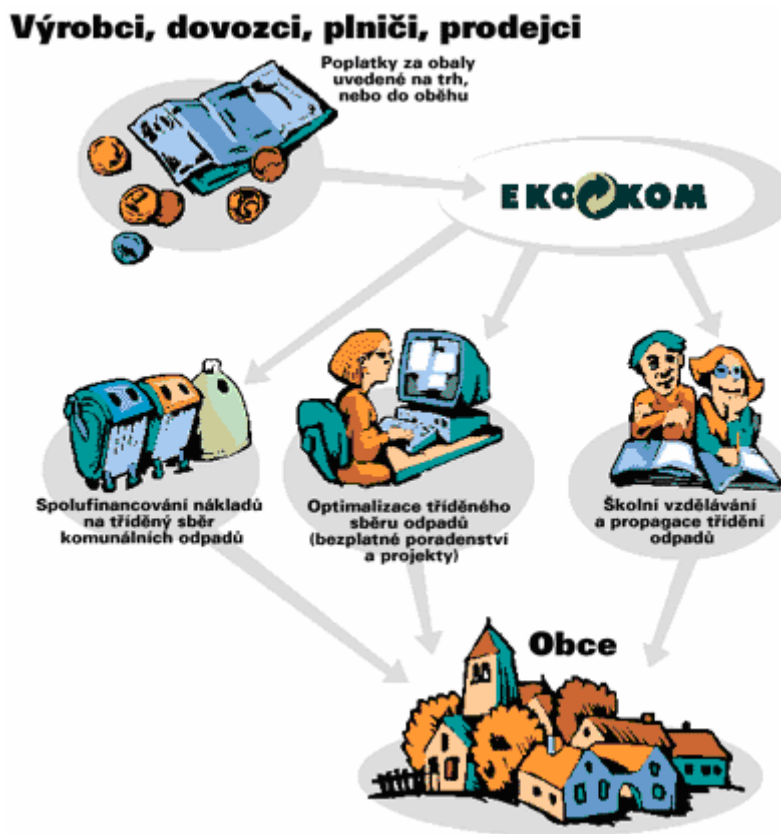
Autorizovaná obalová společnost

Většina povinných osob pověřil plněním povinností zpětného odběru a využití odpadů z obalů AOS. AOS je akciová společnost, která byla autorizována k zajišťování sdruženého plnění povinnosti zpětného odběru a využití odpadu z obalů. K tomuto účelu je oprávněna uzavírat smlouvy o sdruženém plnění. Autorizaci uděluje Ministerstvo životního prostředí.

3 Systém EKO-KOM

V roce 1997 vznikla autorizovaná obalová společnost EKO-KOM. Jedná se o účelově založenou neziskovou akciovou společnost, která byla založena skupinou deseti firem, s cílem vytvořit první kolektivní systém plnění odpovědnosti povinností zpětného odběru a využití odpadů z obalů. Tato společnost představuje most mezi veřejným a soukromým sektorem. Na jedné straně spolupracuje se soukromými výrobci (povinné osoby), na straně druhé spolupracuje s obcemi, tak aby výsledkem byla intenzivní a efektivní recyklace domovního odpadu.

Systém vychází z principu, že znečišťovatel se má finančně podílet na likvidaci odpadu. Obalový odpad je součástí komunálního odpadu, za jehož svoz a zpracování ze zákona odpovídá obec. Jelikož obal se po použití stává anonymní součástí domovního odpadu, je kolektivní systém jediný způsob, jak prakticky zajistit uplatnění odpovědnosti výrobce konkrétního obalu za jeho recyklaci. Smyslem kolektivního systému je tedy sdružit prostředky všech výrobců a ve spolupráci s obcemi a občany zajistit recyklaci a využití všech obalů v jednotném a pro spotřebitele jednoduchém, systému nakládání s odpadem. Fungování systému je znázorněno na obrázku č. 2.



Obrázek 2 Fungování systému EKO-KOM (zdroj [16])

Společnost EKO-KOM, a.s. fyzicky nenakládá s obalovým odpadem, ale podílí se hlavně na financování nákladů spojených se sběrem, svozem, tříděním a využitím obalového odpadu.

3.1 Povinné osoby

Povinné osoby, které dobrovolně uzavřou smlouvu o sdruženém plnění s AOS EKO-KOM mají povinnost 4x ročně vykazovat množství obalů uvedených na trh. Na základě tohoto množství jim společnost EKO-KOM účtuje poplatek za zpětný odběr a využití obalových odpadů. Poplatek za opakovaně použitelné obaly je nulový.

Povinné osoby tímto splní své povinnosti plynoucí ze zákona o obalech a veškerou administrativu s výkazy o využití a recyklaci obalových odpadů provádí EKO-KOM. Povinné osoby mohou na své obaly umístit značku ZELENÝ BOD, která informuje, že za obal byl uhrazen příspěvek organizaci zajišťující sběr, třídění a využití obalů.

Podíl povinných osob zapojených do kolektivního systému narostl do roku 2008 na 81%. 20822 klientů v tomto roce uvedlo na trh v České republice 2942824 tun obalů, z toho 30% nevratných a 70% vratných.

3.2 Obce

Obce, které se zapojí do systému, uzavřou se společností EKO-KOM smlouvu o zajištění zpětného odběru a recyklaci odpadů z obalů. Obce samy zajistí zpětný odběr a recyklaci, za což dostanou příspěvek od společnosti EKO-KOM.

Výše plateb vychází z průměrných nákladů na sběr, svoz a recyklaci a dotřídění. Příspěvek obci je určen na základě množství tříděného odpadu v tunách na obyvatele a rok. Příspěvek má základní část závislou na intenzitě sběru na obyvatele a bonusovou složku. Bonus závisí na kvalitě tříděného odpadu a má sloužit k motivaci jeho zlepšení.

Svozové společnosti si obce určují samy. Většinou pověří obecní technické služby. Obecně to může být jakákoliv soukromá společnost mající povolení od MŽP. Systém svozu si obce určují samy podle potřeby, tak aby vyhovoval lokálním podmínkám. Na základě analýzy složení komunálního odpadu si určí jaký druh materiálu a jakým způsobem ho budou svážet. EKO-KOM pouze poskytuje poradenství jak optimalizovat zpětný odběr. Další formou spolupráce společnosti EKO-KOM s obcemi je poskytování dotací na pořízení kontejnerů na sběr. Finanční spoluúčast obcí je 1/3 pořizovací ceny kontejnerů.

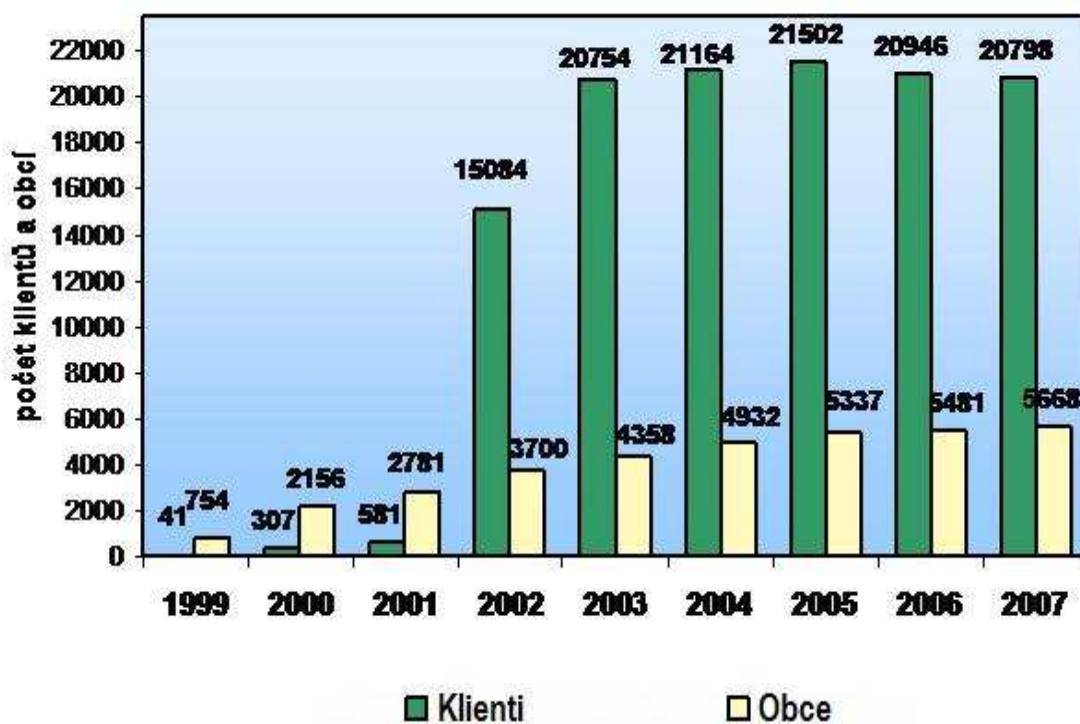
Povinností obcí, respektive jimi pověřených svozových společností je vést evidenci a provádět výkazy sběru a recyklací obalového odpadu. EKO-KOM má dále právo provádět kontrolu.

Do systému bylo v roce 2008 zapojeno 5791 obcí s 10151972 obyvateli, což představuje 98% populace ČR. Celkem bylo využito 592549 tun odpadu, s výtěžností 53.1 kg na jednoho obyvatele.

Systému obce pro nakládání s komunálním odpadem mohou využívat i podnikatelé a právnické osoby. Původce odpadu musí uzavřít s obcí písemnou smlouvu. Náklady na likvidaci odpadu jsou smluvní a závisejí na produkovaném množství. Původce odpadu musí dodržovat pravidla pro nakládání s komunálním odpadem, tedy je povinen třídít odpad. V případě, že původce neuzavře s obcí smlouvu a přesto využívá obecní systém, má obec právo uložit původci pokutu.

3.3 Výsledky systému EKO-KOM

Následují informace o dosažených výsledcích systému EKO-KOM. Uvedené údaje zobrazují vývoj od začátku platnosti Zákona o odpadech v roce 1997 do roku 2007. V roce 2008 se i v oblasti s nakládáním s odpady začíná projevovat ekonomická krize. Údaje za rok 2009 nejsou dosud veřejně dostupné. Proto není možné přesně zhodnotit dopad ekonomické krize na systém EKO-KOM. Z tohoto důvodu je znázorněn vývojový trend systému EKO-KOM pouze do roku 2007.



Obrázek 3 Vývoj počtu klientů a obcí (zdroj [16])

Obrázek 3 znázorňuje trend vývoje počtů klientů systému EKO-KOM. První sloupec grafu znázorňuje počet soukromých producentů odpadu zapojených do systému, druhý sloupec znázorňuje počet zapojených obcí. V době mezi lety 1999-2001 platil pouze Zákon o odpadech, který neukládá povinnost zpětného odběru a využití odpadu. Většina soukromých producentů odpadu se proto do systému nezapojila. Soukromí producenti tak využívali dočasné konkurenční výhody. Do systému se postupně zapojovali pouze ekologicky uvědomělí producenti. V roce 2002 začal platit Zákon o obalových odpadech. Tento zákon již ukládá povinnost zpětného odběru a využití odpadu. Proto došlo ke skokovému nárůstu klientů. Rok 2002 byl rokem přechodným, kdy se Zákon o obalech začínal uplatňovat v praxi. Proto v roce 2003 ještě dochází k významnému přírůstku klientů. Od roku 2003 je počet klientů stabilizován a již jen mírně kolísá podle vývoje počtu soukromých producentů odpadu.

Vývoj počtu zapojených obcí do systému má plynule rostoucí trend. Obce se do systému zapojovaly postupně, na základě informační kampaně a nutnosti plnění svých zákonem daných povinností.

Tabulka 3 Výsledky systému EKO-KOM

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Počet obcí	2.781	3.700	4.358	4.932	5.337	5.481	5.668
Počet obyvatel	8.135.238	9.116.400	9.504.706	9.799.894	9.946.614	9.988.586	10.084.371
Podíl populace	79%	88%	93%	96%	97%	97%	98%
Celkem využitý odpad	152.196 t	223.080 t	333.770 t	406.126 t	464.640 t	547.645 t	585.911 t
Výtěžnost tříděného odpadu na obyv. / rok	18,7 kg	24,4 kg	28,4 kg	33,9 kg	36,2 kg	43,6 kg	48,7 kg

Zdroj [29]

Tabulka 3 znázorňuje výsledky systému EKO-KOM mezi lety 2001-2007, kdy již existovala povinnost obcí třídit obalový odpad domácností.

Tabulka 4 Procenta recyklace odpadů z nevratných obalů

Procenta recyklace	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Papír	62	67	79	85	92	96
Sklo	57	57	65	68	74	68
Plasty	27	34	38	42	46	52
Z toho PET nápojový	33	34	40	49	52	60
Kovy	35	40	37	32	44	54
Celkem	45	49	56	60	66	68

Zdroj [29]

Tabulka 4 znázorňuje vývoj úrovně recyklace odpadů z nevratných obalů. Míra recyklace se každoročně pozvolna zvyšuje. Celková míra recyklace je v porovnání s řadou států EU stále nižší.

4 Realizace systému zpětného odběru a využití odpadů z obalů ve státech EU

Každý stát EU je povinen plnit směrnici Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES o obalech a obalových odpadech. To představuje vytvoření příslušné národní legislativy a vytvoření systému zpětného odběru a využití odpadů z obalů. Realizace tohoto systému je v jednotlivých státech mírně odlišná.

Na základě směrnice 94/62/ES jsou obaly výrobků v Evropě označovány značkou ZELENÝ BOD. Značka informuje, že za obal byl uhrazen poplatek do systému zpětného odběru a využití obalových odpadů, který splňuje podmínky směrnice 94/62/ES.

Majitelem ochranné známky ZELENÝ BOD je společnost Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH. Licence pro užívání v jednotlivých národních státech uděluje organizace PRO EUROPE. Používat značku může vždy pouze jedna organizace v daném státě.

PRO EUROPE² je zastřešující organizací členských národních systémů, zabývajících se systémem zpětného odběru a využití obalového odpadu. Kromě udělování licencí na značku ZELENÝ BOD svým členům, slouží jako mezinárodní fórum pro výměnu zkušeností a nápadů zúčastněných partnerských organizací.

4.1 Národních systémy zpětného odběru a využití odpadů

- **Rakousko** – ARA systém, systém je tvořen společností Altstoff Recycling Austria AG a osmi recyklačními společnostmi, které spolupracují s regionálními svozovými společnostmi.
- **Belgie** – FOST Plus, vládou schválená nezisková organizace, která vznikla jako dobrovolná iniciativa soukromého sektoru.
- **Bulharsko** – ECOPACK BULGARIA JSC, nezisková organizace založená 18 vůdčími bulharskými a mezinárodními společnostmi.
- **Kypr** – Green Dot (Cyprus) Public Co. Ltd, nezisková společnost zabývající se svozem a recyklací obalových materiálů na území řecké části Kypru.
- **Chorvatsko** – Eko-Ozra, společnost založená chorvatskými producenty obalů za účelem splnění povinnosti zpětného odběru a využití odpadů z obalů.
- **Česká republika** – EKO-KOM, viz kapitola 3.
- **Estonsko** – The Estonian Recovery Organization (ERO), nezisková organizace vytvořená pro svoz a využití obalový odpadů.
- **Finsko** – The Environmental Register of Packaging PYR Ltd, nezisková státní organizace, která podle zákona o odpadech spolupracuje s producenty obalů.
- **Francie** – Eco-Emballages, společná iniciativa státu a soukromého sektoru, poskytuje finanční a technickou podporu místním samosprávám, které zajišťují svoz obalového odpadu.

² Packaging recovery organization

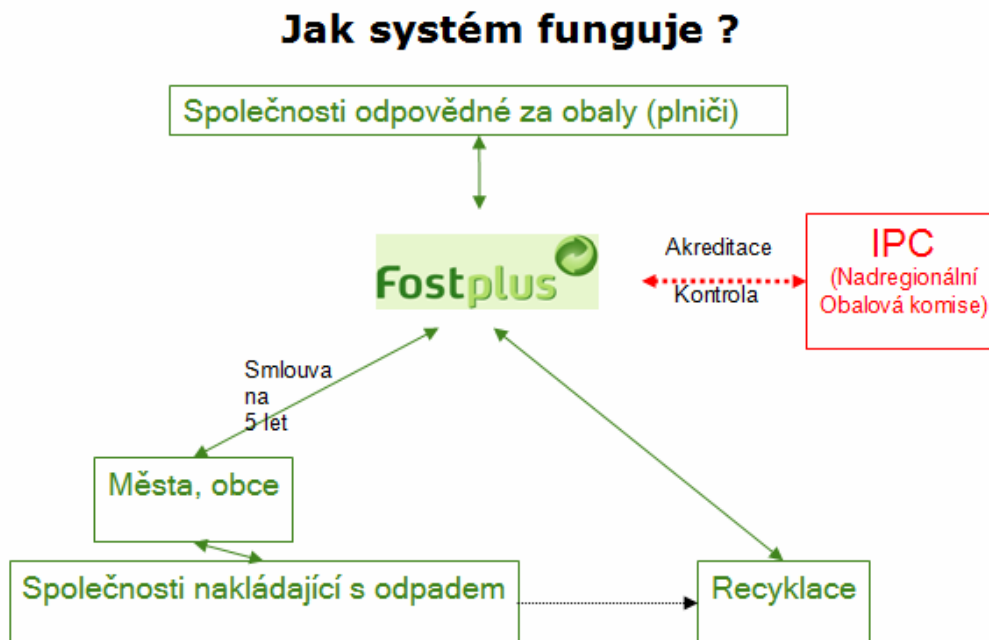
- **Německo** – Der Grüne Punkt- Duales System Deutschland GmbH, pomocí této společnosti musejí výrobci a distributoři obalů v Německu provádět zpětný odběr a recyklaci odpadů.
- **Řecko** – HERRCO, založeno neziskovým sdružením HERRA, pro zajištění sběru a recyklace obalového odpadu domácností, tyto služby zajišťuje pro soukromé firmy, které na území Řecka produkují obaly.
- **Maďarsko** – ÖKO-Pannon, poskytuje služby soukromým a průmyslovým zdrojům obalového odpadu v oblasti využití a recyklaci obalového odpadu.
- **Island** – Úrvinnslusjóður, islandský recyklační fond, jeho cílem je vytvoření ekonomických podmínek pro znovupoužití a recyklaci obalů.
- **Irsko** – Repak, je systém nakládání s obalovými odpady, který má usnadnit splnění povinností producentů obalu v oblasti využití a recyklaci obalových odpadů.
- **Itálie** – CONAI, je privátní systém navržený soukromými společnostmi, jeho cílem je řídit recyklaci a znovupoužití obalů v celé Itálii v souladu s evropskou legislativou.
- **Lotyšsko** – Latvijas Zalais Punkts, organizaci založilo 6 obalových producentů, jejichž motivací bylo čisté životní prostředí. Jejich cílem bylo vytvořit systém, který se postará o odpad z obalů, který vytvořili. Systém splňuje legislativní požadavky EU.
- **Litva** – Žaliasis taškas, 35 litevských a zahraničních firem vytvořilo systém pro tříděný sběr obalových odpadů domácností.
- **Lucembursko** – Valorlux, stará se o propagaci, koordinaci a finanční podporu sběru, třídění a recyklaci komunálního odpadu.
- **Malta** – GreenPak Ltd, zabývá se využitím odpadu, poskytuje pomoc producentům, importérům a obchodníkům.
- **Nizozemí** – Nedvang, organizace řídí holandské aktivity v oblasti obalových odpadů.
- **Norsko** – Grønt Punkt Norge AS, systém vznikl na základě oslovení soukromých společností zabývajících se zpracováním odpadových materiálů státem.
- **Polsko** – Rekopol Organizacja Odzysku S. A., organizace přebírá odpovědnost za likvidaci obalových odpadů. Průmysl a podnikatelé uvádějící obal na trh platí poplatky. Rekopol z vybraných peněz finančně a technicky podporuje svoz a recyklaci obalového odpadu, který provádějí obce. Z vybraných peněz je dále podporován vývoj recyklace a propagace třídění obalového odpadu.
- **Portugalsko** – Sociedade Ponto Verde, S.A. (SPV). SPV vznikl v listopadu 1996 jako iniciativa soukromého sektoru. Cílem bylo vytvořit integrovaný systém využití odpadu.
- **Rumunsko** – ECO-ROM AMBALAJE S. A., nezisková organizace založená v roce 2003 sdružením společností podnikajících v Rumunsku. Cílem je splnění direktivy 04/12/EC o obalech a obalových odpadech.
- **Slovensko** – Envipak, systém přebírá odpovědnost za recyklaci a využití obalového odpadu.

- **Slovinsko** – Slopak, národní systém pro zpětný odběr a využití odpadu. Provádí také registraci povinných osob.
- **Španělsko** – ECOEMBALAJES ESPAÑA, S.A. (ECOEMBES). Španělský systém pro separovaný sběr komunálního odpadu.
- **Švédsko** – Förpackningsinsamlingen, systém byl vytvořen v roce 1994 s cílem vytvořit ekologicky udržitelnou společnost. Za obaly a obalový odpad odpovídají výrobci.
- **Velká Británie** – Zde neexistuje jediná národní společnost, která by zajišťovala systém sběru a recyklace pro producenty obalů. Trh je plně otevřen všem společnostem, které chtějí zajišťovat sdruženou odpovědnost za producenty. Zaplacení poplatku za obal je značeno značkou Valpak.

4.2 Fostplus

Jako příklad zahraničního systému byl zvolen belgický Fostplus. Belgie má 10,4 miliónu obyvatel. Hustota obydlení je 327 obyvatel na km². Počet obcí je 589. Území je rozděleno na tři regiony s vlastními regionálními vládami. Za nakládání s komunálním odpadem jsou odpovědné obce.

Cílem systému bylo vytvořit spolupráci se všemi společnostmi produkujícími obaly, aby se vyváženě podílely na zodpovědnosti s jeho nakládáním. Fostplus řeší nakládání s obalovým odpadem z domácností, VAL-I-PAC řeší průmyslový obalový odpad.

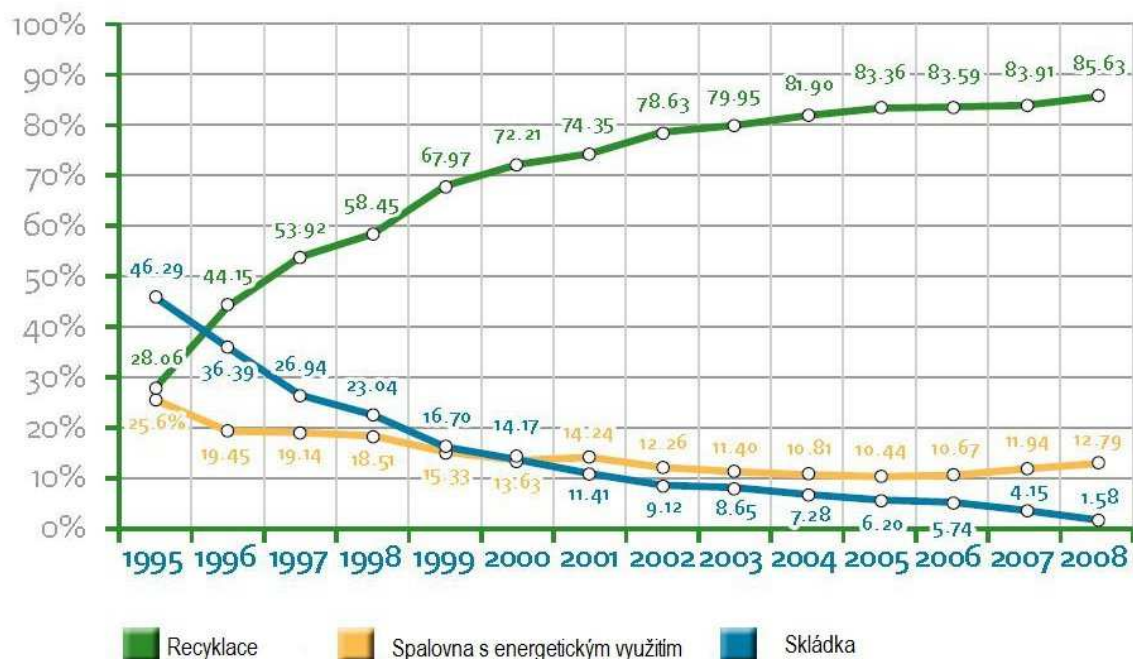


Obrázek 4 Struktura fungování systému Fostplus (zdroj [19])

Společnosti produkující obaly uzavírají smlouvu se společností Fostplus. Smlouva může být uzavřena na 1 rok, s pravidelným obnovováním. Společnosti vykazují množství vyprodukovaných obalů, za které jim Fostplus vyměří poplatek.

Obce zapojené do systému uzavírají smlouvu na 5 let. Smlouva určuje pravidla pro sběr a zpracování obalového odpadu. Administrativní dozor provádí PROFOS. Náklady na svoz a zpracování odpadu jsou firmě uhrazeny společností Fostplus. Pokud obec vypíše výběrové řízení na společnost, kterou pověří s nakládáním s odpady, je zvýhodněna. Jsou jí uhrazeny skutečné náklady a má možnost získat finanční prémii za kvalitu třídění obalového odpadu. Pokud nevypíše výběrové řízení, jsou obci uhrazeny pouze průměrné náklady.

Do systému zpětného odběru a využití obalových odpadů bylo v Belgii v roce 2008 zapojeno 5644 společností. Množství obalových odpadů domácností bylo 730kt, 117kg na osobu a rok. Za takto získaný materiál se vydělalo 43.5 miliónu eur. V roce 2008 dosáhla úroveň recyklace obalových odpadů 85%.



Obrázek 5 Vývoj recyklace obalových odpadů domácností v Belgii (zdroj [28])

Třídění a recyklace odpadu nemá jen ekologický význam, ale i sociální. Společnosti, které jsou zapojené do využívání obalových odpadů, zaměstnávají 2600 pracovníků na plný pracovní úvazek.

5 Odpadové hospodářství na území města Kolín

Nakládáním s komunálním odpadem zabezpečuje pro město Kolín pověřená firma AVE Kolín s.r.o. Firma AVE Kolín využívá PPP (Public Private Partnership) model, tedy model spolupráce soukromých firem s veřejným sektorem. Tento typ spolupráce využívá soukromých zdrojů a schopností k zajištění veřejné infrastruktury a služeb. Zúčastněné strany této spolupráce si mezi sebe rozdělí činnosti podle svých schopností, tak aby minimalizovaly rizika spojená se zajištěním veřejných služeb. Výsledkem je zvýšení kvality a efektivnosti veřejných služeb.

Do městem vlastněné a provozované společnosti Technické služby města Kolín, která zajišťovala městu odpadového hospodářství, vstoupil strategický partner z oblasti nakládání s odpady. Tímto strategickým partnerem byla společnost AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. Technické služby města Kolín se transformovaly do firmy AVE Kolín. Město Kolín si ve společnosti AVE Kolín ponechalo jen minoritní podíl a svého zástupce ve vedení. Předlužené město tak získalo peníze za prodej majoritního podílu. Zároveň získalo investora, který se zavázal investovat do rozvoje služeb spojených s odpadovým hospodářstvím. Dalším přínosem bylo zefektivnění fungování společnosti, s možností využití výhod vyplývajících ze zapojení společnosti do skupiny AVE CZ.

Společnost AVE CZ získala možnost podílet se na zajišťování odpadového hospodářství v Kolíně. Získala tak objednávku na zajištění těchto služeb na 10 let a možnost zpracovat odpad ve svých dceřiných společnostech. Například využití kapacity skládky v Čáslavi, kterou provozuje AVE CZ.

5.1 AVE CZ

Společnost AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. patří v současnosti mezi čtyři největší společnosti zabývající se odpadovým hospodářstvím v ČR. Je dceřinou společností rakouského infrastrukturního koncernu ENERGIE AG Oberösterreich Umwelt. ENERGIE AG je společný podnik hornorakouské vlády a soukromého sektoru, který se zaměřuje na zajišťování veřejné infrastruktury. Kromě odpadového hospodářství se ještě zabývá zásobováním pitnou vodou, distribucí elektrické energie a tepla. Její dceřiné společnosti jsou v Bavorsku, ČR, Jižním Tyrolsku, Maďarsku, Moldavsku, Rakousku, Rumunsku, Slovensku a na Ukrajině.

Společnosti zabývající se odpadovým hospodářstvím jsou sdruženy pod značkou AVE. Zajišťují sběr, transport, třídění, úpravu, recyklaci odpadu.

Společnost AVE CZ byla založena v roce 2004 převzetím společnosti RWE Umwelt. Nastavená expanzivní strategie růstu společnost AVE CZ proběhla ve 4 rovinách. Zprv došlo k zahuštění služeb na stávajícím trhu, dále byly vytvářeny společné podniky s městy a obcemi, akvizice konkurenčních společností a nákup zakázek na zajištění služeb v oblasti odpadového hospodářství.

Na základě této expanze dnes AVE CZ poskytuje komplexní služby v oblasti odpadového hospodářství 1.2 milionům obyvatel a 20 tisícům živnostníků. Společnost AVE CZ zpracuje 1 090 462 tun odpadu za rok.

5.2 Právní úprava nakládání s odpadem na území města.

Město Kolín upravilo podmínky pro nakládání s komunálním odpadem tak, že zastupitelstvo města Kolín dne 30.1.2006 vydalo obecně závaznou vyhlášku číslo 2/2006 o nakládání s komunálním odpadem na správním území města Kolín. Tato vyhláška je prováděcím předpisem k Zákonu číslo 185/2001 Sb., o odpadech.

Vyhláška stanovuje povinnosti fyzických osob při nakládání s komunálním odpadem na území města. Článek 2. definuje základní pojmy pro účely vyhlášky, jsou zde definice pojmů odpad, komunální odpad, nebezpečný odpad, oprávněná osoba, domácnost atd. Článek 3. ukládá povinnost dodržovat ustanovení této vyhlášky.

Ve čtvrtém článku je ustanoveno, že nakládání s komunálním odpadem provádí městem oprávněná osoba, tedy městem pověřená odpadová společnost. Tato pověřená osoba musí umožnit fyzickým osobám ukládat vytríděné složky komunálního odpadu do nádob určených k těmto účelům. Tyto nádoby mají být umístěny na sběrných místech nebo na vybraných lokalitách ve městě, které patří mezi zařízení pro ukládání komunálního odpadu. Svoz komunálního odpadu fyzických osob je prováděn za úplatu, na základě smluvního vztahu fyzické osoby s městem. Výše poplatku je určena každý rok usnesením Rady města Kolína.

Článek 5. ukládá povinnosti fyzickým osobám. Dle prvního odstavce je to povinnost třídit komunální odpad podle systému stanoveného touto vyhláškou. Což znamená ukládat do jednotlivých typů odpadových nádob jen ty druhy a složky komunálního odpadu, pro které jsou určeny. Příloha vyhlášky pak vymezuje pojem nádoby pro tříděný komunální odpad. Nádoby na tříděný odpad jsou barevně odlišeny a jsou viditelně označeny symbolem druhu odpadu, pro který jsou určeny.

Dále je definováno jak nakládat s velkoobjemovým odpadem. Článek 6 pak určuje pravidla pro nakládání se stavebním odpadem. Sankce za nedodržení povinností definovaných vyhláškou je určena podle zákona o přestupcích.

5.3 Plán odpadového hospodářství města Kolín

Město Kolín jako původce odpadů je dle zákona 185/2001 Sb., § 44, povinno zpracovat plán odpadového hospodářství (POH). Tento plán musí být v souladu s plánem odpadového hospodářství České republiky a Středočeského kraje.

Účelem plánu je stanovit výhled pro odpadové hospodářství obce. Plán stanovuje cíle a opatření obce pro předcházení vzniku odpadu, omezení jeho množství a nebezpečných vlastností. Plán také definuje opatření pro splnění závazných cílů plánu odpadového hospodářství kraje. Dále je zde popsán způsob informačního a organizačního zabezpečení odpadového hospodářství.

Plán je závazný a je platný po dobu 5 let. Město Kolín si nechalo plán vytvořit panem ing. Pavlem Novákem v červnu 2005. Při analýze výchozího stavu odpadového hospodářství byly využity údaje z evidence odpadů města za období 2001 až 2004.

Plánem vytyčené cíle město postupně plní, tak aby dosáhlo vytyčených cílů do konce roku 2010. Dále bude popsána jen část týkající se rozvoje separovaného sběru, týkající se hlavního cíle této diplomové práce.

Cíle, které bude obec realizovat v oblasti separace odpadu:

- 50% využití komunálních odpadů v roce 2010,
- úroveň separovaného sběru papíru dosáhne 55%,
- úroveň separovaného sběru skla dosáhne 80%,
- úroveň separovaného sběru plastů dosáhne 25% z obsahu ve směsném komunálním odpadu.

Plán optimalizace rozvoje separovaného sběru

Při návrhu optimalizace rozvoje separovaného sběru odpadu v plánu odpadového hospodářství Kolína byla použita metoda zónování území podle potenciálu produkce odpadů. Smyslem použití této metody bylo získání exaktních informací pro zvýšení efektivity separovaného sběru.

Metodika optimalizace pomocí zónování území podle potenciálu produkce odpadů vychází z těchto předpokladů:

- ze skladby materiálových složek směsných komunálních odpadů podle typu zástavby,
- z měrné hmotnosti separovaných složek odpadů,
- z výše nákladů a přínosů separovaného sběru,
- z podílu skladby sídlištní a venkovské zástavby v obci.

Základní dělení typu zástavby je na sídlištní a venkovskou. Každý typ zástavby v kombinaci s různou hustotou osídlení má zřetelně odlišný potenciál produkce odpadů z plochy. Jednotkou plochy je čtverec, jehož velikost je zvolena na základě požadované maximální donáškové vzdálenosti. Maximální donášková vzdálenost byla stanovena na 200 m. Hrana čtverce sítě pro zónování potenciálu produkce byla určena na 250 m. Na základě výše uvedených předpokladů lze pro každý čtverec určit předpokládanou produkci odpadů a na základě toho určit optimální postup rozvoje sběru separovaného odpadu. V praxi se jako hlavní kritéria berou typ zástavby a počet obyvatel, protože informace o skladbě materiálů v komunálním odpadu nejsou snadno dostupné.

Při volbě jaký systém sběru tříděného odpadu zvolit je důležité kritérium efektivity. Zda posuzovaná plocha má dostatečný potenciál produkce odpadu, aby byl donáškový sběr do sběrných hnízd dostatečně efektivní. Pokud tomu tak není, je výhodnější využít systému donáškového sběru do sběrných dvorů nebo pytlový odvozný sběr.

Kritérium efektivity bylo stanoveno jako převaha ekonomických přínosů nad náklady. Mezi přínosy jsou brány platby od systému EKO-KOM v nejvyšší sazbě, zisky z prodeje separovaného odpadu a úspory generované ušetřeným skládkovným za komunální odpad. Náklady jsou investice na pořízení kontejnerů a výdaje na provoz kontejnerů na oddělený sběr.

**paušál za obsluhu/pronájem/odpis kontejneru + náklady na vyvezení =<
dotace za separované odpady + úspora skládkovného za směsné KO**

Na základě kriteria efektivity byly zóny rozděleny do dvou typů podle systému obsluhy.

- Zóna typu 1 (zóna alternativních technik separace) – v této zóně se nevyplatí donáškový sběr do svozných hnízd, za daných předpokladů o přínosech a nákladech. V maximální donáškové vzdálenosti v čtvercové ploše o hraně 250 m není dostatek dosažitelné produkce odpadu. Dosažitelná produkce odpadu je určena podle metodického návodu zákona o obalech. Určuje se vynásobením produkce odpadu konstantou pro jednotlivé separované komodity. Plast 0.25, papír 0.55, sklo 0.8.
- Zóna typu 2 (zóna nádobové separace) – zóna, kde se za stejných předpokladů o dosažitelné produkci vyplatí separovaný sběr do svozných hnízd. V této zóně je možné zvolit různé strategie rozmístění separačních kontejnerů.
 - 1 kontejner do čtverce 250x250 m
 - 2 až 4 kontejnery do čtverce 250x250 m
 - Odvozový způsob, 5 a více kontejnerů

Při provádění metody zónování bylo, pro zjištění počtu obyvatel ve čtvercové ploše, využito dat z evidence obyvatel a údaje z územního plánu. Po zjištění počtu osob v zóně, byl proveden výpočet nákladů a výnosů.

Na základě zjištěných informací byly pro jednotlivé typy zón navrženy tyto doporučení:

- Pro zóny typu 1, zavést pytlový sběr, podpořit využití sběrného dvora, provést informační kampaň o změnách systému separace odpadu. Přemístit zde dříve umístěné kontejnery do zóny typu 2, kde bude umožněn jejich efektivní provoz.
- Pro zóny typu 2, doplnit osazení kontejnery pro danou komoditu, tam kde se to vyplatí. Realizovat informační kampaň v daných lokalitách, která bude zaměřena na separaci komodit podle přidaného typu nádoby. V případě vhodnosti přikročit k rozmístění kontejnerů do míst umístění kontejnerů na směsný odpad, tak aby donášková vzdálenost byla stejná. Zajistit dostatečnou kapacitu sběrných hnízd, pokud to není z prostorových důvodů možné zvýšit četnost obsluhy.

5.4 Současný stav sběru separovaného odpadu z domácností v Kolíně

Město Kolín je jako samosprávná obec podle zákona o odpadech zodpovědná za řádné nakládání s odpadem. Svozové oblasti odpadů jsou městské části 1. až 6. a připojené příměstské vesnické části Sendražice, Štítary, Štářalka, Zibohlavy. Typ zástavby je reprezentován bytovými domy městského typu v sídlištní zástavbě, zástavbou rodinných domů a zástavbou typicky vesnickou.

5.4.1 Druh použitého systému

Sběr separovaného odpadu je prováděn pomocí veřejných sběrných hnízd a sběrných dvorů. Pytlový sběr se neprovádí, protože na základě pilotního projektu se zjistilo, že není za současného stavu efektivní. Důvodem je nadstandardní počet sběrných dvorů a zvyklost jejich častého využívání obyvateli. Redukce sběrných dvorů a úspora

nákladů na jejich provoz není politicky průchodná, protože jen diskuse na toto téma vyvolala bouřlivou vlnu záporných reakcí obyvatel.

Části města kde je prováděn sběr pomocí sběrných hnízd, byly stanoveny na základě výsledků metody zónování území podle potenciálu produkce odpadů a výsledků pilotního projektu sběru pomocí sběrných hnízd. Dále se přihlédlo k připomínkám občanů a k praktickým znalostem o svozu komunálních odpadů zaměstnanců Technických služeb města Kolín. Zejména se jednalo informace o množství a struktuře odpadu, které zaměstnanci získali pozorováním při nakládáním s odpadem.

Sběrná hnízda

Rozmístění sběrných hnízd prošlo vývojem. Samotný začátek separace odpadu začal v roce 2001, kdy byly rozšířeny funkce sběrných dvorů o separaci obalových odpadů. Následoval pilotní projekt separace pomocí sběrných hnízd na sídlišti. Nejdříve se separoval plast a netříděné sklo, později se přidal sběr papíru a začal oddělený sběr bílého a barevného skla. Informace o průběhu projektu se vyhodnotily a na jejich základě město investovalo do nákupu a rozmístění dalších kontejnerů. Město do rozvoje sběrných hnízd neinvestovalo významné částky, takže jejich počet neumožňoval docílit efektivního třídění komunálních odpadů domácností. Po připojení k systému EKO-KOM, počet sběrných hnízd vzrostl, protože EKO-KOM a zároveň středočeský kraj začaly rozvoj sběrných hnízd dotovat. Následně byl celý systém sběru separovaného odpadu optimalizován tak, aby bylo dosaženo cílů KOH Kolín v oblasti třídění odpadů.

Výsledkem optimalizace je rozmístění sběrných hnízd na sídlištích, v centru města a v okolí míst s větším pohybem obyvatel, např. v okolí nákupních center nebo návsí. V ostatních oblastech jsou využívány sběrné dvory. Lokality, do které jsou kontejnery sběrného hnízda umístěny, jsou vybrané kryté sídlištní přístřešky pro komunální odpad a veřejná prostranství v majetku města. Veřejným prostranstvím jsou chodníky, trávníky, případně plochy u parkovišť. Skutečné rozmístění kontejnerů na veřejná prostranství je podmíněno dostatečným potenciálem vzniku odpadu v docházkové oblasti a limitujícími podmínkami. Kontejnery nesmí bránit dopravě, tzn. nesmí vadit ve výhledu. Kontejnery nesmí hyzdit své okolí, např. umístění kontejnerů na náměstí v historickém centru města není žádoucí. Kontejnery dále nesmí zhoršovat životní podmínky lidem bydlícím v bezprostředním okolí sběrného hnízda.

V místech, která nejsou obsluhována sběrnými hnízdy, je využita síť sběrných dvorů.

Sběrné dvory

Sběrné dvory původně sloužily pouze ke sběru velkoobjemového a nebezpečného odpadu z domácností. Jak již bylo zmíněno, byla jejich funkce rozšířena i o separovaný sběr obalových odpadů. Rozmístění sběrných dvorů je definováno principem mít každou městskou část obslouženu jedním sběrným dvorem. Seznam sběrných dvorů je uveden níže. V případě, že v dané městské části nebylo z prostorového důvodu možné dvůr zřídit, byl vybudován nedaleko hranic městské části, většinou poblíž hlavní komunikace.

Seznam sběrných míst (sběrné dvory)

- Kolín 2 – ul. U Kůlen
- Kolín 3 – ul. Jateční
- Kolín 5 – ul. Sadová (u objektu sportoviště "AFK")
- Kolín 5 – ul. Mnichovická
- Kolín 6 – ul. Na Svobodném (Výfuk)
- Kolín 9 (Sendražice) – ul. Školní
- Zibohlavy – ul. K Louži

5.4.2 Druhy separovaných odpadů

Druhy separovaných odpadů vycházejí ze skladby produkce odpadů obsluhované oblasti a z poptávky zpracovatelských firem. Sběrná hnízda jsou pak na základě struktury produkce osazena různou kombinací kontejnerů pro separované materiály. Pomocí sběrných hnízd se separuje papír, bílé a barevné sklo, plasty, plastové lahve PET a nápojové kartóny Tetra pack. Sběrná dvory přijímají všechny zmíněné druhy a ještě navíc železný odpad.

Nádoby, kterými jsou jednotlivá sběrná hnízda osazena, jsou speciální nádoby, upravené pro jednotlivé materiály. Viz obrázek.



Obrázek 6 Sběrné hnízdo (zdroj [20])

Každý druh separovaného materiálu má vyhrazenou svoji barvu nádoby. Papír modrou, plast žlutou, barevné sklo zelenou, bílé sklo bílou, nápojové kartóny oranžovou. Každá nádoba je označena informační samolepkou. Na samolepce je uvedeno, co se smí do nádoby dát, informace je doplněna i názornými ilustracemi.

Sběrné nádoby jsou hlavně kontejnery o objemu 1100 litrů. Pro sklo se využívá zvonová nádoba o objemu 1400 litrů. Zvony jsou postupně při obnově nádob na sklo nahrazovány kontejnery. Nevýhodou zvonů, je složitější manipulace při svozu a nutnost využití dalšího speciálního vozidla s hydraulickým ramenem.

5.4.3 Svoz separovaného odpadu

Svoz separovaného odpadu ze sběrných hnízd realizuje společnost AVE Kolín pomocí vozu Mercedes-Benz Actros 2532 L. Tento popelářský vůz slouží pro svoz komunálního odpadu a separovaného odpadu z kontejnerů. Žádný svozný vůz není speciálně vyčleněn na svoz separovaného odpadu. Po svozu smíšeného komunálního odpadu je technika využita další směnou pracovníků ke svozu separovaného odpadu.



Obrázek 7 Svozný vůz Mercedes-Benz Actros 2532 L (zdroj [21])

Popelářský vůz dokáže separovaný odpad z kontejnerů zhutnit, takže je možné akumulovat více odpadů. Z pozorování obsluhy vozu vyplývá, že se do jednoho vozu vměstná odpad přibližně ze 100 kontejnerů.

Svoz skla je realizován jiným druhem techniky, z důvodu odlišné manipulace při vysypávání zvonů se sklem. Pro svoz je proto používán Mercedes-Benz Atego 1018 vybavený hydraulickou rukou pro manipulaci se zvonem.

Četnost svozu je z jednotlivých sběrných hnízd, respektive nádob dána intenzitou produkce odpadu. Hnízda, kde z prostorového důvodu není možné umístit více nádob, jsou častěji obsluhována. Naopak sběrná hnízda v okrajových oblastech s malou produkcí odpadu jsou obsluhována v delších časových intervalech.

Každý druh odpadu má jinou intenzitu produkce. Největší intenzitu produkce mají plastové obalové odpady. Sváží se proto 2x týdně. Pondělní svoz má velikost přibližně 2,4 t, čtvrteční svoz 2,9 t. Papír se sváží vždy ve středu. Sklo, kterého je nejméně se sváží jednou za 14 dní.

Kapacita svozného vozu umožňuje svézt jednotlivé komodity vždy najednou. Svozné vozidlo vyjíždí ze sídla společnosti AVE Kolín v Husově ulici, což je v blízkosti centra města. Po dokončení objížďky svozné trasy se vrátí svozné vozidlo zpět do sídla společnosti, odkud poté jede nejkratší cestou ke smluvnímu zpracovateli obalového odpadu. Papír a nápojové kartóny se odvázejí na dotřídňování do pobočky společnosti AVE v Kutné Hoře. Plasty recykluje firma A. Slonová z Kaňku u Kutné Hory.

Svoz ze sběrných hnízd je časově limitován. Z důvodu parkujících vozidel jej nelze na sídlišti provádět brzy ráno. Součástí svoznové trasy je i svoz živnostenských odpadů. Zde zase není z důvodu pracovní doby možný svoz odpoledne. Proto se sváží jen dopoledne. Z důvodu špatné dopravní situace je svoz rozdělen do čtyř kvadrantů, tak aby se svozný vůz vyhnul přetíženým páteřním komunikacím, kde svozná vozidla často uvázla.

Jednotlivé části svozových oblastí jsou znázorněny na obrázku mapy Kolína. Hranice oblastí jsou představovány silnicemi prvních tříd. Oblast mezi ulicí Třídvorskou a Ovčáreckou není obsluhována, jedná se o starou opuštěnou průmyslovou zónu bez produkce obalových odpadů z domácností.



Obrázek 8 Mapa Kolína s vyznačením svozových oblastí

Jelikož počet sběrných hnízd postupně narostl, není v současné době svozná trasa sběrných hnízd optimalizována a řidiči jezdí podle svých zkušeností.

Následující kapitola obsahuje stručný úvod do Teorie grafů, s definicí klíčových pojmů, které tvoří matematický aparát pro řešení úlohy svozu komunálního odpadu.

6 Teoretické řešení dopravních problémů na dopravní síti

Svoz separovaného odpadu ze sběrných hnízd je jednou z variant dopravního problému na dopravní síti. Použitím vhodné optimalizační metody lze dosáhnout optimálního nebo suboptimálního řešení této úlohy. Výsledkem řešení úlohy je snížení nákladů, snížení škodlivých vlivů na životní prostředí a zkvalitnění poskytované služby.

Dopravní problém lze řešit v rámci dopravního systému pomocí metod operačního výzkumu. Pro získání optimálního řešení lze využít metody a algoritmy teorie grafů.

6.1 Dopravní systém

Dopravní systém je systém pro hromadné přemísťování hmotných nebo nehmotných zásilek po síti. V našem případě se jedná o systém silniční dopravy na katastrálním území města Kolína. Dopravní systém se skládá z pevného, pohyblivého a řídicího podsystému.

Pevný podsystém je dopravní síť představující dopravní infrastrukturu. Jen po této dopravní síti se mohou pohybovat vozidla svážející separovaný odpad. Dopravní síti jsou v našem případě komunikace na území města. Síť je tvořena vrcholy a hranami. Vrcholy sítě představují křižovatky a koncové body slepých ulic. Hrany tvoří úseky silnice spojující vrcholy.

Pohyblivý podsystém je tvořen dopravním proudem. V rámci dopravního proudu se pohybují jednotlivé zásilky nebo vozidla. Každý objekt dopravního proudu má vlastní dynamiku pohybu. V našem případě je pohyblivý podsystém tvořen svozným vozem.

Řídicí podsystém ovládá dopravní systém. Jedná se o řízení provozu na dopravní síti, řidiče jednotlivých svozných vozů, dispečera plánujícího svoznou trasu.

6.2 Druhy metod řešení

Exaktní metody poskytují vždy optimální řešení. Tento druh metod spočívá v prověření všech přípustných variant řešení. Na základě výpočtu všech řešení jsou porovnány jejich výsledky a je zvoleno řešení s nejlepší hodnotou výsledku, tedy hodnotou hodnotícího kritéria. Např. cesta s nejmenší ujetou vzdáleností vozidla z výchozího bodu do cílového bodu. Pro složité a rozsáhlé dopravní úlohy není využití exaktních metod právě vhodné. Výpočet všech přípustných řešení by byl příliš výpočetně náročný. V takovémto případě je lepší využít některou metodu heuristickou.

Heuristické metody nezjišťují všechny varianty řešení, využívají rychlejší techniky získání řešení. Smyslem je získat rychle dostatečně dobré řešení.

Heuristické algoritmy využívají celou řadu různorodých principů. Celá řada algoritmů pracuje tzv. hladovým způsobem. Řešení se vytváří (konstruuje) postupně a v každém kroku se algoritmus snaží o co největší zlepšení účelové funkce, popřípadě o co největší úsporu. Úlohy, v nichž hladový postup zaručeně vede k optimálnímu řešení, jsou ale spíše výjimečné.^[7]

Některé heuristické algoritmy využívají náhody. Řešení několikrát opakují a z takto získaných řešení poté vyberou to nejlepší.

Další skupina heuristických algoritmů využívá tzv. lokální prohledání. Algoritmus vezme nějaké stávající řešení (zpravidla získané nějakou jinou heuristikou) a systematicky

je pozměňuje, tedy v jistém smyslu prozkoumává okolí stávajícího řešení. Pokud některé z pozměněných řešení je lepší než řešení stávající, prohlásí toto lepší řešení za stávající a pokračuje průzkumem okolí tohoto nového řešení. Toto se opakuje, dokud se daří řešení zlepšovat nebo pokud nenajdeme řešení, jehož kvalita nám postačuje.^[7]

Lokální průzkum lze vylepšit použitím náhody. Můžeme průzkum opakovat pro náhodně zvolená počáteční řešení nebo zkusit akceptovat s určitou pravděpodobností zhoršení účelové funkce, s předpokladem že později objevíme celkově lepší řešení.

Další možností vylepšení metody lokálního průzkumu je využití metody větví a mezí. Prohledáváme tak menší počet řešení, což vede k urychlení algoritmu.

Heuristické algoritmy jsou vytvořeny na míru pro určitý typ úloh. Jejich úspěšnost je dána tím, jak se povede využít specifických rysů daného typu úlohy. Při volbě algoritmu závisí i na zkušenosti i citu analytika pro řešený úkol.

Výsledkem heuristických algoritmů není nalezení optimálního řešení, ale pouze suboptimálního řešení. U rozsáhlejších úloh je však zpravidla suboptimální řešení blízko optimu.

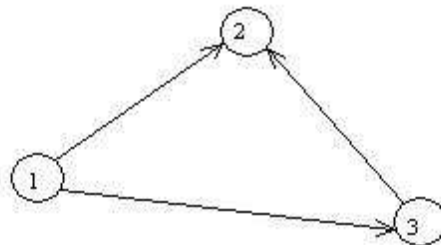
6.3 Základní pojmy teorie grafů

Model dopravní sítě znázorňuje v teorii grafů graf. Graf se skládá z vrcholů a hran. Hrana spojuje vždy dva vrcholy a může být orientovaná nebo neorientovaná. U hran orientovaných se rozlišuje počáteční a koncový vrchol, tedy hrana vede z počátečního do koncového vrcholu. Grafické znázornění grafu je na následujícím obrázku.

Neorientovaný graf je definován uspořádanou trojicí $G=(V, X, p)$. Prvky množiny V jsou vrcholy grafu G , prvky množiny X hranami grafu G . Incidence p grafu G je zobrazení množiny X na množinu všech neuspořádaných dvojic (u, v) , kde $u, v \in V$.

Incidence p grafu G přiřazuje každé jeho hraně neuspořádanou dvojici vrcholů: je-li incidence hrany $h \in X : p(h) = (u, v)$ hovoříme, že hrana h inciduje s vrcholy u a v . Pak Vrcholy $u, v \in V$ nazýváme krajními vrcholy hrany h .^[3]

Orientovaný graf je definován uspořádanou trojicí $D=(V, Y, p)$. Prvky množiny V jsou vrcholy grafu D . Množina hran Y je tvořena uspořádanými dvojicemi $[u, v]$ prvků množiny V , přičemž $u \neq v$ a každá taková dvojice se vyskytuje v množině Y nejvýše jednou. Prvky množiny Y nazýváme orientovanými hranami.^[3]



Obrázek 9 Orientovaný graf

Mohutnost množiny vrcholů je značena $n = |V|$, mohutnost množiny hran je značena $q = |X|$.

Stupeň vrcholu udává počet hran incidujících s vrcholem $v \in V$ a označuje se $st(v)$.

Graf je prostý pokud neobsahuje rovnoběžné hrany, tedy hrany se shodnou množinou krajních vrcholů. Pokud graf obsahuje rovnoběžné hrany, jedná se o **multigraf**. Pokud graf neobsahuje smyčku, jedná se o obyčejný graf. Smyčka je hrana, která má vrchol $u = v$.

Kompletní graf, je takový graf jehož každý vrchol je přilehlý k ostatním vrcholům grafu.

Vrcholově (hranově) ohodnocený graf, je takový graf, pro který existuje funkce $o(v)$, respektive $o(h)$, která přiřadí každému vrcholu $v \in V$ (hraně $h \in X, Y$) nezáporné číslo vyjadřující určitou kvantitativní vlastnost vrcholu (hrany). Graf může být vrcholově i hranově ohodnocený.^[3] V případě naší dopravní úlohy je graf hranově ohodnocený délkou hrany mezi vrcholy u, v hrany h .

Graf je souvislý, pokud mezi libovolnou dvojicí jeho vrcholů u, v existuje alespoň jedna cesta.^[3]

Sled S grafu G mezi vrcholy $u, v \in V$, je posloupnost $S = \{u_0, h_1, u_1, h_2, u_2, \dots, u_{n-1}, h_n, u_n\}$, kde $h_i \in X, p(h_i) = (u_{i-1}, u_i)$ pro $i = 1, \dots, n$, $u_i \in V$ pro $i = 1, \dots, n$, $u_0 = u, u_n = v$. Vrcholy u, v jsou krajními vrcholy sledu, přičemž u je počátečním, v koncovým vrcholem sledu; vrcholy u_1, u_2, \dots, u_{n-1} , jsou vnitřními vrcholy sledu, n nazýváme délkou sledu S .

Sled ve kterém se neopakuje žádná hrana nazýváme **tahem**.

Tah ve kterém se neopakuje žádný vrchol nazýváme **cestou**. Cestu mezi dvěma vrcholy $u, v \in V$ označujeme $m(u, v)$.

Jestliže $u_0 = u_n$, hovoříme o uzavřeném sledu, tahu nebo cestě.^[3]

Dráha je orientovaná cesta tvořená orientovaným sledem, ve kterém se neopakuje žádný vrchol. Orientovanou cestu značíme $m[u, v]$.

Délka cesty mezi dvěma vrcholy $u, v \in V$ hranově ohodnoceného grafu je definována jako: $|m(u, v)| = \sum_{h \in m(u, v)} o(h)$.^[3]

Vzdálenost dvou vrcholů $u, v \in V$ grafu $G(V, X, p)$ je definována:

$$d(u, v) = \min_{m(u, v) \in M} \left\{ \sum_{h \in m(u, v)} o(h) \right\},$$

kde $o(h)$ je ohodnocení hrany $h \in X$ vyjadřující její délku a M je množina všech cest mezi vrcholy u a v .^[3]

Maticový zápis grafů

Matice přilehlosti (sousednosti) neorientovaného grafu $G=(V, X, p)$, kde $|V|=n$, nazýváme matici $V = (v_{ij})_{i,j=1}^n$ definovanou následovně:

- $v_{ij}=0$, jestliže neexistuje hrana (v_i, v_j) ,
- $v_{ij}=1$, jestliže existuje hrana (v_i, v_j) .

Vlastnosti matice přilehlosti:

- řádkové součty matice $\sum_{j=1}^n v_{ij} = st(v_i)$, pro $j=1, \dots, n$ vyjadřují stupeň vrcholu v_i ,
 - sloupcové součty matice $\sum_{i=1}^n v_{ij} = st(v_j)$, pro $i=1, \dots, n$ vyjadřují stupeň vrcholu v_j .
- [3]

Matice incidence $B = (b_{ij})_{i,j=1}^{n,m}$ definovaná následovně:

- $b_{ij}=0$, jestliže $v_i \notin p(h_j)$,
- $b_{ij}=1$, jestliže $v_i \in p(h_j)$.

Vlastnosti matice incidence:

- řádkové součty matice $\sum_{j=1}^m b_{ij} = st(v_i)$, pro $i=1, \dots, n$ vyjadřují stupeň vrcholu v_i ,
- sloupcové součty matice $\sum_{i=1}^n b_{ij} = 2$, pro $j=1, \dots, m$ vyjadřující incidenci hrany h_j .

Pro hrany $h \in X$ grafu G , značeno jako h_1, h_2, \dots, h_m . [3]

Matice přímých vzdáleností $D = (d_{ij})_{i,j=1}^n$ pro hranově ohodnocený neorientovaný graf:

- $d_{ij}=o(h)$, jestliže $\exists h \in X$, pro kterou $p(h) = (v_i, v_j)$,
- $d_{ij}=\infty$, jestliže neexistuje $h \in X$, pro kterou $p(h) = (v_i, v_j)$,
- $d_{ij}=0$, pro $i=j$.

Každé hraně $h \in X$ je přiřazena hodnota $o(h)$, která vyjadřuje její délku.

6.4 Metody pro stanovení optimálních tras

Metody hledání optimálních cest grafem lze rozdělit podle typu dopravních úloh na:

- hledání minimální cesty grafem tak, aby se vozidlo dostalo z výchozího bodu do koncového bodu s minimálními náklady (vzdálenost, čas),
- hledání optimální trasy pro obsluhu všech hran grafu,
- hledání optimální trasy pro obsluhu všech vrcholů grafu,

- stanovení okružních jízd, pro případ že vozidlo není z kapacitních důvodů schopno obsloužit všechny vrcholy grafu najednou.

6.5 Nalezení minimální cesty

Jednou ze základních typů úloh hledání optimálních cest na grafech je úloha o hledání nejkratší cesty. Při řešení této úlohy předpokládáme, že dopravní síť je schematicky znázorněna grafem, který je neorientovaný, souvislý a hranově ohodnocený.

Úlohy o hledání minimální cesty můžeme rozdělit na:

- hledání nejkratší cesty ze zvoleného počátečního vrcholu do koncového vrcholu,
- hledání nejkratší cesty z počátečního (koncového) vrcholu do všech ostatních vrcholů grafu,
- hledání minimální cesty mezi libovolnými dvěma vrcholy grafu.

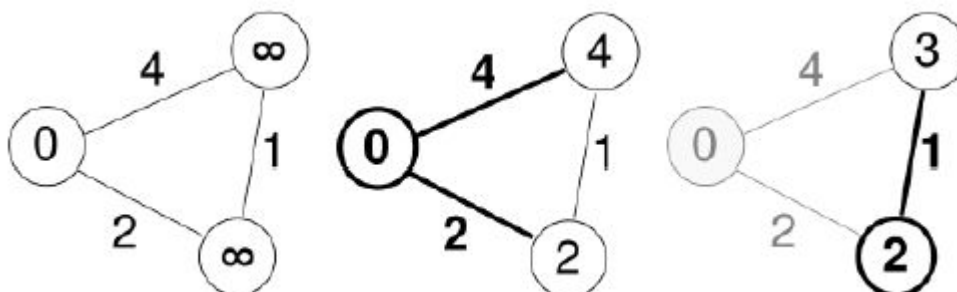
Pro řešení prvních dvou typů úloh se používá algoritmus, který navrhl nizozemský informatik Edsger Dijkstra. Pro grafy se záporným ohodnocením hran se používá pomalejší Bellman-Fordův algoritmus.

Pro nalezení minimální cesty mezi libovolnými vrcholy se používá Floydův algoritmus.

6.5.1 Dijkstrův algoritmus

Dijkstrův algoritmus slouží k nalezení minimální cesty. Funguje nad kladně hranově ohodnoceným grafem. Algoritmus je konečný (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém průchodu cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá právě jeden uzel, průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů.^[4]

Efektivita řešení úlohy je závislá na zvolených implementačních prostředcích pro zadaná vstupní data reprezentující graf. Nejjednodušší implementace využívá pole pro realizaci prioritní fronty obsahující sousední vrcholy. V tomto případě je asymptotická časová složitost $O(|n|^2 + |m|)$, kde $|n|$ je počet vrcholů a $|m|$ je počet hran. Pro řídké grafy, s počtem hran mnohem menším než $|n|^2$, může být Dijkstrův algoritmus implementován mnohem efektivněji s využitím binární nebo Fibonacciho haldy. V případě využití binární haldy je asymptotická časová složitost $O((|n| + |m|) \log |n|)$, s využitím Fibonacciho haldy se asymptotická časová složitost sníží na $O(|n| + |m| \log |n|)$.^[4]



Obrázek 10 Běh Dijkstrtova algoritmu (zdroj [4])

Popis algoritmu: [3]

1. V grafu zvolíme počáteční vrchol cesty u a koncový vrchol cesty v .
2. Všem vrcholům grafu přiřadíme počáteční ohodnocení t . Ohodnocení vrcholu udává vzdálenost daného vrcholu od počátečního vrcholu. Počátečnímu vrcholu nastavíme hodnotu ohodnocení vrcholu na 0 , ostatním vrcholům nastavíme ohodnocení na nekonečno.
3. V grafu hledáme dvojici přilehlých vrcholů $v_i, v_j \in V$ pro kterou platí že:
 $t_j - t_i > o(v_i, v_j)$
 - a. pokud dvojice vrcholů existuje, potom ohodnocení t_j nahradíme ohodnocením: $t_j = t_i + o(v_i, v_j)$, dále položíme $t_j = t_j$ a následuje návrat na krok 3.
 - b. pokud dvojice vrcholů neexistuje, následuje přechod na krok 4.
4. Hodnota t_n udává délku minimální cesty $m^*(v_0, v_n) \in M : t_n = \sum_{h \in m^*(u,v)} o(h)$

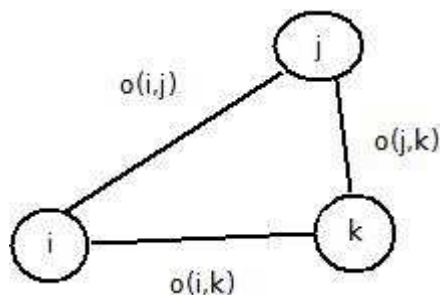
Rekonstrukce cesty (určení, kterými vrcholy a hranami cesta vede)

5. Rekonstrukci cesty zahájíme v koncovém vrcholu cesty v , který označíme a zařadíme do množiny Z . Množina Z obsahuje vrcholy již zařazených do cesty.
 - a. Určíme množinu sousedů vrcholu v . Z této množiny vyloučíme vrcholy již zařazené do množiny Z .
 - b. Z prvků množiny vybereme vrchol pro který platí, že rozdíl ohodnocení vrcholů se rovná ohodnocení hrany incidující s oběma vrcholy.
6. Zjistíme, jestli se předchůdce koncového vrcholu shoduje s počátečním vrcholem cesty. Může nastat situace:
 - a. Vrcholy se shodují, pokračujeme krokem 7.
 - b. Vrcholy se neshodují, zařadíme předchůdce do množiny Z , a pokračujeme krokem 5a s předchůdcem zpracovaného vrcholu.
7. Uvedený postup vede k posloupnosti vrcholů ležících na minimální cestě.
8. Z posloupnosti vrcholů sestavíme hledanou minimální cestu.

6.5.2 Floydův algoritmus

Floydův algoritmus se používá pro nalezení nejkratší cesty mezi libovolnými dvěma vrcholy grafu. Výsledkem běhu Floydova algoritmu je distanční matice (matice vzdáleností). S využitím distanční matice a matice přímých vzdáleností lze určit minimální cestu mezi vybranými dvěma vrcholy.

Asymptotická časová složitost algoritmu je kubická, $O(n^3)$. Při počítání k -té úrovně můžeme přepsat informace vytvořené $(k-1)$ úrovní a dosáhnout kvadratické složitosti, $O(n^2)$. [6]



Obrázek 11 Vysvětlení k popisu Floydovu algoritmu (zdroj [5])

Popis algoritmu:^[5]

Hrana (i,j) patří do minimální cesty tehdy, pokud nevede minimální cesta jinudy.

$$o(i,k) + o(j,k) < o(i,j).$$

(1)

1. Sestavení matice přímých vzdáleností C , přičemž pro prvky c_{ij} této matice platí:
 - a. $c_{ij} = 0$ pokud $i = j$,
 - b. $c_{ij} = o(i,j)$ pokud $i \neq j$ a hrana spojující uzly i, j existuje,
 - c. $c_{ij} = \infty$ pokud $i \neq j$ a hrana spojující uzly i, j neexistuje.
2. Zavedeme pomocnou proměnnou k a položíme $k = 1$. Tato proměnná představuje index vrcholu, přes který provádíme přepočty.
3. Provedeme přepočty jednotlivých prvků c_{ij} matice C podle pravidla $c_{ij} = \min\{c_{ij}, c_{ik} + c_{kj}\}$, přičemž nepočítáme prvky matice, pro které platí $i = j$ (hlavní diagonála matice), prvky, pro které platí $i, j = k$ (leží v řádku či sloupci s indexem k), a prvky $i \neq k$ a $j \neq k$, pro které $c_{ik} = \infty$ a $c_{kj} = \infty$.
4. Pokud $k < n$ (n je počet vrcholů grafu), potom položíme $k = k + 1$ a vracíme se zpět ke kroku 3. Je-li $k = n$, je výpočet ukončen a poslední získaná matice je hledanou maticí vzdáleností.

6.6 Eulerovský tah

Eulerovský tah lze prakticky využít při řešení typu dopravních úloh, kdy hledáme optimální trasu takovou, že projdeme všechny hrany grafu pouze jednou.

Nejznámějším příkladem využití hledání uzavřeného Eulerovského tahu je tzv. úloha čínského poštáka. Pošták vyjde z poštovního úřadu (výchozí vrchol), projde každou ulicí ve svém rajónu a po skončení roznášky se vrátí zpět na poštu. Cílem je obejít celý rajón, aniž by pošták musel zbytečně procházet některými ulicemi vícekrát. Obdobný případ je hledání optimální trasy čistícího vozu, kdy není žádoucí projíždět již vyčištěnými ulicemi.

Eulerovský graf je graf ve kterém lze nalézt Eulerovský tah.

Eulerovský tah je tvořen posloupností vrcholů a hran grafu, každá hrana grafu se v Eulerovském tahu vyskytuje právě jednou. Eulerovský tah může být uzavřený nebo otevřený.^[8]

Uzavřený eulerovský tah lze sestavit pomocí Fleuryho algoritmu na grafu, který má všechny vrcholy sudého stupně. Tah projde každou hranou grafu právě jednou, začíná i končí ve stejném vrcholu.^[8]

Otevřený Eulerovský tah se konstruuje na grafu, který má právě dva vrcholy lichého stupně. Začíná v jednom z vrcholů lichého stupně, projde každou hranou grafu právě jednou a vrátí se do druhého z vrcholů lichého stupně. Také při konstrukci otevřeného eulerovského tahu v grafu se dvěma vrcholy lichého stupně lze použít upravený Fleuryho algoritmu.

V případě že graf má sudý počet vrcholů lichého stupně nelze vytvořit eulerovský tah, ale jen Eulerovský sled. Eulerovský sled je tvořen posloupností vrcholů a hran grafu, některé hrany se ale ve sledu vyskytují vícekrát. Je-li graf hranově ohodnocený má smysl hovořit o minimálním Eulerovským sledu, tedy o sledu s minimálním součtem ohodnocení hran. Správným výběrem hran, po kterých se musí projít dvakrát, se minimalizuje nákladová funkce.

6.6.1 Fleuryho algoritmus

1. Konstrukci eulerovského tahu začneme v libovolném vrcholu grafu. Vybereme libovolnou hranu incidující s tímto vrcholem a projdeme jí. Prošlou hranu označíme.
2. Při průchodu do vrcholu $v_i \in V$ grafu nikdy nepoužijeme hranu, která je v dané situaci mostem, jehož odstraněním by se graf složený z dosud neoznačených hran rozpadl na:
 - netriviální komponenty,
 - netriviální komponenty a vrchol, ve kterém tah začíná.^[3]

6.6.2 Edmondsův algoritmus

1. V grafu $G=(V,X)$ určíme vrcholy lichého stupně v počtu $2t$, $t \geq 1$. Proměnná t udává počet dvojic lichého stupně.
2. Sestrojíme kompletní graf K_{2t} (jeho vrcholy jsou vrcholy lichého stupně grafu G)
3. Hrany kompletního grafu ohodnotíme vzdáleností příslušných vrcholů v grafu G .
4. Určíme párování minimální délky.
5. Hrany minimálního párování přiřadíme do původního grafu mezi příslušné vrcholy, vznikne graf (případně multigraf), který je Eulerovým grafem.
6. V grafu z kroku 5. kroku sestrojíme uzavřený Eulerovský tah Fleuryho algoritmem. Tento tah je Eulerovým tahem minimální délky.
7. V Eulerově tahu nahradíme každou hranu párování odpovídající cestou minimální délky. Dostaneme sled, který je uzavřený Eulerovský sled minimální délky pokrývající hrany grafu.^[3]

6.7 Hamiltonovské cesty a kružnice

Úlohy nalezení Hamiltonovské cesty nebo kružnice lze využít pro řešení dopravních úloh, kdy potřebujeme nalézt cestu grafem takovou, že navštívíme všechny vrcholy grafu právě jednou.

Rozlišujeme tyto typy úloh:

- najít Hamiltonovskou kružnici (cyklus)- tzv. úloha obchodního cestujícího,
- najít Hamiltonovskou cestu mezi libovolnými dvěma vrcholy,
- najít Hamiltonovskou cestu, jejíž krajní vrchol je fixován,
- najít Hamiltonovskou cestu, jejíž oba krajní vrcholy jsou fixovány.^[9]

Graf je Hamiltonovský, když v něm existuje Hamiltonovská kružnice.

Hamiltonovská cesta v grafu G je cesta, která obsahuje každý uzel grafu G právě jednou.^[9]

Hamiltonovská kružnice (cyklus) v grafu G je kružnice, která prochází každým uzlem grafu, a její počáteční a koncový uzel totožný.^[9]

Nutnou podmínkou pro existenci Hamiltonovské kružnice je, že musí obsahovat alespoň 3 vrcholy, nesmí obsahovat most, artikulaci a vrcholy stupně 1.^[3]

Aby Hamiltonovská kružnice v grafu existovala, musí být splněna kromě nutné podmínky ještě některá z postačujících podmínek:

- Každý vrchol má stupeň alespoň $\frac{1}{2}n$, pro $n \geq 3$ (Diracova podmínka).
- Každá dvojice nepřilehlých vrcholů má součet stupňů alespoň n , pro $n \geq 3$ (Oreho podmínka).^[10]

- $\delta_k < k$, kde k je každé přirozené číslo z intervalu $\left(0, \frac{n}{2}\right)$, n je počet vrcholů grafu a δ_k je počet vrcholů grafu se stupněm maximálně k . (Pósova podmínka)^[10]

Zjistit, zda graf je hamiltonovský je úloha patřící do třídy NP-obtížných problémů. Čím více má graf při daném počtu vrcholů hran, tím větší je naděje, že bude hamiltonovský. Nejjednodušší situace je u úplných grafů - úplný graf (s aspoň třemi vrcholy) je vždy hamiltonovský.^[11]

Minimální (maximální) Hamiltonovská kružnice je taková Hamiltonovská kružnice, jejíž součet ohodnocení hran je minimální (maximální).^[3]

6.7.1 Heuristický algoritmus hledající Hamiltonovu kružnici

1. Počáteční krok. Jako počáteční vrchol sestavované hamiltonovské cesty zvolíme libovolný vrchol v grafu. Označme ho u_{i1} .
2. Průběžný krok: Nechť je již sestavená určitá část cesty a ta nechť je tvořena vrcholy $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}$ Nyní mohou nastat případy:
 - a. $k < n$ (cesta ještě neobsahuje všechny vrcholy). Jestliže poslední vrchol v cestě u_{ik} má souseda- vrchol u_{ik+1} , který není doposud v cestě obsažen $u_{ik+1} \neq u_{ij}, j=1, 2, \dots, k$, pak tento vrchol přidáme k cestě $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}, u_{ik+1}$.

Množinu S vyzkoušených vrcholů nastavíme na prázdnou množinu $S=0$. Přejdeme opět na začátek kroku 2. Jestliže se nám nepodařilo cestu prodloužit, přejdeme ke kroku 3., v kterém je hledaná jiná varianta cesty.

- b. $k=n$ (cesta už obsahuje všechny vrcholy). Hledáme-li jen hamiltonovskou cestu (nikoliv kružnici), algoritmus zde úspěšně končí. Jinak, existuje-li hrana mezi koncovými vrcholy cesty u_{i1} a u_{in} přidáme ji k cestě, čímž vznikne hamiltonovská kružnice a úloha je dokončena. Neexistuje-li taková hrana, přejdeme ke kroku 3.
3. Hledáme v existující části cesty vrchol $u_{ij}, j < k$, takový, že:
 - a. Existuje hrana mezi vrcholem u_{ij} a současným koncovým vrcholem cesty u_{ik} .
 - b. Vrchol u_{ij+1} není v množině vyzkoušených vrcholů S . Jestliže takový vrchol u_{ij} najdeme, pak z cesty odebereme hranu, která je mezi vrcholy u_{ij} a u_{ij+1} . Přidáme k cestě hranu, která je mezi vrcholy u_{ij} a u_{ik} .

Nyní cesta bude tvořena posloupností vrcholů $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij}, u_{ik}, \dots, u_{ij+2}, u_{ij+1}$. Předchozí koncový vrchol u_{ik} přidáme do množiny již zkoušených koncových vrcholů S , $S = S \cup \{u_{ik}\}$ a znovu přejdeme ke kroku 2.

Pokud se nám takový vrchol u_{ij} nepodaří najít, algoritmus neúspěšně končí. Nenašel hamiltonovskou cestu, či hamiltonovskou kružnici. Můžeme ho opakovat s jiným výchozím vrcholem. ^[11]

6.7.2 Hledání minimální Hamiltonovské kružnice

Při praktickém využití úlohy o hledání Hamiltonovské kružnice je často třeba v hranově ohodnoceném grafu nalézt minimální Hamiltonovskou kružnici, tak aby nalezená trasa byla optimální.

Nejnámější příkladem tohoto typu úlohy je tzv. Úloha obchodního cestujícího. Obchodní cestující vyjede ze sídla společnosti, pro kterou pracuje a vydá se za svými zákazníky. Potřebuje právě jednou navštívit všechny své zákazníky v přidělené oblasti a vrátit se do sídla společnosti. Cílem této úlohy je nalézt obchodnímu cestujícímu takovou trasu, aby zároveň ujel co nejméně kilometrů. Tedy hledáme v grafu takovou hamiltonovskou kružnici, jejíž délka, tvořená součtem ohodnocených hran v ní, je nejmenší ze všech hamiltonovských kružnic v grafu.

Nalézt heuristický algoritmus pro řešení úlohy obchodního cestujícího se podařilo až v roce 1963. Littlův algoritmus je založen na využití metody větve a hranice.

Princip metody větve a hranice (Branch & Bound)

Metodu větve a mezí lze použít pouze pro nalezení optimálního řešení optimalizačních úloh.

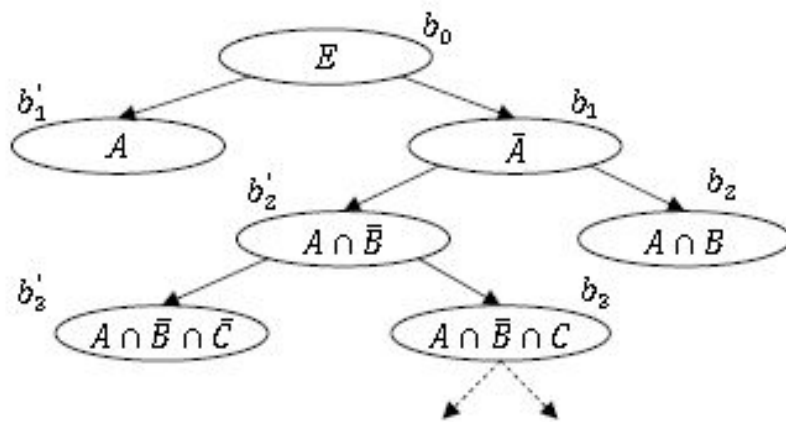
Metoda využívá ořezávání výpočetního stromu řešení, tak aby se dále nezkoumaly stavy, které nemohou vést k lepšímu řešení než je nalezené. Při vylučování podmnožin přípustných řešení se využívá skutečnosti, že hodnota účelové funkce kteréhokoliv přípustného řešení je při minimalizaci horním odhadem hodnoty účelové funkce optimálního řešení.

Mějme úlohu diskrétní optimalizace s množinou řešení $E=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ s účelovou funkcí f definovanou na této množině. Hledáme takovou podmnožinu řešení,

kde funkce f nabývá svého minima. S pomocí vlastnosti P_a rozdělíme množinu E na dvě podmnožiny A, \bar{A} tak, aby platilo že $A \cap \bar{A} = \{0\}, A \cup \bar{A} = E$.

Pro množinu E určíme dolní hranici b_0 účelové funkce f . Dále stanovíme spodní hranice $b_1 \geq b_0$ a $b_1' \geq b_0$ funkce f na podmnožině A, \bar{A} . Podle těchto hodnot určíme, která podmnožina řešení obsahuje hledané optimální řešení. V této podmnožině pokračujeme dále ve větvení pomocí vlastností P_k .

Pomocí k vlastností P_k tak sestavíme takzvaný prastrm řešení, kde každá podmnožina řešení tvoří vrchol stromu. Živý vrchol tvoří podmnožina, kterou budeme dále rozdělovat, abychom získali další podmnožiny řešení. Metoda končí tehdy, když je živý vrchol tvořen jednoprvkovou množinou. Potom funkce f nabývá na této množině minimum.



Obrázek 12 Vytváření prastrmu(zdroj [3])

6.7.3 Littlův algoritmus pro nalezení minimální hamiltonovské kružnice

Mějme orientovaný nebo neorientovaný hranově ohodnocený graf. V grafu musí existovat hamiltonovská kružnice, tedy graf musí být hamiltonovský.

Každá hrana grafu má ohodnocení $v_{i,j} \geq 0$, nebo $v_{i,j} = \infty$. Hodnoty $v_{i,j}; i = 1, 2, \dots, n$ tvoří matici sazeb $V = (v_{i,j})_{i,j=1}^n$. Pokud mezi vrcholy v_i a v_j neexistuje hrana, má ohodnocení ∞ .

Kroky algoritmu: ^[3]

1. V každém řádku matice V odečteme od všech prvků minimální prvek řádku. Dostaneme matici V' , kde: $v'_{ij} = v_{ij} - \min_j \{v_{ij}\}$, pro $i = 1, 2, \dots, n$.
2. V každé sloupci matice V' , odečteme od všech prvků minimální prvek řádku. Dostaneme matici V'' , kde: $v''_{ij} = v'_{ij} - \min_i \{v'_{ij}\}$, pro $j = 1, 2, \dots, n$.
3. Krok 3a se provede pouze při prvním průchodu algoritmem, jinak se provede krok 3b.

- a. Vytvoříme kořen prastronu řešení úlohy E a přiřadíme mu hodnotu b_0 rovnající se součtu odečítaných minimálních hodnot v 1. a 2. kroku:
- $$b_0 = \sum_{i=1}^n \min_j \{v_{ij}'\} + \sum_{j=1}^n \min_i \{v_{ij}'\}. \text{ Přejdeme na 4. krok algoritmu.}$$
- b. Sečteme řádková a sloupcová minima odečítaná v 1. a 2. kroku za účelem vytvoření nul v redukované matici a přejdeme na 9. krok.
4. Ohodnotíme všechny nuly v matici V'' číslem γ_{ij} tak, že sečteme minimální prvek v příslušném i -tém řádku a j -tém sloupci (právě ohodnocovanou nulu nebereme na zřetel): $\gamma_{ij} = \min_{r \neq j} \{v_{ir}''\} + \min_{s \neq i} \{v_{sj}''\}$.
5. Vybereme pole (v_k, v_l) , které obsahuje nulu s maximálním ohodnocením $\gamma_{kl} = \max_{i,j} \{\gamma_{ij}\}$, toto pole určuje vlastnost $P_{kl} = (\overline{P_{kl}})$; vlastnost $\overline{P_{kl}}$ znamená, že hamiltonovská kružnice hranu (v_k, v_l) obsahovat nebude.
6. Rozvineme prastron o vrchol s vlastností $\overline{P_{kl}}$; vrchol ohodnotíme tak, že k ohodnocení předchůdce přičteme $\gamma_{k,l}$.
7. Rozvineme prastron o vrchol odpovídající vlastnosti $P_{k,l}$, vyloučíme z matice k -tý řádek a l -tý sloupec, čímž dojde k redukci matice sazeb o jeden řádek a sloupec. Ty prvky redukované matice, které by umožnily vznik hamiltonovské kružnice menší délky menší než n , položíme rovny ∞ .
8. S maticí, která je výsledkem 7. kroku provedeme 1. a 2. krok algoritmu.
9. S maticí, která je výsledkem 8. kroku provedeme 3b krok; hodnotu součtu přičteme k ohodnocení předchůdce a tímto součtem ohodnotíme vrchol s vlastností $P_{k,l}$.
10. Jestliže výsledkem 7. kroku je matice rozměru 1×1 , je proces ukončený, v opačném případě pokračujeme krokem 11.
11. Z visících vrcholů vybereme vrchol s nejmenším ohodnocením (je-li jich více vybereme libovolný z nich).
12. Jestliže vybraný vrchol odpovídá posledně uvažované vlastnosti $P_{k,l}$, přejdeme na 4. krok, jinak přejdeme na 13. krok.
13. Mohou nastat dvě možnosti:
- a. Visící vrchol vybraný v 11. kroku odpovídá vlastnosti $\overline{P_{ij}}$, potom v matici odpovídající této vlastnosti změňme hodnotu v_{ij}'' na ∞ , v i -tém řádku resp. j -tém sloupci určíme minimální prvek a tento odečteme od všech hodnot řádku, resp. sloupce; následuje přechod na 4. krok.
- b. Visící vrchol vybraný v 11. kroku odpovídá vlastnosti P_{ij} , pokračujeme 4. krokem s maticí odpovídající vlastnostem P_{ij} .

6.8 Okružní jízdy

Problematika okružních jízd řeší typ svozně-rozvozní úlohy, kdy je třeba optimalizovat svoz nebo rozvoz substrátu (zboží) v síti. Rozvoz substrátu se provádí z jednoho nebo více dep (skladů) do ostatních vrcholů sítě. Jednotlivé takto obsluhované vrcholy představují zákazníky, kteří odebírají různé množství zboží. Pro obslužení vrcholů je k dispozici určitý počet vozidel se známou kapacitou. Každé vozidlo vyjíždějící z depa se po projetí své obslužné trasy se vrací zpět do depa, ze kterého vyjelo. Cílem optimalizace je určit plán tras rozvozu tak, aby se minimalizovaly celkové náklady na rozvoz.

6.8.1 Exaktní metoda řešení hrubou silou

Tato exaktní metoda je vhodná jen pro úlohy menšího rozsahu, tedy pro menší počet obsluhovaných vrcholů. Dává však optimální řešení.

Princip spočívá v nalezení tras pro všechny permutace vrcholů. Trasy musí být rozděleny podle kapacity, tak aby bylo vozidlo tuto trasu schopno obsloužit. Pro jednotlivé trasy se vypočítají celkové náklady na rozvoz. Po prozkoumání celého prostoru řešení je vybrána ta permutace, která má nejnižší náklady, tedy je nákladově optimální.

Výpočetní náročnost lze snížit využitím metody větve a hranic, jejíž principy byly popsány v přecházející kapitole.

6.8.2 Heuristické metody

Metoda nejbližšího souseda

Metoda nejbližšího souseda využívá při sestavování okružní jízdy jednoduchý princip. Vozidlo na okružní jízdě vždy obslouží nejbližšího souseda posledního navštíveného obsluženého vrcholu. Tedy vozidlo vyjede z depa k nejbližšímu zákazníkovi, od něj pokračuje k dalšímu zákazníkovi, který se nachází nejbližší. Toto se opakuje, dokud nejsou obsluženi všichni zákazníci. Poté se vozidlo vrátí zpět nejkratší cestou do depa.

Metoda Clark & Wright

V roce 1964 Clarke a Wright navrhli heuristickou metodu řešení problematiky okružních jízd pro jedno depo. Princip metody je založen na hledání úspor spojováním obslužných tras pro jednotlivé zákazníky.

Tato metoda nalezne pouze suboptimální řešení, které je optimálnímu velmi blízké. Algoritmus je jednoduchý na implementaci a dosahuje asymptotické časové složitosti $O(n^2 \log n)$. Existuje sekvenční a paralelní verze algoritmu. Sekvenční verze sestavuje v jeden okamžik pouze jednu trasu s jedním zákazníkem, paralelní verze zpracovává souběžně několik tras. Paralelní je rychlejší.

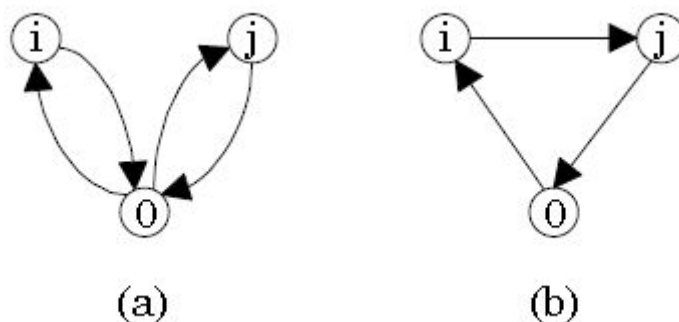
Pro řešení úlohy vycházíme z předpokladu, že máme neorientovanou souvislou síť $S=(V,H,d)$, po které chceme přepravit požadované množství substrátu z výchozího vrcholu sítě v_0 do ostatních vrcholů sítě v_i pro $i=1, \dots, n$. Dále předpokládáme, že průměrná rychlost i kapacita jednotlivých vozidel je známa a je pro všechny stejná. Dále předpokládáme, že množství substrátu určené pro jeden obsluhovaný vrchol (zákazníka) nepřesahuje maximální kapacitu jednoho vozidla. Předpokládáme také, že známe dobu potřebnou pro vyložení substrátu a že je stejná pro všechny vrcholy a vozidla. Doba mezi výjezdem a návratem vozidla do výchozího vrcholu v_0 je shora omezena.

Algoritmus^[12]

Na počátku sestavíme matici vzdáleností $D=(d(ij))$, $i,j=0,1, \dots,n$ sítě S ; přitom nezáleží na tom, zda je síť úplná nebo ne, tzn. zda $d(i,j)$ jsou délky úseků nebo nejkratších tras mezi vrcholy. Dále známe:

- c – průměrná rychlost pohybu vozidla po síti,
- t – doba potřebná k vyložení jednotkového množství substrátu z vozidla,
- T – maximální doba pobytu vozidla mimo výchozí vrchol v_0 ,
- q_i – $i=1, \dots, n$ množství přepravovaného substrátu z v_0 do v_i ,
- K – kapacita vozidla ($K \geq q_i, i=1, \dots, n$).

Z matice vzdáleností odvodíme matici výhodnostních koeficientů $Z=(z_{ij})$ $i,j=1, \dots, n$ podle vztahu $z_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$. Prvek matice Z vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek tras mezi vrcholy $v_0 v_i v_0$ a $v_0 v_j v_0$ (obrázek 12a) a délkou sdružené trasy $v_0 v_i v_j v_0$ (obrázek 14b).



Obrázek 13 Sdružování tras (zdroj [22])

Počáteční řešení je soubor elementárních tras (obsluhuje pouze jeden vrchol) s uvedenými množstvími substrátu a dobami přepravy včetně doby potřebné pro vyložení:

Tabulka 5 Výpočet okružní jízdy

Trasa:	Množství elementů	Doba přepravy
$v_0 v_1 v_0$	q_1	$\frac{2d_{01}}{c} + q_1 t$
...
$v_0 v_n v_0$	q_n	$\frac{2d_{0n}}{c} + q_n t$

Zdroj [12]

V matici Z najdeme největší prvek $z_{ik} = \max_{ij} z_{ij}$ a sdružíme, je-li to možné trasy $v_0 v_i v_0$ a $v_0 v_k v_0$ do $v_0 v_i v_k v_0$. Není-li to možné, najdeme nejbližší menší nebo stejně velký

prvek z_{st} a sdružíme trasy, obsahující v_s a v_i . Mohou to být elementární trasy nebo trasy vzniklé předchozím sdružováním.

Postup opakujeme, pokud není matice Z vyčerpána nebo není zřejmé, že kapacity jednotlivých vozidel jsou vyčerpány a další pokračování v sdružování nemá smysl.

Demonstrace využití metody Clarka a Wrighta

Použití algoritmu bude demonstrováno na jednoduchém příkladu rozvozu kusového zboží zákazníkům.

Máme zadáno:

- Matice vzdáleností $D = \begin{vmatrix} 0 & 33 & 60 & 54 & 50 & 52 \\ & 0 & 38 & 35 & 34 & 76 \\ & & 0 & 15 & 70 & 94 \\ & & & 0 & 48 & 73 \\ & & & & 0 & 28 \\ & & & & & 0 \end{vmatrix}$ a počty kusů zboží q_i .

- Výchozí údaje: $c=30$ km/h, $t=0.1$ h, $T=8$ h, $K=15$ elementů.

- Matice výhodnostních koeficientů $Z = \begin{vmatrix} 0 & 55 & 52 & 49 & 9 \\ & 0 & 99 & 40 & 18 \\ & & 0 & 56 & 33 \\ & & & 0 & 74 \\ & & & & 0 \end{vmatrix}$ odvozené z D .

- Počáteční řešení – soubor elementárních tras

Tabulka 6 Příklad použití metody CW

elementární trasy	q_i	délky	doba přepravy a vykládky
0-1-0	6	66	2,8
0-2-0	3	120	4,3
0-3-0	8	108	4,4
0-4-0	5	100	3,8

Zdroj [12]

Řešení:

- $\max z_{ij} = z_{23} = 99$; sdružíme trasy 0-2-0 a 0-3-0, výsledná trasa je v tabulce 7.

Tabulka 7 Sdružení trasy 0-2-0 a 0-3-0

trasa	$q_2 + q_3$	délka	doba
0-2-3-0	11	129	5,4

Zdroj [12]

- $\max z_{ij} = z_{45} = 74$; sdružíme trasy 0-4-0 a 0-5-0, výsledná trasa je v tabulce 8.

Tabulka 8 Sdružení trasy 0-4-0 a 0-5-0

trasa	q_4+q_5	délka	doba
0-4-5-0	9	130	5,2

Zdroj [12]

- $\max z_{ij} = z_{34} = 56$; znamenalo by to sdružit trasy obsahující v_3 a v_4 , součet q_i by byl $20 > 15$ což nelze z důvodu překročení kapacity vozidla
- $\max z_{ij} = z_{12} = 55$; znamenalo by to sdružit trasy 0-1-0 a 0-2-0, výsledná trasa součet $\sum q_i = 6+11=17$; $17 > 15$ – nelze
- $\max z_{ij} = z_{13} = 52$; nelze
- $\max z_{ij} = z_{14} = 49$; sdružíme trasy 0-1-0 a 0-4-5-0, výsledná trasa je v tabulce 9.

Tabulka 9 Sdružení trasy 0-1-0 a 0-4-5-0

trasa	$q_1+q_4+q_5$	délka	doba
0-1-4-5-0	15	147	6,4

Zdroj [12]

- Další sdružování není možné. Nalezené řešení je v tabulce 10.

Tabulka 10 Výsledek sdružování tras

trasy	množství převážené z výchozího uzlu	délky	doby
0-1-4-5-0	15	147	6,4
0-2-3-0	11	129	5,4

Zdroj [12]

Výsledné řešení má součet délek tras 276 km proti výchozímu součtu délek elementárních tras 498 km, součet dob provozu vozidel je 11,8 h. Protože $8 < 11$, $8 < 16$, je nutné použít 2 vozidla.

Další heuristické algoritmy

Algoritmus Clarka a Wrighta inspiroval vznik celé skupiny algoritmů řešící problematiku okružních jízd. Tyto algoritmy provádějí postupnou konstrukci obslužných tras na obdobných principech jako CW, navíc obsahují řadu rozšíření zohledňujících složitost zadání.

Tyto konstrukční algoritmy mohou být ještě vylepšeny nadstavbovou heuristikou, která za běhu algoritmu analyzuje navržené trasy a snaží se je reorganizovat tak, abychom docílili lepšího řešení.

Další skupinou jsou dvoufázové algoritmy. V první fázi se provede rozdělení zákazníků do oblastí podle místa výskytu. Vychází se z předpokladu, že zákazníci, kteří se nachází blízko sebe, budou pravděpodobně obslouženi společně. V druhé fázi se provede návrh obslužných tras pro jednotlivé oblasti. Vyhledání tras se provede pro každou oblast zvlášť, čímž se úloha rozloží na skupinu jednodušších podúloh s menším počtem obsluhovaných zákazníků. Pro návrh tras se díky tomu mohou použít i výpočetně náročnější heuristiky. Kvalita suboptimálního řešení je odvislá od kvality rozdělení zákazníků do jednotlivých oblastí.

7 Programová implementace optimalizace svozu separovaného odpadu

V předchozích kapitolách byl položen teoretický základ pro praktické řešení optimalizace odpadového hospodářství v Kolíně, se zaměřením na problematiku komunálního obalového odpadu.

Po objasnění problému kdo a jak se má o obalový odpad z domácností starat, následoval stručný přehled možností operačního výzkumu jak optimalizovat svoz separovaného odpadu.

V této kapitole je uveden popis programového řešení optimalizace svozu. Kapitola obsahuje popis požadavků zadavatele, popis prostředků a dat dostupných pro řešení problematiky svozu. Následuje popis zvoleného implementovaného řešení.

7.1 Rozsah projektu

Programová aplikace řešící optimalizaci svozu separovaného odpadu je určena pro potřeby společnosti AVE Kolín. Po rozhovoru s jednatelem podniku byly vymezeny základní cíle a rozsah obsahu projektu. S dispečerem svozu odpadu diplomant poté prodiskutoval podrobnosti.

Na základě těchto pohovorů se stanovily hranice projektu. Cílem projektu je vytvořit nenáročnou aplikaci pro optimální návrh okružních jízd vozidel pro obsluhu sběrných hnízd. Cílem optimalizace je minimalizace ujeté vzdálenosti při svozu, aby došlo ke snížení nákladů na PHM (pohonné hmoty).

Při programovém řešení budou využity volně dostupné prostředky tak, aby se společnost podílela pouze poskytnutím informací. Aplikace bude navržena na míru, pouze pro řešení svozu v oblasti Kolín. Smyslem aplikace je získat představu o možnostech optimalizace a poskytnout data pro zvážení investice do placeného řešení.

Aplikace bude řešit:

- Návrh svozových tras pro jednotlivé složky separovaného odpadu na území města.
- Návrh jednotlivých variant svozných tras podle toho zda je svozné místo pro tento konkrétní svoz odpadového materiálu obsluhováno. Jednotlivé okružní jízdy budou obsluhovat jednotlivá hnízda také podle intenzity tvorby odpadu.

Aplikace nebude řešit:

- Plánování svozných hnízd, jejich lokalizace, struktury, kapacity a četnosti obsluhy.
- Plánování turnusů svozných vozidel.
- Plánování směn pracovníků obsluhující svoz separovaného odpadu.

Plán rozmístění svozných hnízd a intenzity obsluhy je již vyřešen v rámci POH Kolína. Turnusy vozidel a směny zaměstnanců se nebudou měnit.

7.2 Systémové požadavky

Na základě rozhovorů se zaměstnanci společnosti byly vymezeny požadavky na programovou aplikaci. Bylo definováno, jaké funkce by aplikace měla poskytovat budoucím uživatelům. Dále se identifikovaly nefunkční požadavky, které by měly být splněny.

Funkční požadavky

Funkční požadavky lze rozdělit na skupinu týkající se silniční sítě, svozných hnízd a optimalizační požadavky.

- Aplikace bude umožňovat přidání a odebrání silničního úseku,
- aplikace bude umožňovat dočasné zablokování úseku,
- aplikace bude umožňovat zadání výchozího bodu svozového vozidla,
- aplikace bude umožňovat načtení a uložení grafu silniční sítě do souboru,
- aplikace bude umožňovat vložení, odebrání a nastavení stavu neobsluhování sběrného hnízda,
- aplikace bude umožňovat uložení a načtení seznamu sběrných hnízd,
- aplikace bude umožňovat vyhledání optimální svozné trasy a výpočet její délky pro vybranou skupinu svozných hnízd,
- aplikace bude umožňovat výpis vyhledané optimální trasy,
- aplikace bude umožňovat výpis ujeté vzdálenosti při svozu na území města.

Nefunkční požadavky

Nefunkční požadavky jsou vymezeny snahou o minimalizaci nákladů na vytvoření a provoz aplikace.

- Aplikace bude vytvořena pomocí implementačních a dokumentačních nástrojů využívajících licence OpenSource,
- aplikace bude možné provozovat na kancelářském PC,
- aplikace bude spustitelná v operačním systému Windows.

7.3 Vývojové prostředí

Vzhledem k požadavkům kladeným na minimalizaci nákladů pro získání výsledného řešení byla aplikace napsána v jazyce Java. Jako vývojové prostředí bude použito NetBeans od firmy Sun Microsystems šířený pod licencí GNU GPL. Součástí tohoto balíku je i jednoduchý nástroj pro tvorbu UML diagramů, který bude též využit.

7.4 Vstupy aplikace

Vstupy aplikace jsou informace o topologii uliční sítě na území města Kolín, informace o množině sběrných hnízd a informace s požadavky na svoz.

Společnost AVE Kolín zatím nepoužívá žádné řešení pro sledování svozných vozidel ani nemá zakoupenou žádnou elektronickou mapu, která by šla využít jako vstupní

zdroj informací. Jednotliví řidiči se řídí vlastními znalostmi o uliční síti Kolína a jednotlivé svozné jízdy absolvují podle svých praktických zkušeností s předchozími svozy.

Oddělení regionálního rozvoje města Kolína má k dispozici elektronickou mapu realizovanou v programu MicroStation. Mapa má měřítko 1:500. Mapa obsahuje podrobný vektorový model katastru města s informacemi o rozmístění inženýrských sítí, stavebních objektů, dopravních značek a další informace. Mapa neobsahuje dopravní informace. Na jejím podkladu by nešla jednoduše vytvořit kostra uliční sítě pro svoz odpadu.

Z důvodu minimalizace nákladů diplomant zvolil řešení vytvoření grafu uliční sítě z volně dostupných zdrojů. Využil mapu Kolína dostupnou z <http://maps.google.cz>. Jelikož tato mapa obsahovala drobné nepřesnosti, upravil ji podle informací z kartografické publikace Kolín čísla popisná.

Seznam sběrných hnízd byl poskytnut společností AVE ve formě tabulky, která obsahovala informace o přibližné lokalizaci sběrného místa a informace o konkrétní skladbě kontejnerů (Příloha A).

Jelikož bylo nutné graf silniční sítě samostatně vytvořit, bylo dohodnuto, že se optimalizace bude demonstrovat jen na jedné ze čtyř částí svozových oblastí. Byla vybrána oblast sídliště, kde se nachází nejvíce sběrných hnízd a oblast obsahuje významné množství jednosměrných ulic.

Při konstrukci grafu silniční sítě byly vypuštěny úseky slepých ulic, které nebyly osazeny hnízdem. Dále byly vypuštěny úseky na území obchodních středisek, např. benzinová pumpa. Také byly vypuštěny úseky, které nelze z technických důvodů projet svozným vozidlem, např. nedostatečná šířka komunikace. Naopak byly přidány chodníkové úseky, kde mají povolen vjezd pouze vozidla dopravní služby. Do grafu nebyly zahrnuty úseky v přilehlé oblasti s rodinnými domky, kde nejsou svozná hnízda a obyvatelé si nepřejí být obtěžováni nákladní dopravou.

Popis vstupních dat

Informace o grafu jsou uloženy pro snadnou editaci v textovém souboru *sit.txt*. První řádek obsahuje informaci o počtu vrcholů grafu. Druhý řádek obsahuje číslo vrcholu s depem. Následují informace o vrcholech. Každý vrchol je popsán na samostatném řádku, informace jsou odděleny středníkem. Zvláštním případem vrcholu je svozné hnízdo. U svozného hnízda je navíc uveden název svozného hnízda. V případě, že hnízdo není obsluhováno, následuje písmeno *n*. Místo *n*, lze uvést jakýkoliv text. Např. poznámka proč hnízdo není obsluhováno.

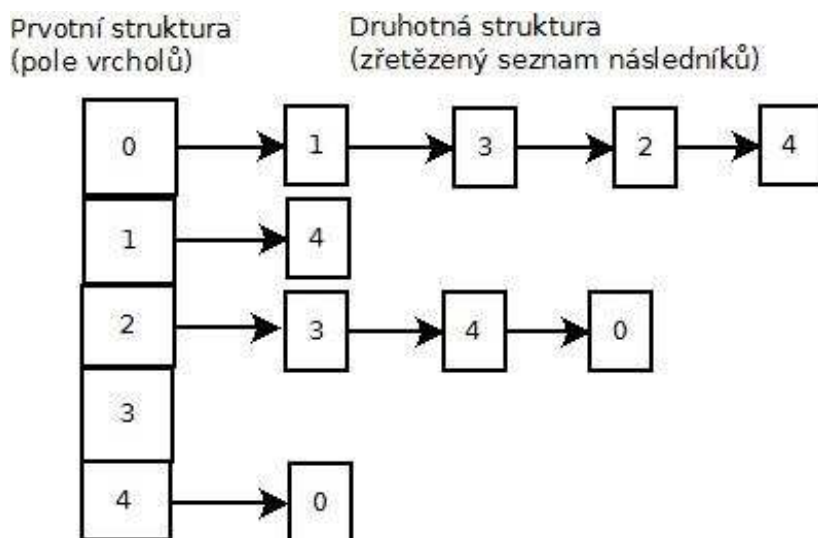
Za seznamem vrcholů následuje seznam úseků. Jelikož uliční síť obsahuje jednosměrné úseky, je graf orientovaný a jednotlivé ulice jsou tvořeny párem úseků pro jednotlivé směry. Informace o úseku je uvedena na samostatném řádku. Jednotlivé informace o úseku jsou odděleny středníkem. Jako první je uvedeno číslo počátečního vrcholu, následuje číslo koncového vrcholu, délka úseku a název ulice. Poslední informace informuje o uzavírce úseku. Pokud zde není nic uvedeno, znamená to, že je úsek průjezdný bez omezení.

7.5 Výstupy aplikace

Výstupem aplikace je posloupnost vrcholů a úseků ležících na nejkratší okružní jízdě vozidla. Součástí výpisu je i délka této okružní jízdy v metrech.

7.6 Datová struktura pro uliční síť

Při rozhodování jaký typ datové struktury zvolit pro reprezentaci informací o uliční síti jsem vycházel z charakteristiky sítě a potřeb použitých optimalizačních algoritmů, tak aby zvolené řešení nebylo náročné na paměť, bylo dostatečně rychlé a nebylo zbytečně náročné na implementaci.



Obrázek 14 Reprezentace grafu datovou strukturou pole-seznam

Na základě požadavků na datovou strukturu jsem zvolil pro uložení grafu představující uliční síť datovou strukturu typu dopředná hvězda. Tento typ datové struktury se skládá ze dvou částí. První primární část se skládá ze seznamu vrcholů s informacemi o vrcholech sítě a odkazy do sekundární části. Druhá sekundární část seznamem incidujících úseků s konkrétním vrcholem. Jedná se o vrcholově orientovaný přístup, kdy v prvotní struktuře je vyhledán vrchol a pomocí něj jsou poté zpřístupněni jeho následníci v grafu. Tento způsob zpřístupnění informací vyhovuje algoritmu pro vyhledání nejkratších cesty, který byl využit při optimalizaci svozových tras. Při vyhledání nejkratší cesty je potřeba najít následníky vrcholu, což u dopředné hvězdy znamená prohledat jen příslušný seznam v druhotné struktuře pro daný vrchol. Dalším rysem dopředné hvězdy je neefektivní způsob získání předchůdce vrcholu, což nevádí, protože při běhu optimalizačních algoritmů tento typ informace není potřeba.

Jelikož uliční síť je ze své podstaty statická, zvolil jsem jako implementační prostředek prvotní struktury datový typ pole. Výhodou této reprezentace vrcholů je rychlý přístup. Jelikož jsem pro identifikaci vrcholů sítě použil prvních n přirozených čísel, je možný přístup k vrcholu přes index pole a rychlost přístupu je $N(1)$.

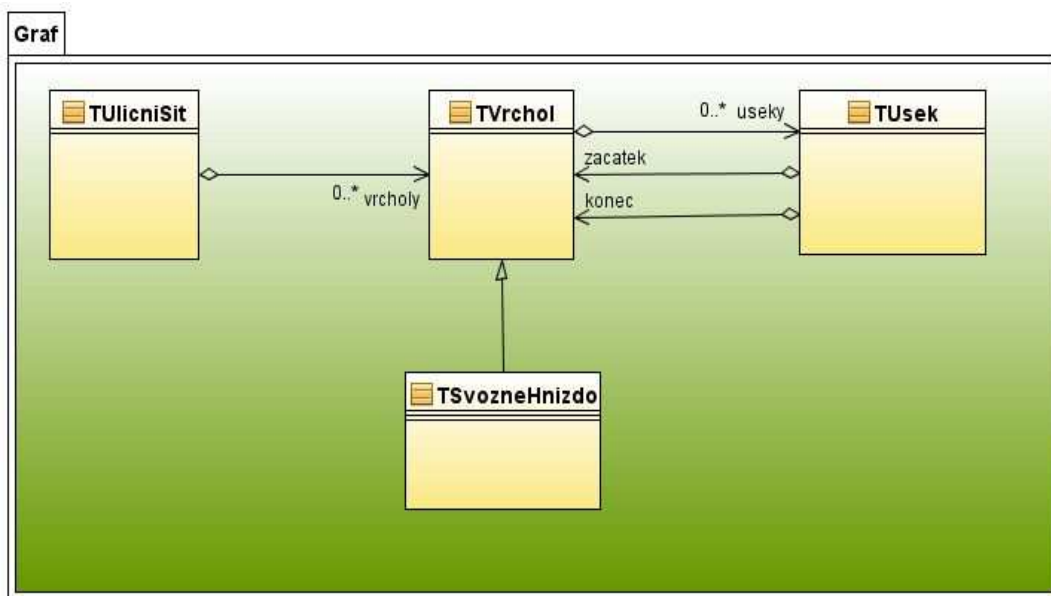
Pro implementaci druhotné struktury jsem zvolil datovou strukturu obousměrně zřetězený seznam. Využití pole by v tomto případě nebylo paměťově efektivní, protože uliční síť je řídká a větší část pole by byla prázdná. Sekvenční přístup k následníkům není významným omezením, jelikož následníky vrcholu je většinou potřeba procházet postupně.

Implementace

Třídy tvořící datovou strukturu jsou seskupeny do balíčku Graf. Při realizaci datové struktury byly využity i datové struktury z knihoven balíku *java.util*.

Prvotní struktura je tvořena třídou *TUlicniSit*. Tato třída je konkrétní specializací abstraktní datové struktury graf. Obsahuje některé specifické operace potřebné pro realizaci optimalizačních algoritmů a naopak některé základní operace neimplementuje, protože nejsou potřeba. Tato třída v sobě zapouzdřuje pole ukazatelů na vrcholy grafu.

Jelikož pole je statickou strukturou není možné jednoduše přidávat a odebírat vrcholy. Pro zásadnější změny v topologie sítě slouží textový soubor s informacemi o síti. Tento soubor je strukturován tak, aby bylo možné jednoduše provádět editaci dat. Z tohoto souboru jsou pak data načtena do datové struktury *TUlicniSit*. Při vytváření instance třídy je pole naplněno vrcholy ze souboru. Aby bylo možné přidávat vrcholy je dimenze pole o několik prvků větší než počet načtených prvků. Tato rezerva slouží pro případné přidání nových sběrných hnízd. Sběrná hnízda jsou speciální případ vrcholu grafu. Tato operace nebude pravděpodobně využita, protože počet a rozmístění hnízd je ustáleno a již několik let se nemění. Odebrání vrcholu uliční sítě nemá smysl, v případě potřeby lze nastavit příznak uzavření úseku a tak vrchol izolovat. U sběrného hnízda lze nastavit příznak neobsluhování a hnízdo se při sestavování okružní jízdy považuje za obyčejný vrchol.



Obrázek 15 Diagram tříd datové struktury

Vrchol grafu uliční sítě představuje bod sítě, kde se setkávají úseky sítě. Vrchol grafu může zastupovat křižovatku, koncový bod úseku a svozné hnízdo. V datové struktuře je reprezentován objektem typu *TVrchol*. Objekt vrcholu obsahuje položku *id* pro identifikaci vrcholu. Pro identifikaci slouží unikátní celé číslo. Další datovou položkou je odkaz na seznam následníků vrcholu. Jedná se o obousměrně zřetěžený seznam incidentních úseků, tedy ulic, do kterých může vozidlo z vrcholu vjet.

Další informace o vrcholu nejsou prozatím potřeba, v případě eventuální budoucí potřeby by se zde mohly doplnit geografické souřadnice vrcholu. V případě potřeby uložení specifických informací o křižovatce nebo koncovém vrcholu je možné odvodit specializovaného potomka.

To je případ svozného hnízda. Svozné hnízdo jako vrchol grafu má své specifikum. Hnízdo může být na základě frekvence svozu kontejnerů konkrétní okružní jízdou neobsluhováno. Z toho důvodu obsahuje třída *TSvozneHnizdo* o tom booleovskou informaci. Další možné specifické informace svozného hnízda, můžou být o druhu a kapacitě kontejnerů, které pro řešení optimalizace nejsou potřeba.

Druhotná struktura je tvořena skupinou seznamů následníků pro jednotlivé vrcholy z prvotní struktury. Následníci jsou popsáni úseky, jejichž počáteční vrchol je totožný s vrcholem v prvotní struktuře. Jelikož úseky jsou orientované, jsou zde pouze úseky, které z vrcholu vycházejí.

Jednotlivé úseky jsou reprezentovány objekty typu *TUsek*. Třída *TUsek* v sobě zapouzdřuje informace o počátečním a koncovém uzlu, tedy informaci o směru úseku. Dále obsahuje informace o délce úseku v metrech a příznak zda je úsek průjezdný.

Další informace o datové struktuře

Kompletní popis datový složek a metod tříd z balíčku knihovny *Graf* je ve formě HTML uložen na příloženém CD. Rozbalený diagram tříd je v příloze B.

7.7 Popis algoritmu pro konstrukci okružních jízd

Problém návrhu optimálních tras svozu separovaného odpadu ze svozných hnízd lze rozdělit na dvě samostatné části. Jelikož nejsou svozem obsluhovány všechny vrcholy sítě, je nutné nejprve vytvořit podsít tvořenou pouze hnízdy a zkonstruovat fiktivní úseky, které je spojí.

Fiktivní úseky musí být podle požadavků svozné úlohy co nejkratší. To znamená nalézt pro všechna svozná hnízda nejkratší cesty mezi nimi. První část tedy spočívá v efektivním nalezení nejkratších cest uliční sítě.

Druhá část řešeného problému je pospojovat obsluhu hnízd do okružní jízdy, tak aby svozné vozidlo navštívilo každé hnízdo pouze jednou a vrátilo se zpět do depa.

Algoritmus výpočtu nejkratších cest

Pro vyhledání matice nejkratších cest mezi vrcholy jsem zvolil specializovaný algoritmus pro vypočítání celé matice vzdáleností. Důvodem je velmi hustá síť sběrných hnízd ve svozové oblasti. Pro svou implementační jednoduchost jsem z možných metod vybral metodu navrženou Floydem. Lze jistě nalézt výkonnější a implementačně složitější metody výpočtu, ale pro rozsah sítě svozné oblasti je Floydův algoritmus dostačující.

Teoretický princip Floydova algoritmu je popsán v 6. kapitole. Zde pouze stručně shrnu implementované řešení, které je umístěno ve třídě *TUlicniSit*.

Výpočet distanční matice provádí metoda Floyd. Nejprve je provedena inicializační část. Zjistí se rozměr distanční matice, což je počet prvků sítě uložený v atributu třídy. Dále se stanoví konstanta symbolizující neexistenci spojení mezi vrcholy. Zvolil jsem poloviční hodnotu použitého celočíselného datového typu pro uložení vzdálenosti mezi vrcholy. Výpočet distanční matice probíhá postupnou transformací matice přímých vzdáleností. Matici přímých vzdáleností vytvoří pomocná metoda *vytvorMaticiPrimychVzdalenosti*. Ta provede paměťovou alokaci dvojrozměrného pole pro uložení hodnot matice. Poté projde dopřednou hvězdou a matici vyplní hodnotami vzdáleností.

Následuje realizace výpočtu nejkratších cest mezi dvojicemi vrcholů. Matice se postupně prochází a pro jednotlivé vrcholy se kontroluje, zda neexistuje přes jiný vrchol kratší cesta. Výpočet je zefektivněn tím, že pokud neexistuje cesta z výchozího vrcholu do vrcholu, přes který si chceme zkrátit cestu, je výpočet ukončen pro všechny kombinace koncových uzlů.

Jelikož distanční matice obsahuje pouze informace o minimální vzdálenosti mezi dvojicí vrcholů, je při výpočtu distanční matice vytvářena i matice předchůdců vrcholů. Z této matice je pak rekonstruována minimální cesta mezi zadanými vrcholy pomocí metody *rekonstrukceCesty*. Jelikož matice předchůdců obsahuje pouze informace o předchůdci koncového uzlu, využije metoda zásobníku pro výpis posloupnosti vrcholů ve správném pořadí, tedy od počátečního vrcholu ke koncovému.

Aby se výpočet distanční matice neprováděl při každém požadavku na nalezení nejkratší cesty, obsahuje třída *TUlicniSit* atribut *zmenySite*. Tento atribut má booleovskou hodnotu a vyjadřuje, zda došlo ke změně topologie sítě, která zneplatnila distanční matici.

Algoritmus tvorby okružních jízd

Při volbě algoritmu pro návrh okružních jízd byly zohledněny požadavky společnosti AVE a zjištěné omezující skutečnosti. Na tomto základě byl vybraný algoritmus ještě upraven.

Jednou ze základních podmínek přípustnosti řešení je, že svozné vozidlo musí v rámci okružní jízdy navštívit svozné hnízdo pouze jednou a hnízdo najednou obsloužit. Tuto podmínku lze splnit pouze částečně. Kapacita sběrného hnízda nikdy nepřekračuje kapacitu svozového vozidla. Ale z důvodu směřování jednosměrných ulic a rozmístění svozných hnízd nebude pravděpodobně možné vždy při dodržení pravidel silničního provozu neprojet vozidlem kolem již obsluženého hnízda. V tomto případě pak bude hnízdo považováno po obslužení za běžný vrchol uliční sítě svozné oblasti.

Další globální podmínkou bývá požadavek na nepřekročení kapacity vozidla během jedné okružní jízdy. Zde bylo zjištěno, že kapacita vozidla je dostačující pro svezení obalových odpadů ze všech hnízd během jedné okružní jízdy. Vzhledem k tomu, že se svoz provádí odděleně postupně pro jednotlivé části města, není podmínka kapacity vozidla limitující.

Dostupnost hnízd není časově limitována, jelikož jsou umístěna na volně dostupném veřejném prostranství. Z důvodu prostupnosti uliční sítě je svoz realizován vždy dopoledne. Jelikož jednotlivá okružní jízda zvládne během této doby obsloužit všechny potřebná hnízda, není potřeba řešit časové intervaly svozu jednotlivých hnízd.

Další podmínka bývá zaměřena na vozový park. V případě svozné úlohy sběrných hnízd je požadavek na heterogenní vozový park. Svoz skla probíhá speciálním vozidlem s hydraulickou rukou. Jelikož svoz obalového odpadu je prováděn vždy podle komodit, je v rámci jedné okružní jízdy požadavek na vozidlo homogenní. Jelikož vozidla jsou v době svozu dostupná, není tato podmínka limitující.

Na základě výše zmíněných požadavků jsem zjistil, že se jedná o nalezení okružní jízdy bez časových a kapacitních podmínek s homogenním vozovým parkem. Pro řešení jsem zvolil Clark-Wrightovu metodu bez kontroly kapacity svozného vozidla.

Programová implementace Clark-Wrightovy metody je umístěna ve třídě *TUlicniSit*. Algoritmus je zde umístěn ve veřejně přístupné metodě *ClarkeWright*. Nejprve je proveden výpočet matice úspor, které by vznikly spojením kterýkoliv dvou vrcholů do

společné cesty. Výpočet je proveden pomocí pomocné metody *vypocetMaticeUspor*. V cyklu je procházena distanční matice a výsledek je zapisován do dvojrozměrného čtvercového pole. Hodnoty na hlavní diagonále nejsou počítány, protože spojením dvou totožných vrcholů generujeme nulovou úsporu.

Inicializační část pokračuje vytvořením množiny aktivních vrcholů. Jedná se o množinu vrcholů sítě, které lze spojovat do okružních jízd. V případě řešené svozné úlohy jsou to všechny obsluhované hnízda ve svozné oblasti. Jelikož během algoritmu budou vrcholy z množiny vyřazovány, zvolil jsem za implementující typ zřetěžený seznam. Z důvodu spolehlivosti a efektivity byla využita datová struktura z balíku knihovny *java.util*.

Pro ukládání množiny okružních jízd, byl použit opět zřetěžený seznam. Kde jednotlivé prvky seznamu okružních jízd jsou tvořeny odkazy na jednotlivé okružní jízdy. Okružní jízda je tvořena zřetěženým seznamem posloupnosti obsluhovaných vrcholů během jízdy. Každá jízda by měla končit a začínat v depu. Pro jednoduchou manipulaci při spojování jízd, jsou vrcholy s depy vynechány a doplní se až na konci algoritmu. Při inicializaci okružních jízd je seznam vyplněn triviálními jízdami, které obsluhují vždy pouze jeden vrchol.

Samotné spojování vrcholů podle úspor je prováděno v cyklu. Cyklus probíhá, dokud lze spojit dva aktivní vrcholy s kladnou úsporou a zároveň dokud existuje více než jedna jízda.

Přípustnost spojení dvou jízd do jedné není omezena kapacitou vozidla. Ta vždy dostačuje. Spojení jízd je limitováno směrovostí spojovaných cest. Proto pro nalezenou maximální úsporu, vzniklo spojením dvou aktivních vrcholů, musí existovat dvě cesty takové, že jedna končí na požadovaný vrchol, zatímco druhá na požadovaný vrchol začíná, čímž se redukuje počet možných spojení.

Výsledkem spojování okružních je nalezení jedné okružní jízdy, která obslouží všechny sběrná hnízda ve svozné oblasti.

Výstupem metody je posloupnost čísel vrcholů obsluhovaných okružní jízdou. Pro výpis je posloupnost vrcholů okružní jízdy doplněna nejkratší cestou mezi jednotlivými vrcholy.

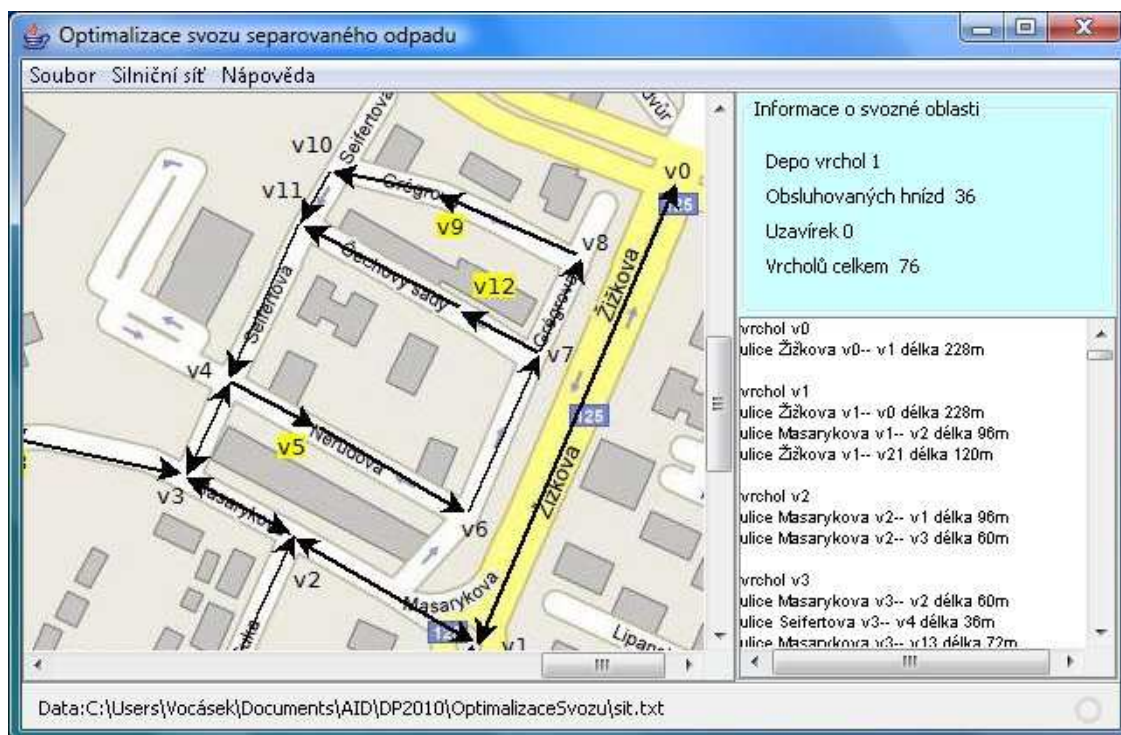
7.8 Uživatelský popis aplikace

Distribuce programové aplikace Optimalizace svozu separovaného odpadu je realizována pomocí archivu JAR. JAR soubor je komprimovaný archiv obsahující binární soubory aplikace. Součástí distribuce jsou i další soubory, které aplikace při svém běhu užívá. Jedná se o textový soubor *sit.txt*, který popisuje svoznou oblast. Dále distribuce aplikace obsahuje grafický soubor s mapou svozné oblasti.

Spuštění aplikace nevyžaduje instalaci, stačí pouze v programu Průzkumník Windows poklepat levým tlačítkem myši na soubor *OptimalizaceSvozu.jar*. V případě použití souborového manažeru s vestaveným komprimačním programem je nutné pomocí pravého tlačítka myši vyvolat pro soubor s archivem kontextovou nabídku. V kontextové nabídce potom vybrat volbu Otevřít.

Jelikož je aplikace nezávislá na typu operačního systému, je potřeba mít nainstalovaný JRE. Java Runtime Environment slouží pro běh java aplikací. Lze jej stáhnout z webu *java.sun.com*. Instalace JRE nebude pravděpodobně potřeba, jelikož většina uživatelů již používá nějaký free software, který si JRE již nainstaloval.

Po spuštění aplikace se objeví hlavní okno. Hlavní okno je navrženo tak, aby maximální plocha sloužila pro zobrazení grafických a textových informací o svozu. Proto jsou funkce aplikace zpřístupněny pomocí menu, případně klávesových zkratk.



Obrázek 16 Hlavní okno aplikace

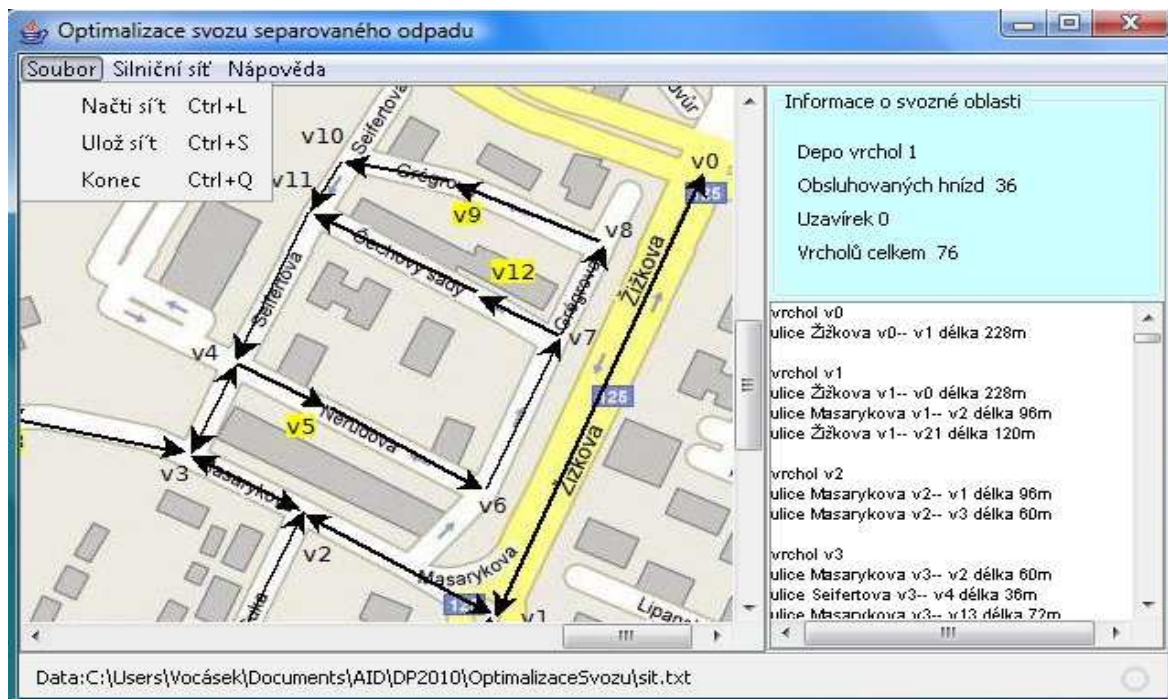
Hlavní okno aplikace je rozděleno na dvě části. Levá větší část zobrazuje mapu svozné oblasti. Na mapě je vyznačen graf svozné oblasti. Vrcholy sítě sloužící jako svozná hnízda jsou zvýrazněna žlutou barvou.

Pravá menší část je horizontálně rozdělena na dvě části. Horní část zobrazuje základní informace o svozné oblasti. Např. počet svážených hnízd, počet uzavírek atp.

Spodní část pravé strany slouží pro výpis textových informací o svozu. Pomocí funkcí zpřístupněných v menu jsou zde vypsány informace o okružní jízdě, seznam svozných hnízd, seznam uzavírek, textový popis svozné oblasti.

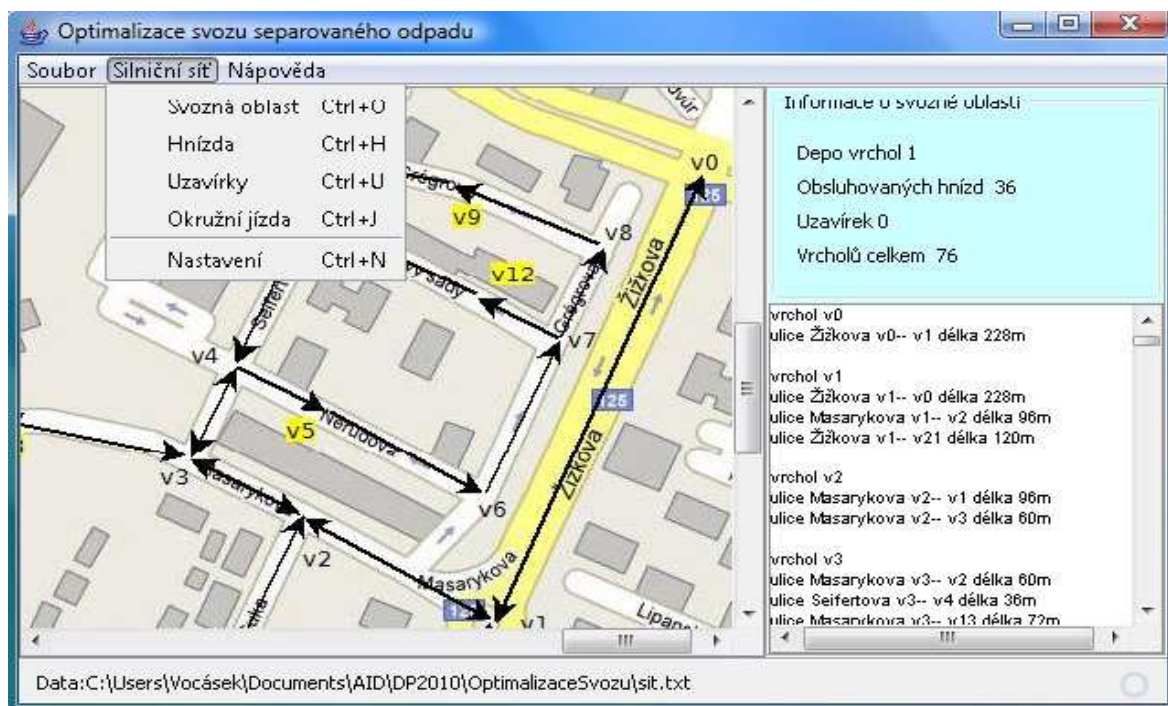
Horní část hlavního okna je vyplněna pruhem obsahující menu. Menu je rozděleno na tři části: Soubor, Silniční síť, Nápověda.

Dolní část hlavního okna je vyplněna úzkým panelem, který obsahuje informaci o textovém souboru, ze kterého byla načtena data o svozné oblasti. Spolu se jménem souboru je na panelu uvedena absolutní cesta k souboru s daty o svozné oblasti. Uživatel aplikace má tak vždy přehled o tom s jakými daty právě pracuje. Tato informace je důležitá, protože může existovat několik souborů s daty o svozné oblasti, které se liší počtem obsluhovaných hnízd.



Obrázek 17 Hlavní okno aplikace s menu Soubor

Nabídka menu Soubor zpřístupňuje funkci načtení a uložení silniční sítě do souboru. Při startu aplikace je načtena silniční síť ze základního souboru *sit.txt*. Silniční síť v tomto souboru obsahuje výchozí situaci sítě, kdy jsou všechny hnízda obsluhována a neexistují uzavírky. Jelikož existuje několik variant svozu lišících se množinou obsluhovaných hnízd, je možné si uložit jednotlivé varianty do souboru.



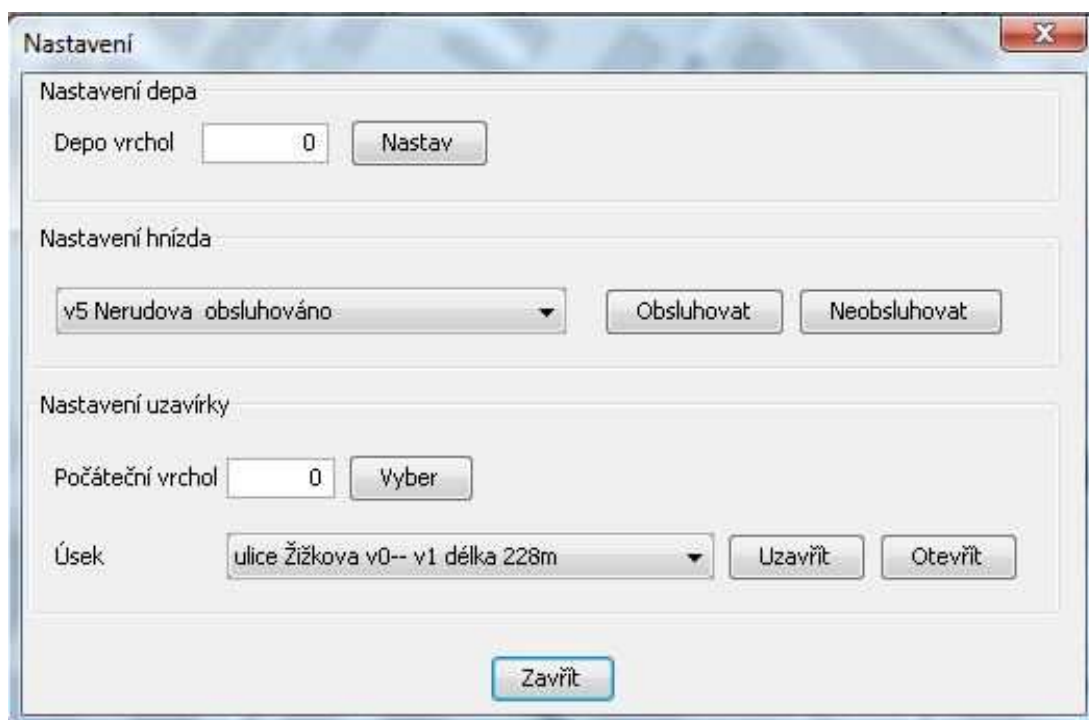
Obrázek 18 Hlavní okno aplikace s menu Silniční síť

Nabídka menu Silniční síť zpřístupňuje funkce pro práci se silniční sítí. Po výběru akce Svozná oblast, je proveden textový výpis svozné oblasti. Akce Hnízda vypíše seznam svozných hnízd včetně informace, zda je konkrétní hnízdo právě obsluhováno. Akce Uzavírky vypíše aktuálně uzavřené silniční úseky ve svozné oblasti. Akce Okružní jízda provede výpočet okružní jízdy a její výpis. Akce Nastavení zobrazí dialogové okno pro nastavení parametrů svozné oblasti a okružní jízdy.

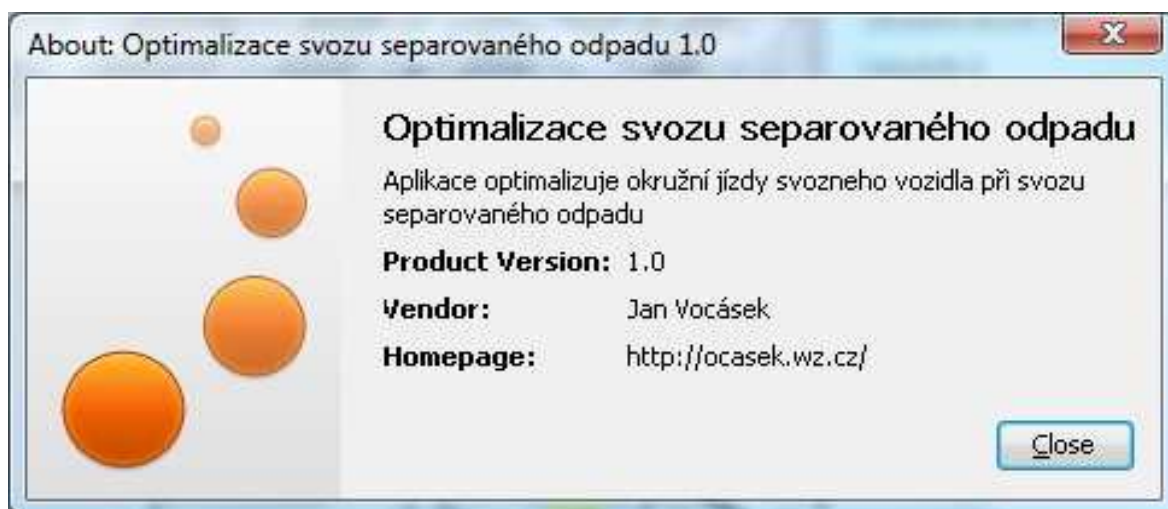
Dialogové okno Nastavení je rozděleno na tři tematické panely. Panel Nastavení depa, umožňuje zadat depo okružní jízdy. Depem může být kterýkoliv vrchol sítě. Pokud je vybrán za depo vrchol, který je z důvodu uzavírek nedostupný pro zbylé vrcholy sítě, má okružní jízda nulovou délku.

Panel Nastavení hnízda obsahuje rozevírací seznam všech sběrných hnízd ve svozné oblasti. V seznamu lze vybrat konkrétní hnízdo a pomocí tlačítek určit zda hnízdo bude sváženo.

Panel Nastavení uzavírky umožňuje uzavřít jednotlivé silniční úseky a tak je vyloučit ze silniční sítě svozné oblasti. Silniční síť není v celé svozné oblasti obousměrná. Proto jsou obousměrné úseky tvořeny dvojicí jednosměrných úseků. Při nastavování uzavírky je nejprve zadán počáteční vrchol. Po potvrzení výběru tlačítkem Vyber, jsou v rozevíracím seznamu zobrazeny všechny úseky vycházející ze zvoleného vrcholu. Zde lze vybrat konkrétní úsek a tlačítkem jej otevřít nebo uzavřít. Uzavřením některých klíčových úseků může dojít k odříznutí částí svozné oblasti. V okružní jízdě jsou pak pouze obsluhovaná sběrná hnízda, která jsou po silniční síti dostupná.



Obrázek 19 Okno nastavení



Obrázek 20 Okno s informacemi o aplikaci

Poslední nabídkou menu je Nápověda. Zde lze získat informace o programu. Součástí informací je i odkaz na programátorskou dokumentaci, která je ve formátu HTML

7.9 Nasazení aplikace na svozné oblasti sídliště

Z důvodu náročnosti získání vstupních dat o svozné oblasti, řešila aplikace pouze jednu ze čtyř částí svozné oblasti. Pro velký počet svozných hnízd a jednosměrných ulic jsem zvolil místní část Kolína nazývanou sídliště.

Graf této svozné oblasti je zobrazena na mapě v příloze E. Optimalizace se prováděla pro maximalistickou variantu, kdy jsou okružní jízdou obslouženy všechny hnízd v oblasti. Vstupním vrcholem a zároveň depem je vrchol v0, ležící na křižovatce páteřních komunikací. Křižovatka představuje pomyslné depo, z něhož jsou obsluhovány autonomní oblasti svozu.

Aplikace našla nejkratší okružní jízdu. Z důvodu jednosměrnosti komunikací bylo nutné některé úseky projet vícekrát. Přínosem je určení pořadí projetí úseků, takže vozidla zbytečně nekrouží v jednosměrných enklávách. Z výsledků vyplývá, že nemá význam přejíždět mezi enklávami po objízdných komunikacích. Dále z výsledků vyplynulo, že při okružní jízdě je nutné projet většinu úseků ve svozné oblasti.

Délka optimalizované okružní jízdy je 8594 m. Výsledek optimalizace je graficky znázorněn na mapě v příloze F. Jednotlivé úseky na okružní jízdě jsou očíslovány podle pořadí navštívení. Posloupnost vrcholů a úseků na okružní jízdě je vypsána v příloze G.

8 Závěr

Cílem práce byla optimalizace svozu komunálního odpadu v Kolíně se zaměřením na obalový odpad domácností.

Z analýzy zákonů vyplynula povinnost producentů podílet se na zpracování produkováných obalových odpadů a povinnost obcí zajistit na svém území jeho separovaný sběr a využití. Producenti obalů svoji povinnost plní pomocí autorizované obalové společnosti, která finančně podporuje sběr obcí. Obce sběrem pověřují odpadové společnosti.

V Evropě je situace obdobná jako v ČR, protože země EU musejí implementovat společnou politiku odpadového hospodářství. Na území každého státu působí národní společnost řešící systém nakládání s obalovými odpady. V jednotlivých státech se pouze liší právní forma společností.

Město Kolín si v souladu se zákony nechalo zpracovat plán odpadového hospodářství, který úspěšně plní. Nakládáním s komunálním odpadem pověřilo společnost AVE. Město se dále již touto problematikou nezabývá, pouze hradí ztrátu vzniklou při sběru obalových odpadů.

Na základě požadavků společnosti AVE byla navržena optimalizace stávajícího řešení. Optimalizační proces je řešen formou programové aplikace, která navrhne optimální svoznou trasu z hlediska minimalizace nákladů na pohonné hmoty. Optimalizace rozmístění svozných hnízd ani plánování turnusů nebylo požadováno, jelikož již bylo vyřešeno.

Programová aplikace navrhla optimální okružní jízdu po svozných hnízdech ve svozné oblasti a dala tak vodítko řidičům svozných vozidel jak efektivně obsloužit hnízda, aniž by zbytečně bloudili labyrintem jednosměrných ulic.

Správná funkce aplikace byla ověřena na jedné ze čtyř svozných oblastí. Svozná oblast sídliště zahrnuje 10350 m silničních komunikací, z toho je 3933 m jednosměrných. Svoz odpadu ze sběrných hnízd lze provést jednou okružní jízdou. Navržená okružní jízda má délku 8594 m. Pro obsloužení všech hnízd nebylo nutné projet 3738 m silničních komunikací. 2224 m komunikací bylo nutno projet dvakrát. Okružní jízdu nelze provést bez opakovaného projetí již navštívených silničních úseků, protože 12 sběrných hnízd je umístěno na konci slepých ulic. Dalším omezujícím faktorem je jednosměrnost úseků.

Vlastním přínosem práce tak nebylo jen teoretické shrnutí problematiky nakládání s obalovými odpady, ale i praktické řešení problému v praxi. Výsledek práce je v praxi použitelný. Získané výsledky optimalizace svozu z oblasti sídliště, lze použít pro zhodnocení přínosu optimalizace svozu. Výsledek zhodnocení přínosu může posloužit jako vodítko návratnosti investic do případného komplexnějšího komerčního řešení. Po doplnění vstupních informací o zbylých svozných oblastech lze využít aplikaci jako jednoduchý nástroj dispečera pro stanovení svozných tras.

Aplikace byla navržena tak, aby ji bylo možno v budoucnu rozšířit o další funkce. Příkladem možného dalšího rozšíření může být lokalizace vrcholů pomocí souřadnic GPS a napojení na satelitní sledování svozných vozidel.

Soupis bibliografických citací

- [1] DURDÍK, Roman. *Směrnice EU*, [online]. [cit. 2009-11-05]. Dostupný z WWW : <http://www.ekokom.cz/assets/Klienti/Sm_rnice_EU_94_62.DOC>.
- [2] *Zákon o obalech*, [online]. [cit. 2009-11-05]. Dostupný z WWW : <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=477/2001>.
- [3] VOLEK, Josef. *Operační výzkum I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002. 111s. ISBN 80-7194-410-6>.
- [4] *Dijkstrův algoritmus*, [online]. [cit. 2009-11-05]. Dostupný z WWW : <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dijkstrův_algoritmus>.
- [5] *Floydův algoritmus*, [online]. [cit. 2009-11-05]. Dostupný z WWW : <http://homel.vsb.cz/~dor028/Floyduv_algoritmus.doc>.
- [6] *Floydův-Warshallův algoritmus*, [online]. [cit. 2009-11-05]. Dostupný z WWW : <http://cs.wikipedia.org/wiki/Floydův-Warshallův_algoritmus>.
- [7] DEMEL, Jiří. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Academia, 2002. 160 s. ISBN 80-200-0990-6.
- [8] BRÁZDOVÁ, Markéta. *Využití některých metod teorie grafů při řešení dopravních problémů*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <http://pernerscontacts.upce.cz/05_2007/Brazdova.pdf>.
- [9] VÍTEČKOVÁ, Miluše. *Základy teorie pravděpodobnosti a teorie grafů*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2006. 70 s, [online]. [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW : <<http://www.fs.vsb.cz/books/SystAnal/texty/download/cele.pdf>>.
- [10] TEUBELOVÁ, Dana. *Úvod do teorie grafů*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <<http://statnice.obrys.cz/images/e/e0/1.doc>>.
- [11] OCHODKOVÁ, Eliška. *Hamiltonovské grafy*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW: <www.cs.vsb.cz/ochodkova/courses/gra/gal10.pdf>.
- [12] TUZAR, A.; MAXA, P., SVOBODA, V. *Teorie dopravy*. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01637-4
- [13] BRÁZDOVÁ, Markéta. *Dizertační práce Využití optimalizačních metod k řešení svozných a rozvozných úloh*. Pardubice, 1998. 78 s. Vedoucí dizertační práce Josef Volek
- [14] *Koncepce odpadového hospodářství České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <[http://www.mzp.cz/www/zamest.nsf/defc72941c223d62c12564b30064fdcc/8360e980f3176886c1256b3c004dbcba/\\$FILE/Koncepce03.doc](http://www.mzp.cz/www/zamest.nsf/defc72941c223d62c12564b30064fdcc/8360e980f3176886c1256b3c004dbcba/$FILE/Koncepce03.doc)>.
- [15] *Zákon 477/2001 Sb., o obalech ve znění pozdějších předpisů*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <http://www.sdrprokos.cz/akt_arch/13-seminar/Zakon-o-obalech-PROKOS.ppt>.
- [16] *Třídění odpadů v kraji Vysočina*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <<http://www.tridime-vysocina.cz/tvc225ekokom.php>>.
- [17] EKO-KOM, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <<http://www.ekokom.cz/scripts/detail.php?id=95>>.

- [18] *Integrovaný systém zpětného odběru a využití obalových odpadů v České republice*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <http://press.avcr.cz/UserFiles/file/plasty/EKO-KOM%20CJ%202008.ppt>.
- [19] *Selective collection and recycling of household packaging waste in Belgium*, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : http://pack.org.il/SITE_ADMIN/ContentFiles/438_130.ppt.
- [20] *Spalovna Opatovice*, [online]. [cit. 2010-01-28] Dostupný z WWW : <http://www.volny.cz/spalovnaopatovice>.
- [21] AVE Kolín, [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupný z WWW : <http://www.ave-kolin.cz>.
- [22] LYSGAARD, Jens. *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Aarhus: The Aarhus School of Business, 1997, [online]. [cit. 2010-01-28] Dostupný z WWW : http://www.hha.dk/~ath/MAN_SC_MODELS/note_cw_savings.pdf.
- [23] EŠTVANC, Lukáš. *Diplomová práce Vehicle Routing Problem s omezujícími podmínkami*. Brno: Masarykova univerzita, 2008, [online]. Dostupný z WWW : http://is.muni.cz/th/72580/fi_m/diplomova_praca.pdf?lang=en.
- [24] *Zákon o odpadech*, [online]. [cit. 2010-01-28] Dostupný z WWW : http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?number1=&number2=&name=z%C3%A1kon+o+odpadech&text=>.
- [25] *OZV č. 2/2006 o nakládání s komunálním odpadem na správním území města Kolína*, [online]. [cit. 2010-01-28] Dostupný z WWW : <http://www.mukolin.cz/UserFiles/File/OZV%2006-02.pdf>.
- [26] NOVÁK, Pavel. *POH Kolína*. 2005.
- [27] *Kolín-čísla popisná*. Praha: Geodézie, 2002, 32s. ISBN 80-7279-206-7
- [28] *Annual report 2008*, [online]. [cit. 2010-04-28] Dostupný z WWW : http://www.fostplus.be/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Jaarverslagen/2008/FOST_JAARVERSLAG_UK_DEF.pdf
- [29] *Results system EKO-KOM*, [online]. [cit. 2009-12-03] Dostupný z WWW : <http://press.avcr.cz/UserFiles/file/plasty/EKO-KOM%20CJ%202008.ppt>
- [30] CENEK, P.; KLIMA, V.; JANÁČEK, J. *Optimalizace dopravních a spojových procesů*. Žilina: Univerzita Žilina, 1994. 344 s. ISBN 80-7100-197-X
- [31] WEINER, V. *Diplomová práce Řešení problému obchodního cestujícího pomocí PC*. Praha: ČVUT, 2008. 79s., [online]. [cit. 2010-04-28] Dostupný z WWW: <http://vlastikw.110mb.com/skola/cvutfd/projekt/reseni%20tsp%20pomoci%20PC.pdf>

Přílohy

Seznam příloh

Příloha A: Seznam stanovišť a nádob na tříděný odpad

Příloha B: Diagram tříd balíčku *Graf*

Příloha C: Diagram třídy *TUlicniSit*

Příloha D: Diagram třídy *TVrchol*, *TSvozneHnizdo*

Příloha E: Svozná oblast

Příloha F: Okružní jízda

Příloha G: Textový výpis okružní jízdy

Příloha H: Přiložené CD

Příloha A: Seznam stanovišť a nádob na tříděný odpad



Svozové dny:

plast	- pondělí, čtvrtek (2×týdně)
sklo barevné	- pátek (20 × ročně)
sklo bílé	- pátek (20 × ročně)
papír	- středa (1×týdně)

Vysvětlení: Nádobu nově svážená od března (sklo), či června (papír) 2008
 Nádobu nově svážená od září 2008

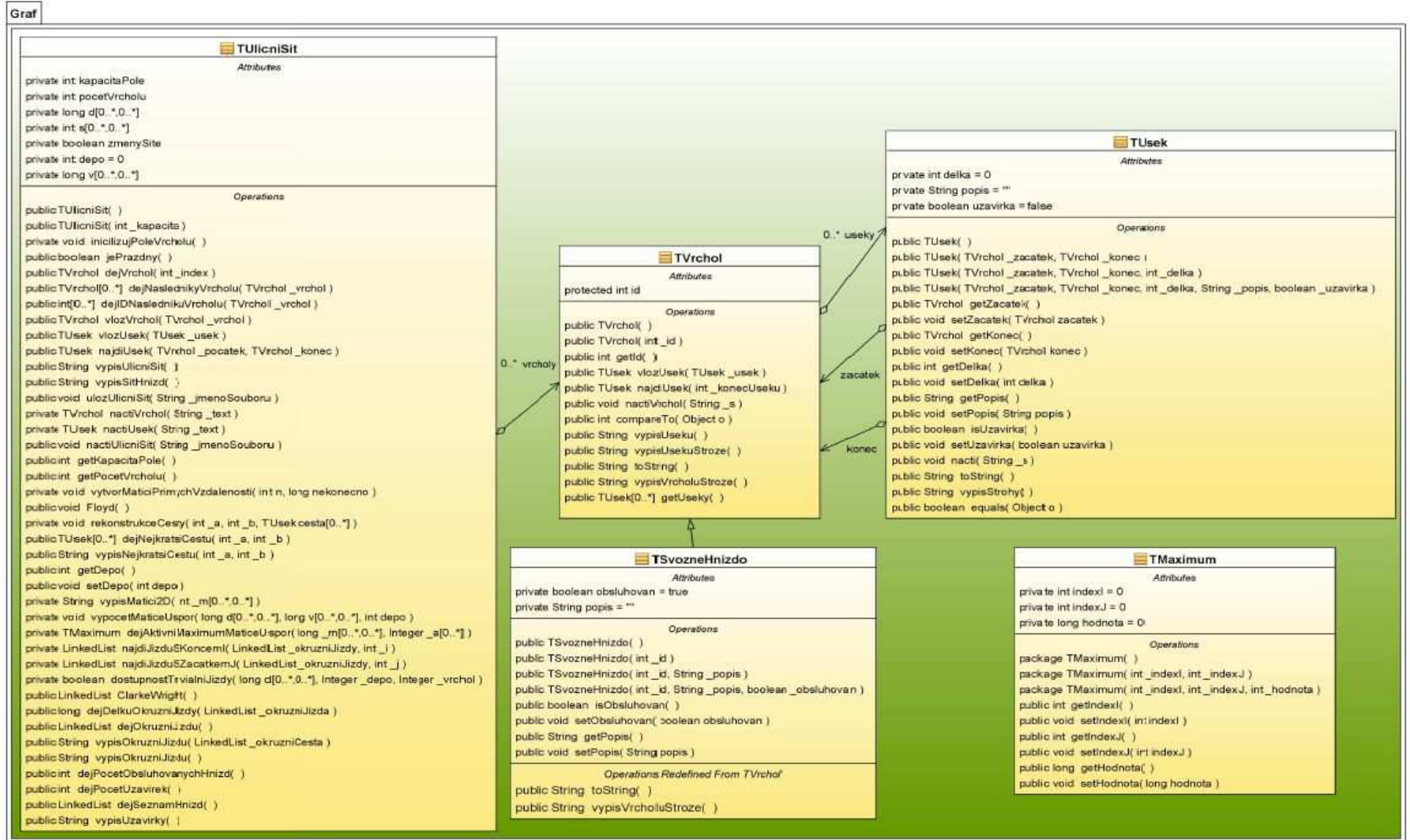
1
1

Pořad. číslo	Čtvrť	Specifikace stanoviště (ulice, č.p. a podobně)	Počet nádob				
			Plast	Sklo barevné	Sklo bílé	Papír	Tetra pack
1	KO.I	Rubešova (starý most)	1	1		1	
2	KO.II	DELVITA	2	2		1	
3	KO.II	Kmochova ul.	1	1			
4	KO.II	sídlíště "KASARNA"	1			1	
5	KO.II	sídlíště "KASARNA"	2	1		2	1
6	KO.II	sídlíště "KASARNA"	1	1		1	
7	KO.II	sídlíště "KASARNA"		1		1	
8	KO.II	BENEŠOVA (pod nák. stf. DISKONT +)	2	2	1		
9	KO.II	Moravcova (851-856) (za Lop.vilou)	1	1	1	1	
10	KO.II	Březinova (877-879)	1	1	1		
11	KO.II	Moravcova (874-876)	1				
12	KO.II	Moravcova-Březinova (973-974)	1	1		1	1
13	KO.II	Moravcova-Březinova (971-972)	1				
14	KO.II	Kremličkova (935-936)	1				
15	KO.II	Radimského (942)	1				
16	KO.II	Kremličkova (937)	1			1	1
17	KO.II	Kremličkova (964)	1				
18	KO.II	Kremličkova (961-963)	1			1	
19	KO.II	Mikoláše Alše-Na Magistrále (naproti stf. Na schůdkách)	1	1	1	1	
20	KO.II	Zborovská - Na Magistrále	1	2		1	
21	KO.II	Na Magistrále (797)	1			1	
22	KO.II	Na Magistrále (768)	1			1	
23	KO.II	Na Magistrále (771)	1				
24	KO.II	Na Magistrále (764)	1	1	1		
25	KO.II	Družstevní (před "BARBORKOU")	1	2	1	2	
26	KO.II	Parkoviště CENTRUM (u nákup.střediska)	1	2			
27	KO.III	Bezručova (za jídelnou 1.ZS)	2			1	1
28	KO.II	MASARYKOVA (815)	1				
29	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (839)	1				
30	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (824)	1			1	
31	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (834)	1				
32	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (960)	1				
33	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (897)	1	1	1	1	
34	KO.II	RIMAVSKÉ SOBOTY (892)	1				
35	KO.II	FUNKEHO (932)	1	1	1		
36	KO.II	FUNKEHO (924)	1			1	
37	KO.II	KLENOVECKÁ (naproti MTH)	1				
38	KO.II	KLENOVECKÁ (naproti MTH)	1	1	1	1	1
39	KO.II	KLENOVECKÁ (904)	1			1	
40	KO.II	sídl.VODARNA – Ant.Dvořáka		1	1	2	1
41	KO.II	Sídl.VODARNA – Hrnčířská (1031)	1			1	
42	KO.II	Sídl.VODARNA – Hrnčířská (1029)	1	1		1	



43	KO.II	Sídl.VODARNA – Hmčářská (1027)	1		1	1	
44	KO.II	MASARYKOVA (841)	1				
45	KO.II	MASARYKOVA (863)	1				
46	KO.II	MASARYKOVA (886)	1			1	
47	KO.II	MASARYKOVA (869)	1				
48	KO.II	MASARYKOVA (nákupní stf.BILLA)	1	2			
49	KO.III	GRÉGROVA	1			1	
50	KO.III	ČECHOVY SADY	1			2	1
51	KO.III	NERUDOVA	2	1	1	1	
52	KO.III	ŽÍŽKOVA (před obchodem"BEZOVKÁ")	1	1	1		
53	KO.III	LEGEROVA - Havelcovo nám.	1	1		1	
54	KO.IV	PROKOPA VELIKÉHO - Kostnická	1	2		1	
55	KO.IV	VÁVROVA (u obch.centra "BOUBÍN")	1	1		2	1
56	KO.IV	VÁVROVA (807-809)	1				
57	KO.IV	VÁVROVA (810-811)	1			1	
58	KO.IV	VÁVROVA (812-813)	1			1	
59	KO.IV	ŽELIVSKÉHO (806)	1				
60	KO.IV	ŽELIVSKÉHO (804-805)	2	1	1	1	
61	KO.IV	JATEČNÍ - Jeronýmova	1	1		1	
62	KO.IV	JERONÝMOVA - Vrchlického	1	2			
63	KO.IV	Oblast 15 - KOP (uLU Cihelny)	1	1		1	
64	KO.IV	Heverova (mezi SPŠ a poliklinikou)	1	1		1	
65	KO.IV	DUKEL HRDINU - Sladkovského	1	1			
66	KO.IV	Havličkova (u nák.sřf."JEDNOTA")	1	1			
67	KO.IV	ŠTÁRALKA	1	1		1	
68	KO.IV	TYLOVA - Plynárenská	1	1		1	
69	KO.V	ANTONÍNA KALINY	1	1		1	
70	KO.V	ZA BAŠTOU - sídliště	1	1		1	1
71	KO.V	NA LOUŽI (u prodejny)	1	1			
72	KO.V	OVČÁRECKÁ ("Tatra-domy")	1	1		1	
73	KO.V	SADOVÁ - Oldřišská	1	1	1		
74	KO.V	SADOVÁ - "náměstíčko"	1	2		1	
75	KO.V	TŘÍDVOŘSKÁ (před nákup.střediskem)	1	1		1	
76	KO.V	Na Kopečkách	1	1		1	
77	KO.IX	SENDRAŽICE - Na Dlouhé Vodě	1	1		1	1
78	KO.IX	SENDRAŽICE - Hlavní/Příční	1	1		1	
79	KO.VI	NA VÝFUKU	1	1			
80	KO.VI	ŠTÍTARY - Na Návsi	1	1		1	
81	KO.VI	ŠTÍTARY - Ke Hřišti	1	1			
82		ZIBOHLAVY	1	1			
83	KO.II	Základní škola Bezručova	1				
84	KO.II	Základní škola Kmochova	1				
85	KO.IV	Základní škola Prokopa Velikého	1				
86	KO.IV	Základní škola Lipanská	1				
87	KO.V	Základní škola Mnichovická	1				
88	KO.V	Základní škola Ovčárecká	1				
89	KO.II	Základní škola Masarykova	1				
90		RD - Pod Vinicí		1	1		
91		Nová stavba - Tovární / Na Louži		1	1		
92		K Vinici / Na Kopečkách - konečná MHD	1	1	1	1	
		Čelkem	94	61	18	55	10
			Plast	Sklo barevné	Sklo bílé	Papír	Tetra pack

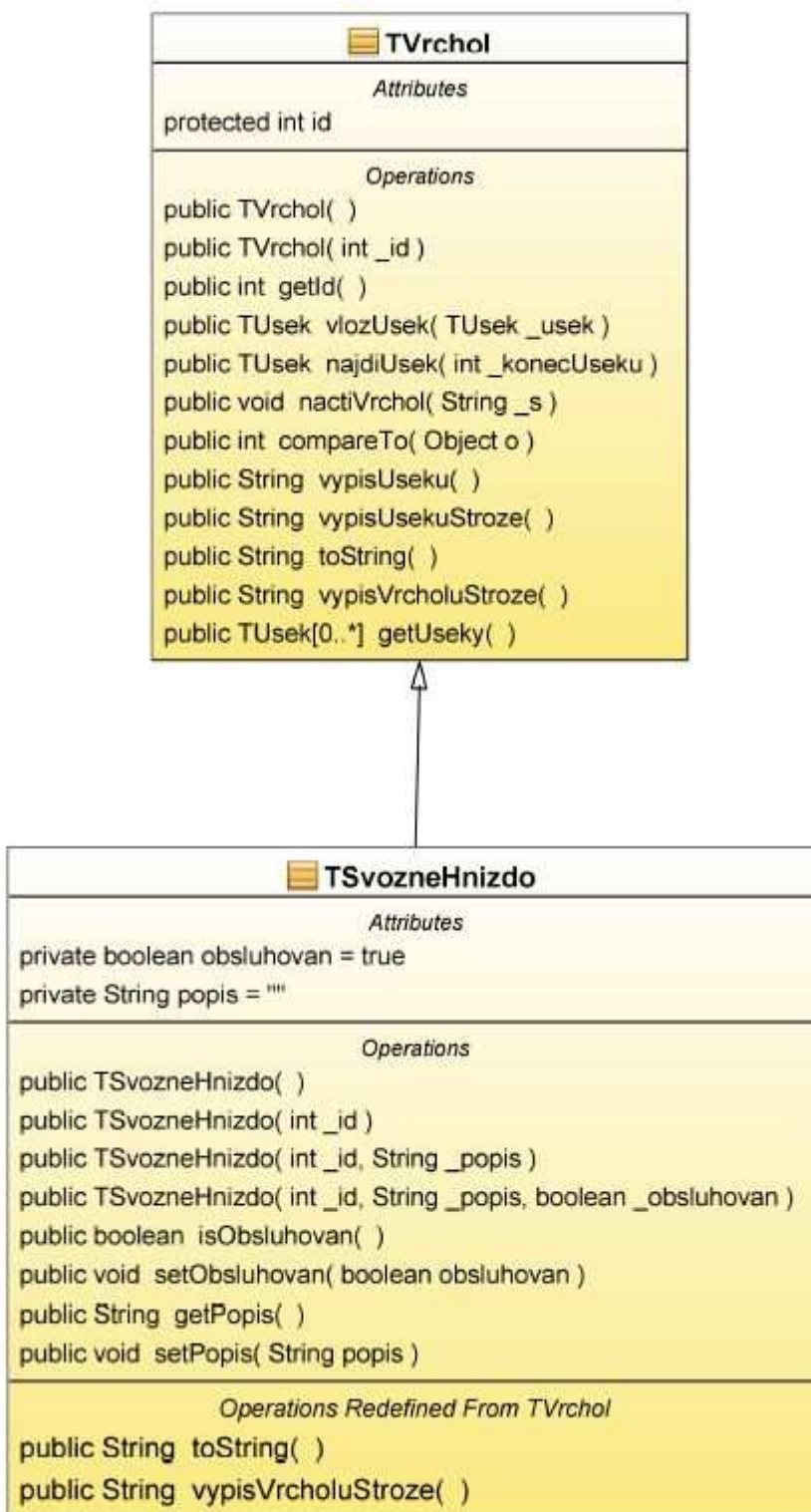
Příloha B: Diagram tříd balíčku *Graf*



Příloha C: Diagram třídy *TUlicniSit*



Příloha D:Diagram třídy *TVrchol*, *TSvozneHnizdo*



Příloha E: Svozná oblast



Příloha F: Okružní jízda



Příloha G: Textový výpis okružní jízdy

Okružní jízda z depa: v0

vrchol v0

ulice Žižkova v0-- v1 délka 228m

vrchol v1

ulice Masarykova v1-- v2 délka 96m

vrchol v2

ulice Masarykova v2-- v3 délka 60m

vrchol v3

ulice Seifertova v3-- v4 délka 36m

vrchol v4

ulice Nerudova v4-- v5 délka 42m

hnízdovrchol v5

vrchol v5

ulice Nerudova v5-- v6 délka 84m

vrchol v6

ulice Grégrova v6-- v7 délka 84m

vrchol v7

ulice Grégrova v7-- v8 délka 48m

vrchol v8

ulice Grégrova v8-- v9 délka 72m

hnízdovrchol v9

vrchol v9

ulice Grégrova v9-- v10 délka 48m

vrchol v10

ulice Seifertova v10-- v11 délka 30m

vrchol v11

ulice Seifertova v11-- v4 délka 90m

vrchol v4

ulice Nerudova v4-- v5 délka 42m

vrchol v5

ulice Nerudova v5-- v6 délka 84m

vrchol v6

ulice Grégrova v6-- v7 délka 84m

vrchol v7

ulice Čechova v7-- v12 délka 36m

hnízdovrchol v12

vrchol v12

ulice Čechova v12-- v11 délka 72m

vrchol v11

ulice Seifertova v11-- v4 délka 90m

vrchol v4

ulice Seifertova v4-- v3 délka 36m

vrchol v3

ulice Masarykova v3-- v13 délka 72m

hnízdovrchol v13

vrchol v13

ulice Masarykova v13-- v14 délka 240m

vrchol v14

ulice Masarykova v14-- v74 délka 96m

hnízdovrchol v74

vrchol v74

ulice Masarykova v74-- v15 délka 210m

vrchol v15

ulice Rimavské Soboty v15-- v54 délka 10m

vrchol v54

ulice Klenovická v54-- v70 délka 156m

hnízdovrchol v70

vrchol v70

ulice Tisovecká v70-- v69 délka 54m

vrchol v69

ulice Tisovecká v69-- v68 délka 60m

vrchol v68

ulice Masarykova v68-- v71 délka 48m

vrchol v71

ulice Masarykova v71-- v72 délka 48m

hnízdovrchol v72

vrchol v72
ulice Masarykova v72-- v71 délka 48m
vrchol v71
ulice Masarykova v71-- v73 délka 60m
vrchol v73
ulice Masarykova v73-- v14 délka 30m
vrchol v14
ulice Bezručova v14-- v43 délka 120m
vrchol v43
ulice Bezručova v43-- v44 délka 54m
hnízdovrchol v44

vrchol v44
ulice Bezručova v44-- v45 délka 162m
hnízdovrchol v45

vrchol v45
ulice Bezručova v45-- v46 délka 96m
vrchol v46
ulice Bezručova v46-- v47 délka 48m
hnízdovrchol v47

vrchol v47
ulice Bezručova v47-- v46 délka 48m
vrchol v46
ulice Bezručova v46-- v45 délka 96m
vrchol v45
ulice V Břízách v45-- v48 délka 120m
vrchol v48
ulice V Břízách v48-- v51 délka 156m
vrchol v51
ulice V Břízách v51-- v52 délka 96m
vrchol v52
ulice V Břízách v52-- v53 délka 120m
vrchol v53
ulice Benešova v53-- v39 délka 150m
vrchol v39
ulice Benešova v39-- v36 délka 132m
vrchol v36
ulice Benešova v36-- v16 délka 150m
vrchol v16
ulice Benešova v16-- v17 délka 60m
hnízdovrchol v17

vrchol v17
ulice Březinova v17-- v22 délka 120m
hnízdovrchol v22

vrchol v22
ulice Březinova v22-- v23 délka 84m
hnízdovrchol v23

vrchol v23
ulice Březinova v23-- v22 délka 84m
vrchol v22
ulice Březinova v22-- v24 délka 60m
vrchol v24
ulice Moravcova v24-- v25 délka 72m
hnízdovrchol v25

vrchol v25
ulice Moravcova v25-- v24 délka 72m
vrchol v24
ulice Březinova v24-- v26 délka 72m
hnízdovrchol v26

vrchol v26
ulice Březinova v26-- v27 délka 90m
hnízdovrchol v27

vrchol v27
ulice Březinova v27-- v28 délka 60m
hnízdovrchol v28

vrchol v28
ulice Kremlíčková v28-- v29 délka 48m
vrchol v29
ulice Kremlíčková v29-- v30 délka 36m
hnízdovrchol v30

vrchol v30
ulice Kremlíčková v30-- v29 délka 36m
vrchol v29
ulice Radimského v29-- v31 délka 36m
hnízdovrchol v31

vrchol v31
ulice Radimského v31-- v29 délka 36m
vrchol v29
ulice Kremličkova v29-- v28 délka 48m
vrchol v28
ulice Kremličkova v28-- v32 délka 54m
hnízdovrchol v32

vrchol v32
ulice Kremličkova v32-- v33 délka 60m
vrchol v33
ulice Na Magistrále v33-- v75 délka 102m
hnízdovrchol v75

vrchol v75
ulice Na Magistrále v75-- v36 délka 144m
vrchol v36
ulice Na Magistrále v36-- v37 délka 48m
hnízdovrchol v37

vrchol v37
ulice Na Magistrále v37-- v38 délka 96m
hnízdovrchol v38

vrchol v38
ulice Na Magistrále v38-- v37 délka 96m
vrchol v37
ulice Na Magistrále v37-- v36 délka 48m
vrchol v36
ulice Benešova v36-- v39 délka 132m
vrchol v39
ulice Družstevní v39-- v40 délka 174m
vrchol v40
ulice Družstevní v40-- v41 délka 108m
hnízdovrchol v41

vrchol v41
ulice Družstevní v41-- v40 délka 108m
vrchol v40
ulice Družstevní v40-- v42 délka 42m
vrchol v42
ulice Tyršova v42-- v15 délka 246m
vrchol v15
ulice Rimavské Soboty v15-- v54 délka 10m
hnízdovrchol v54

vrchol v54
ulice Rimavské Soboty v54-- v55 délka 78m
hnízdovrchol v55

vrchol v55
ulice Rimavské Soboty v55-- v56 délka 36m
vrchol v56
ulice Rimavské Soboty v56-- v57 délka 72m
hnízdovrchol v57

vrchol v57
ulice Rimavské Soboty v57-- v56 délka 72m
vrchol v56
ulice Rimavské Soboty v56-- v58 délka 48m
hnízdovrchol v58

vrchol v58
ulice Rimavské Soboty v58-- v56 délka 48m
vrchol v56
ulice Rimavské Soboty v56-- v55 délka 36m
vrchol v55
ulice Rimavské Soboty v55-- v59 délka 66m
hnízdovrchol v59
vrchol v59
ulice Rimavské Soboty v59-- v60 délka 24m
hnízdovrchol v60

vrchol v60
ulice Funkeho v60-- v61 délka 72m

vrchol v61
ulice Funkeho v61-- v62 délka 72m
hnízdovrchol v62

vrchol v62
ulice Funkeho v62-- v61 délka 72m
vrchol v61
ulice Funkeho v61-- v63 délka 120m
hnízdovrchol v63

vrchol v63
ulice Funkeho v63-- v64 délka 90m
hnízdovrchol v64

vrchol v64
ulice Klenovická v64-- v65 délka 48m
vrchol v65
ulice Klenovická v65-- v66 délka 54m
vrchol v66
ulice Klenovická v66-- v67 délka 90m
hnízdovrchol v67

vrchol v67
ulice Tisovecká v67-- v68 délka 138m
vrchol v68
ulice Masarykova v68-- v71 délka 48m
hnízdovrchol v71

vrchol v71
ulice Masarykova v71-- v73 délka 60m
hnízdovrchol v73

vrchol v73
ulice Masarykova v73-- v14 délka 30m
vrchol v14
ulice Masarykova v14-- v13 délka 240m
vrchol v13
ulice Masarykova v13-- v3 délka 72m
vrchol v3
ulice Masarykova v3-- v2 délka 60m
vrchol v2
ulice Masarykova v2-- v1 délka 96m
vrchol v1
ulice Žižkova v1-- v0 délka 228m
vrchol v0

Ujetá vzdálenost:8594 m