



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Oleg Mazur

**ROZMÍSTĚNÍ NÁDOB TRŽIDĚNÉHO ODPADU VE  
VYBRANÉM MĚSTĚ**

Bakalářská práce

**2022**



**K617..... Ústav logistiky a managementu dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Mazur Oleg**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Rozmístění nádob tříděného odpadu ve vybraném městě**

Název tématu (anglicky): Distribution of recycling bins in the selected city

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Popis stávajícího stavu
- Analýza systémů třídění odpadu
- Aparát teorie grafů
- Definice problému rozmístění kontejnerů
- Aplikace vybraných metod
- Analýza výsledků nového rozmístění kontejnerů





- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Volek, J., Operační výzkum I , 2001  
Ola M. Johansson, The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system, Waste Management, Division of Packaging Logistics, Lund University, SE-221 00 Lund, Sweden, 2005

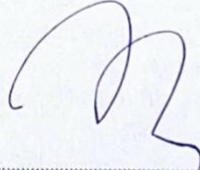
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Alena Rybičková, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **30. června 2021**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu logistiky a managementu dopravy



  
.....  
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



.....  
Oleg Mazur  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2021

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak dekuji své vedoucí bakalářské práce Ing. Aleně Rybičkové, Ph.D., za všestrannou pomoc, množství cenných rad, podnětů, připomínek a zároveň za velkou trpělivost při konzultacích a úpravách poskytnutých ke zpracování této práce.

A také bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu po celou dobu mého studia.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, dne 08.08.2022

.....  
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

ROZMÍSTĚNÍ NÁDOB TŘÍDĚNÉHO ODPADU VE  
VYBRANÉM MĚSTĚ

Bakalářská práce

Srpen 2022

Oleg Mazur

**Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce „Rozmístění nádob tříděného odpadu ve vybraném městě“ je představení a analýza odpadového hospodářství ve městě Plasy a na základě této analýzy zjistit aktuální problémy odděleného odpadu a udělat návrh umístění, který by optimalizoval současný stav.

**Klíčová slova**

Lokační analýza, lokační úlohy, umístění středisek obsluhy, p-medián

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of transportation science

DISTRIBUTION OF RECYCLING BINS IN THE  
SELECTED CITY

Bachelor thesis

August 2022

Oleg Mazur

**Abstract**

The subject of the bachelor's thesis "Distribution of recycling bins in the selected city" is the presentation and analysis of waste management in the city Plasy and, based on this analysis, to find out the current problems of separated waste and make a proposal for a location that would optimize the current situation.

**Key words**

Location analysis, location tasks, location of facilities, p-median

# Obsah

1. Úvod.....	7
2. Představení zvoleného města Plasy .....	8
3. Stávající stav s odpady v městě Plasy.....	10
3.1 Odpadové hospodářství města Plasy.....	10
3.2 Produkce komunálních odpadů na území města Plasy .....	12
3.3 Oddělený sběr odpadů – odpadů obalů .....	14
3.4 Směsný komunální odpad .....	16
3.5 Sběrný dvůr odpadů města Plasy .....	17
3.6 Biologické rozložitelné odpady .....	17
3.7 Vyřazená elektrická a elektronická zařízení (VEEZ) .....	17
3.8 Objemný odpad.....	18
3.9 Oděvy a textil.....	18
3.10 Nebezpečné odpady .....	18
3.11 Frekvence svozu.....	19
3.12 Legislativa.....	19
4. Lokační analýza .....	21
4.1 Klasifikace lokačních úloh.....	22
4.2 Terminologie.....	23
4.3 Matematická formulace zvolených úloh.....	24
5. Metoda řešení.....	28
5.1 Exaktní metody .....	28
5.2 Heuristické metody .....	29
6. OpenStreetMap .....	32
7. Aplikace metody .....	33
7.1 Původní stav.....	33
7.2 Návrh řešení .....	35
7.2.2 Varianta 2.....	37
7.3 Zhodnocení a porovnání variant .....	38
7.4 Ekonomické posouzení .....	39
8. Závěr .....	43

9.	Použité zdroje.....	45
10.	Seznam obrázku .....	47
11.	Seznam tabulek .....	48
12.	Seznam příloh .....	49



# 1. Úvod

Moderní člověk vede intenzivní hospodaření a spotřebovává stále více zdrojů přírodního prostředí. Rostoucí kvalita života a vysoká míra spotřeby zdrojů měly nezamýšlený a negativní dopad na životní prostředí – vytváření odpadů daleko nad rámec manipulačních kapacit místních samospráv a agentur.

Města a obce se nyní potýkají s problémy s vysokým objemem odpadu, souvisejícími náklady, technologiemi a metodikami likvidace a dopadem odpadů na místní a globální prostředí.

Existuje jasná potřeba současného přístupu k nakládání s odpady, který je zaměřen na obce a využívá vysoce energeticky/vyspělé technologie, aby se více posunul ke zpracování odpadu a recyklaci odpadu, což zahrnuje partnerství veřejného a soukromého sektoru, s cílem eventuální minimalizace odpadu.

Jedním z řešení této krizové situace je správná recyklace odpadu, což do značné míry závisí na třídění opadu. Třídění odpadu je nejen ovlivněno ekologickým faktorem a ekonomickou situací. Recyklace může stimulovat ekonomiku mnoha způsoby. Odpad je významným zdrojem surovin. Například odpady se používají jako zdroj energie – využití skládkového plynu. V důsledku rozkladu odpadu vzniká metan, který se shromažďuje a využívá jako automobilové palivo, nebo k výrobě elektřiny. Recyklace má také ekonomický smysl. Obecně platí, že likvidace recyklovaného odpadu je šestkrát levnější než obecný odpad. Odhaduje se, že až 75 % veškerého odpadu lze recyklovat nebo znovu použít, což je údaj o tom, jak účinný může být proces, pokud je proveden správně.

Pro dosažení maximálního výsledku při třídění odpadu je třeba splnit několik podmínek – zajistit možnost odděleného sběru odpadu, následně zajistit pravidelnou informovanost obyvatel o správném způsobu nakládání s nimi. Vhodný počet nádob, frekvence svozu, dostupnost a umístění separačních míst jsou hlavní opatření pro zlepšení a zefektivnění třídění odpadu.

Tato bakalářská práce je zpracována s cílem navrhnout optimální rozmístění nádob třídění odpadu ve vybraném místě. V této bakalářské práci je provedena analýza stávajícího odpadové hospodářství města Plasy a následně jsou identifikovány faktory a kritéria, podle kterých bude navrženo řešení. Následuje návrh variant řešení umístění míst pomocí lokační analýzy, které jsou hodnoceny podle stanovených kritérií.

## 2. Představení zvoleného města Plasy

Město Plasy leží 20 kilometrů severně od krajského města Plzně v údolí řeky Střely. Plasy jsou součástí mikroregionu Dolní Střela. V centru tohoto historického města se nachází bývalé cisterciácké opatství, dnes Národní kulturní památka Klášter Plasy, které postupně prochází nákladnou rekonstrukcí. Z města se tak stává kulturní a historické centrum celého regionu [12].



*Zroj: [2]*

*Obrázek 1: Město Plasy*



*Obrázek 2: Znak města*

*Zdroj: [9]*

Město patří mezi střední města v Plzeňském kraji. Městem prochází dvě důležité dopravní spojnice ve směru sever–jih: železniční trať Plzeň–Žatec a jedna z hlavních silnic

I/27 v Plzni a spojuje statutární město a Plzeň s městem Most. Silnice vede přímo centrem města, což je pro město velmi problematické a již reálně se počítá s obchvatem města. Krizovým dopravním místem jsou serpentiny na obou stranách. Město je napojeno i na železniční dopravu (nádraží se nachází na jihozápadním okraji města) [12].

Ve městě žije v současné době cca 2 800 obyvatel, z toho cca 1 000 (35 %) bydlí v panelových domech a zbývajících 1 800 (65 %) vlastní nemovitost s pozemkem. Většina obyvatel města, cca 64 % jsou obyvatelé v produktivním věku. Níže uvedená tabulka to jasně ukazuje [12].

**Tabulka 1: Přehled obyvatel včetně struktury zástavby**

Mesto Plasy	Počet obyvatel				Počet bytu		
	Celkem	v tom ve věku (let)			celkem	v tom dům	
		0-14	15-64	65 a více		bytový	rodinný
<b>Celkem</b>	<b>2770</b>	<b>413</b>	<b>1750</b>	<b>607</b>	<b>1284</b>	<b>329</b>	<b>942</b>

*Zdroj: [12]*

Vzhledem ke své poloze v údolí Střely nemá město Plasy žádný velký průmysl, ale existuje několik malých řemeslných podniků. Okolí města je čistě rekreačního charakteru. Území města tvoří šest částí: Plasy, Lomnička, Horní Hradiště, Žebnice, Babina a Nebřeziny [12].

## 3. Stávající stav s odpady v městě Plasy

V této části práce je popsáno odpadové hospodářství města, systém nakládání s komunálními odpady a oddělený sběr odpadů.

### 3.1 Odpadové hospodářství města Plasy

Odpadové hospodářství neboli nakládání s komunálním odpadem, je ve městě zajišťováno dle platných zákonů. Veškeré nakládání s komunálním odpadem zajišťují oprávněné firmy na základě smluvních vztahů. Od 1. ledna 2018 zajišťuje odpadové hospodářství ve městě společnost Marius Pedersen – provoz Kralovice, která je oprávněna nakládat se všemi druhy odpadů produkovaných obyvateli města [12].

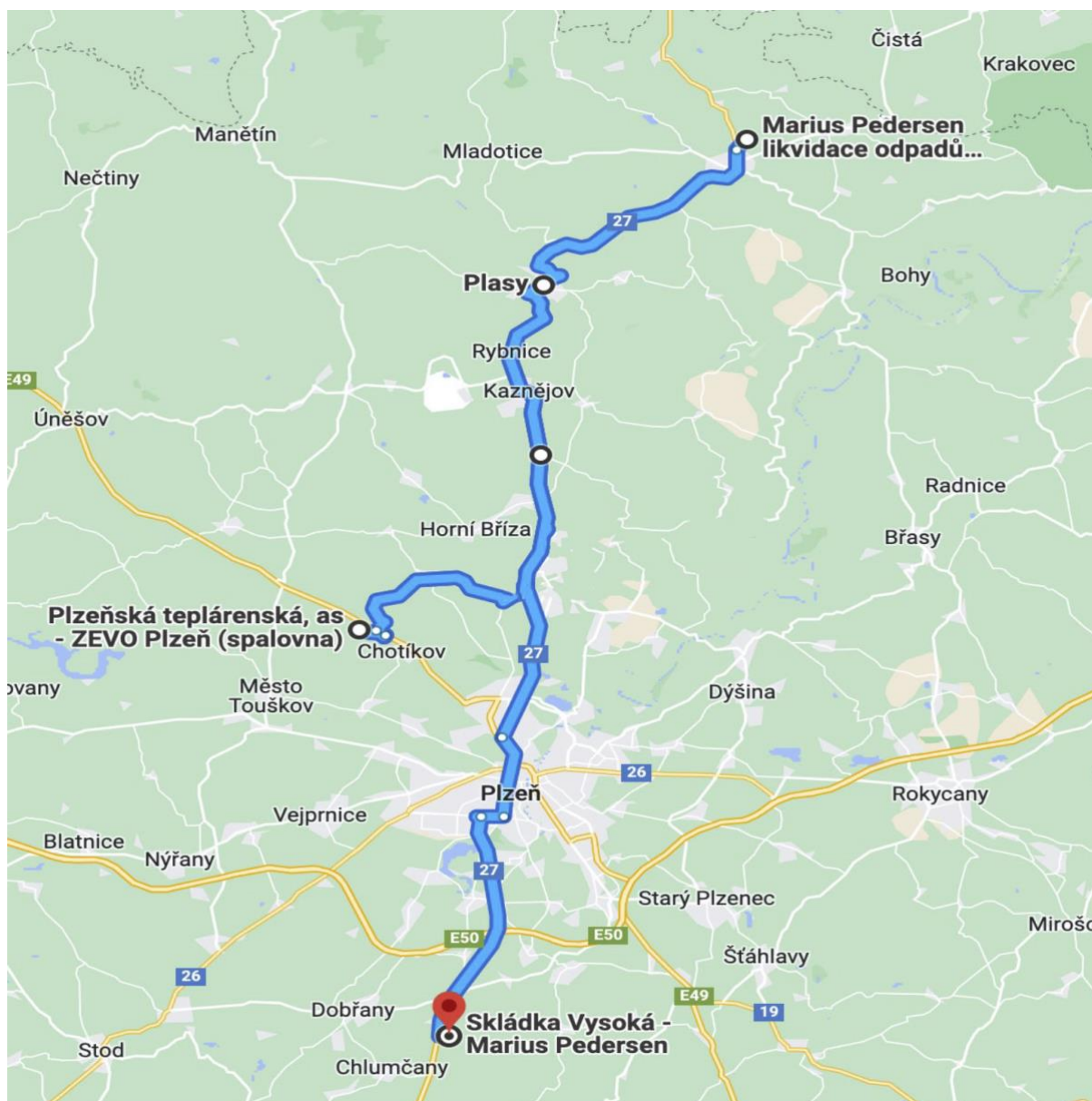
Svozová společnost zajišťuje následující služby [12]:

- Svoz a odstranění směsného komunálního odpadu.
- Svoz, přetřídění a využití odděleně sbíraných složek komunálního odpadu (papír, sklo, plasty, nápojový karton, kovy, biologicky rozložitelné odpady atd.)
- Provoz sběrného dvora, včetně odvozu, využití a případné odstranění odpadů shromážděných ve sběrném dvoře.

Město má infrastrukturu pro třídění a svoz komunálního odpadu. Je zde popelnice, do které je možné uložit veškerý komunální odpad produkovaný obyvateli města a na katastru je síť sběrných míst pro třídění a svoz obalových odpadů jako je papír, plast, sklo, nápojové kartony atd [12].

Z hlášení o vzniku odpadů a nakládání s nimi je zřejmé, že město produkuje více než 1000 tun ostatního komunálního odpadu, proto by město mělo zpracovat plán odpadového hospodářství pro původce odpadů, v souladu s § 44 zákona o odpadech [12].

Veškerý komunální odpad produkovaný obyvateli města je předán oprávněným firmám k využití nebo likvidaci. Společnost následně zpracovává nebo likviduje odpad na těchto zařízeních: třídíčka odpadu Kralovice, kompostárna Kralovice, skládka Vysoká u Dobřany a energeticky úsporné zařízení ZEVO Chotíkov [12].



*Zdroj: [4, autor]*

*Obrázek 3: Mapa s vyznačenými zařízeními pro zpracování a odstranění odpadu*

## 3.2 Produkce komunálních odpadů na území města Plasy

Tabulka 2: Porovnání produkce komunálních odpadů Plzeňského kraje a města Plasy včetně Sběrného dvorů(SD).

Odpad - Kód odpadu	Odpad - název	Plzeňský kraj obce 2018		Plasy 2017 + SD		Plasy 2018 + SD	
		Množství (t)	Kg/obyv./ rok	Množství (t)	Kg/obyv./ rok	Množství (t)	Kg/obyv./ rok
150101	Papírové a lepenkové obaly	1806,81	3,12	49,37	18,48	42,88	15,79
150102	Plastové obaly	1331,29	2,30	51,32	19,21	39,87	14,69
150103	Dřevěné obaly	17,45	0,03		0,00		0,00
150104	Kovové obaly	0,98	0,00		0,00		0,00
150105	Kompozitní obaly	58,75	0,10	0,67	0,25	0,14	0,05
150106	Směsné obaly	5,45	0,01		0,00		0,00
150107	Skleněné obaly	1479,50	2,55	30,96	11,59	25,66	9,45
150110	Obaly obsahující zbytky nebezpečných látek nebo obaly těmito látkami znečištěné	160,74	0,28	3,57	1,34	0,94	0,35
150111	Kovové obaly obsahující nebezpečnou výplňovou hmotu (např. azbest) včetně prázdných tlakových nádob	1,54	0,00		0,00		0,00
160103	Pneumatiky	1041,36	1,795	11,59	4,34	10,55	3,89
160601	Olovené akumulátory				0,00	0,50	0,18
170101	Beton			14,68	5,50		0,00
170107	Stavební suť neznečištěná			62,46	23,39	248,16	91,40
170201	Dřevo			63,62	23,82	27,91	10,28
170405	Železo a nebo ocel			11,92	4,46	2,52	0,93
170605	Stav.mater. obsahující azbest			19,08	7,14	25,43	9,37
200101	Papír a lepenka	9008,61	15,53		0,00	6,64	2,45
200102	Sklo	6635,31	11,44	3,20	1,20	7,12	2,62
200110	Oděvy	433,58	0,75	8,73	3,27		0,00
200111	Textilní materiály	370,59	0,64		0,00		0,00
200113	Rozpouštědla	8,47	0,02		0,00		0,00
200114	Kyseliny	1,76	0,01		0,00		0,00
200119	Pesticidy	0,07	0,00		0,00		0,00
200125	Jedlý olej a tuk	5,88	0,01		0,00		0,00
200127	Barvy, tiskařské barvy, lepidla a pryskyřice obsahující nebezpečné látky	201,69	0,35	0,7	0,26	3,58	1,32

Odpad - Kód odpadu	Odpad - název	Plzeňský kraj obce 2018		Plasy 2017 + SD		Plasy 2018 + SD	
		Množství (t)	Kg/obyv./rok	Množství (t)	Kg/obyv./rok	Množství (t)	Kg/obyv./rok
200129	Detergenty obsahující nebezpečné látky	1,52	0,00		0,00		0,00
200130	Detergenty neuvedené pod číslem 20 01 29	0,05	0,00		0,00		0,00
200131	Nepoužitelná cytostatika	0,00	0,00		0,00		0,00
200132	Jiná nepoužitelná léčiva neuvedená pod číslem 20 01 31	1,87	0,00		0,00	0,01	0,00
200135	Vyřazené elektrické a elektronické zařízení obsahující nebezpečné látky neuvedené pod čísly 20 01 21 a 20 01 23	0,33	0,00		0,00		0,00
200136	Vyřazené elektrické a elektronické zařízení neuvedené pod čísly 20 01 21, 20 01 23 a 20 01 35	69,16	0,12	4,97	1,86	0,86	0,32
200138	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37	4291,27	7,40		0,00	20,96	7,72
200139	Plasty	7511,56	12,95		0,00		0,00
200140	Kovy	1618,54	2,79	8,16	3,06	18,76	6,91
200201	Biologicky rozložitelný odpad	24249,15	41,81	443,36	165,99	521,75	192,17
200202	Zemina a kameny	1479,22	2,55		0,00		0,00
200203	Jiný biologicky nerozložitelný odpad	242,29	0,42		0,00		0,00
200301	Směsný komunální odpad	106215,98	183,13	762,68	285,54	570,22	210,03
200302	Odpad z tržišť	462,12	0,80		0,00		0,00
200303	Uliční smetky	253,24	0,44		0,00	28,32	10,43
200304	Kal ze septiků a žump	84,26	0,15		0,00		0,00
200306	Odpad z čištění kanalizace	1,00	0,00		0,00		0,00
200307	Objemný odpad	23848,08	41,12	130,84	48,99	148,20	54,59
200399	Komunální odpady jinak blíže neurčené	0,21	0,00		0,00		0,00
<b>Celkem</b>		<b>192919,40</b>	<b>332,62</b>	<b>1682,89</b>	<b>630,06</b>	<b>1751,07</b>	<b>644,96</b>

Zdroj: [12]

Z uváděných produkci je zřejmé, že podle katalogu odpadů jsou některé odpady zařazeny do skupiny 15 (odpadní obaly) a některé do skupiny 20 (komunální odpady), dochází tedy ke zkreslení produkce odpadů.

Plzeňský kraj vyprodukuje celkem 8 114, 81 tun odpadového skla, což je v průměru asi 13,9kg na osobu a v ČR je to 13,2 kg skla na obyvatele a rok. Město Plasy má také přibližně stejný průměr na obyvatele, cca 12 kg odpadního skla na osobu ročně [12].

Jak již bylo zmíněno výše, v množství vykazovaného odpadu jsou velké rozdíly a to je problém nejen města Plasy, ale celého kraje (neexistují jednoznačné pokyny od kompetentních orgánů). Pro město by bylo přínosné uvést jasné důvody vedoucí k nárůstu některých odpadních materiálů jako jsou neznečištěné stavební materiály nebo k výraznému úbytku směsného komunálního odpadu i přes to, že nedošlo k nárůstu vytríděných komodit [12].

### 3.3 Oddělený sběr odpadů – odpadů obalů

Město Plasy zajišťuje na svém území oddělený sběr odpadů těchto komodit: sklo, papír, plast, nápojový karton, textil a biologicky rozložitelné odpady (BRO). U některých míst jsou umístěny i nádoby na směsný komunální odpad (SKO) (u osmi míst). Ve městě je 16 sběrných míst s celkem 78 kontejnery, včetně sběrných míst v částech města [12].

Dále město disponuje 400 kontejnery na tříděný sběr BRO v rodinných domech. Kontejnery jsou obyvatelům poskytovány zdarma a zdarma pro občany je i jejich vyvážení [12].

Numericky vychází jedno sběrné hnízdo pro cca 175 obyvatel, přičemž republikový průměr je 124 obyvatel.

*Tabulka 3: Přehled počtu, objemu a rozmístění nádob na odpad – oddělený sběr (2021)*

	sklo	papír		plast		tetrapak	Asekol	Textil
	1500 l	1100 l	240 l	1100 l	240 l			
<i>Plasy</i>								
<i>Náměšti (u Rybníka)</i>	2	4		4			1	1
<i>Bačinská u Fordu</i>	1	1		2		1		
<i>Potoční</i>	1	1		2		1		1
<i>Stará cesta</i>	1	1		1				
<i>Lipová</i>	2	2		4				1
<i>Plzeňska PKS</i>	1		1		1			
<i>U Vojanu</i>	2	2		3				1
<i>Hutní</i>		1		1				



<i>Ryplička K Letišti</i>		1		1				
<i>U Václava</i>		1		1				
<b><u>Celkem Plasy</u></b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<i>Babina</i>	1	1		3		1		
<i>Nebřeziny</i>	1	1		2		1		
<i>Horní Hradiště</i>	1	1		2				
<i>Lomnička</i>	1	1		2				
<i>Žebnice</i>	1	1		2				
<i>Lomany</i>					1			
<b><u>Celkem obce</u></b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b><u>CELKEM</u></b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

*Zdroj: [12]*

Z tohoto množství je 11 nádob zapůjčeno od společnosti EKO-KOM a.s., bez nároku na platbu. Ostatní nádoby na oddělený sběr odpadů obalů jsou ve vlastnictví svozové společnosti a město si je pronajímá zdarma. Jedná se celkem o 59 nádob. Od 1. ledna 2019 si poskytovatel (Marius Pedersen) účtuje poplatek za nově instalované nádoby na třídění odpadu [12].



*Zdroj: [10, autor]*

**Obrázek 4:** Mapa s vyznačenými místa umístění sběrných hnízd ve městě Plasy

### 3.4 Směsný komunální odpad

Ve městě Plasy je celkem instalováno 750 nádob pro sběr směsného komunálního odpadu, včetně nádob v spádových oblastech, o objemu od 120 litrů do 1 100 litrů [12].

*Tabulka 4: Přehled instalovaných nádob na SKO a jejich objem v litrech*

<i>Místo</i>	<i>120</i>	<i>240</i>	<i>1100</i>
<i>Plasy</i>	489	7	24
<i>Lomnička</i>	21		
<i>Lomany</i>	7		
<i>Horní Hradiště</i>			
<i>Žebnice</i>	57		
<i>Babina</i>	76		
<i>Nebřeziny</i>	69		
<i>Celkem</i>	917	7	24

*Zdroj: [12]*

Jednorázový objem všech instalovaných nádob je 114 360 litrů

Vzhledem k charakteru zástavby města a jeho částí bydlí převážná většina obyvatel v rodinných domech, kde jsou instalovány 120litrové nádoby na SKO, v bytových domech (podle počtu nájemníků) jsou instalovány převážně 1 100litrové nádoby [12].

Přehled produkce SKO za období 2016 – 2018:

*Tabulka 5: Produkce evidovaných odpadů Plasy 2016 - 2018 (město + SD)*

<b>Katalogové číslo</b>	<b>Kat.</b>	<b>Název</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
200301	O	Směsný komunální odpad – popelnice	661,60	762,68	570,22

*Zdroj: [12]*

*Tabulka 6: Porovnání množství SKO na obyvatele a rok v Plzeňském kraji a ve městě Plasy za rok 2018*

<b>Odpad - Kód odpadu</b>	<b>Kat.</b>	<b>Odpad - název</b>	<b>Plzeňský kraj obce 2018</b>		<b>Plasy 2017 + SD</b>		<b>Plasy 2018 + SD</b>	
			<i>Množství (t)</i>	<i>Kg/obyv. / rok</i>	<i>Množství (t)</i>	<i>Kg/obyv. rok</i>	<i>Množství (t)</i>	<i>Kg/obyv. rok</i>
200301	O	Směsný komunální odpad	106215,98	183,13	762,68	285,54	570,22	210,03

*Zdroj: [12]*

### **3.5 Sběrný dvůr odpadů města Plasy**

Sběrný dvůr odpadů města Plasy byl uveden do provozu v listopadu roku 2008 a byl vybaven standardně pro odložení veškerých komunálních odpadů, které produkují obyvatelé města [12].

V současné době je vybaven 9 velkoobjemovými kontejnery o objemu  $24\text{ m}^3$ , jedním kontejnerem s uzavíratelnou střechou o objemu  $36\text{ m}^3$ , ekologickým skladem pro uložení nebezpečného odpadu, kontejnerem pro uložení vyřazených elektrospotřebičů a dalšími 2 kontejnery o objemu  $7\text{ m}^3$ . Je zde také plocha pro odpadní pneumatiky a BRO [12].

Provozní doba sběrného dvora [12]:

Pondělí 15.00 – 18.00

Středa 15.00 – 18.00

Sobota 9.00 – 12.00

### **3.6 Biologické rozložitelné odpady**

Město má velmi dobře zavedený systém nakládání s biologicky rozložitelným odpadem z produkce obyvatel a údržby veřejné zeleně. Vlastní produkci BRO mohou obyvatelé města včetně městských částí skladovat ve sběrných dvorech, v částech města do periodicky přistavovaných kontejnerů a majitelé nemovitostí, kteří projeví zájem, mají nádobu na BRO přistavenou přímo u své nemovitosti. Celkem je u rodinných domů umístěno 400 nádob o objemu 240 litrů [12].

Veškeré BRO nasbírané do sběrných nádob nebo sběrných dvorů se předávají k dalšímu zpracování do kompostárny firmy Marius Pedersen v Kralovicích. Ostatní BRO se zpracovávají přímo na pozemku a vlastníci je ukládají do vlastního kompostu [12].

### **3.7 Vyřazená elektrická a elektronická zařízení (VEEZ)**

Město Plasy od doby nabytí účinnosti vyhlášky č. 352/2005 Sb., o zpětném odběru vyřazených elektrických a elektronických zařízení, má zajištěnou tuto povinnost prostřednictvím kolektivních systémů, které zpětný odběr zajišťují. Město má uzavřeny smlouvy se společností Asekol a.s. a Elektrowin a.s. Tyto společnosti poskytují (podle množství výtěžnosti) shromažďovací prostředky pro sběr VEEZ a zajišťují následný odvoz a zpracování tohoto odpadu [12].

### 3.8 Objemný odpad

Podle zpráv se množství objemného odpadu ve městě pohybuje kolem 130 až 150 tun ročně. Od roku 2014 do roku 2018 mírně stoupá. Největší nárůst byl mezi lety 2017 a 2018 a to o celých 18 tun , jinak stoupal o 3 – 8 tun každý rok. Navíc z hlediska průměrného množství objemného odpadu je ve městě Plasy o cca 13 kg/obyvatele ročně vyšší, než krajský průměr v roce 2018 [12].

### 3.9 Oděvy a textil

Ve městě jsou oděvy a vyřazený textil sbírány prostřednictvím veřejné sítě – bílých kontejnerů, které instalovala ve městě společnost Textil – Eko. Jsou instalovány celkem 4 u vybraných sběrných míst a současně je možno tyto odpady odkládat ve sběrném dvoře [12].

### 3.10 Nebezpečné odpady

V kategorii nebezpečných odpadů jsou nejvíce produkovány znečištěné obaly a stavební suť s obsahem azbestu. Z níže uvedené tabulky je zřejmé, že i znečištěné obaly v roce 2018 velmi poklesly cca o 2,5 tuny za rok. To představuje přibližně 0,3 kg na obyvatele za rok a krajský průměr je přibližně 0,2 kg na obyvatele [12].

Přehled množství produkce nebezpečných odpadů ukazuje:

*Tabulka 7: Produkce nebezpečných odpadů Plasy 2016-2018*

Katalogové číslo	Kat.	Název	2016	2017	2018
80111	N	Odpadní barvy obsahující rozpouštědla		0,28	
130205	N	Minerální a převodové motorové oleje	0,87	0,51	0,09
150110	N	Znečištěné obaly	5,07	3,57	0,94
150202	N	Absorpční činidla		0,13	
170605	N	Stavební mat. obsahující azbest	21,45	19,08	25,43
180208	N	Nepoužitelná léčiva		0,2	
200126	N	Olej a nebo tuk		0,5	
200127	N	Barvy, lepidla, pryskyřice	0,3	0,7	3,58
<b>Celkem</b>			<b>27,69</b>	<b>24,97</b>	<b>30,04</b>

*Zdroj: [12]*

### 3.11 Frekvence svozu

Jednotlivé druhy odpadu jsou svázeny v následujících intervalech [12]:

- Papír a plast – 1x za týden.
- Sklo a nápojový karton – 1x za měsíc.
- Textil je odvážen po naplnění kontejneru (na zavolání).
- Biologicky rozložitelné – 1x 14 dnů.
- Veškeré instalované nádoby pro SKO – 1x za týden. V mimořádných případech, na požadavek města i častěji (vánoční svátky, akce města a podobně).

### 3.12 Legislativa

V oblasti odpadového hospodářství je nutné odkázat na významné legislativní změny v podobě nových odpadových zákonů. Od 1. ledna 2021 vstupuje v platnost zákon o odpadech, který pro obce a města ukládá výrazně přísnější podmínky třídění. Zatímco dvě třetiny odpadu zatím skončily na skládkách a pouze jedna třetina v třídírnách, tento poměr by se měl brzy obrátit.

Nový odpadový zákon přesouvá určitou odpovědnost ze státu na obce. Jednou z největších změn, které zákon přináší, je odložení konce smíšených komunálních skládek o šest let, do roku 2030. Poplatky za skládkování se ale budou postupně zvyšovat. Pokud bude město nebo obec se svými obyvateli špatně třídit, všem se to výrazně prodraží [8].

Přijetí nového zákona zvyšuje náklady obcí na ukládání smíšeného komunálního odpadu na skládky. Od 1. ledna 2021 platí také omezení pro druhy odpadů, které lze přijímat na skládky. Jestliže obec nedodrží nové podmínky, hrozí pokuta 200 000 korun [8].

## Shrnutí

Z výše uvedených údajů je vidět, že produkovaný odpad některých výrobců je výrazně nižší než celorepublikový průměr, ale přesahuje Plzeňský kraj. U komodity papír je město nad úroveň kraje. Co se týče plastů, je město nad průměrem ČR, stejně jako Plzeňský kraj. Množství objemného odpadu je pravidelně vyšší než krajský průměr. Také s ohledem na nové zákony o recyklaci odpadů se bude počet objem odpadu jednotlivých tříděných komodit v budoucnu pouze zvyšovat, což se již nyní sleduje. Jak již vyplývá bylo by vhodné navýšit počet kontejnerů na papír, nebo zvýšit jejich objem, popřípadě navýšit četnost vývozu této komodity. Totéž platí i pro plast.

Jak je uvedeno v této kapitole je hustota sběrných míst pod republikovým průměrem a bylo by vhodné doplnit síť o 3 – 5 kompletních sběrných míst [12].

Způsob současného nakládání s BRO je vyhovující, nicméně v rámci osvětové kampaně je vhodné i nadále občany informovat o tom, že tento druh odpadu do SKO kontejnerů nepatří a

v rámci toho poskytnout možnost objednání kontejneru. Je také možné umístit další sběrné kontejnery na BRO u stávajících nebo nově vzniklých sběrných míst [12].

Ve městě převažují rodinné domy a každý má svůj SKO kontejner. Z výše uvedených údajů je vidět, že produkce směsného komunálního odpadu je mnohem vyšší, než je průměr kraje, i průměr ČR.

Město Plasy produkuje v průměru cca 30 tun nebezpečných odpadů, které jsou shromažďovány ve sběrném dvoře. Toto množství je zkruseno odpady – stavebními materiály s obsahem azbestu, které dle katalogu odpadů nejsou komunálním odpadem, ale produkují je obyvatelé měst. Produkce na obyvatele v Plzeňském kraji je 0,68 kg. Když tento odpad nezapočteme do průměru, tak je produkce nebezpečných odpadů města Plasy cca 1,5 kg, což je dvojnásobek celokrajského průměru [12].

Vzhledem k uvažovaným změnám v legislativě a počtu produkovaného odpadu bude nutno pravděpodobně přistoupit k celkové optimalizaci odděleného sběru složek odpadů. Konkrétně snížení množství/produkce směsného komunálního odpadu a zvýšení množství/produkce využitelných složek odpadů, jejich následná co největší recyklace a materiálové využití, především následujících druhů odpadů: papír, sklo, plasty, nápojové kartony, textil, elektrozařízení, biologicky rozložitelné komunální odpady, baterie.

## 4. Lokační analýza

Optimalizačními problémy, kdy rozhodujeme o co nejefektivnějším rozmístění obslužných objektů v dopravní síti, se zabývá lokační analýza.

Dnes je lokační analýza nezávislou vědní disciplínou o lokacích nebo rozmístování zařízení v (geografickém) prostoru. Předmětem lokační analýzy je problematika rozmístování/lokace různých zařízení, ve dvou nebo trojrozměrném prostoru. Zařízením budeme nazývat střediska obsluhy, nebo též zkráceně depa. Typicky to zahrnuje umístění jednoho nebo většího počtu středisek obsluhy, která ještě nemají středisko v dané geografické oblasti, nebo umístění středisek s respektováním již existujících zařízení. Lokace musí vycházet z požadavků zákazníka pro optimalizaci zvolených kritérií [13].

Problematiku lokační analýzy lze definovat různými způsoby v závislosti na konkrétním řešeném problému. Prostřednictvím abstrakce a zobecnění konkrétních úloh lze vytvořit obecný model lokační úlohy a na základě tohoto obecného modelu formulovat cíl lokační analýzy. Následující přehled ukazuje několik typických praktických příkladů v reálném světě a oblastí, kde lze využít lokační analýzy. Jedná se například o rozmístění [13]:

- výrobních podniků, firem, servisních středisek, opraven,
- skladů materiálů a techniky,
- škol, vzdělávacích center a zařízení,
- nemocnic, zdravotnických zařízení,
- administrativních budov, úřadů, peněžních ústavů a jejich poboček,
- obchodních a nákupních středisek,
- bankomatů, platebních automatů,
- veřejných logistických center
- středisek obsluhy typu: servisy, sběrné dvory tuhého domovního odpadu, skládky nerecyklovatelného odpadu,
- čerpacích stanic pohonných hmot (benzín, nafta, LPG) apod.

Společným rysem výše uvedených úloh je potřeba vybrat místa pro jedno nebo více umístění středisek obsluhy, ze kterých budou požadavky obsluhovány. Odlišným může například být [13]:

- počet rozmístovaných středisek,
- umístění středisek obsluhy v geografickém prostoru, tj. na vrcholech grafu, na hranách grafu, resp. mimo komunikační systém (na zelené louce),
- kritérium kvality řešení. Některé úlohy např. jsou úlohy typu minimax, kde požadujeme, aby byl čas, ve kterém se dosáhne každé místo v síti minimální; nebo například, kde je cílem minimalizovat celkový dopravní výkon provozu v kilometrech.

## 4.1 Klasifikace lokačních úloh

Výše uvedené konkrétní úlohy lze popsat pomocí modelu lokační úlohy. Zavedeme některá společná označení. Požadavky na obsluhu se vyskytují náhodně nebo deterministicky, v čase a prostoru.

Ve střediscích obsluhy/depech probíhá uspokojení požadavků na obsluhu. Požadavky na obsluhu se přemísťují z místa vzniku do středisek obsluhy ve vlastní režii (nákup pohonných hmot u čerpacích stanic, chůze k nejbližšímu bankomatu apod.), nebo je požadavek na obsluhu realizován výjezdem servisního pracovníka ze střediska obsluhy do místa vzniku požadavku. Pro splnění požadavku v obou případech je nutno vykonat jistou dopravní práci, kterou je možné měřit vhodnou metrikou (ujetá vzdálenost, spotřeba PHM, náklady atd.) [13].

Síť středisek obsluhy je nutné vybudovat podle počtu požadavků na obsluhu generovaných za jednotku času, charakteru a umístění požadavků, podle rozsáhlosti území a dostupnosti. Obecně mohou nastat dva případy budování sítě středisek obsluhy [13]:

- budování sítě středisek obsluhy „od nuly“,
- již existující síť je potřebné rozšířit s ohledem na narůstající počet požadavků na obsluhu a narůstající počet míst výskytu požadavků o jedno/více středisek.

Podle typu a charakteru konkrétní úlohy může být prostorem pro rozmístění středisek obsluhy libovolný bod (místo) na zemském povrchu, kterými jsou například sídelní místa (obce, města, průmyslové aglomerace), kraje, území jednotlivých států apod., nebo je omezeno možné umístění střediska (na oblast, body apod.) [13].

Kombinací těchto možností získáme mnoho různých úloh, které vyžadují různé matematické modely a řešení. Obecně se dnes rozlišují **tři třídy lokačních modelů** v závislosti na lokačním prostoru, tzn. na oblasti dostupné lokace střediska [13]:

První skupina zahrnuje problémy, ve kterých je lokační prostor spojitý. Typickým problémem této skupiny úloh je tzv. Weberův problém, který spočívá v nalezení bodu v prostoru, který minimalizuje součet vážených vzdáleností do  $n$  zadaných bodů. V této oblasti jsou též zkoumány problémy lokace více středisek s různými dalšími kritérii (úlohy typu minimax, maximum). Techniky řešení spojitých lokačních problémů náleží do oblasti nelineárního programování [13].

Druhá a třetí skupina zahrnuje lokaci v rámci sítí (grafu). Jedno nebo více středisek má být rozmístěno v síti s cílem minimalizace kritéria, např. součet vážených vzdáleností do vrcholů [13].



Protože některá střediska svojí povahou mohou být lokalizována ve vrcholech sítě, jiná střediska kdekoliv v síti (tzn. ve vrcholech nebo v libovolném vnitřním bodu některé z hran sítě), lokační problémy v sítích mohou být klasifikovány jako diskrétní, nebo spojité [13].

Diskrétními lokačními úlohami rozumíme takové optimalizační problémy, kdy rozhodujeme o co nejefektivnějším rozmístění obslužných objektů (dep, obslužných středisek apod.) ve vrcholech dopravní sítě. Mnoho lokačních úloh na sítích patří právě do této třetí skupiny. Většina reálných lokačních problémů ve světě je modelována jako problém diskrétní optimalizace z důvodů dostupnosti pozemků, územních omezení a závažnosti instalovaného střediska [13].

Proto se ve své práci budu zabývat výhradně diskrétními lokačními úlohami. V daném případě jde o rozmístění recyklačních míst ve městě Plasy.

## 4.2 Terminologie

Pro lepší porozumění problematice úlohy je třeba uvést používanou terminologii u **diskrétních lokačních úloh**:

Pro potřeby výše uvedených optimalizačních úloh máme množinu vrcholů a ta zahrnuje kandidáty na umístění středisek a spotřebitele, které obsluhujeme. Podle typu úlohy může být rozdělena na dvě disjunktní podmnožiny, nebo se množina kandidátů může shodovat s množinou spotřebitelů, nebo se mohou překrývat.

Sítí v lokační analýze budeme rozumět vrcholově a hranově ohodnocený **neorientovaný graf**  $G = (V, X, w, u)$ , kde prvky množiny  $X$  jsou hrany,  $w$  přiřazuje každé hraně  $h \in X$  nezáporné číslo,  $u$  přiřazuje každému vrcholu  $v \in V$  nezáporné číslo.

V tomto případě vrcholy představují středisko obsluhy a spotřebitele, tzn. obyvatele domu a recyklační místa. Hrany pak symbolizují úseky komunikace, které tyto vrcholy mezi sebou propojují. Ohodnocení hran –  $w(h)$  vyjadřuje délky úseků v délkových jednotkách. Ohodnocení vrcholu –  $u(v)$  vyjadřuje počet požadavků na obsluhu.

Pro výpočet délky úseku, byla použita **Euklidovská vzdálenost**. Údaje o umístění vrcholů v síti, získané ve dvourozměrném prostoru, a necht' bod  $s$  má souřadnice  $(s_1, s_2)$ , a bod  $q$  má souřadnice  $(q_1, q_2)$ . Pak vzdálenost mezi  $p$  a  $q$  je daná vzorcem:

$$d(s, q) = \sqrt{(s_1 - q_1)^2 + (s_2 - q_2)^2}$$

**Atrakčním obvodem** depa  $v \in D_k$  v širším smyslu slova rozumíme množinu vrcholů  $u \in V$  a hran  $h \in X$  sítě, které jsou obsluhovány z depa  $v$  [13].

**Atrakčním obvodem** – označeným  $A(v)$  depa  $v \in D_k$ , v **užším slova smyslu** rozumíme množinu vrcholů  $u \in V$  a hran  $h \in X$  sítě, pro které platí [13]:

- vrchol  $u \in A(v)$ , pokud neexistuje depo  $w \in D_k$ , pro které  $d(w, u) < d(v, u)$ ,
- hrana  $h \in A(v)$ , pokud neexistuje depo  $w \in D_k$ , pro které  $d(w, h) < d(v, h)$ .

### 4.3 Matematická formulace zvolených úloh

Z hlediska lokační analýzy hledáme diskretní úlohu o umístění  $p$ -mediánů s minimálním součtem vzdáleností ke spotřebitelům.

Problém umístění  $p$ -mediánu původně definoval Hakimi. Hakimi předpokládal, že každý vrchol je reprezentován bodem poptávky i potenciálním místem na umístění střediska obsluhy. Úroveň poptávky v daném vrcholu je vyjádřena jako váha. Problém  $p$ -mediánu zahrnuje umístění  $p$  středisek na síti takovým způsobem, že celková vážená vzdálenost k obsluhovaným místům poptávky je minimalizována. Při výpočtu celkové vážené vzdálenosti se předpokládá, že každá poptávka je obsluhována nejbližší umístěným střediskem obsluhy. Úlohy, ve kterých se vyhledává(jí)  $p$ -mediány sítě jsou typické pro soukromé obslužné systémy a používají se v systémech, ve kterých se hledá nejefektivnější obsluha spotřebitelů ze střediska obsluhy, bez ohledu na solidaritu se špatně dostupnými spotřebiteli [3].

Níže uvedené úloha je základní pro řešení problému  $p$ -mediánů, kde je požadavek na umístění středisek obsluhy, pro které platí, že součet vzdáleností k jim přiřazeným spotřebitelům je minimální. Druhým požadavkem je, aby každý ze spotřebitelů byl přiřazen právě jednomu středisku obsluhy.

Původní model pracuje s jednou množinou vrcholů, kde v každém vrcholu sítě jsou spotřebitelé a zároveň v nich může být středisko obsluhy, zatímco moje úloha odpovídá modelu se dvěma množinami.

#### Úloha o vyhledání váženého $p$ -mediánů sítě [3]

Formulaci problému znázorňujeme pomocí neorientovaného grafu  $G = (V, E)$ , kde spotřebitelé a kandidáti na umístění střediska obsluhy jsou reprezentováni množinou vrcholů  $V$ , kde každý vrchol představuje spotřebitele a zároveň je kandidátem na středisko obsluhy, a hrany  $e_{ij} \in E$  existují mezi vrcholy  $j \in V$  a  $i \in V$ . Dále přiřadíme kladné ohodnocení hranám  $d_{ij} \geq 0$ , což představuje vzdálenost mezi vrcholy spotřebitele  $j \in V$  ke kandidátovi na středisko, vrcholu  $v_i \in V$ . Také přiřadíme kladné váhy spotřebitele  $u_j$  pro  $j \in V$ , což představuje množství poptávky u konkrétního spotřebitele.

Cílem je najít takové umístění  $p$  vrcholu v sítích tak, přičemž  $1 < p < |V|$ , aby byla minimalizována celková vzdálenost ze všech umístěných středisek obsluhy k jim přiřazeným spotřebitelům.

Pokud u střediska neexistují žádná kapacitní omezení, můžeme předpokládat, že každý spotřebitel je přidělen jedinému středisku obsluhy. Pro řešení úlohy musíme definovat bivalentní proměnu:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{pokud spotřebitel umístěný ve vrcholu } v_j \text{ přidělen středisku umístěnému ve } v_i \\ 0, & \text{v opačném případě} \end{cases}$$

která rozhoduje, ke kterému středisku obsluhy je přidělen spotřebitel. Musíme definovat další proměnnou:

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{pokud středisko umístěno do vrcholu } v_i \\ 0, & \text{v opačném případě} \end{cases}$$

který rozhoduje zda vrchol sítě bude nebo nebude jedním z  $p$  vybraných vrcholů.

Vzhledem k těmto proměnným je možné formulovat matematicky model  $p$ -mediánu jako následující:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} u_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i \in V} Y_{ij} = 1, \quad \text{pro } j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} X_i = p \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_i \leq 0, \quad \text{pro } i \in V, j \in V \quad (4)$$

$$X_i \in \{0; 1\}, \quad \text{pro } i \in V \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0; 1\}, \quad \text{pro } i \in V, \text{pro } j \in V \quad (6)$$

Funkce (1) představuje, že chceme minimalizovat celkovou vzdálenost z umístěných středisek k jim přiřazeným spotřebitelům. První omezení (2) znamená, že každý spotřebitel bude přiřazen právě jednomu umístěnému středisku obsluhy. Omezující podmínka (3) zajišťuje, že musíme umístit přesně  $p$  středisek obsluhy. Omezení (4) říká, že spotřebitele můžeme přiřadit pouze umístěnému středisku a tedy, nesmíme jej přiřadit k vrcholu, který nebude identifikován jako jeden z vrcholů vybraných pro umístění střediska obsluhy (5) a (6) vymezují definiční obory proměnných použitých v modelu.

## Úloha o vyhledání váženého $p$ -mediánů sítí (dvě množiny) [1]

Formulaci problému znázorňujeme pomocí neorientovaného grafu  $G = (I, J, E)$ , kde na rozdíl od předchozí úlohy jsou vrcholy reprezentovány dvěma množinami. Spotřebitelé jsou dáni množinou vrcholů  $i \in I$ , kandidáti na umístění střediska obsluhy jsou dáni jinou množinou vrcholů  $j \in J$  a hrany  $e_{ij} \in E$  existují pouze mezi vrcholy od  $i \in I$  k vrcholům  $j \in J$ . Dále je k dispozici matice, přičemž její prvek  $d_{ij}$  reprezentuje vzdálenost spotřebitelé  $i \in I$  ke kandidátovi na středisko, vrcholu  $j \in J$ . Přiřadíme kladné váhy spotřebitele  $u_i$  pro  $i \in I$ , což představuje množství poptávky u konkrétního spotřebitele.

Cílem je najít takové umístění  $p$  vrcholů v sítích tak, aby byla minimalizována celková vzdálenost ze všech středisek obsluhy k jim přiřazeným spotřebitelům.

Stejně jak u předchozí úlohy předpokládáme, že u střediska neexistují žádná kapacitní omezení. Analogicky definujeme bivalentní proměnné:

$Y_{ij} =$   
 $\begin{cases} 1, & \text{pokud spotřebitel umístěný ve vrcholu } v_j \text{ přidělen středisku umístěnému ve } v_i \\ 0, & \text{v opačném případě} \end{cases}$

$X_i = \begin{cases} 1, & \text{pokud středisko umístěno do vrcholu } v_i \\ 0, & \text{v opačném případě} \end{cases}$

Matematicky model:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} u_i d_{ij} Y_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = 1, \quad \text{pro } j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{i \in J} X_i = p \quad (9)$$

$$Y_{ij} - X_i \leq 0, \quad \text{pro } i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$X_i \in \{0; 1\}, \quad \text{pro } i \in I \quad (11)$$

$$Y_{ij} \in \{0; 1\}, \quad \text{pro } i \in I, \text{pro } j \in J \quad (12)$$

Funkce (7) reprezentuje optimalizační kritérium – součet vzdáleností z umístěných středisek obsluhy k jim přiřazeným spotřebitelům. Omezení (8) znamená, že každý spotřebitel bude přiřazen právě jednomu umístěnému středisku. Omezující podmínka zajišťuje, že musíme umístit přesně  $p$  středisek. Omezení (10) říká, že spotřebitele můžeme přiřadit pouze

umístěnému středisku a tedy nesmíme jej přiřadit k vrcholu, který nebude identifikován jako jeden z vrcholů vybraných pro umístění střediska obsluhy. (11) a (12) vymezují definiční obory proměnných použitých v modelu.

## 5. Metoda řešení

Existuje mnoho modelů a algoritmů pro získání optimálních řešení problému  $p$ -mediánu. Dnes existuje mnoho spolehlivých programů, které lze použít k získání optimálních řešení v úlohách  $p$ -mediánu. V minulosti bylo velké úsilí zaměřeno na vývoj účinných metod k řešení  $p$ -mediánu, včetně exaktních metod a heuristik. Optimální řešení velkých úloh je však stále obtížné. Nejvýkonnější software dnes zvládne relativně velké úlohy, tedy úlohy s velkým počtem uzlů (body, které je třeba posuzovat) a kritérií. Přesto však platí, že úlohy  $p$ -mediánu jsou NP-těžké a s každým rozšířením rozsahu úlohy výpočetní náročnost prudce stoupá.

### 5.1 Exaktní metody

Exaktní metody v informatice a operačním výzkumu jsou metody, které vždy řeší optimalizační problém k optimalitě. Jedním z exaktních postupů je řešení tzv. hrubou silou. Při aplikaci tohoto postupu je nutné probrat všechny kombinace umístění středisek obsluhy v síti. V případě úlohy, kdy každý spotřebitel je kandidátem na umístění střediska, řešení hrubou silou je výpočetně extrémně náročné a pro úlohy s velkým počtem vrcholu téměř nepoužitelné.

Další metodou pro řešení je exaktní metoda větvení a mezí, označuje typ algoritmů v diskrétní a kombinatorické optimalizaci. Jde o široce používaný postup pro řešení různých celočíselných problémů. Jeho podstatou je větvení prostoru všech řešení na disjunktní podmnožiny a výpočet mezí účelové funkce v jednotlivých větvích. Algoritmus vybírá postupně ty větve, které mají co nejlepší hodnotu mezí, u minimalizačního problému tedy postupuje od nejnižších dolních mezí. Takzvané listy představují možná řešení problému, cílem je tedy prozkoumat tyto větve a nalézt optimální výsledek.

Výhodou této metody je skutečnost, že kdykoliv při zkoumání větve narazíme na situaci, kdy je dolní mez větve stromu horší než dosavadní nejlepší dosažené řešení, nemusíme se zabývat dalším větvením. Pomocí tohoto principu neztrácíme čas hledáním zdánlivě suboptimálních řešení.

Je prokázáno, že v některých případech jako u řešení hrubou silou může být stejná výpočetní náročnost tohoto přístupu. To znamená, že pokud každý uzel, který zkoumáme, obsahuje lepší řešení než ten předchozí, bude tedy optimální řešení v uzlu, který prozkoumáváme jako poslední v pořadí. Můžeme konstatovat, že tímto postupem vždy dosáhneme optimálního řešení snadněji, v nejhorším případě stejně náročně jako v případě řešení hrubou silou.

Ve všech exaktních algoritmech musí být jakýmkoli způsobem zohledněna všechna možná řešení, aby bylo zajištěno, že výsledné řešení bude skutečně nejlepší. To však může být velmi omezené časovou a paměťovou náročností v úlohách s velkým počtem uzlů. A proto je velmi

populární využití právě heuristické, které není takto omezeno a jehož řešení mají často z časového hlediska nesrovnatelné výhody.

## 5.2 Heuristické metody

Heuristické metody, nebo zkráceně heuristiky, jsou způsoby řešení daného problému, jejichž výsledkem nemusí být nutně optimální řešení, ale řešení dostatečně dobré. Jejich největší výhodou je, že jsou rychlejší a tudíž méně výpočetně náročné či nákladné, než exaktní algoritmy. Proto jsou často preferovány před exaktními algoritmy, zejména pak tam, kde není optimální řešení nutně vyžadováno.

Úloha  $p$ -mediánů, stejně jako většina lokačních problémů, je klasifikována jako NP-těžká, a proto se pro její řešení obvykle používají heuristické metody. Je tedy přirozené, že tento typ metod se v praxi používá více, většinou jen vrátí „dost dobré“ řešení místo optimálního řešení, ale zato jsou výpočetně nesrovnatelně jednodušší [6].

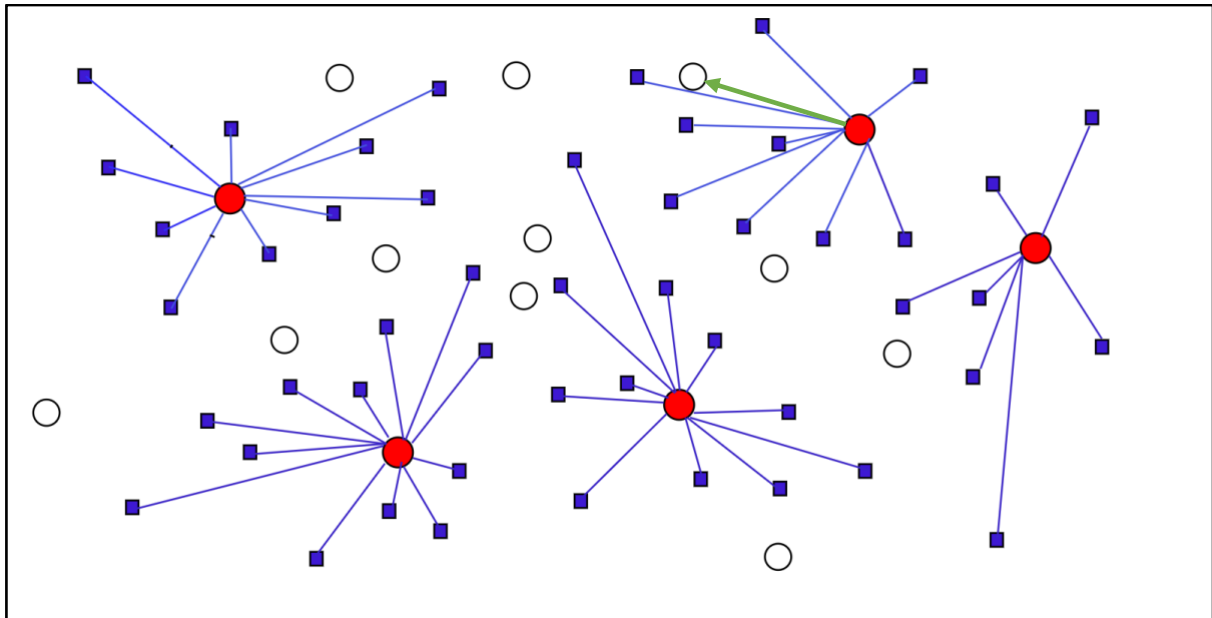
Pro základní úlohu  $p$ -mediánů existuje řada heuristických postupů. Heuristiky můžeme dělit na konstruktivní, které začínají s prázdným počátečním řešením a řešení postupně přetvářejí a na iterativní, které postupně zlepšují existující řešení. V této práci se budeme zabývat některými z nich a poté bude uveden jeden z možných algoritmů pro získání řešení zadaného úkolu v práci [6].

Nejjednodušší metodou ze skupiny konstruktivních heuristik je Greedy heuristika. Začíná prázdnou množinou vybraných středisek obsluhy a poté bude řešit problém 1-mediánu tím, že bude vybírat jeden vrchol z množiny kandidátů na umístění střediska s ohledem na požadavky a umístění všech uvažovaných spotřebitelů. Pak se přidávají střediska jedno po druhém, dokud nebude dosaženo zadané množství  $p$  vrcholů. Vždy bude vybráno středisko, které minimalizuje součet vzdáleností s fixním umístěním dříve umístěných dep [6].

Pro řešení úlohy  $p$ -mediánu se také používají algoritmy Local Search, zahrnují obrovské množství možných variant. Budeme zvažovat některé z nich. Výpočtové experimenty ukazují, že jsou rychlé a najdou použitelná řešení s malou relativní chybou pro všechny výchozí body. Vycházíme z nějakého existujícího řešení, které se vytvoří jinou metodou, např. může být řešeno Greedy heuristikou. Funguje tak, že definuje okolí aktuálního řešení. Okolí zahrnuje všechna řešení, která se od aktuálního řešení liší definovanou změnou. Pokud je v okolí nalezeno lepší řešení, nahrají se jím aktuální řešení a postup se opakuje. Nejčastěji je okolí v ulohách  $p$ -mediánu definováno záměnou jedné vybrané lokace jednou nevybranou lokací. Tato metoda se označuje jako Swap-Based Local Search (The Interchange procedure, Teitz and Bart) [6].

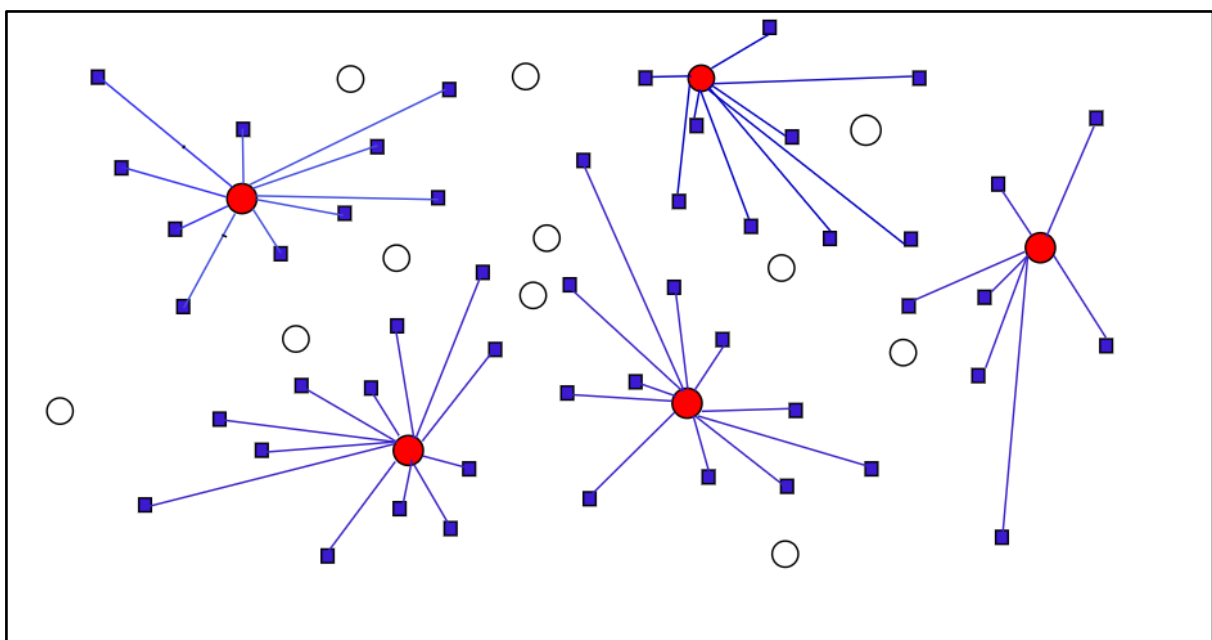
Zde na počátku už existuje nějaké platné řešení, je vybráno  $p$  vrcholů a těm jsou přiřazeni spotřebitelé; poté se vybrané lokace středisek iterativně přesouvají na místa kandidátů, vždy jedna vybraná lokace do jedné kandidátní lokace a změna se přijme pouze v případě, že se sníží hodnota účelové funkce. Pokud se hodnota účelové funkce nesníží, zkusí se jiný přesun

z vybrané do nevybrané kandidátní lokace. Tento proces lokálního vyhledávání se zastaví tehdy, kdy žádný pohyb jednotlivého střediska obsluhy nesníží hodnotu účelové funkce. Tento postup se běžně používá jako standard pro srovnání s jinými metodami. Níže uvedené obrázky schematicky znázorňují jak pracuje algoritmus [6].



Zdroj: [autor]

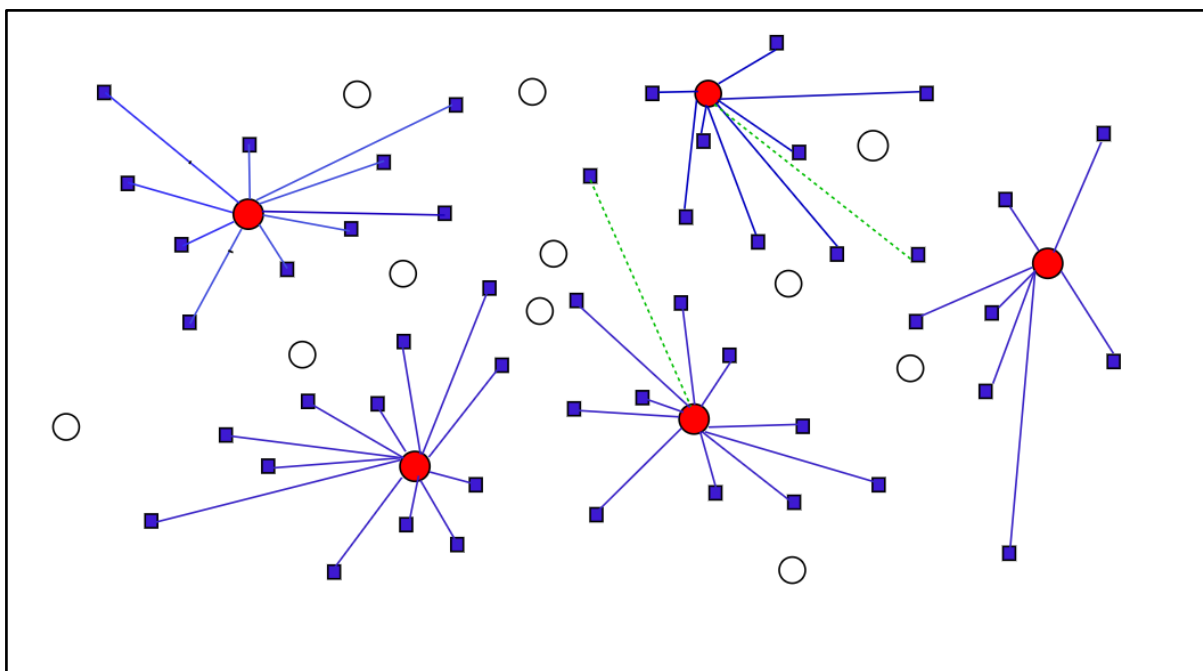
Obrázek 5: Platné původní řešení



Zdroj: [autor]

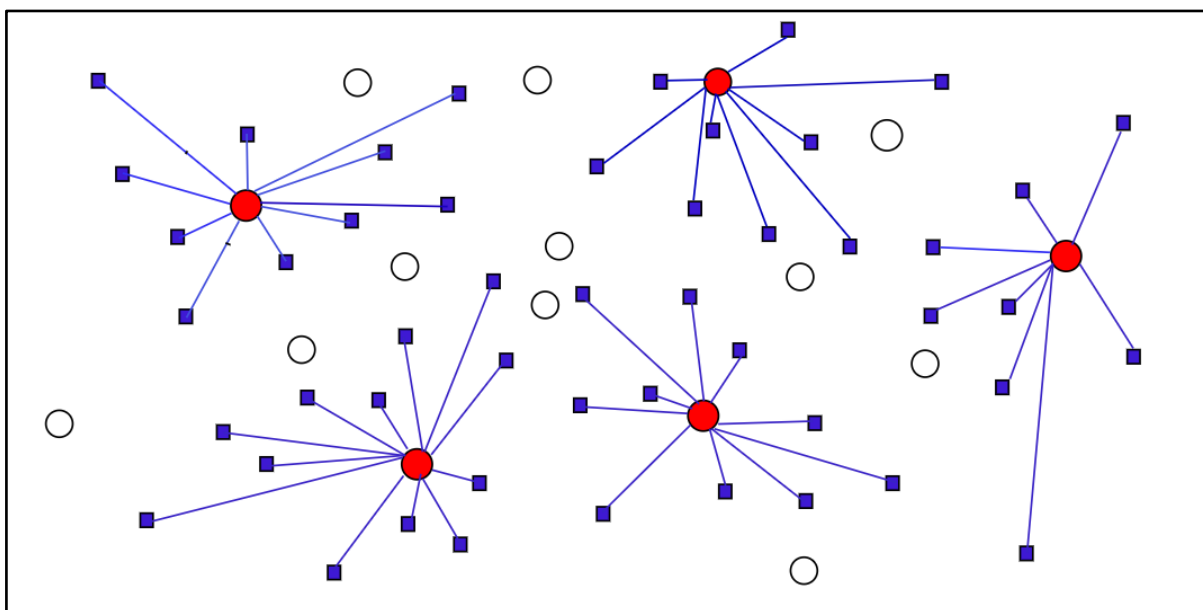
Obrázek 6: Přemístění vybraného p vrcholu do možného kandidátu





*Zdroj: [autor]*

*Obrázek 7: Znáznornění špatně přiřazených spotřebitelé ke střediskům obsluh (přerušovaná čára)*



*Zdroj: [autor]*

*Obrázek 8: Nová umístění středisek obsluhy v síti*

Pro řešení zvoleného problému v práci volím algoritmus Swap-Based Local Search. Vzhledem k tomu, že ve městě již je určité umístění míst a existuje funkční systém sběru odpadu, je naším úkolem je optimalizovat.

## 6. OpenStreetMap

Pro získání dat, se kterými budeme dále pracovat, byly použity stránky OpenStreetMap.

**OpenStreetMap** je projekt, jehož cílem je tvorba volně dostupných geografických dat a následně jejich vizualizace do podoby topografických map. Pro tvorbu geodat se jako podklad využívá záznamů z přijímačů globálního družicového polohového systému nebo jiné zpravidla digitalizované mapy, která jsou licenčně kompatibilní.

Pomocí tohoto projektu byly získány údaje o počtu domů a jejich umístění. Pro práci s OSM mapami byl použit programovací jazyk Python.

K získání těchto dat byly použity některé služby Python:

**OSMnx** je balíček Pythonu, který umožňuje stahovat prostorové geometrie a modelovat, projektovat, vizualizovat a analyzovat pouliční sítě a další prostorová data z API OpenStreetMap. Získáme všechny budovy dostupné v datech OpenStreetMap ve městě Plasy.

**Nominatim** je nástroj pro vyhledávání dat OSM podle jména a adresy (geokódování) a pro generování syntetických adres bodů OSM (reverzní geokódování), v tomto případě jsou to vybrané město Plasy a umístění separačních míst.

### Overpass

Overpass umožňuje načíst ukázková data z databáze OSM na žádost uživatele. Funguje jako databáze přes internet: klient odešle požadavek do API a obdrží zpět sadu dat, která odpovídá požadavku.

Pomocí tohoto příkazu dostáváme z celkového počtu budov ve městě pouze obytné budovy, které nás zajímají.

**Geopy** – je klient Pythonu pro geokódování. Geopy usnadňuje vývojářům Pythonu lokalizovat souřadnice adres, měst, zemí a orientačních bodů po celém světě, pomocí geokodérů třetích stran a dalších zdrojů dat. Geopy zahrnuje třídy geokodérů pro OpenStreetMap Nominatim. Při použití tohoto klienta jsme získali přesné rozmístění budov, což dále umožní získat vzdálenosti k hnízdům.

### plotly.graph\_objects

Balíček existuje pro vytváření, manipulaci a vykreslování grafických obrázků (tj. grafů, grafů, map a diagramů) reprezentovaných datovými strukturami, které se také nazývají obrázky.

## 7. Aplikace metody

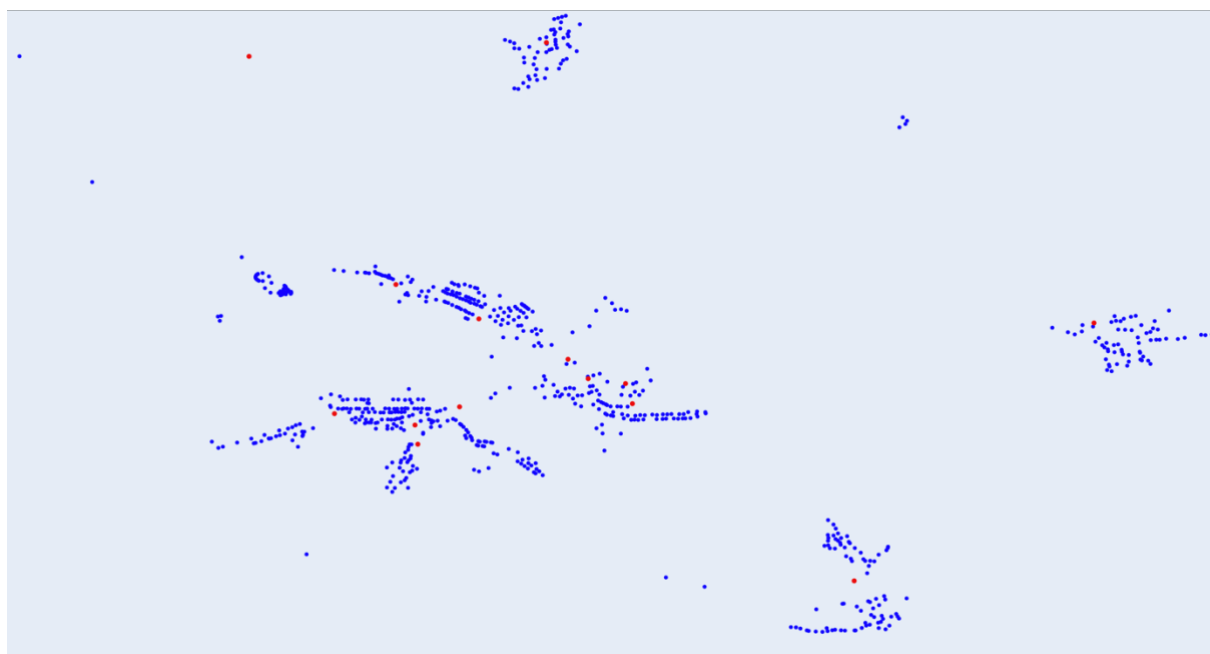
Než přejdeme k optimalizaci umístění recyklačních míst, musíme prozkoumat původní stav.

### 7.1 Původní stav

Jak bylo uváděno ve 3. kapitole početně jedno sběrné místo slouží ve městě Plasy pro cca 175 obyvatel. Republikový průměr je jedno sběrné místo pro 124 obyvatel a hustota sběrných míst ve městě je pod republikovým průměrem. Bylo by vhodné doplnit síť o 3 – 5 kompletních sběrných míst, v souladu s tím, že je vzdálenost větší než celostátní průměr.

Pomocí OSM byly získány údaje o poloze každého domu a sběrných míst ve městě a zároveň jednotlivé vzdálenosti mezi každým domem a místem. V původním stavu máme 16 recyklačních míst pro celé město. Z těchto údajů vybereme jen rodinné a obytné domy a spočítáme účelovou funkci.

Uvažujme síť na obrázku obsahující dvě množiny vrcholu, první (modrá) je množina spotřebitelů, přičemž v každém vrcholu sítě je umístěn spotřebitel. Druhá množina vrcholu je množina středisek obsluhy, přičemž každý vrchol této množiny je kandidátem na umístění střediska. V tomto případě množinu spotřebitelů reprezentují domy, kde bydlí lidé a množina středisek obsluhy jsou sběrná místa. Dále je k dispozici Tabulka 8, přičemž její prvek  $d_{ij}$  reprezentuje vzdálenost spotřebitelů ke středisku.



*Zdroj: [autor]*

**Obrázek 9:** Schematické zobrazení původního stavu rozmístění separačních hnízd (červené body) a domu (modré body)

*Tabulka 8 : Vzdálenosti mezi domy(sloupec) a hnízdy (řádek) (vybraná část dat Přílohy 1)*

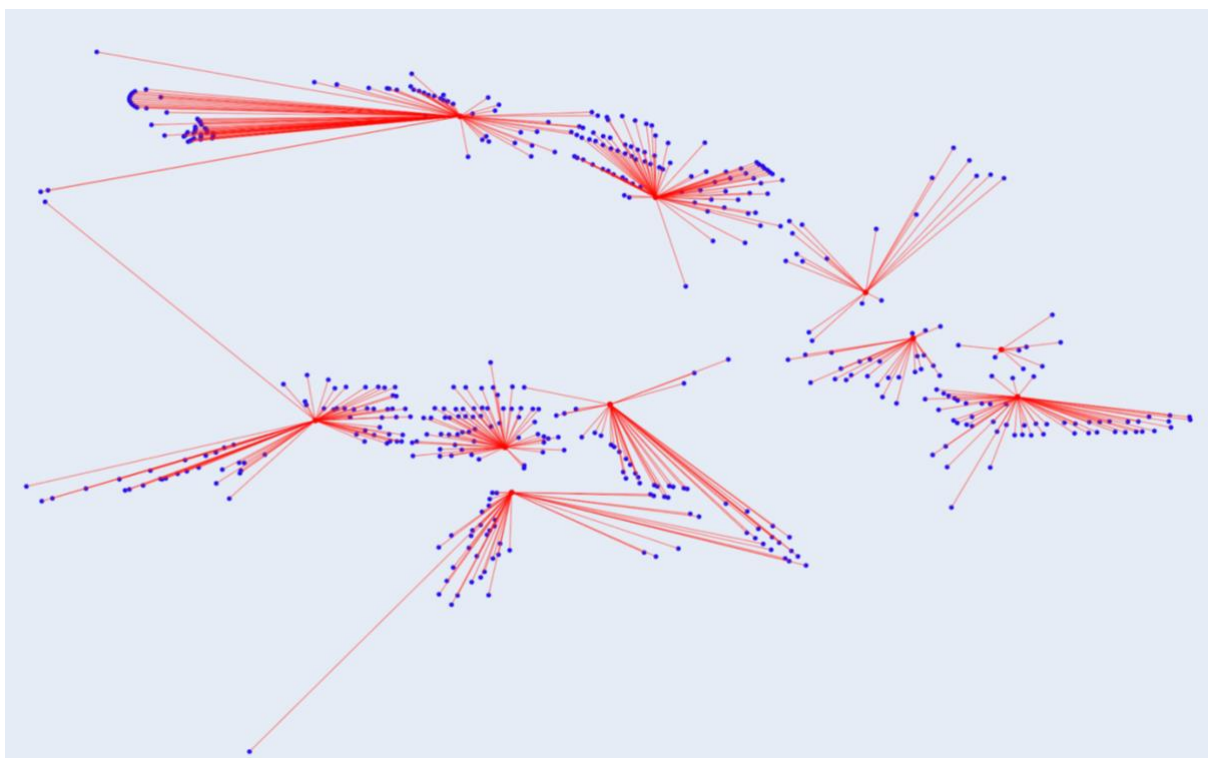
<b>id budovy/id hnízda</b>	<b>9011</b>	<b>9012</b>	<b>9013</b>	<b>9014</b>	<b>9015</b>	<b>9016</b>	<b>9017</b>	<b>9018</b>	<b>9019</b>	<b>9020</b>	<b>-</b>
128512455	835	822	680	397	323	1062	1268	727	1173	563	-
128512464	608	792	674	347	171	827	1032	640	942	513	-
128512474	764	122	254	495	988	973	1355	1447	977	324	-
128512484	787	1185	1069	742	224	925	975	245	1064	905	-
128512492	812	1294	1185	859	345	914	908	141	1056	1016	-
128512501	394	778	836	805	1015	428	807	1344	358	737	-
128512504	783	750	609	322	332	1016	1241	765	1122	489	-
128512513	618	205	221	333	809	846	1215	1265	872	174	-
128512516	1062	1447	1323	1000	494	1175	1159	170	1317	1169	-
128512544	811	599	452	228	491	1058	1326	940	1148	365	-
128512552	754	266	400	609	1074	937	1327	1520	921	444	-
128512563	821	1135	1011	687	189	981	1063	327	1117	856	-
128512587	1025	1442	1320	995	482	1131	1105	114	1273	1162	-
128512653	415	1233	1224	1023	893	196	195	1001	273	1060	-
128512759	564	1195	1240	1148	1203	374	573	1408	236	1118	-
128512767	2572	2014	2153	2459	2957	2665	3034	3409	2578	2287	-
128512815	1000	1518	1408	1081	565	1066	982	104	1207	1239	-
128512817	2025	1388	1521	1836	2345	2155	2541	2805	2090	1666	-
128512851	237	1027	1030	861	837	21	413	1046	135	875	-
128512902	2273	1648	1781	2096	2605	2394	2776	3065	2323	1926	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Zdroj: [autor]*

Úkolem je najít vhodné středisko obsluhy pro spotřebitele z množiny dep.

Následně byly vytvořeny atrakční obvody v souladu s definicí v odstavci 4.2, takže každý spotřebitel je přiřazen tomu středisku, ke kterému má minimální vzdálenost a platí, že každý spotřebitel je přiřazen právě jednomu středisku obsluhy.

Při počtu 16 míst a počátečním umístění jsou získané následující výsledky:



*Zdroj: [autor]*

**Obrázek 10:** Přirazení spotřebitelů ke střediskům obsluhy v původním stavu (16 hnízd)

Střední docházková vzdálenost do sběrného místa vychází 237 metrů.

Aktuální průměrná docházková po ČR vzdálenost k nádobám na tříděný odpad je 90 metrů, ale podle průzkumů jsou lidé ochotni jít k barevným kontejnerům o dalších čtyřicet metrů dál [5]. Lze vzít v úvahu, že taková data jsou ovlivněna hustotou zalidnění na kilometr čtvereční v různých částech České republiky. Tedy ve městě Plasy se bude lišit vzdálenost od Prahy, kde podle druhu domu převládají byty v bytových domech, kterých bylo podle Sčítání lidu, domů a bytů (SLDB) 2011 celkem 498 289 bytů, tzn. 84,8 % z celkového počtu bytů [7].

## 7.2 Návrh řešení

Byly navrženo několik variant řešení problému rozmístění recyklačních míst. Odlišují se změnou lokace míst a počtem nádob.

### 7.2.1 Varianta 1

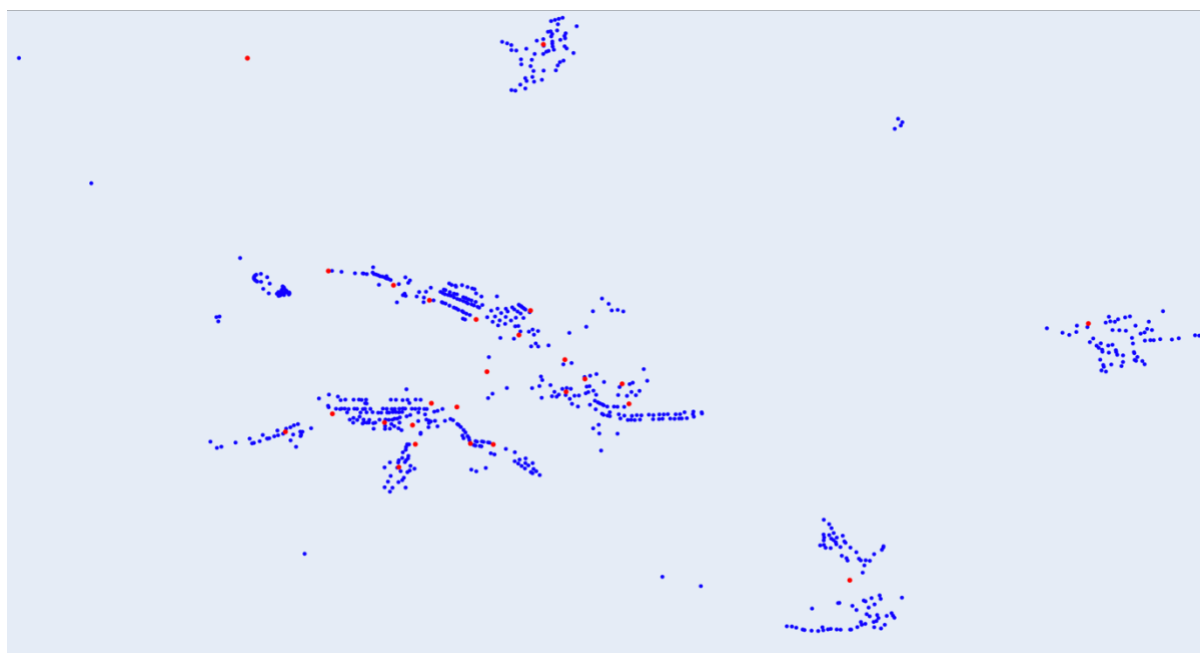
První variantou je změnit původní stav umístění míst, při zachování stejného počtu, 16 míst na celé město.

Přidáme ještě dalších 12 stanovišť, kde je možné umístit místa, tím pádem rozšířím množinu vrcholu kandidátů na umístění středisek obsluhy do 29 vrcholu.

Tedy úkolem bude najít takové umístění středisek obsluhy v sítích (vybrat takových  $p = 16$  vrcholů), přičemž  $1 < p < |J|$  a rozhodnout o přiřazení spotřebitelů umístěným střediskům tak, aby každý spotřebitel byl přiřazen právě jednomu umístěnému středisku obsluhy a součet vzdáleností ze všech umístěných středisek k jim přiřazeným spotřebitelům byl minimální.

Pro řešení této úlohy budeme používat model z kapitoly 4, úlohu o vyhledání  $p$ -mediánů sítí pro dvě množiny, kde všem spotřebitelům bude přiřazena jednotková váha, protože, jak již bylo zmíněno dříve, většina domů jsou rodinné domy a počet obyvatel domu není znám. Proto jsem úlohu zjednodušil. Algoritmus řešení vybrané úlohy je Swap-Based Local Search.

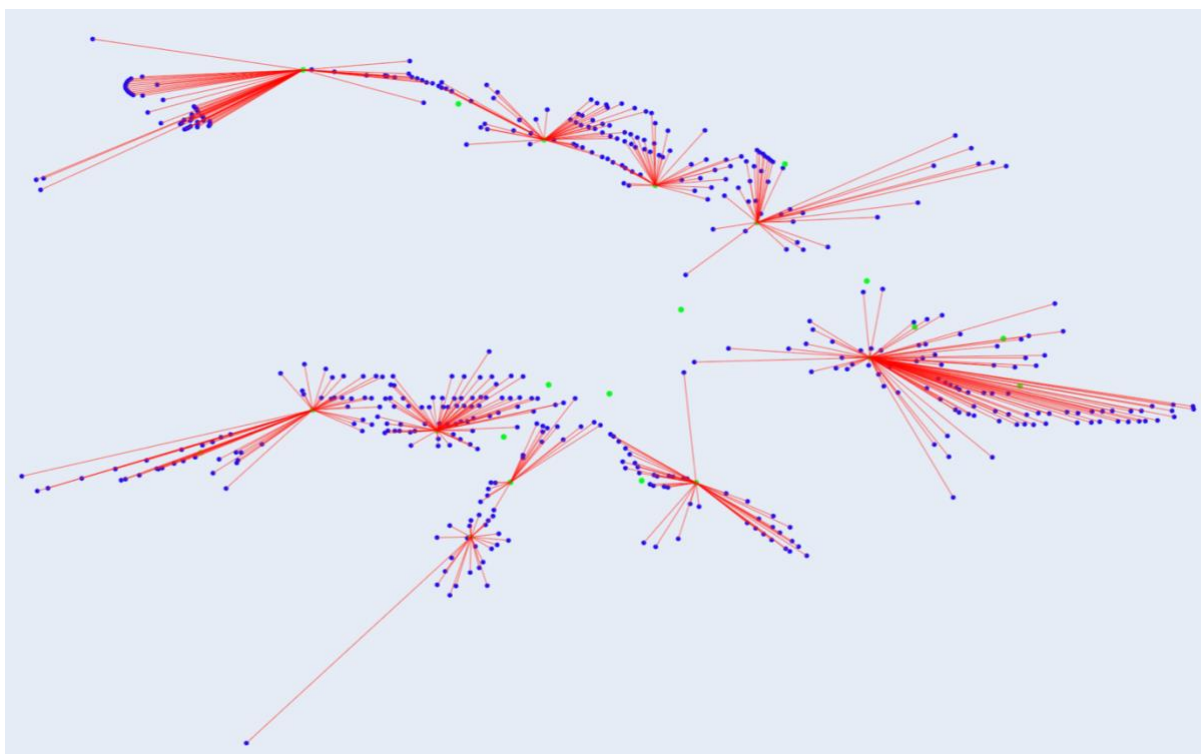
Budeme mít síť a matice, odlišný je počet sběrných míst, viz Obrázek 11.



*Zdroj: [autor]*

**Obrázek 11:** Rozšířena původní síť o dalších 12 stanovišť

Při počtu 16 míst a novému umístění míst jsou získané výsledky následující: hodnota účelové funkce (součet vzdálenosti) je rovna 153 523 metrů, a střední docházková vzdálenost se rovná 214 metrů. S tímto řešením došlo k tomu, že jsme nahradili 7 středisek obsluhy původního stavu, a docházková vzdálenost se zmenšila o 23 metrů.



*Zdroj: [autor]*

*Obrázek 12: Nova varianta umístění 16 sběrných hnízd a přiřazení je spotřebitele*

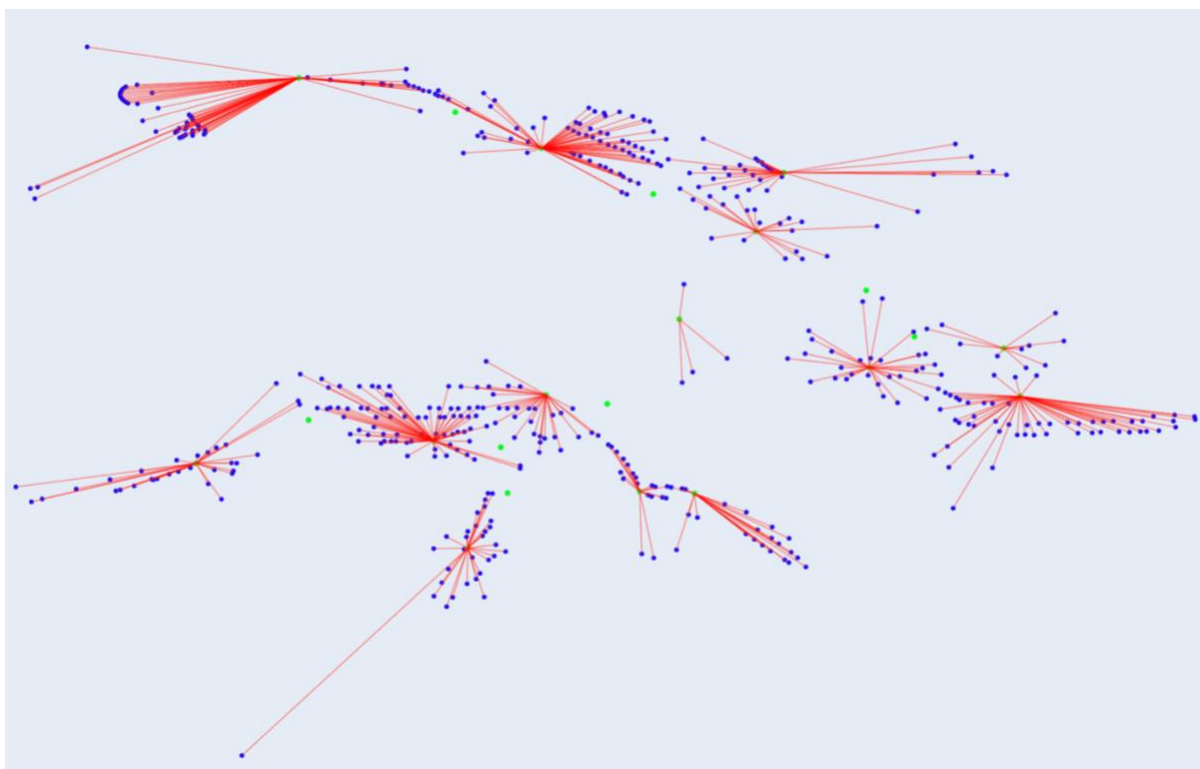
## 7.2.2 Varianta 2

Další varianty spočívají v navýšení počtu o 3, 4 a 5 hnízd.

Stejně jako u předchozí varianty uvažujeme stejnou síť a matice, obsahující množinu vrcholu spotřebitele a množinu kandidátů na umístění střediska obsluhy.

Tedy úkolem bude najít takové umístění středisek v sítích, vybrat 19, 20, 21 vrcholů a rozhodnout o přiřazení spotřebitelů umístěným střediskům obsluhy tak, aby každý spotřebitel byl přiřazen právě jednomu umístěnému středisku a součet vzdáleností ze všech umístěných středisek obsluhy k jim přiřazeným spotřebitelům byl minimální.

Pro  $p = 19$  jsou výsledky následující: součet vzdáleností je roven 138098 metrů, a střední docházková vzdálenost se rovná 192 metrů. K tomuto řešení jsme dospěli tak, že jsme nahradili 9 středisek obsluhy z původního stavu.



*Zdroj: [autor]*

**Obrázek 13:** Varianta umístění 20 sběrných hnízd a přiřazení je spotřebitele

Pro  $p = 20$  jsou výsledky následující: součet vzdáleností je roven 132 645 metrů, a střední docházková vzdálenost se rovná 185 metrů. K tomuto řešení jsme dospěli tak, že jsme nahradili 8 středisek obsluhy z původního stavu.

Pro  $p = 21$  jsou výsledky následující: součet vzdáleností je roven 132 524 metrů, a střední docházková vzdálenost je 185 metrů. K tomuto řešení jsme dospěli tak, že jsme nahradili 6 středisek obsluhy z původního stavu.

### 7.3 Zhodnocení a porovnání variant

**Tabulka 9:** Porovnání současného stavu a nových variant

	<b>Stávajícího stav</b>	<b>Varianta 1.</b>	<b>Varianta 2.1</b>	<b>Varianta 2.2</b>	<b>Varianta 2.3</b>
Počet hnízd	16	16	19	20	21
Docházková vzdálenost	237	214	192	185	185

*Zdroj: [autor]*

Tabulka znázorňuje srovnání stávajícího stavu s nově navrženým řešením.



Z výše uvedené tabulky je vidět snížení účelové funkce, a tím i střední docházkové vzdálenosti. Snížení může nastat ve dvou případech, kdy zvyšujeme počet sběrných míst a měníme jejich rozmístění.

V 1. variantě jsem hledal umístění míst při dodržování původního množství stanovišť. Sběrná místa jsem náhodně rozmístil podle zákona číslo 13/1997 Sb. o umístění sběrných nádob na odpady. Tento zákon stanoví, že je možné umístit sběrné nádoby na odpady na vozovkách, dopravních ostrůvcích a krajnicích dálnice, silnice a parkovišti. S novým umístěním stanovišť se účelová funkce – průměrná docházková vzdálenost sníží o 23 metrů. V takovém případě město může i nadále pronajmout kontejnery, náklady mohou souviset s jejich přemístěním.

Ve 2. variantě byl navýšen počet míst podle republikového průměru o 3,4, a 5 míst, a jak je vidět z tabulky, účelová funkce taky změnila. Při zvýšení počtu míst se střední docházková vzdálenost zmenšila o 44, 55 a 55 metrů. V takovém případě se náklady zvýší a bude nutné, aby další nádoby vlastnilo město, nebo byly pronajaty kontejnery u svozové společnosti.

Na základě výsledků lze vytvořit doporučení, že pro stávající počet míst existuje lepší umístění recyklačních míst, kdy se vzdálenost zmenší a pro možnost navýšení počtu míst bych doporučil množství 20, kdy se účelová funkce ještě zmenší a mění se i hustota míst, která se bude blížit republikovému průměru. Při větším počtu už se průměrná vzdálenost prakticky nemění, zatímco se navyšují náklady o další stanoviště.

## 7.4 Ekonomické posouzení

Z výše dosažených výpočtů je možné udělat ekonomické posouzení při navýšení počtu míst. Na základě údajů o nákladech a výdajích (Tabulka 10) a frekvenci svozu lze odhadnout, kolik stojí jeden svoz odpadu. Kromě nákladů na svoz město neutrací peníze, všechny kontejnery má v bezplatném zapůjčení.

*Tabulka 10: Podklady o celkovém přehledu příjmů a výdajů poskytnuté městem*

Výsledek od počátku roku [Kč]	2016	2017	2018
Výdaje/náklady*			
Sběr a svoz směsných komunálních odpadů V/V	1 535 624	1 775 517	1 769 457
BIO od občanů – hnědé popelnice V/N	320 741	248 239	216 323
Separovaný sběr a svoz (papír, sklo, plast) N	202 930	209 639	225 636
BIO SD - N	39 983	75 138	93 791
Objemný odpad N	387 460	409 226	427 895
Sběrný dvůr – pouze paušální výdaje N	111 032	107 813	80 860
Sběr a svoz nebezpečných odpadů V/V	139 486	122 757	513 878
<b>Výdaje celkem (rozpočet) V/N</b>	<b>2 737 256</b>	<b>2 948 328</b>	<b>3 327 839</b>

Příjmy			
Sběr a svoz komunálních odpadů – příjem za spolupráci se systémy EKOKOM, ASEKOL, výnosy z prodeje kovů z SKO apod.)	309 787	499 929	381 833
Poplatek za provoz systému shromažďování, sběru, pravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů	1 925 000	1 960 000	1 946 000
<b>Příjmy celkem</b>	<b>2 234 787</b>	<b>2 459 929</b>	<b>2 327 833</b>

Zdroj: [12]

Frekvence svozu jednotlivých komodit separovaného odpadu [12]:

- papír a plast – 1x za týden (104krát na rok)
- sklo a nápojový karton – 1x za měsíc (24krát na rok).

Cena jednoho svozu separovaného odpadu:

$$W = \frac{TC_s}{k_s}$$

kde:  $TC_s$  – roční náklady města na separovaný sběr (papír, sklo, plast),  $k_s$  – počet svozu separovaného odpadu (papír, sklo, plast) na rok.

Papír a plast se sváží 104krát za rok, sklo a nápojový karton 24krát za rok, celkem to vychází na 128 svozů,  $k_{s1} = 128$ , roční náklady města je  $TC_{s1} = 225\,646$  Kč. Předpokládejme, že cena jednoho svozu je:

$$W_1 = \frac{225\,636}{128} = 1\,763 \frac{\text{Kč}}{\text{svoz}}$$

Při zvýšení počtu míst dojde ke zvýšení počtu kontejnerů, a protože jak bylo zjištěno v 3. kapitole práce, bylo by vhodné navýšit počet nádob na plasty a papír. Jelikož jsou všechny kontejnery ve městě pronajaté, existuje několik scénářů – jeden z nich je, že město koupí kontejnery nebo si zapůjčí další od společnosti.

V případě zvýšení počtu kontejneru zároveň zvýší jednorázový objem instalovaných nádob, což umožní snížit frekvence svozů. Následující tabulka znázorňuje jednorázový objem instalovaných nádob pro 16 sběrných míst:

**Tabulka 11:** Jednorázový objem nádob pro 16 sběrných míst

Komodita	1100 l	240 l	Celkem
Papír	19	1	21140
Plast	32	2	35680

Zdroj: [autor]

Po navýšení o 4 místa máme možnost přidat 4 kontejnery na papír a plast. Kontejnery mohou mít stejný objem, jaký se používá nyní, tj. 1 100 litrů. Následující tabulka znázorňuje jednorázový objem instalovaných nádob pro 20 sběrných míst a rozdíl mezi původním objemem:

*Tabulka 12: Porovnání jednorázového objem nádob pro aktuální objem a navrhovaný*

Komodita	Aktuální objem	Objem pro 20 hnízd
Papír	21140	25540
Plast	35680	40080

*Zdroj: [autor]*

Z tabulky je vidět, že jednorázový objem papíru se zvýší cca o 20 %, plastu cca o 15 %. S nárůstem počtu sběrných hnízd dojde k tomu, že se bude zvyšovat jejich hustota a změní se počet lidí přiřazených jednomu místu. Numericky vychází jedno sběrné místo pro cca 135 obyvatel, přičemž republikový průměr je 124 obyvatel, kdy ve stávajícím stavu při počtu 16 míst se tato hodnota rovná cca 175.

Na základě těchto změn lze změnit frekvence svozu z 7 dnů na 9. A dostáváme, že frekvence svozu plasty a papíru vychází 80krát na rok, a je stejně jak v původním stavu pro sklo a papír 24krát. Celkem je to 104 svozů ročně,  $k_{s2} = 104$ . Tehdy je možné spočítat roční náklady města:

$$TC_{s2} = 104 \times 1\,763 = 183\,352 \text{ Kč}$$

Ze získaných výsledků lze určit, že úspora bude  $\Delta TC = 40\,284 \frac{\text{Kč}}{\text{ročně}}$ . Jelikož uvažujeme o situaci, kdy město pořídí kontejnery, je možné odhadnout, kolik to bude stát.

Cena jedné nádoby na 1100 litrů (Obrázek 14) je 5 500-7 500 Kč. Při průměrné ceně 6500,- náklady na 8 kontejnerů budou 52 000 Kč, nejsou zde zahrnuty náklady na instalaci a dopravu.



*Zdroj: [11]*

*Obrázek 14: Vybrané nádoby objemu 1 100l*

Vychází to tak, že za ušetřené peníze a doplatek město může pořídit další kontejnery, což v budoucnu bude mít jen výhody. Změna docházkové vzdálenosti povede ke zvýšení atraktivity u obyvatelstva pro třídění odpadu, což povede k poklesu SKO a naopak se zvýší množství sběru recyklovatelného odpadu.

## 8. Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval rozmístěním separačních míst pro město Plasy. V práci jsem měl za cíl analyzovat aktuální stav a optimalizovat odpadové hospodářství odděleného sběru odpadu.

V první a druhé části této bakalářské práce byly popsány základní informace o vybraném městě a odpadové hospodářství města, kdo zajišťuje provozování a jakým způsobem, byly popsány jednotlivé komodity odpadu a jejich množství produkce. Na základě této informace byly zjištěny aktuální problémy, silné a slabé stránky. Na konci této kapitoly byly postupně shrnuty veškeré poznatky týkající se oblastí, které mohou být problematické a které jsou vhodné pro optimalizaci.

Za cíl jsem vybral optimalizaci rozmístění separačních míst pro oddělený sběr odpadu tak, aby došlo ke zlepšení současného stavu, tedy zmenšení docházkové vzdálenosti.

V následující části je představen úvod do teorie lokační analýzy a lokačních úloh, která se zabývá optimalizací lokace. Byly zvažovány varianty lokačních modelů a kritéria. Na základě toho byl zvolen vhodný model pro vybranou problematiku. Poté byla podrobně popsána formulace problému úlohy  $p$ -mediánu pro dva případy.

Kapitola 5. práce byla věnována výběru vhodných metod řešení na daný typ úlohy. Popsal jsem dva možné přístupy k řešení, heuristické a exaktní. Pro každý z nich byla navržena možná řešení úlohy  $p$ -mediánu, a na jejich základě zvolen algoritmus Swap Based Local Search.

Než jsme přistoupili k další praktické části, může se čtenář seznámit s web-servisem OpenStreetMap, s jejíž pomocí jsem získal potřebná data pro práci. Pomocí tohoto projektu a jeho služeb byly získány údaje o počtu domů a jejich umístění a vzdáleností mezi každým domem a separačním místem.

V další části práce byly tyto metody aplikovány na současný stav. Vstupním prvkem do algoritmů byla matice vzdáleností mezi každým domem a místem a také síť, která byla sestavena dle webservisu OpenStreetMap. Nejdříve byl proveden výpočet stávajícího stavu pomoci a stanovena počáteční docházková vzdálenost, kterou dále jsem optimalizoval.

Dále jsem v praktické části této práce navrhnul 4 varianty umístění sběrných míst. Pro výběr umístění v jedné variantě byl zvolen již počáteční počet míst a kontejnerů, které město má k dispozici zdarma od společnosti Marius Pedersen. V následujících variantách bylo existující množství míst zvýšeno na doporučený republikový průměr.

V závěrečné části byly porovnány různé varianty řešení a byla vybrána ta nejlepší z nich. Výsledkem optimalizace byla tedy nová varianta rozmístění, která zahrnuje 20 sběrných míst, při kterých bude nejmenší možná docházková vzdálenost. Tato nejlepší varianta byla také

srovnána se současným stavem, aby bylo jasné vidět přínos a zlepšení, které optimalizace přináší. Při současném stavu je střední docházková vzdálenost do sběrných míst 237 metrů. Podle nového návrhu by vzdálenost byla 192 metrů. To je o celých 45 metrů méně. Dále jsem provedl ekonomické posouzení pro vybranou variantu, v případě, že město pořídí další kontejnery. Změna současných stanovišť a zavedení nových není jednoduchou záležitostí. Záleží na společnosti, která provozuje služby a na městském úřadě, zda jsou ochotni a zda je v jejich možnostech nákup nových kontejnerů a provedení samostatné instalace nově navrhovaných stanovišť.

## 9. Použité zdroje

- [1] ASWANI, Anil. IEOR 151 – Lecture 13 P-Median Problem [online]. University of California, Berkeley, 2019 [cit. 2022-07-31]. Dostupné z: [http://courses.ieor.berkeley.edu/ieor151/lecture\\_notes/ieor151\\_lec13.pdf](http://courses.ieor.berkeley.edu/ieor151/lecture_notes/ieor151_lec13.pdf)
- [2] Bavaria Bohemia Online. Bbkult.net [online]. Centrum Bavaria Bohemia [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.bbkult.net/cz/places/45424-plasy/>
- [3] COBRA: A New Formulation of the Classic p-Median Location Problem [online]. Nizozemsko: Kluwer Academic Publisher, 2003 [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1026142406234.pdf%20základn%C3%AD%20verze%20je%20vážená>
- [4] Google.com: Google Maps [online]. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [5] Kontejnery na tříděný odpad jsou málokde. Jaktridit.cz [online]. [cit. 2022-07-31]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/rady-a-tipy/myty-v-oblasti-odpadu/kontejnery-na-trideny-odpad-jsou-malokde>
- [6] MLADENOVÍČ, Nenad, Jack BRIMBERG, Pierre HANSEN a José A. MORENO-PÉREZ. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research [online]. 16 June 2007, 927-939 [cit. 2022-07-28]. ISSN 0377-2217. Dostupné z: [https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.2399&rep=rep1&type=pdf#:~:text=Classical%20heuristics%20for%20the%20p,and%20\(vi\)%20Composite%20heuristics.](https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.2399&rep=rep1&type=pdf#:~:text=Classical%20heuristics%20for%20the%20p,and%20(vi)%20Composite%20heuristics.)
- [7] NĚMEC, Michal. Domovní a bytový fond v detailu pražských městských částí z pohledu statistických ukazatelů [online]. Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, Sekce strategií a politik, oddělení analýz a prognóz, červen 2014 [cit. 2022-07-31]. ISBN 978-80-87931-15-8. Dostupné z: [https://iprpraha.cz/uploads/assets/dokumenty/ssp/analyzy/bydleni\\_realitni\\_trh/2014\\_06\\_mn\\_domovni-a-bytovy-fond-v-detailu-prazskych-mestskych-casti-z-pohledu-statistickych-ukazatelu.pdf](https://iprpraha.cz/uploads/assets/dokumenty/ssp/analyzy/bydleni_realitni_trh/2014_06_mn_domovni-a-bytovy-fond-v-detailu-prazskych-mestskych-casti-z-pohledu-statistickych-ukazatelu.pdf)
- [8] Nový zákon o odpadech: kdo netřídí, zaplatí. <https://nasregion.cz> [online]. AVE Žďár, 2021 [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://nasregion.cz/novy-zakon-o-odpadech-kdo-netridi-zaplati-222500/>
- [9] Oficiální stránky Města Plasy. Symboly – Plasy [online]. [cit. 2022-07-31]. Dostupné z: <https://www.plasy.cz/mesto/symboly-mesta-plasy/>
- [10] Openstreetmap.org [online]. [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/relation/439746>
- [11] Shop.elkoplast.cz [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.shop.elkoplast.cz/plastovy-kontejner-1100-l-na-trideny-sber-ruzne-barvy>

[12] Studie nakládání s komunálními odpady města Plasy [online]. Regionální rozvojová agentura Plzeňského kraje, Červen 2019 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z:  
[https://www.plasy.cz/e\\_download.php?file=data/editor/542cs\\_22.pdf&original=861.%20Analýza%20OH%20města%20Plasy%20po%20doplňen%C3%AD%2026.8.%202019.pdf](https://www.plasy.cz/e_download.php?file=data/editor/542cs_22.pdf&original=861.%20Analýza%20OH%20města%20Plasy%20po%20doplňen%C3%AD%2026.8.%202019.pdf)

[13] VOLEK, Josef a Bohdan LINDA. Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-225-9.



## 10. Seznam obrázku

<b>Obrázek 1:</b> Město Plasy.....	8
<b>Obrázek 2:</b> Znak města.....	8
<b>Obrázek 3:</b> Mapa s vyznačenými zařízeními pro zpracování a odstranění odpadu .....	11
<b>Obrázek 4:</b> Mapa s vyznačenými místa umístění sběrných hnízd ve městě Plasy.....	15
<b>Obrázek 5:</b> Platné původní řešení.....	30
<b>Obrázek 6:</b> Přemístění vybraného p vrcholu do možného kandidátu.....	30
<b>Obrázek 7:</b> Znázornění špatně přiřazených spotřebitelé ke střediskům obsluh (přerušovaná čára).....	31
<b>Obrázek 8:</b> Nová umístění středisek obsluhy v síti .....	31
<b>Obrázek 9:</b> Schematické zobrazení původního stavu rozmístění separačních hnízd (červené body) a domu (modré body) .....	33
<b>Obrázek 10:</b> Přiřazení spotřebitelů ke střediskům obsluhy v původním stavu (16 hnízd).....	35
<b>Obrázek 11:</b> Rozšířena původní síť o dalších 12 stanovišť .....	36
<b>Obrázek 12:</b> Nova varianta umístění 16 sběrných hnízd a přiřazení je spotřebitele .....	37
<b>Obrázek 13:</b> Varianta umístění 20 sběrných hnízd a přiřazení je spotřebitele .....	38
<b>Obrázek 14:</b> Vybrané nádoby objemu 1 100l.....	42

# 11. Seznam tabulek

<b>Tabulka 1:</b> Přehled obyvatel včetně struktury zástavby .....	9
<b>Tabulka 2:</b> Porovnání produkce komunálních odpadů Plzeňského kraje a města Plasy včetně Sběrného dvorů(SD). .....	12
<b>Tabulka 3:</b> Přehled počtu, objemu a rozmístění nádob na odpad - oddělený sběr (2021).....	14
<b>Tabulka 4:</b> Přehled instalovaných nádob na SKO a jejich objem v litrech .....	16
<b>Tabulka 5:</b> Produkce evidovaných odpadů Plasy 2016 - 2018 (město + SD).....	16
<b>Tabulka 6:</b> Porovnání množství SKO na obyvatele a rok v Plzeňském kraji a ve městě Plasy za rok 2018.....	16
<b>Tabulka 7:</b> Produkce nebezpečných odpadů Plasy 2016-2018 .....	18
<b>Tabulka 8 :</b> Vzdálenosti mezi domy(sloupec) a hnízdy (řádek).....	33
<b>Tabulka 9:</b> Porovnání současného stavu a nových variant .....	38
<b>Tabulka 10:</b> Podklady o celkovém přehledu příjmů a výdajů poskytnuté městem .....	39
<b>Tabulka 11:</b> Jednorázový objem nádob pro 16 sběrných hnízd .....	40
<b>Tabulka 12:</b> Porovnání jednorázového objem nádob pro aktuální objem a navrhovaný .....	41

## 12. Seznam příloh

### Elektronické

1. Matice vzdálenosti - Plasy\_vzdalenost.xlsx
2. Implementace Swap-Based Local Search algoritmu pro řešení úlohy  $p$ -mediánu v jazyce Python - program.py