

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana životního prostředí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vyhodnocení množství zpětně odebraných baterií a
akumulátorů v rámci České republiky s využitím
GIS**

**Quantity assessment of backward collected batteries
and accumulators in the framework of the Czech
Republic using GIS**



Bc. Tomáš Augustin Kukal

Školitel: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha, 2018

Abstrakt

Počet baterií a zejména akumulátorů, stále roste a s tím roste i jejich sběr a svoz. Je proto nutné hledat cestu k jeho optimalizaci, což může být např. vybudování nových sběrných zařízení. Diplomová práce se zabývá analýzou dat ze sběru baterií společností ECOBAT s.r.o., zpracováním těchto dat a sestavení modelu v pěti variantách. Výstupem diplomové práce je počítačový model sběru baterií, který umožňuje zkoumání svozových tras. Model pracuje se vzdálenostmi svozových tras na principu oblasti dopravní obslužnosti a je realizován na principu dopravní úlohy. Data jsou získána s pomocí ArcGISu verze 10.5 a dále zpracována v Excelu. Výstupem jsou pak mapová schémata vycházející ze 5ti variant. První varianta ukazuje současný stav, další zobrazuje variantu zpracovatelských linek ve třech největších městech, třetí pak ve všech městech ČR nad 100 000 obyvatel, čtvrtá z variant ukazuje možnost sběrného místa v každém krajském městě, pátá varianta pak pracuje se stejným počtem a rozmístěním sběrných center jako varianta čtvrtá, ale mění jejich kapacitu. Model je sestaven univerzálně, takže je možné ho s drobnými úpravami použít i při dalších svozech různých jiných komodit odpadu.

Abstract

The number of batteries, namely accumulators, is growing. Consequently, their take-away and a need of recycling is increasing too. It is thus necessary to find a suitable way to their optimization that can lead to the establishment of new waste collection machineries. This study deals with the data analysis by ECOBAT s.r.o. company, data processing and a model construction (in five different versions). The output of the diploma thesis is a model of the batteries collection enabling closer look on take-away routes, The model is based on the distances of take-away routes based on a principle of the utility areas and a role of a transport. The data are obtained from ArcGIS 10.5 and subsequently handled in Microsoft Excel. The outputs are the map schemes issuing from five different versions. The first one is showing the current situation, The other one is showing the version of treating units in three largest towns of the Czechia, the third one treating units in all the towns with above 100 000 inhabitants. The fourth one is showing a possibility to have a collection point in each of the county seats. The last one has the same location, but the treating units have higher capacities. The model is general, there is therefore a possibility of using it for other similar situations.

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval sám a uvedl jsem veškeré zdroje, ze kterých jsem při zpracování práce vycházel. Předložená tištěná verze diplomové práce se shoduje s elektronickou verzí v systému SIS. Tuto práci jsem nepoužil k získání jiného akademického titulu.“

V Praze dne 5.1. 2018

.....

Tomáš Augustin Kukul

Poděkování

Chtěl bych poděkovat každému, kdo mi byl jakkoli nápomocen při tvorbě mé diplomové práce. V první řadě bych chtěl poděkovat panu Ing. Luboši Matějčkoví, Ph.D. za cenné rady, konzultace a vedení během zpracování diplomové práce a za velkou pomoc s modelem svozu baterií. Dále mé poděkování patří Evě Gallatové, Ing. Kateřině Vránkové a Ing. Michaele Helclové, pracovnícím společnosti ECOBAT s.r.o. a celé společnosti ECOBAT s.r.o. za poskytnutá data, která jsem v diplomové práci používal, dále za poskytnuté materiály, odbornou pomoc a konzultace, které mi poskytli. Děkuji Bc. Terezií Šimákové za poskytnutou korekturu textu. Zvláštní poděkování také patří celé mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali během studia.

Obsah

Úvod	9
1. Baterie a akumulátory	11
1.1 Rozdělení dle zákona O odpadech	12
1.1.1 Klíč k určování baterií sestavený MŽP	14
1.2 Rozdělení dle technologie.....	15
1.2.1 Primární články	16
1.2.2 Sekundární články	16
1.2.3 Palivové články	17
2. Legislativa EU týkající se sběru baterií a akumulátorů	19
2.1 Směrnice 2006/66/ES	19
2.1.1 Článek 8 Systémy sběru	19
2.1.2 Článek: 10 cíle sběru	20
2.1.3 Článek 11: Vyjímání odpadních baterií a akumulátorů.....	21
2.1.4 Článek 12-14.....	21
3. Systém sběru baterií v ČR a ve světě.....	22
3.1 Systém sběru baterií v ČR	22
3.1.1 O společnosti ECOBAT	22
3.1.2 sběrná místa společnosti ECOBAT	24
3.1.3 průzkumy prováděné společností ECOBAT.....	26
3.2 Systém sběru baterií ve světě	26

3.2.1	Evropa.....	26
3.2.2	Výzkum v Belgii	31
3.2.3	Severní Amerika.....	33
3.2.4	Austrálie.....	34
3.2.5	Japonsko	35
4.	Metodika	36
4.1	Úvod	36
4.2	Databáze sběru baterií od společnosti ECOBAT	36
4.2.1	databáze sběru baterií: Obce	37
4.2.2	databáze sběru baterií: Okresy	37
4.2.3	databáze sběru baterií: Kraje.....	37
4.3	Metodika dopravní úlohy.....	38
4.3.1	Popis modelovaného území	38
4.3.2	Softwarové nástroje	38
4.3.3	Analýza obsluhované oblasti (service area) metodika	39
4.3.4	Metodika tvorby modelu	40
4.3.5	Operační výzkum	41
4.3.6	indexová metoda	43
4.4	Modelování svozu baterií	45
4.5	Odhad nákladů na dopravu	46
4.6	Zobrazení svožů dle modelu	46

4.7	Využití modelu.....	47
5.	Výsledky modelu.....	48
5.1	Výsledky zpracování databáze.....	48
5.2	Průzkumová analýza- grafy	49
5.2.1	Stávající varianta- Model varianta A.....	49
5.2.2	Výstavba menších sběrných center v Brně a Ostravě- Model varianta B	51
5.2.3	Sběrná centra ve městech nad 100 tisíc obyvatel-Model varianta C.....	53
5.2.1	Sběrná Centra ve všech krajských městech- model varianta D	55
5.2.2	Sběrná Centra ve všech krajských městech-s kapacitou svozu podle počtu obyvatel kraje model varianta E	57
6.	Diskuse.....	59
7.	Závěr	62
	Zdroje.....	63
	Literatura.....	63
	Internetové zdroje	66
	Přílohy.....	69

Úvod

Baterie a akumulátory jsou nejčastější formou ukládání elektrické energie (Whittingham, 2012). Jejich význam, počet a tedy i dopad na životní prostředí roste s tím, jak se roste počet zařízení, ve kterých jsou baterie a akumulátory používány. Baterie se dnes používají ve velkém množství zařízení jako jsou automobily, průmyslová zařízení, lékařská zařízení (zejména ta nositelná), domácí a firemní elektronika a nacházejí stále nová a nová využití. Dvěma nejdynamičtěji se rozvíjejícími odvětvími jsou: 1) přenosná osobní zařízení, jakými jsou mobilní telefony, tablety, notebooky, nositelná elektronika a další. 2) elektromobily a další elektrické dopravní prostředky – elektrokola, segwaye, elektrokoloběžky apod. (Taborelli et al., 2016).

Všechna již zmíněná využití baterií a akumulátorů vedou v budoucnu k tomu, a to tím rychleji pokud se jedná o jednorázové baterie a nebo akumulátory s kratší životností, že se z baterií a akumulátorů stává odpad. Touto problematikou se v EU zabývá Směrnice 2006/66/ES o bateriích akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech. Česká republika jejich cílů dosáhla (ECOBAT 1, 2017), ovšem vzhledem k neustále rostoucí výrobě baterií je třeba stále jejich sběr zlepšovat a zefektivňovat.

Cíle práce:

1. Sestavit model svozu baterií s více variantami sestavený s pomocí zásad operačního výzkumu, který bude vhodným nástrojem pro řešení problematiky svozů baterií.
2. Sestavit natolik variabilní model, že bude možné ho měnit tak, aby byl použitelný k řešení problematiky svozu jiné komodity odpadu.

3. Graficky zobrazit model, aby bylo možné vidět jednotlivé svozové trasy i jednoduchým pohledem do mapového schématu.
4. Sestavit více variant modelu změnou počtu svozových míst a nebo celkového vytížení svozu baterií a tyto varianty mezi sebou porovnat.

Hypotéza:

1. Nejlepší variantou z hlediska omezení svozů bude varianta modelu E, která distribuuje svozové kapacity podle počtu obyvatel kraje.

V teoretické, tedy rešeršní, části práce se budu zabývat dělením baterií a akumulátorů a legislativou Evropské unie, která se baterií a akumulátorů týká. Dále se budu zabývat tím, jak je s bateriemi a akumulátory nakládáno v České republice a ve světě. V metodice bude řešena svozová problematika a její modelování s pomocí operačního výzkumu. Hlavním úkolem práce je představení a tvorba modelu svozu baterií, který je zpracován v programu ArcGIS a Excelu a jehož grafické výstupy v podobě mapových schémat jsou součástí diplomové práce. Datové výstupy, tedy jednotlivé varianty jsou pak umístěny v příloze na CD.

1. Baterie a akumulátory

V diplomové práci nahlížím na baterie a akumulátory ze dvou úhlů pohledu. Jedním je baterie/akumulátor jako zdroj energie a druhým pak baterie/akumulátor jako odpad, kterého je třeba se ekologickým způsobem zbavit. Oba přístupy se pak setkávají při zpracování baterií, kdy je nutné z různých druhů baterií získat různé chemické prvky (především kovy).

Termín baterie (battery) se jako první objevuje u Benjamina Franklina, který ale označoval řadu nabitých skleněných desek. Dále se výzkumem zabývali Luigi Galvani a Alessandro Volta. Alessandro Volta byl první, kdo sestrojil elektrický článek v roce 1800 (Piccolino, 2000). Další sestrojenou baterií pak byl Danielův článek (Whittingham, 2012). Baterie a akumulátory se postupně již od 19. století stávaly součástí různých zařízení. Jednalo se zejména o zařízení, u kterých byl nutný provoz na elektrickou energii a zároveň je nebylo možné připojit do sítě. Velké využití baterií na konci 19 století a počátku 20 století se našlo u elektrických automobilů, které se objevovaly jak v Severní Americe, tak v Evropě (např. v Belgii již roku 1899). Pomalý vývoj baterií spolu s nízkou cenou ropy však způsobil, že vývoj elektromobilů a tedy i baterie do nich stagnoval (Armand a Tarascon, 2008). Baterie se používaly i v přenosných zařízeních na komunikaci např. v Pensylvánii již v roce 1920. Během první čtvrtiny 20. století se baterie rozšiřovaly mezi další průmyslové oblasti. Baterie postupně našly své nezastupitelné místo v automobilovém průmyslu avšak již ne k pohánění celého automobilu, ale jako elektrický zdroj pro světla a další komponenty (Scherson a Palencsár, 2006). S příchodem tranzistoru a současnou miniaturizací se postupně rozvíjela další přenosná zařízení, ve kterých byla baterie nezbytnou součástí, a to pak i ve druhé polovině 20. století. Mezi nimi můžeme jmenovat přenosné (kufříkové) a později mobilní telefony, přenosné počítače, tranzistorová rádia apod. Další expanze baterií následovala

s rozmachem mobilních telefonů, iPodů, tabletů a podobných zařízení jejichž vnik spadá do 21. století (Scherson a Palencsár, 2006).

Baterie a akumulátory však nabývají velkého významu především v dnešní době. Kromě jejich aplikace v řadě především přenosných, nebo nezávislých elektrických zařízeních (Armand a Tarascon, 2008). Významné je jejich využití především v inženýrských sítích a průmyslových aplikacích (Chang, 2013). Jejich význam je patrný i na poli dynamicky se rozvíjejících současných elektromobilů. A stejně tak je jejich úloha nezbytná na poli obnovitelných zdrojů energie a to nejen při jejich použití v autonomních systémech, které nejsou připojeny do sítě, ale také umožňují skladovat vyrobenou elektrickou energii z obnovitelných zdrojů pro čas, kdy je její výroba z důvodu klimatických podmínek snížena a nebo úplně zastavena (Armand a Tarascon, 2008). Baterie se objevovaly za různými účely i v průmyslových budovách, nejvíce v USA (Linden a Reddy, 2002). Baterie je atraktivním systémem pro akumulaci energie z důvodu vysoké účinnosti a nízkého znečištění životního prostředí (Chang, 2013). Právě na bateriích závisí další rozvoj spotřební elektroniky, elektromobilů, ale i mnoha dalších odvětví. Armand a Tarascon (2008) se ptají, zda i v budoucnu zajistí baterie trvale udržitelný rozvoj a zda budou moci pohánět i další vznikající přenosná zařízení. Dnes už vidíme, že to je možné, ale jejich vývoj nesmí ustát.

1.1 ***Rozdělení dle zákona O odpadech***

Baterie můžeme dle Zákona č. 185/2001 Sb., O odpadech dělit na tři kategorie, a to na přenosné, průmyslové a automobilové baterie a akumulátory (Zákon 185/2001). Tento zákon nám dále nabízí definice těchto kategorií.

Přenosné baterie a akumulátory

Přenosná baterie nebo akumulátor je neprodyšně uzavřena a může být ručně přenášena, za předpokladu, že není automobilovou nebo průmyslovou baterií nebo akumulátorem. Může tam patřit napájecí sada, akumulátor, baterie nebo knoflíkový článek (Zákon 185/2001).

Průmyslové baterie a akumulátory

Průmyslová baterie je taková baterie nebo akumulátor, která je určena pouze k použití v průmyslu nebo k profesionálnímu použití nebo je používána jako zdroj energie v elektrickém vozidle. Naopak se nejedná o baterie, které se sice používaly v průmyslu, ale používaly se v automobilech, které nejsou elektrické (Zákon 185/2001).

Automobilové baterie a akumulátory

Automobilové baterie a nebo akumulátory, jejichž použití je v automobilech častější, jsou takové, které jsou používány pro zapalovací systémy, světla nebo startéry motorových vozidel a zároveň ty, které jsou ke stejným účelům používány v jiných výrobcích, pokud nejsou zároveň také bateriemi průmyslovými (Zákon 185/2001).

1.1.1 KLÍČ K URČOVÁNÍ BATERIÍ SESTAVENÝ MŽP

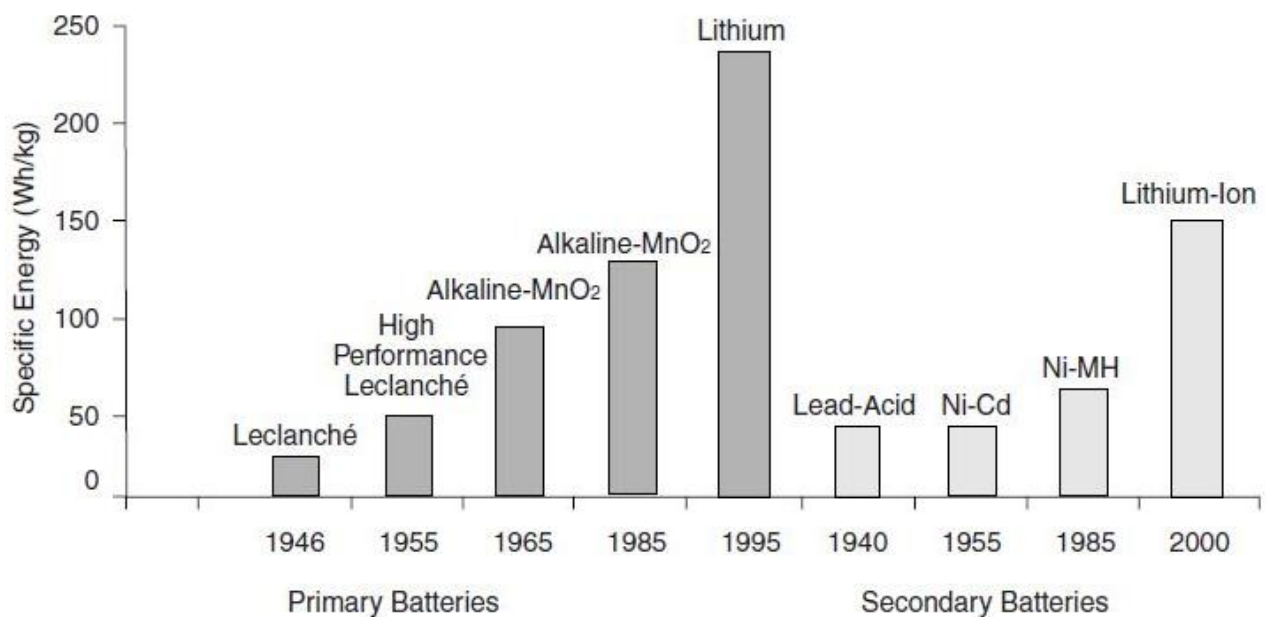
Pro jednoznačné určení o jakou baterii se jedná z hlediska zákona O odpadech, zpracovalo Ministerstvo životního prostředí klíč, který uvádím na obr 1 Schéma pro zařazení baterií. Výhodou klíče je snadná práce s ním a schopnost bezproblémového zařazení každé baterie do správné kategorie (Manhart, 2017).



Obrázek 1 Schéma pro zařazení baterií (zdroj: Informace Odboru odpadů Ministerstva životního prostředí, k určení typu baterií či akumulátorů v praxi, 2017)

1.2 Rozdělení dle technologie

Pokud se budeme držet chápání baterie/akumulátoru jako elektrochemického zdroje energie, tak nám zde literatura poskytuje jejich dělení na tři od sebe se lišící celky. Prvním celkem jsou primární články, druhým pak články sekundární a jako třetí celek to jsou články palivové. Jakýsi předěl mezi těmito skupinami pak tvoří tzv. články přechodové, to jsou ty články, u kterých jsou použity dva z výše uvedených typů. Tyto články nazýváme obnovitelné kombinované (Cenek a kol., 2003). Články lze dělit dále podle jiných hledisek, například účelu využití, pracovní teploty, stavu elektrolytu, stupně uzavření článkových nádob a podobně (Cenek a kol., 2003). Pokud bychom chtěli porovnat vývoj primárních a sekundárních článků, tak nám to umožňuje Graf 1 Vznik jednotlivých typů baterií a jejich kapacita z knihy Handbook of batteries (Linden a Reddy, 2002).



Graf 1: Vznik jednotlivých typů baterií a jejich kapacita (zdroj: Linden a Reddy, 2002)

1.2.1 PRIMÁRNÍ ČLÁNKY

Za primární články můžeme označit ty články, které mají omezené množství reaktantu. Omezení reaktantu netkví ani tak v omezeném množství reaktantu jako takového (to mají ostatně všechny články), ale v tom, že reaktant přeměňovaný na produkty nelze převést opětovným nabíjením s pomocí vnějšího zdroje elektrického proudu v reaktant původní. Tyto články nejsou tedy po jednom vybití schopny regenerace a uživateli nezbude nic jiného, než se těchto článků zbavit jako odpadu. O těchto člancích hovoříme jako o bateriích (Cenek a kol., 2003). Z hlediska velikosti a zpracování obalu baterie je dělíme na tužkové, knoflíkové, 9V baterie na jedno použití a podobně. Jednoduchý přehled o nejběžnějších a nejdůležitějších primárních člancích podává tabulka 1:

Tabulka 1: Nejběžnější a nejdůležitější primární články (zdroj: Cenek a kol., 2003)

Článek	Článeková reakce	Napětí (V)	
		klidové	střední vybíjecí
Leclanchéův burelový	$2\text{MnO}_2 + \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnOOH} + \text{Zn}(\text{OH})_2$	1,65	1,0 až 1,2
alkalický burelový	$2\text{MnO}_2 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnOOH} + \text{ZnO}$	1,60	1,1 až 1,3
rtuťový	$\text{Zn} + \text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \text{ZnO}$	1,35	1,1 až 1,3
zinkovzdušný	$\text{O}_2 + 2\text{Zn} \rightarrow 2\text{ZnO}$	1,35	1,1
stříbrozinkový	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{ZnO}$	1,7 až 1,8	1,3 až 1,5
lithiový	$4\text{Li} + 2\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{Li}_2\text{O}$	3,6	2,6

1.2.2 SEKUNDÁRNÍ ČLÁNKY

Druhým celkem jsou pak články sekundární. Stejně jako u primárních článků je v nich množství reaktantů omezené ve smyslu, že v nich není reaktantu nekonečné množství, ale na rozdíl od článků primárních lze produkty, které vznikají tím, jak se článek vybíjí znovu převést na původní reaktanty a to za pomoci elektrického proudu, který těmto článkům dodáme z nějakého vnějšího zdroje. Obvykle to bývá z energetické přenosové soustavy. Sekundární články lze tedy nabíjet a vybíjet opakovaně, a to až do doby, kdy v nich nedojde k poruše na

mechanismu, nebo na produktu, či reaktantu, který bude nabíjení bránit. Obvykle však spíše dochází k tomu, že sekundární články není možné dobít na původní hladinu a tedy klesá jeho kapacita (Cenek a kol., 2003).

Sekundárním článkům se běžně říká akumulátory a to proto, že se elektrická energie, která je potřebná k nabití článku v článku, akumuluje, a to ve formě chemické energie. Sekundární články se obvykle nepoužívají samostatně, ale jsou využívány obvykle v podobě akumulátorových baterií, které jsou sestavené z více článků. Takový celek je pak schopen dodávat vyšší napětí. Akumulátory lze charakterizovat podle toho, kolik snesou vybití a nabití, což je však věc vysoce individuální, obvykle to ale bývají stovky až tisíce cyklů (Cenek a kol., 2003). Dalším ze způsobů charakterizovat je pak jejich náplň. Náplní může být kov, pak hovoříme o alkalických akumulátorech. Známe např. Ni-Fe, Ni-Cd, Ag-Zn, Ni-Zn, Ni-MH a další. Druhou skupinou jsou akumulátory olověné, tedy kyselé. Třetí skupinou jsou akumulátory, jejichž elektrolyty jsou roztavené, tuhé nebo nevodné, které se v České republice moc nevyskytují (Cenek a kol., 2003).

1.2.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Třetím celkem jsou pak palivové články, které lze obecně považovat za nejsložitější. V palivových člancích probíhá studené „spalování“ během kterého vzniká elektrický proud. O spalování se hovoří proto, že vyžaduje kromě paliva, které bývá ve formě náplně palivového článku, také oxidační činidla. Oxidační činidlo a palivo je přiváděno k elektrodám, na nichž probíhá chemická reakce studené spalování. Produkty reakce někdy také nazývají zplodiny, jsou pak z článku odváděny. V palivových člancích se používají jako oxidační činidla vzduch, peroxid vodíku, nebo čistý kyslík. Palivem je pak metan, etanol, zemní plyn nebo třeba vodík. Pro správné fungování palivového článku je třeba katalyzátor, obvykle platinový. Elektrolytem je pak často hydroxid draselný nebo kyselina sírová či kyselina

fosforečná (Cenek a kol., 2003). Palivové články se v domácnostech a průmyslu téměř nevyskytují a jejich uplatnění se prozatím nacházelo pouze v kosmonautice, ale při zlevnění jejich výroby se můžeme dočkat zásobování energií z těchto panelů např. také v domácnostech, kde by mohla být výhodou absence elektrických rozvodů. Nutné je také vyřešit reakce článků s atmosférou, konkrétně reakce s oxidem uhličitým, který je poškozující (Takamura 2002).

2. Legislativa EU týkající se sběru baterií a akumulátorů

2.1 Směrnice 2006/66/ES

Legislativa Evropské unie k problematice baterií je zakotvena především ve směrnici Evropského parlamentu o bateriích akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech číslo 2006/66/ES. Tato směrnice byla v roce 2013 pozměněna směrnicí 2013/56/EU. Změna se ovšem týká hlavně uvádění nových baterií s určitým obsahem rtuti na trh a proto není pro nakládání s bateriemi významná (2006/66/ES). Pro sběr baterií akumulátorů jsou významné především některé články směrnice.

2.1.1 ČLÁNEK 8 SYSTÉMY SBĚRU

Článek hovoří o tom, že členské státy mají povinnost zajistit pro odpadní přenosné baterie a akumulátory vhodné systémy sběru, které splní určité podmínky, mezi něž patří, že systémy sběru nesmí být pro koncové uživatele zpoplatněny a ani je nesmí nutit ke koupi nového akumulátoru nebo baterie, dále také musí umožnit koncovým uživatelům možnost odložit baterie na dostupném sběrném místě v jejich okolí při zohlednění hustoty zalidnění. Podmínkou pro distributory je pak to, aby přijímali nazpět baterie a akumulátory, avšak pouze v případě, že neexistuje efektivní sběrný systém (2006/66/ES).

Důležitý je pro zřizovatele sběrných míst fakt, že sběrná místa pro koncové uživatele se nemusí registrovat, stejně tak není nutné žádat o povolení k nakládání s nebezpečnými odpady. Situace, ve které by každá sběrná nádoba na baterie musela mít povolení a registraci, by opravdu ztěžovala jejich zřizování. Tento článek nadále dává pravomoc členským státům požadovat po výrobcích zřízení systému zpětného odběru a možnost požadovat po výrobcích a prodejcích baterií aby se do těchto systémů zapojili. Dále je zde také možnost, že mohou

výrobci provozovat stávající systémy vzniklé ještě před touto směrnicí. Článek ještě deklaruje, že výrobci nebo sběrné systémy jimi zřízené, nebudou odmítat přijímat baterie od koncových uživatelů, a to bez ohledu na to, kdo tyto baterie vyrobil a co obsahují (2006/66/ES).

Speciální pozornost je také věnována automobilovým bateriím, u kterých je deklarováno, že pro ně též musí být zřízena možnost sběru od koncových uživatelů, a to též bez poplatků a bez nutnosti nákupu nové baterie či akumulátoru. Tato možnost se však týká pouze takových automobilových baterií, které nejsou používány pro podnikatelské účely (2006/66/ES).

2.1.2 ČLÁNEK: 10 CÍLE SBĚRU

Dalším důležitým článkem je článek 10, který se zabývá cíli sběru baterií. Nejdůležitějším ustanovením tohoto článku a jedním z nejdůležitějších ustanovení celé směrnice je minimální úroveň sběru, kterou popisuje bod 2., který říká že členské státy musí sbírat minimálně 25 % baterií z množství vyprodukovaných baterií ten daný rok a tohoto cíle musí dosáhnout nejpozději do 26. září 2012. Směrnice udává i druhou minimální úroveň, které je třeba dosáhnout, a to je sběr 45 % baterií z množství vyprodukovaných baterií za rok. Tato úroveň má být dosažena do 26. září 2016 (2006/66/ES). Této úrovni již dosáhla společnost ECOBAT dle jejich zprávy v roce 2016 (ECOBAT 1, 2017). Fakticky se toto číslo však stále zvyšuje, protože se zvyšuje produkce baterií na trh a je proto nutné, aby se zvyšovala i hmotnost sebraných baterií.

Článek dále hovoří o tom, že státy mají povinnost sledovat úroveň sběru baterií podle stanovené metodiky, kterou zákon stanovuje v příloze. Kromě toho mají také povinnost uvést jak údaje nezbytné pro výpočet úrovně sběru získaly. S tím souvisí také úkol, který měly

provést do roku 2007 , což je zavedení společné metodiky výpočtu ročních prodejů baterií a akumulátorů (2006/66/ES).

2.1.3 ČLÁNEK 11: VYJÍMÁNÍ ODPADNÍCH BATERIÍ A AKUMULÁTORŮ

Zajímavý je z hlediska sběru baterií i článek 11, který hovoří o tom, že zařízení obsahující baterie musí být navrženo tak, aby z něj bylo možné baterie snadno vyjmout a to buď koncovými uživateli, nebo, pokud to není možné, profesionály nezávislými na výrobci. Toto nařízení přikazuje, aby baterie mohly být snadno vyjmuty a předány do sběru baterií (2006/66/ES).

2.1.4 ČLÁNEK 12-14

V menší míře se sběrem baterií zabývají i články 12, 13 a 14. Ve článku 12 je uvedeno, že výrobci nebo osoby jimi pověřené, mají od roku 2009 povinnost používat nejlepší dostupné technologie zpracování sebraných odpadních akumulátorů, a to zejména s ohledem na životní prostředí, ale také lidské zdraví. Bohužel směrnice v tomto článku také umožňuje ukládání baterií nebo akumulátorů na skládku, pokud obsahují Pb, Hg nebo Cd pokud neexistuje žádný odbyt (2006/66/ES).

Ve článku 13 se hovoří o tom, že členské státy mají podpořit vznik nových recyklačních a zpracovatelských technologií (2006/66/ES).

Ve článku 14 je pak zákaz odstraňování průmyslových nebo automobilových baterií jejich uložením na skládku nebo spalováním, avšak netýká se to zbytků z nějaké úpravy baterií. Nevyužitelné zbytky je možné uložit na skládku nebo spalovat (2006/66/ES).

3. Systém sběru baterií v ČR a ve světě

Z výše uvedeného je patrné, že je nutné baterie nevyhazovat do komunálního odpadu, ale je nutné je nějakým způsobem sbírat a recyklovat je.

3.1 *Systém sběru baterií v ČR*

V České republice platí dle zákona o odpadech, zákona o obalech a dalších právních předpisech povinnost zajistit nakládání s výrobky po ukončení jejich životnosti výrobci. Jejich povinností je nabídnout koncovým uživatelům výrobků možnost výrobek odevzdat k ekologické likvidaci. Protože pro jednotlivou firmu by bylo obtížné a nákladné tyto služby ve větším rozsahu realizovat, zakládají výrobci neziskové společnosti, které zajišťují různé kolektivní systémy, které se touto problematikou zabývají. Mezi hlavní takové společnosti patří například EKO-KOM, který se zabývá obaly, ASEKOL s.r.o. - zabývá se sběrem elektrozařízení, ELEKTROWIN a. s. – zabývá se sběrem elektrozařízení a další. Mezi společnosti zabývající se přímo systémem sběru baterií patří v České republice ECOBAT s.r.o., který je podrobněji zmíněn níže a dále pak REMA Battery, s.r.o. (Odpadové fórum, 2012).

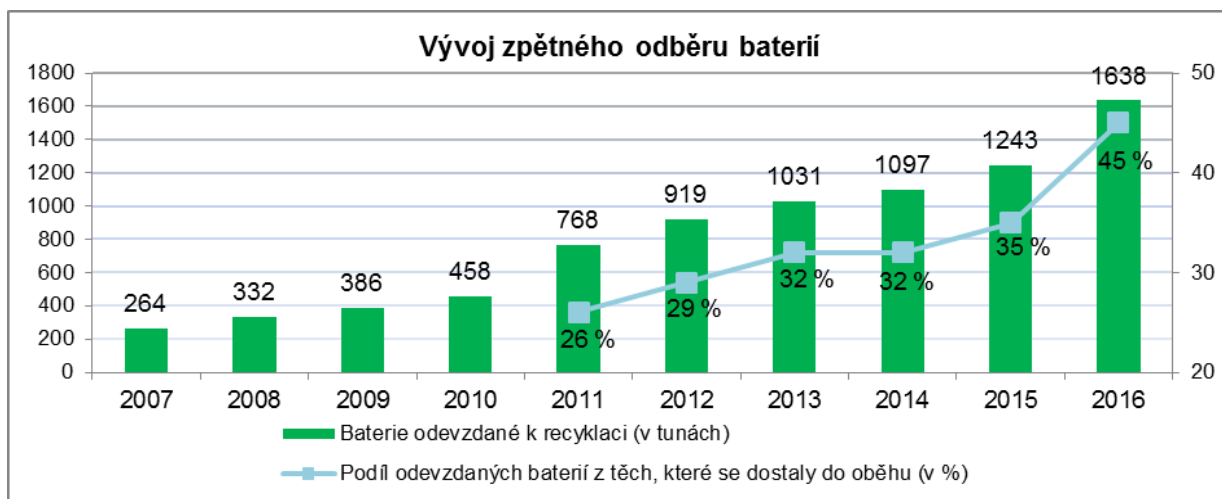
3.1.1 O SPOLEČNOSTI ECOBAT

Hlavní společností, která se zabývá systémem sběru baterií v České republice je nezisková společnost ECOBAT s.r.o., která zajišťuje sběr a následnou recyklaci baterií. Společnost ECOBAT s.r.o. založilo v roce 2002 šest významných výrobců baterií. Počet prodejců, kteří se následně do systému ECOBAT s.r.o. zapojili je v současné době kolem 760. Velký zlom v tom nastal v roce 2009 kdy společnost získala oprávnění k provozování kolektivního systému pro zpětný odběr baterií a akumulátorů v České republice podle zákona.

Společnost ECOBAT s.r.o. tedy získává na svůj provoz finance od firem, které v České republice uvádějí na trh akumulátory a baterie a to buď tím, že je prodávají samostatně, nebo jako součásti dalších zařízení. Druhým jejich zdrojem příjmů je také prodej druhotných surovin – kovů. Společnost ECOBAT s.r.o. spolupracuje s dalšími společnostmi, které se zabývají tříděním a následnou recyklací baterií, mezi něž patří: Středočeské komunální služby – věnují se třídění směsí běžných baterií, Kovohutě Příbram – věnují se přenosným oloveným akumulátorům a směsí zinkových a alkalických baterií, Recyklace Ekovuk a.s. – knoflíkové a lithiové baterie, Nimetal spol. s.r.o. – přenosné nikl-kadmiové akumulátory. Také spolupracuje i se zahraničními firmami z Německa to Redux Recyclin GmbH a Accurec recycling GmbH, kterým je zasílána směs baterií, kterou dále zpracovávají a z USA- Inmetco inc. (ECOBAT, 2014).

Společnost ECOBAT s.r.o. se kromě budování sítě sběrných míst, také zabývá osvětovou a propagační činností, jejímž úkolem je nejen informovat o možnostech třídění baterií, ale také učit děti a dospělé baterie třídit (ECOBAT, 2014).

Společnosti ECOBAT s.r.o. se stále daří zvyšovat procenta zpětného odběru baterií, který vidíme v grafu Vývoj zpětného odběru baterií u společnosti ECOBAT letech 2007-2016 v tunách a procentech. Důležité je nejen celková hmotnost sesbíraných baterií, ale také procento vyjadřující podíl odevzdaných baterií z těch, které se dostaly do oběhu (ECOBAT 1, 2017) .



Graf 2 Vývoj zpětného odběru baterií u společnosti ECOBAT letech 2007-2016 v tunách a procentech (zdroj: ECOBAT 1, 2017)

Překročením hranice 45% sesbíraných baterií splnila společnost ECOBAT s.r.o. cíl směrnice 2006/66/ES, (2006/66/ES) v roce 2016, jak vidíme z grafu 2: Vývoj zpětného odběru baterií u společnosti ECOBAT letech 2007-2016 v tunách a procentech

3.1.2 SBĚRNÁ MÍSTA SPOLEČNOSTI ECOBAT

ECOBAT s.r.o. buduje svoji síť sběrných míst už od doby jeho vzniku. V současné době, má již velkou síť sběrných míst, kterých v současnosti provozuje více než 20 000. Na sběrném místě je obvykle umístěna jedna sběrná nádoba, s výjimkou nějakých specifických případů (ECOBAT 2, 2017).

Sběrná místa jsou umístována tak, aby k nim měli lidé dobrý přístup a aby jejich návštěvu mohli spojit ještě s nějakou jinou aktivitou. Najdeme je proto ve sběrných dvorech, kde lidé mohou odložit, kromě baterií, ještě jiný odpad. Na úřadech, kam lidé chodí ještě vyřídit nějaké úřední záležitosti. Sběrná místa ve školách pomáhají kromě sběru i ekologické výchově žáků. Je velmi vhodné umístit odpadové nádoby na baterie také do těch obchodů, kde se prodává elektronika či přímo baterie, dále do těch obchodů, které jsou hojně navštěvované. Mezi další místa patří červené popelnice, kde lidé mohou kromě baterií odložit

i elektroodpad. Další sběrná místa jsou samozřejmě také v místech, která lidem nejsou běžně přístupná, což jsou třeba uzavřené provozy, kde slouží sběrné místo hlavně ke sbírání baterií z daného provozu. Takto tomu může být například u velkoskladů elektrotechniky apod. (ECOBAT 3, 2017).

Pro sbírání se používají různé typy sběrných nádob, které se liší dobou svého vzniku, účelem použití (jiné nádoby jsou na autobaterie a jiné na drobné baterie z domácnosti) a samozřejmě také podle předpokládaného množství odkládaných baterií. Ukázka běžného sběrného boxu v Obrázku 2: sběrný box společnosti ECOBAT s možností snadného zjištění jeho kapacity (ECOBAT 3, 2017).



Obrázek 2: sběrný box společnosti ECOBAT s možností snadného zjištění jeho kapacity (zdroj: foto autor)

3.1.3 PRŮZKUMY PROVÁDĚNÉ SPOLEČNOSTÍ ECOBAT

Společnost ECOBAT s.r.o prováděla anebo zadávala k provedení několik průzkumů týkající se sběru baterií. Nejrozsáhlejším z nich byl průzkum realizovaný firmou Markent s.r.o. v roce 2016, který byl zaměřen především na třídění baterií, ale také se v něm ptali na odhad baterií v domácnosti. Respondenti odhadovali v průměru 20 kusů baterií (Markent, 2016). Což je ovšem v porovnání s výzkum prováděným v Belgii společností Bebat v roce 2010, velmi malé číslo, neboť v Belgii bylo zjištěno, že průměrná belgická domácnost má doma 107 baterií (BEBAT, 2010). Je možné, že Češi používají baterie výrazně méně, nebo, že se počet používaných baterií rok od roku snižuje? Odpověď neznáme, ale potíž bude určitě v tom, jakým způsobem společnost Markent s.r.o. zjišťovala odpovědi. V případě, že se zeptáme lidí na ulici, aby z hlavy odhadli, kolik mají doma baterií je jasné, že číslo bude ve většině případů menší, než když detailně projdeme jejich domácnost a spočítáme všechny baterie, které v domácnosti mají a to včetně baterií, které se třeba v průběhu životnosti výrobku nevyměňují a je tudíž jasné, že o nich lidé většinou ani nevědí a nebo si na ně vůbec nevzpomenou (Markent, 2016). Přesnější průzkum zaměřený na počet baterií v domácnostech společnost ECOBAT s.r.o realizovala v roce 2017, na jehož realizaci jsem se také podílel sběrem dat.

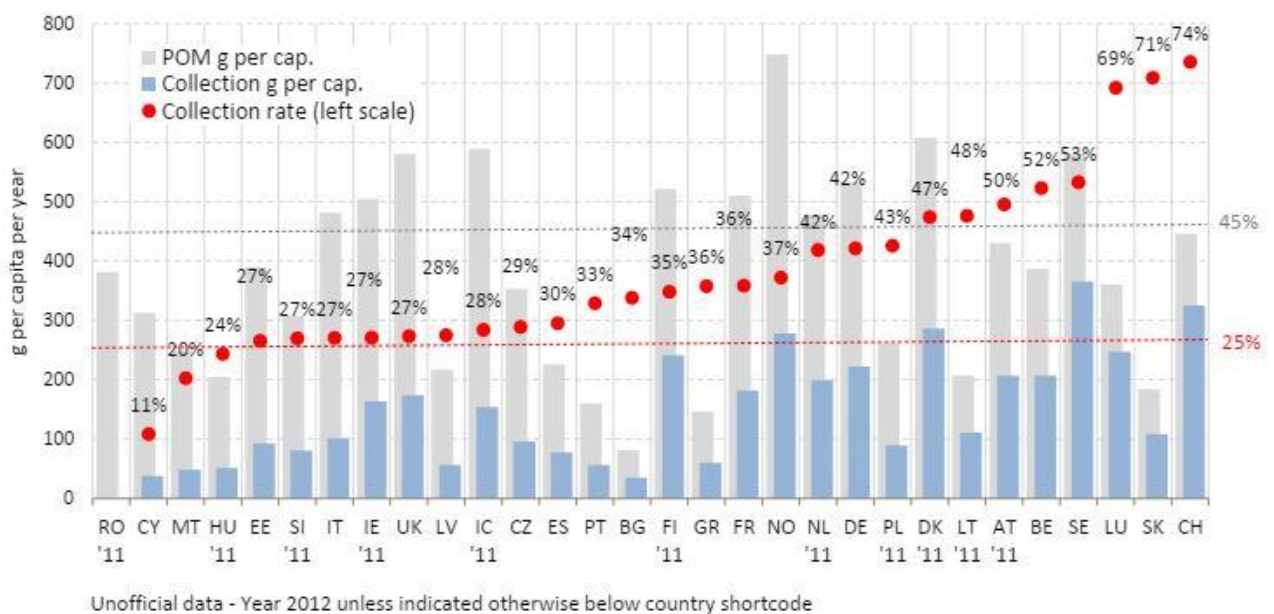
3.2 *System sběru baterií ve světě*

3.2.1 EVROPA

V Evropě je sběr a následná recyklace baterií řešena pochopitelně na dvou úrovních a to na úrovni Evropské unie a zároveň i na úrovni členských států, kterým se budu věnovat níže. Evropská unie řeší tuto problematiku především již výše zmíněnou směrnicí Evropského parlamentu o bateriích akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech číslo 2006/66/ES. Evropská unie odhaduje, že je každý rok vyprodukováno 160 000 tun baterií

používaných občany a úřady, 190 000 tun baterií, které produkuje průmysl a 800 000 tun automobilových baterií (internet 5). Automobilové baterie jsou však tříděny poměrně dobře stejně jako např. v USA a Japonsku (Gaines, 2014).

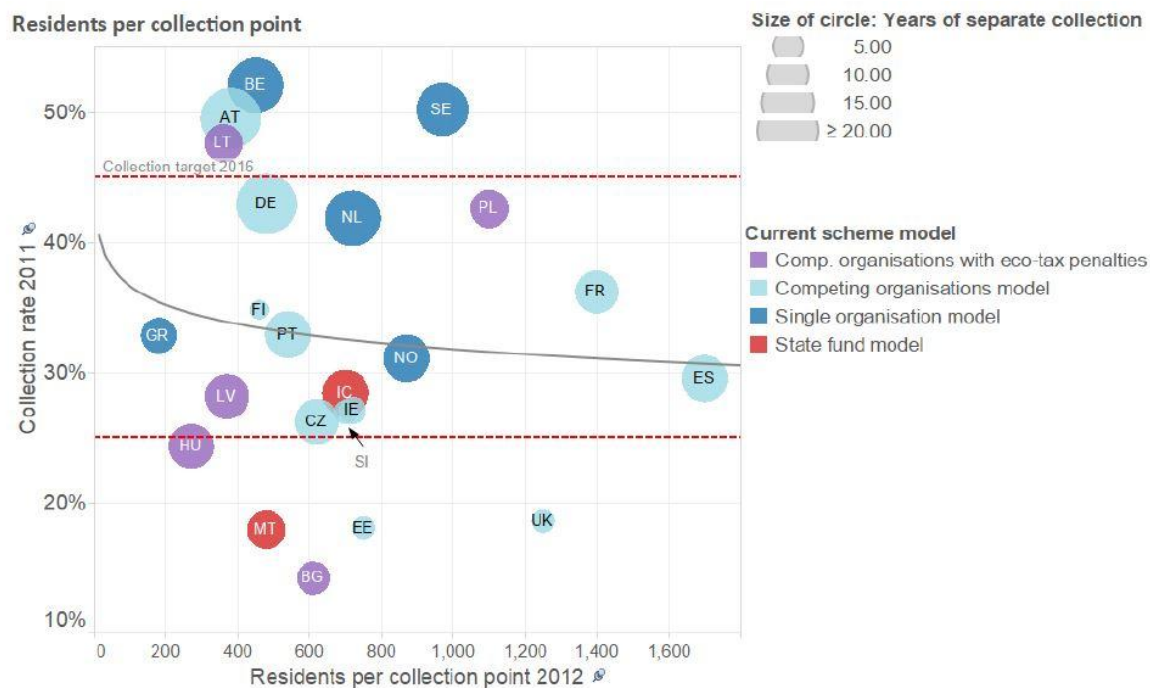
O celkovém stavu recyklace a produkce baterií dává hrubý přehled Graf 3 Sběr baterií v Evropě podle zemí v procentech a zároveň na obyvatele, který publikovala EBRA ve studii od společností Percards a SagisEPR z roku 2013. Bohužel se v některých případech jedná o neoficiální údaje, zejména pokud nejsou oficiální k dispozici. V případě Rumunska tam ani není uveden sběr, což je způsobeno absencí těchto údajů, které prostě nejsou v Rumunsku sledovány. V grafu vidíme počet produkováných baterií na trh (POM-placed on market) na obyvatele-šedý sloupec, sběr baterie na obyvatele-modrý sloupec a procenta sběru-červený bod s udáním konkrétní hodnoty sesbíraných baterií v procentech z baterií vyprodukovaných (Percards a SagisEPR, 2013).



Graf 3: Sběr baterií v Evropě podle zemí v procentech a zároveň na obyvatele (zdroj: The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC, 2013)

Jak vidíme, tak bohužel i přes legislativu EU a také přísné zákony ostatních členských zemí je sběr a recyklace baterií poměrně nevyvážený. V Evropě jsou sice systémy na sběr baterií, které zmiňuji níže, ale bohužel kapacitně převyšují sběr a je tedy jasné, že nedostatečná recyklace baterií leží především na obyvatelích, eventuálně sběrných místech (internet 9).

Zpráva EPBA uvádí, že ke konci roku 2012 se sběrná místa pro baterie nacházela ve 26 zemích, ve kterých dělali studii. Průměrně připadalo jedno sběrné místo na 690 obyvatel, v přepočtu lze tedy říct, že měli 1,7 sběrných míst na 1000 obyvatel. Nejlépe na tom byli v Řecku, kde průměrně připadalo jedno sběrné místo na 190 obyvatel, nejhůře na tom bylo Španělsko, kde připadalo na jedno sběrné místo 1600 obyvatel (Percards a SagisEPR, 2013). Celý tento přehled ukazuje Graf 4 Typy sběru a počet obyvatel na sběrné místo. Tento graf ukazuje, kromě počtu obyvatel na jedno sběrné místo, ukazuje také dobu, po jakou funguje oddělený sběr baterií v jednotlivé zemi a také kolik procent jednotlivé země vybraly v přepočtu na prodané baterie v dané zemi. Posledním zajímavým ukazatelem je zbarvení kruhu, které ukazuje, jaký systém sběru v zemi mají. Jak vidíme stejně jako předchozí informace z Grafu 4 Typy sběru a počet obyvatel na sběrné místo, tak v Evropě se vyskytují 4 systémy: státem řízený sběr, sběr jednou organizací, sběr baterií více organizacemi, které si přitom navzájem konkurují a systém konkurence více organizací stimulovaný ekologickými poplatky (Percards a SagisEPR, 2013).



Graf 4: Typy sběru a počet obyvatel na sběrné místo (zdroj: The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC 2013)

Velký vliv na systém sběru baterií v Evropě má European battery recycling Association (EBRA). Sama o sobě říká, že je jejím posláním zavádět nejvyšší standardy a podporovat osvědčené postupy v oblasti ochrany životního prostředí, bezpečnosti a dopadu na lidské zdraví při recyklaci baterií (internet 7). Zároveň společnost dodržuje Evropskou legislativu a snaží se o implementaci směrnice 2006/66/ES do praxe. Členové asociace se podílí na sběru třídění, zpracování a následné recyklaci vyřazených baterií. Zabývají se nakládáním s bateriemi z domácností, průmyslovými i automobilovými. EBRA si vytváří i vlastní statistiky, které jsou víceméně směrodatné, protože i když EBRA nesdružuje všechny, kteří nakládají s bateriemi, tak jich sdružuje poměrně velkou část a tedy lze její statistiky vztáhnout na celé odvětví. EBRA také provádí odhady možnosti recyklování baterií (internet 7).

EBRA v současnosti odhaduje, že je technicky proveditelné recyklovat 65 % hmotnosti vyprodukovaných olověných baterií a akumulátorů a to včetně recyklace olova. Stejně tak je technicky proveditelná recyklace až 75 % hmotnosti Ni-Cd baterií a akumulátorů

a to včetně recyklace kadmia, která je také technicky proveditelná. U ostatních baterií odhadují, že je recyklovatelných 50 % hmotnosti použitých baterií a akumulátorů (Percards a SagisEPR, 2013).

V Evropě působí řada místních sběrných systémů a společností, jakými jsou např. český ECOBAT nebo belgický BEBAT. Existují také systémy sběru, které mají přesah do více zemí. One Call Collection System je první celoevropský systém sběru baterií pro olovnaté a bezolovnaté baterie a akumulátory. Tento systém se snaží být pro všechny účastníky co nejvíce vyhovující, efektivní a snaží se být také co nejšetrnější k životnímu prostředí. Zabývá se z největší části sběrem autobaterií (internet 6).

Část evropských států má se splněním cílů směrnice (2006/66/ES) problémy, zatímco některé jsou na tom lépe. Aktuální data týkající se roku 2016 bohužel nejsou k dispozici a proto je nutné vycházet z dat starších. Pokud bychom si vybrali náhodně jeden stát, na zmínění všech tu není prostor, např. Spojené království Velké Británie a Severního Irska, tak to v roce 2012 dosáhlo na 32% úrovně sběru. Přičemž za půl roku sebrali něco lehce přes 6 049 tun baterií. Odhad roční produkce je zde 36 747 tun, a tedy půlroční sběr je nutno navýšit na alespoň 9 180 tun (internet 8). Vzhled sběrného boxu z Anglie je na obrázku 3 Sběrný box na baterie UK.



Obrázek 3: Sběrný box na baterie UK (zdroj: <https://www.action-storage.co.uk/shop/waste-recycling-bins/battery-recycling-bin>)

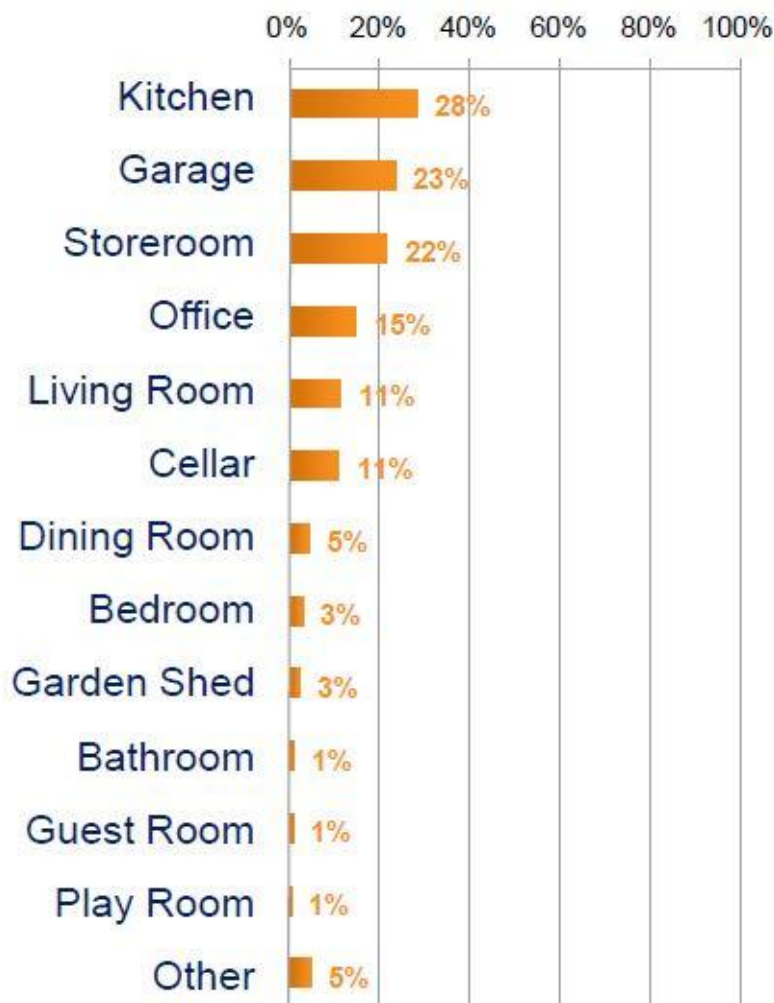
3.2.2 VÝZKUM V BELGII

Společnost Bebat zahájila svoji činnost v roce 1995. Celkové množství sebraných baterií společností Bebat v roce 2007 přesahovalo 1 000 000 000 baterií (BEBAT, 2010). V roce 2010 se tato společnost rozhodla zrealizovat průzkum za účelem posílení sběru baterií v Belgii a to s pomocí společností Lielens Advertising a InSites Consulting. Hlavními tématy průzkumů byly: baterie v domácnostech, chování spotřebitele, tedy vzhled do postojů spotřebitele baterií, systém recyklace a značka Bebat, tedy její znalost a pohled na ní. Výzkum probíhal s pomocí rozesílání elektronických dotazníků, ve kterých respondenti zaznamenávali

každý večer všechny baterie v domácnosti, se kterými se za den setkali, a to probíhalo po celý týden a v každé části jejich domu. Do tohoto průzkumu se zapojilo okolo 1000 respondentů a necelá polovina z nich, tedy 422 odpovídalo dokonce celý týden. Do dalších částí dotazníku se zapojilo až 1500 respondentů (BEBAT, 2010).

Hlavní otázkou části dotazníku zaměřené na baterie v domácnostech byla otázka: “How many batteries do you have at home?” Tedy: “Kolik baterií doma máme? “ Vzhledem k tomu, že bylo zjišťováno, kde se domácnost každého respondenta nachází, bylo možné tuto otázku zodpovědět nejen tak, že v průměru má každá belgická domácnost 107 baterií, ale také tak, že nejvíce baterií mají lidé ve Valonsku – jih Belgie, celých 115. Ve Flandrech, tedy na severu Belgie mají lidé průměrně 111 baterií a nejméně jich mají obyvatelé Bruselu a to 91. Je zřejmé, že belgický průměr není pouhým aritmetickým průměrem z průměrů oblastí, protože v každé oblasti nebyl stejný počet dotazovaných. Zajímavý je také průzkum, ve kterém byl zjišťován počet baterií v různých částech zástavby a bylo zjištěno, že nejméně baterií mají lidé v hlavním městě a nejvíce naopak na venkově, střední města pak byly uprostřed. Tento výsledek lze dokonce interpretovat tak, že lidé ve městech mají méně baterií než lidé žijící na venkově. Zajímavé srovnání, které je možné realizovat i z mého dotazníku je pak porovnání baterií dle typů domácnosti. Nejméně baterií mají doma mladí dospělí a to pouhých 70, následují je starší dospělí, kterým je mezi 45 a 60 ti lety. Následují je pak rodiny, rodina s dětmi mladšími 12 ti let má doma 117 baterií a rodina s dětmi staršími 12ti let má pak 125 baterií. Nejvíce baterií mají doma senioři osoby starší 60 ti let, kteří jich mají celkem 126 baterií. Rodiny s dětmi jsou tedy hlavní cílovou skupinou, na kterou je potřeba se zaměřit, protože děti se daleko snáze naučí baterie třídit než senioři, a to také proto, že na ně lze příznivě působit např. již ve škole. Velmi alarmující skutečností, kterou tento průzkum zjistil pro společnost Bebat, je to, že lidé v Belgii vyhazují mimo systém sběru baterií a nebo nevracejí až celkem 34 % baterií (BEBAT, 2010).

Jak na tom byly jednotlivé místnosti v Belgickém průzkumu je možné zjistit z grafu.



Graf 5 Rozložení baterií v jednotlivých pokojích v % (zdroj: BEBAT, 2010)

3.2.3 SEVERNÍ AMERIKA

V Severní Americe je sběr baterií roztržštěný mezi více menších společností. Avšak první, kdo začal provozovat sběrný program na baterie v domácnostech byla společnost Call2Recycle, která má program Call2Recycle® v U. S. A. a v Kanadě, a to již více než 20 let. V současnosti se zabývá sběrem baterií od tisíců firem (včetně mezinárodních firem a maloobchodníků) a také spousta místních samospráv si tuto firmu zvolila jako společnost,

kteřá jim bude řešit svoz baterií. Společnost se zabývá především sběrem nabíjecích baterií, také baterií z mobilních telefonů, případně jiných baterií, které pocházejí ze zařízení s vyměnitelnými akumulátory. Firma nabízí více než 30 000 sběrných míst napříč U. S. A. a Kanadou, což je však velmi málo (internet 1). Tímto programem bylo odhadnuto, že v Kanadě v roce 2005 bylo více než 94 % nabíjecích baterií vyhozeno do směsného odpadu. Lepší výsledky přinesla v roce 2009 Kelleher Environmental study, která udává, že bylo roztríděno 8-9 % Ni-Cd baterií, 45-72 % Li-ion a Li-pol., 7-8 % Ni-MH (internet 2). Je odhadováno, že je hodně baterií odváženo do Mexika. Naopak autobaterie jsou tříděny až z 99 % (Gaines, 2014).

3.2.4 AUSTRÁLIE

V Austrálii byla založena roku 2008 Australian Battery Recycling Initiative (ABRI) jejímiž členy jsou výrobci baterií, prodejci a dovozci spotřební elektroniky, vládní agentury, firmy zabývající se recyklací a organizace věnující se ochraně životního prostředí. Jejím cílem je efektivní dohled na baterie a akumulátory a redukce jejich negativních dopadů (internet 4). V Austrálii je dobře ošetřena spotřeba automobilových baterií, kterých je ročně spotřebováno asi 6 milionů kusů a z nichž je přibližně 87 % (počítáno na hmotnost) recyklováno, zbytek jsou zásoby hromadící se v domech nebo garážích. Případně jsou nevhodně rozebrány, prodány nebo nelegálně vyvezeny (Mohr et al., 2014). Bohužel u menších baterií a akumulátorů (do hmotnosti 1 kg), kterých se v Austrálii ročně spotřebuje asi 345 milionů, je podle studie ABRI pouze 6 % (bráno hmotnostně) a nebo jen 4 % (bráno na počet) recyklováno a naopak jich je většina umístěna na skládky a nebo jsou ponechány v domácnosti. Do daného počtu nerecyklovaných se naštěstí počítají i baterie, které se ponechávají ve výrobcích, a u kterých je šance, že ještě recyklovány budou (Mohr et al., 2014).

3.2.5 JAPONSKO

Japonsko lze v rámci Asie považovat za zemi, která je v nakládání s bateriemi nejvíce rozvinuté. Již v dubnu roku 1997 zde vzniká Battery Association of Japan (BAJ). Úkolem této organizace je podpora vývoje a výzkumu baterií a akumulátorů. Dále pomáhá zlepšovat výkonnost baterií, bezpečnost výrobků na baterie, ale také především recyklaci baterií a omezování dopadu negativních vlivů baterií na životní prostředí. Tato společnost odhaduje produkci japonských baterií v roce 2015 na 3,74 miliard kusů v hodnotě 739,9 miliard jenů. (internet 11). V roce 2004 zde vznikla společnost Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center (JBRC), která poskytuje sběrné kontejnery na baterie do obchodů a dalších sběrných míst. Kromě této činnosti se JBRC věnuje také osvětě mezi dospělými i dětmi a to především formou informačních letáků a přednášek ve školách. Společnost se zaměřuje především na baterie Ni-Cd, Ni-MH a Li-ion. Podle statistik, kterými společnost disponuje, se jí v roce 2014 podařilo nasbírat 777 tun Ni-Cd baterií a 1163 tun Li-ion (internet 10).

4. Metodika

4.1 *Úvod*

Vzhledem k neustále se zvětšujícímu se objemu, rostoucímu počtu kusů a samozřejmě rostoucí hmotnosti sběru baterií je zřejmé, že je třeba se zabývat omezením nákladů na přepravu baterií, které rostou nejen s počtem baterií, ale především s počtem svozů, jejichž využití není vždy ze 100 %. V této dopravní úloze je tedy snaha navrhnout takové řešení, které by umožnilo díky vhodnému rozmístění skladovacích kapacit, ze kterých by byl svoz do centrální zpracovatelské linky řešen po železnici, náklady na dopravu snížit. Univerzálnost modelu umožňuje, aby zde byla možnost zadání jiných dat a byl tedy aplikován i na jiné případy svozové problematiky.

4.2 *Databáze sběru baterií od společnosti ECOBAT*

Vzhledem k faktu, že nelze data o sběru baterií získat vlastním způsobem sběru dat, jelikož se v současnosti po celé České republice nachází více než 20 000 sběrných míst (ECOBAT 2, 2017), Bylo tedy nutné data získat od společnosti, která baterie sbírá a vede si o tom záznamy. Tou společností je právě ECOBAT s. r. o. . Od společnosti ECOBAT s.r.o. byla získána ucelená data o sběru z let 2003-2005. Z dalších let již nebylo možné takto ucelená data získat a proto je dále pracováno jen s těmito roky. Získané hmotnosti z jednotlivých sběrů v obci byly sečteny tak, aby bylo pro každou obec pouze jedno číslo, které udává celkovou hmotnost baterií a akumulátorů z obce sesbíranou během celého roku. Hmotnost všech sesbíraných baterií byla ponechána v tunách. Vyloučeno bylo také několik obrovských průmyslových sběrů, u kterých je zřejmé, že se jednalo o sběr baterií z továrny nikoli od

občanů. Daná data byla dále zpracovávána podle toho, zda se jednalo o obce, okresy a nebo kraje.

4.2.1 DATABÁZE SBĚRU BATERÍ: OBCE

Data pro obce nebyla dále upravována s výjimkou toho, že byl ještě spočítán celkový sběr za všechny tři sledované roky. Pak byl pouze připojen k databázi obcí Obce ArcČR® 500, ve které jsou kromě názvů obcí a jejich zařazení do okresů, krajů, jednotek NUTS, počty obyvatel a údaje, které však nebyly využity (míra nezaměstnanosti, naděje dožití, poloha a podobně). U větší částí obcí není žádná hodnota sběru, protože tam ve sledovaných letech nebylo žádné sběrové místo a nebo nebylo za rok ani jednou vyvezeno. Pravděpodobnější je tedy ta první možnost.

4.2.2 DATABÁZE SBĚRU BATERÍ: OKRESY

Z dat pro obce, která již byly z předchozího kroku upravená tak, že jsem pro každou obec získali jedno souhrnné číslo sběru z každého roku, byla vytvořena data pro jednotlivé okresy. Obce byly seskupeny podle okresů a pokaždé byla sečtena čísla ze všech obcí, které se nacházely v jednom okresu a čísla jsem pak byla umístěna do tabulky okresů tak, že byla připojena k databázi Okresy ArcČR® 500. Vznikla tak tabulka o 77 řádcích pro každý okres.

4.2.3 DATABÁZE SBĚRU BATERÍ: KRAJE

Stejným způsobem, jakým byla zjištěna data pro okresy z obcí, tak byla zjištěna data pro kraje z okresů. To znamená, že kraje byly sloučeny podle okresů a sběry baterií byly sečteny pro každý kraj ze všech jeho okresů a vznikla 14-ti řádková tabulka pro kraje, která byla sloučena s databází Kraje ArcČR® 500. Jeden řádek tabulky tedy představuje jeden kraj.

4.3 *Metodika dopravní úlohy*

Pro realizaci dopravní úlohy byl sestaven vlastní model. O modelu lze říci, že to je soubor funkcí a algoritmů, jehož úkolem je zjednodušeně popsat část reality (Gray, 2016). V našem případě se bude tedy jednat model svozů baterií z obcí v České republice. Model takového rozsahu pochopitelně zobrazuje jen některé znaky procesu, který jsou pozorovány a jiné vynechává, protože jsou buď neznámé, nebo nepodstatné. O zobrazovaných vlastnostech modelu rozhoduje především to, které vlastnosti modelu jsou potřeba pro jeho účel, vlastnosti, které potřeba nejsou, je možno zanedbat (Gray, 2016).

4.3.1 POPIS MODELOVANÉHO ÚZEMÍ

Model svozu baterií je realizován na území celé České republiky. Česká republika má celkem 10 579 000 obyvatel v roce 2016 (ČSÚ, 2017). Dělí se na 13 krajů + Prahu jako samostatné město a zároveň kraj a na 76 okresů. Obcí se v České republice nachází 6258 obcí (ČSÚ, 2017). Sběrných míst je přes 20 000 a jejich počet neustále roste. Vyšší počet sběrných míst, než je obcí v České Republice je způsoben tím, že většina měst má více sběrných míst (ECOBAT 2, 2017).

4.3.2 SOFTWAREVÉ NÁSTROJE

Pro realizaci modelu budou používány dva typy softwaru. Prvním je tabulkový software Microsoft Excel. Druhým softwarovým nástrojem je pak geografický informační systém, s nímž je pracováno s pomocí softwaru od firmy ESRI. Konkrétně se jedná o programy ArcGIS ve verzi 10.5, ArcGIS Pro ve verzi 2.0. Použití ArcGIS je pro práci naprosto nezbytné a to ze dvou důvodů. ArcGIS Pro ve verzi 2.0 tedy konkrétně nástroj Network Analysis Services s využitím Cloud Services, byl použit k měření vzdáleností obcí a po použití Excelu

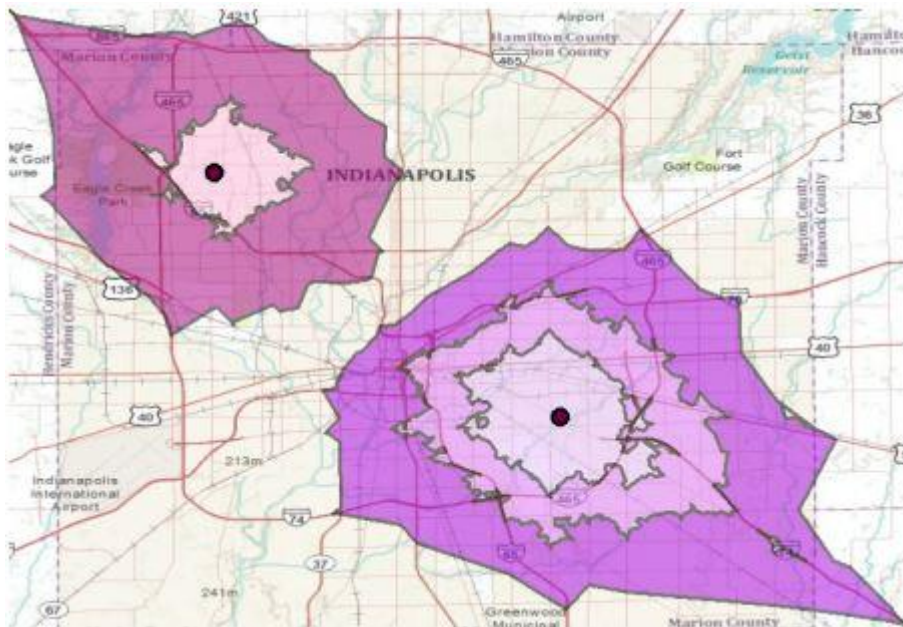
byl následně také použit ke tvorbě mapových výstupů, při jejichž tvorbě byla použita funkce XYtoLine a z následně vzniklé vrstvy bylo vytvořeno mapové schéma.

Pro zpracování dopravní úlohy je možné využití několika postupů s různými softwarovými nástroji, které byly zmíněny výše. Typ zpracování byl diskutován se školitelem.

4.3.3 ANALÝZA OBSLUHOVANÉ OBLASTI (SERVICE AREA) METODIKA

Typem modelu, který byl využitý je metoda Service Area Analysis, což je možné přeložit jako analýza obsluhované oblasti. Tuto analýzu je možné provést v programu Arc GIS, ale je nutné k tomu použít rozšíření Network Analyst. S pomocí tohoto nástroje je možné najít obsluhovanou oblast v jakékoli lokalitě, která je v síti. Síť obsluhovaných oblastí zahrnuje všechny ulice, které se vejdou do specifické kategorizace. Bylo uvedeno, že pětiminutová obslužná oblast zahrnuje všechny ulice, které lze během pěti minut z jednoho vytyčeného bodu dosáhnout. Obsluhované oblasti, které jsou vytvořené v síťové analýze, pomáhají taktéž hodnotit dostupnost daného místa. Je jasné, že se teoretická dostupnost, vyjádřená v km může lišit od skutečné dostupnosti, která se řídí i terénem a dalšími parametry. Je zřejmé, že místo dostupné po dálnici je dostupnější než místo ve stejné vzdálenosti, které je však dostupné pouze po polní cestě. Když jsou obsluhované oblasti vytvořené, je možné je používat k definování toho, kolik je v jejich rozsahu pozemků, lidí, nebo třeba obcí, případně sběrných míst a to v sousedství nebo i v celém regionu. Obsluhované oblasti v nástroji Network Analyst vytvoříme tak, že v nabídce vytvoříme Novou obsluhovanou oblast (možnost New Service Area). Obsluhovaná oblast však nemusí být tvořena pouze jedním polygonem, ale může se jednat o soubor polygonů, které jsou generované v určité vzdálenosti, respektive vzdálenostech a to tak, že je každá vzdálenost definovaná určitou dostupností za určitý čas, případně za určitý počet km. Každá takto vzniklá oblast má i definovanou svoji barvu. Může

se jednat o dojezdové vzdálenosti (např. 10 min, půl hodiny atd.) Pro ilustraci přikládám obrázek, jak tyto vizualizované polygony vypadají.



Obrázek 4: Polygony v definovaných vzdálenostech (zdroj: <http://desktop.arcgis.com>)

U každého prvku je nutné dále nastavit ID, tvar, jméno kategorií atd. (Internet 13).

4.3.4 METODIKA TVORBY MODELU

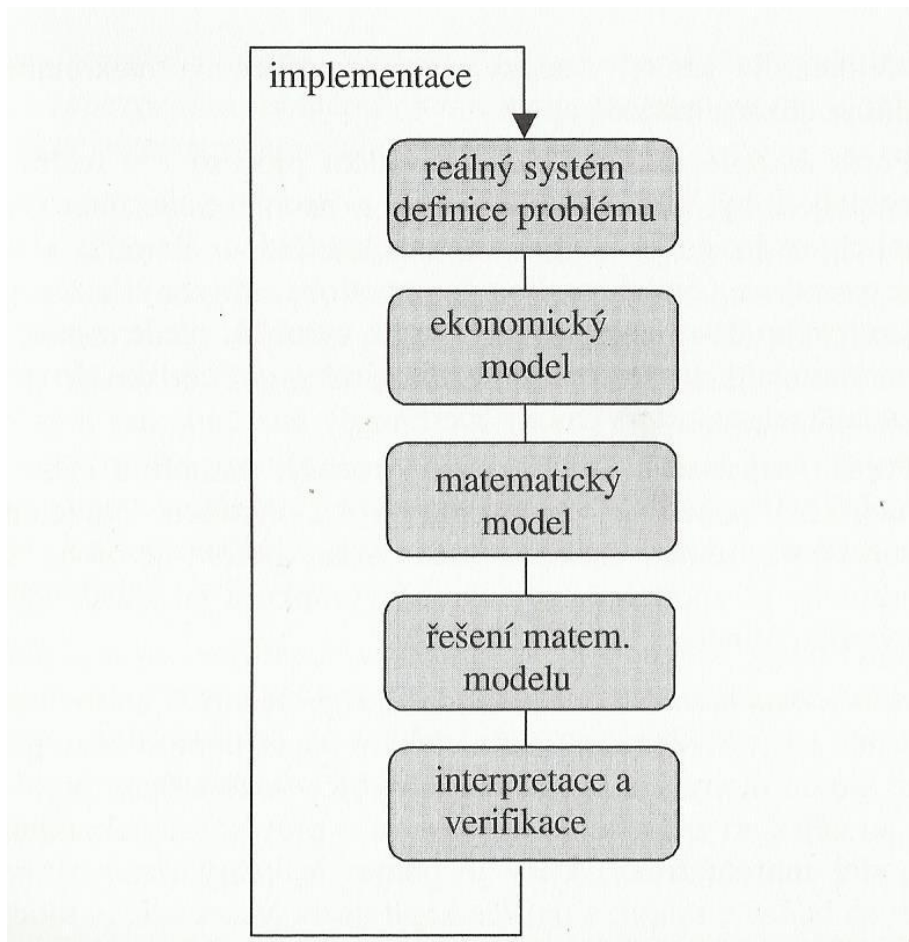
Součástí úlohy je také model napsaný s pomocí programovacího jazyka Visual Basic v Excelu a to různými příkazy a vzájemným propojením tabulek, tedy jednotlivých listů, z nichž každý obsahuje jednu tabulku. Při této tvorbě jsou používána makra programována ve Visual basic. První tabulkou je tabulka Odhady, ve které je řádek pro každou obec a v daném řádku je kromě toho, do jakého patří kraje, okresu a podobně také napsán počet sběrných dvorů, počet obyvatel, a teoretický odhad produkce baterií na celou obec. Ve druhé tabulce, která se nazývá Data, jsou pak umístěny nástroje ke spočítání jednotlivých vzdáleností obcí a zpracovatelských center. Každá obec zde má řádek ke každému zpracovatelskému centru a je spočítaná vzdálenost mezi tímto zpracovatelským centrem a tou obcí. Toto je pak

přehledně zpracováno do tabulky s názvem Tabulka, ve které je pro každou obec jeden řádek, ve kterém je však více sloupců a je v nich uvedena ta vzdálenost, která se spočítala z tabulky předchozí. Čtvrtý sloupec vypisuje chyby, které při výpočtu vznikly nějakým špatně zadaným údajem. Nejdůležitější tabulkou je pak tabulka nazvaná Model. V té jsou spojeny vzdálenosti obcí a sběrných míst s přepravovanou hmotností čímž dostaneme čísla o rozsahu přepravy. Tato data je pak možné exportovat z Excelu do GISu, prohlížet a dále upravovat. Pomocnou tabulkou je pak tabulka XYtoLine ve které se nachází vytvořené linie, které je později možné zobrazovat v grafické podobě v GISu.

4.3.5 OPERAČNÍ VÝZKUM

Operační výzkum (v angličtině operations research) je soubor samostatných vědních disciplín, které se zaměřují na analýzu různých rozhodovacích problémů (Jablonský 2007). Vyhodnocení množství sbíraných baterií je právě takový rozhodovací problém. Operační výzkum (také operační analýza) se věnuje formulování, řešení a modelování rozmanitých situací, ve kterých je třeba rozhodovat. Jedná se tedy o situace, kdy rozhodovací subjekt volí takové řešení, které mu z mnoha možných předkládaných řešení přijde jako nejlepší. Obvykle vybírá z mnoha řešení, která jsou k dispozici (Bazaraa, 2010). Operační výzkum se jako samostatná disciplína objevuje již ve 30 a 40 letech století dvacátého. Jeho rozvoj akceleruje zejména na poli ekonomie, kde ho podstatně rozvíjejí nositelé Nobelovy ceny za ekonomii, kterými jsou Leonid Kantorovič a George Bernard Dantzig. Druhým pilířem rozvoje je pak oblast vojenských aplikací. Operační výzkum je využíván za druhé světové války a následně po ní je dále rozvíjen, kdy je používán během studené války. Jeho hlavní uplatnění je právě v již zmíněné ekonomii. Další objevy a aplikace operačního výzkumu se objevují s rozvojem výpočetní techniky. V tomto období se základním nástrojem, který slouží k operačnímu výzkumu, stává matematické modelování. Modely se stávají vhodným nástrojem pro

simulování reálných procesů, které však mají oproti skutečnosti tu výhodu, že je možné vytvářet velké množství různých variant, jejichž chování je možné simulovat v reálném čase. Modely je možné pak libovolně měnit a upravovat a to daleko snadněji než zkoumaný systém (Katharaki, 2008). Pokud chceme aplikovat operační průzkum pro určitou úlohu, tak je nutné dodržet schéma aplikace operačního výzkumu, viz. Obrázek 6 (Jablonský 2007).



Obrázek 6 Fáze při aplikaci operačního výzkumu (zdroj: Jablonský 2007)

Pro pozdější použití např. ve svozové problematice se používá schéma upravené, ve kterém není použit ekonomický model, na druhou stranu je po sestavení matematického modelu ještě nutné realizovat jeho řešení v nějakém výpočetním softwaru (Katharaki, 2008). Výpočetní software pak především umožňuje výpočet matematického modelu rychleji a přesněji, než

když by byl počítán bez něj. Ovšem i při použití softwaru je nutná následná verifikace či případně v některých případech i zobrazení modelu (Jablonský 2007).

4.3.6 INDEXOVÁ METODA

Indexová metoda pak spočívá v tom využívat přednostně ty cesty svozu, které jsou nejvýhodnější z pohledu toho kritéria, které zadáme. Ke zpracování úlohy se používá tabulka 2 (Bazaraa, 2010).

Tabulka 2 tabulka indexové metody (zdroj: Gros)

	sběrná místa				kapacita sběrného místa
	1	2	...	n	
zdroje odpadu	b_1	b_2	...	b_x	
1	$c_{11} x_{11}$	$c_{12} x_{12}$...	$c_{1n} x_{1n}$	
2	$c_{21} x_{21}$	$c_{22} x_{22}$...	$c_{2n} x_{2n}$	
...	
m	$c_{m1} x_{m1}$	$c_{m2} x_{m2}$...	$c_{min} x_{min}$	

Důležité je vysvětlit si, co znamenají jednotlivá písmena: m-obce zdroj baterií, n-počet sběrných míst, c-vzdálenosti, přepravovaná hmotnost baterií je x , a_i vyprodukované množství baterií i-tým zdrojem, b_j kapacita j-tého cílového zařízení. Je jasné, že součty hodnot, které tam dosahujeme, se musí rovnat kapacitám v posledním řádku, protože souhrn všech zdrojů baterií se přece musí rovnat celkovému součtu baterií. Naopak kapacita zařízení se nemusí rovnat zdrojům baterií, ale musí být větší (Bazaraa, 2010). V řešení nalezneme tyto kroky. Na neobsazených polích je nalezeno pole, jehož hodnota vzdálenosti je nejmenší (tedy baterie se budou vozit na co nejkratší vzdálenost). Pokud je tímto místem pokryt požadavek zdroje baterií, tak se k ostatním místům napíše nula a kapacita sběrného místa se sníží. Pokud už je

však kapacita vyčerpána, tak je zvoleno jiné nejbližší sběrné místo. Až jsou vyřízena všechna pole, tak je dokončena úloha (Bazarra, 2010).

Při situaci, že součet sesbíraných baterií (a_i) není roven kapacitě zpracovatelských center (b_j), nastává jen situace, že kapacity sběrných míst jsou vyšší. Tuto situaci zobrazuje nerovnice 1:

$$\sum_{i=1}^m a_i \leq \sum_{j=1}^n b_j$$

Rovnice 1 (zdroj: Bazarra, 2010)

Při hypotetickém navýšení počtu sbíraných baterií by se však také mohlo stát, že by se nerovnice obrátila, tedy by se nastal tento případ, který demonstruje nerovnice 2,

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j$$

Rovnice 2 (zdroj: Bazarra, 2010)

kdy by byl nedostatek zpracovatelských kapacit. V reálu i v modelu by toto bylo řešeno přidáním nějakého zpracovatelského závodu. V modelu by se přidalo fiktivní zpracovatelské centrum, které by rozdíl vyrovnávalo viz. rovnice 3.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} + x_{m+1,j} = b_j, \text{ kde } \sum_{j=1}^n x_{jm+1,j} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$$

Rovnice 3 (zdroj: Bazarra, 2010)

Rozhodujícím faktorem, podle kterého budu jednotlivé studie porovnávat je kritériální funkce.

Kritériální funkci lze formulovat takto s pomocí rovnice 4:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = \min$$

Rovnice 4 (zdroj: Bazarra, 2010)

x_{ij} = přepravované množství materiálu od i-tého dodavatele k j-tému odběrateli, c_{ij} = náklady na dopravu jednotky materiálu od i-tého dodavatele k j-tému odběrateli, m - počet dodavatelů, n - počet odběratelů.

Tím, že vhodně nastavíme zpracovatelské linky, tak se nám podaří dosáhnout co nejnižší hodnotu kritériální funkce a tedy i nejmenších nákladů na svoz. Kritériální funkce je udávána v $\text{km} \cdot \text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ (tedy vzdálenost v km versus dopravované množství kg baterií z obce do zpracovatelského centra za 1 rok). Jednotlivé hodnoty kritériální funkce jsou uvedeny u studií (Bazaraa, 2010).

4.4 ***Modelování svozu baterií***

Model bude sestaven v počítači a v datové podobě. Aby bylo v modelu bez problému možné používat data z excelovských tabulek, ale také aby bylo možné ho jednoduše vytvářet, editovat, měnit, poskytovat pro další využití a podobně, jsme se rozhodli, že model bude zpracován v Excelu, který pak bude použit v programu ArcGIS od společnosti ESRI, s jehož pomocí bude vizualizovaný. Velmi důležitý prvek, který bylo nutné stanovit před tím, než se začal sestavovat model, bylo vhodné zvolení počtu zpracovatelských míst. Vzhledem k nejlepší dopravní dostupnosti, která je pro zpracovatelské místo důležitá, dále také vzhledem k husté sběrné síti v daném místě, jsme se rozhodli, že jako sběrná místa zvolíme krajská města. Jedinou výjimkou je pak Praha a Středočeský kraj, kde jsme zvolili jako sběrné místo Kladno, což vychází z faktu, že v Kladně je hlavní třídící a zpracovatelské centrum

ECOBATu. Pokud by se tedy budovala nějaká síť zpracovatelských center, tak tam Kladno určitě zůstane. Sběrných míst tedy bude celkem 13.

4.5 ***Odhad nákladů na dopravu***

Odhadnout náklady na dopravu není vůbec snadné, protože pro jejich přesné stanovení bychom potřebovali znát spotřebu vozidel vozového parku společnosti ECOBAT s.r.o., dále mzdu jejich řidičů, nějaké další dodatečné náklady (ceny svozových nádob a podobně), odpisy, takže původní ceny jejich aut a také další náklady. Což jsou údaje, které firma ECOBAT s. r. o. nebyla ochotna poskytnout. A proto při odhadech ceny vycházím z odhadu, že se používá dodávka do 6,5 tuny, která je schopná převést 3000 kg, tedy 3 tuny. Náklady jsou 17 Kč na km. Cena přepravy jednoho kg baterií na 1 km by tedy byla 0,006 Kč (Tichý, 2014).

4.6 ***Zobrazení svozů dle modelu***

Pro zobrazení modelu a svozových tras, které lze zobrazit jako spojnice mezi sběrným místem a svozovým centrem je nutné použít nějaký program, který data zobrazí. Proto, aby byly vidět linie v grafické podobě, je nejlepší použít program ArcGIS od společnosti ESRI. Na podkladovou obrysovou mapu krajů a s využitím pomocné tabulky XYtoLine bylo nastaveno zobrazení linií ze zdrojové tabulky (viz poslední pomocná tabulka XYtoLine) Díky ArcGIS je možné vidět linie i v grafické podobě, tedy v podobě mapových schémat, která jsou umístěna ve výsledcích.

4.7 *Využití modelu*

Model má hlavně dvě využití a to jednak je možné ho použít k optimalizaci svozu při vybudování nových sběrných center a s jeho pomocí řídit distribuci do jednotlivých sběrných center.

Samozřejmě je počet sběrných center možné upravit a to tak, aby ideálně odpovídal realitě, nebo simulaci postupné výstavby sítě.

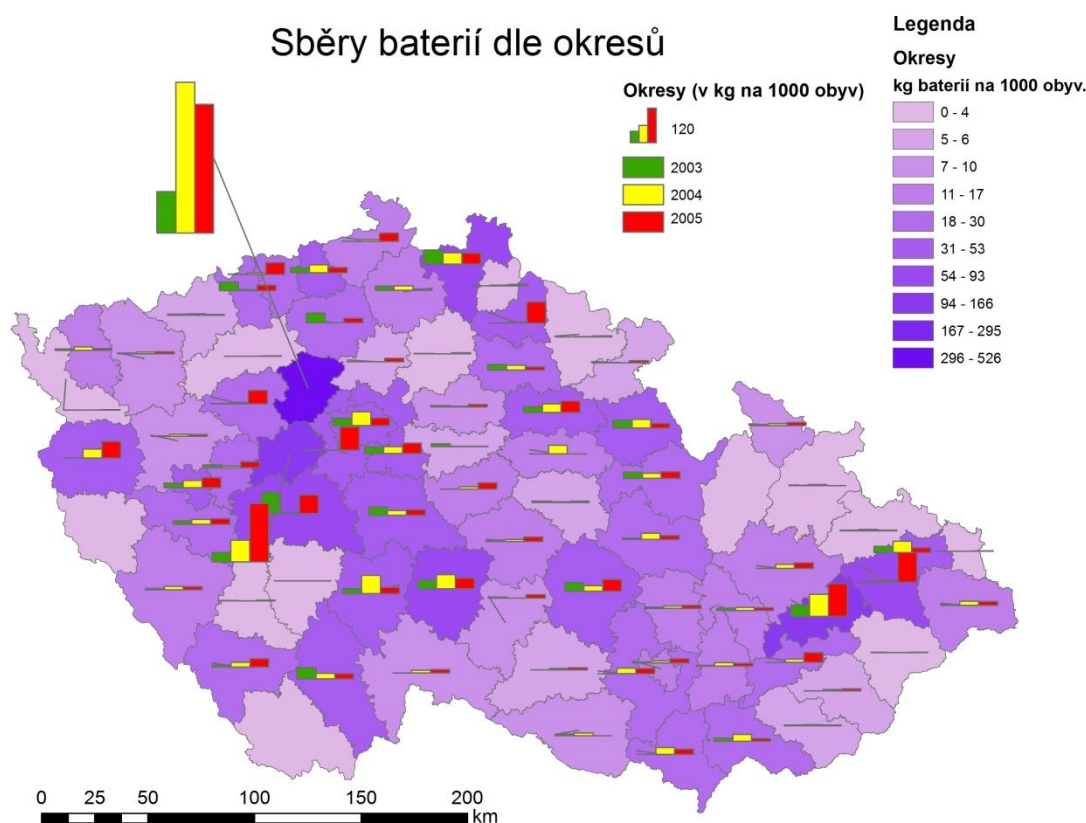
Druhou možností je pak využití modelu při nějaké jiné práci, která se týká problematiky svozů, kde už stačí jen nastavit příslušné parametry tak, aby odpovídaly řešené situaci.

Bohužel je zde faktor, který model nepostihuje. Tím je kapacita svozového vozu a tedy fakt, že baterie se převáží buď jak je potřeba z hlediska svozového vozu, aby jel vytížený a nebo se svážejí tak, aby bylo vyvezeno určité svozové místo. S těmito veličinami bohužel tedy model nepracuje, navíc data o naplnění svozových vozů nemá ani ECOBAT.

5. Výsledky modelu

5.1 Výsledky zpracování databáze

Z předchozího zpracování databáze (viz. Databáze sběru baterií od společnosti ECOBAT) jsem získal tři použitelné tabulky sběru připojené k databázi, což umožňuje jednak zjistit další informace, ale hlavně připojit tabulky do GISové vrstvy, a tedy je použít v GISu k dalším procesům, nebo je zobrazovat v podobě map. Sběry baterií dle okresů v kg baterií na 1000 obyvatel přikládám (viz obrázek 4. Sběry baterií podle okresů). Ve sloupcích můžeme vidět sběr v jednotlivých letech. Na fialovém podkladu vidíme průměr za celé tři roky (opět v kg baterií na 1000 obyvatel).



Obrázek 7 Sběry baterií podle okresů (zdroj dat: databáze sběru ECOBAT)

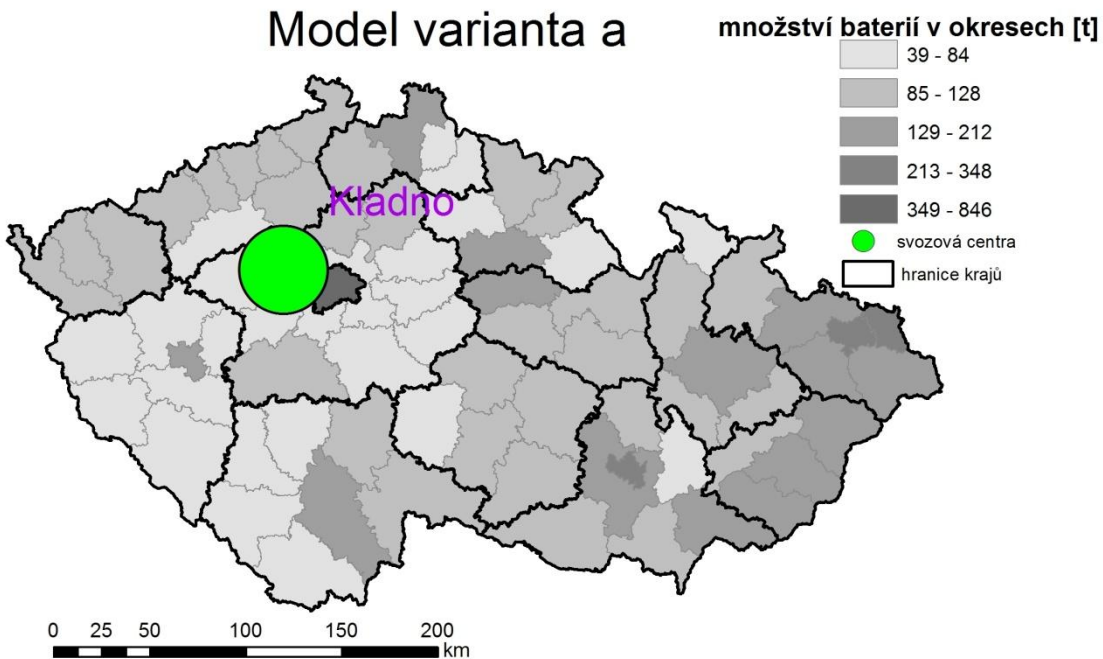
5.2 Průzkumová analýza- grafy

Po sestavení modelu, který jsem již zmiňoval v metodice, jsem po poradě se školitelem zvolil pět studií tedy 5 různých nastavení modelu, které nesou označení Model01a, Model01b, Model01c, Model01d a Model01e (v příloze), naopak v diplomové práci jsou označovány velkými písmeny- A,B,C,D,E. Každá z těchto studií ukazuje jinou variantu nastavení sběrných center, respektive jejich kapacitu, tedy kolik do nich může být sváženo. Pokud je jejich zpracovatelská kapacita nastavena na 0, tak to znamená, že sběrné centrum nepoužíváme a tedy neexistuje (v dané variantě s ním nepracujeme). V modelech je používána jednotka $\text{km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$, kterou je možné vynásobit jednotkovými finančními náklady a dostat tak přímo finance, ovšem vzhledem k nejistému odhadu nákladů na přepravu by se jednalo pouze o odhad, zatímco uvedení jednotek $\text{km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$ je přesnější.

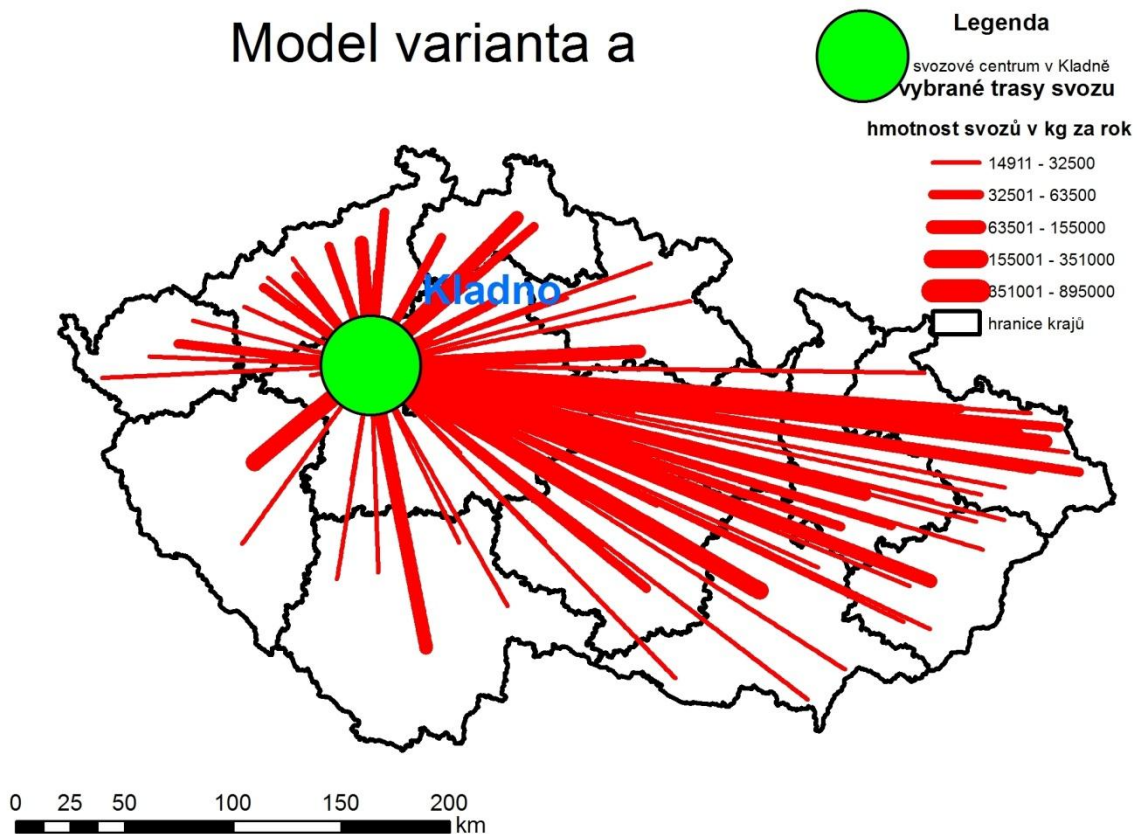
5.2.1 STÁVAJÍCÍ VARIANTA- MODEL VARIANTA A

Studie pod písmenem A ukazuje stávající (variantu z doby sběru dat) variantu, ve které existuje pouze jedna zpracovatelská linka na baterie a to v Kladně, kam je nutné všechny baterie z celé republiky svážet a kde se baterie zpracovávají. Všechna ostatní sběrná centra mají v této variantě u svých kapacit 0 (tedy nejsou v provozu). Model funguje na principu, že v případě, že je kapacita sběrného centra vyčerpána, tak vozí do jiného nejbližšího sběrného centra. V tomto případě je takové pouze v Kladně. Hodnota kritériální funkce je $1601553 \text{ km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$, což je nejvyšší hodnota ze všech studií. Realizace této varianty v praxi nevyžaduje žádné náklady na výstavbu. Spotřeba pohonných hmot je v tomto případě nejvyšší.

Model varianta a



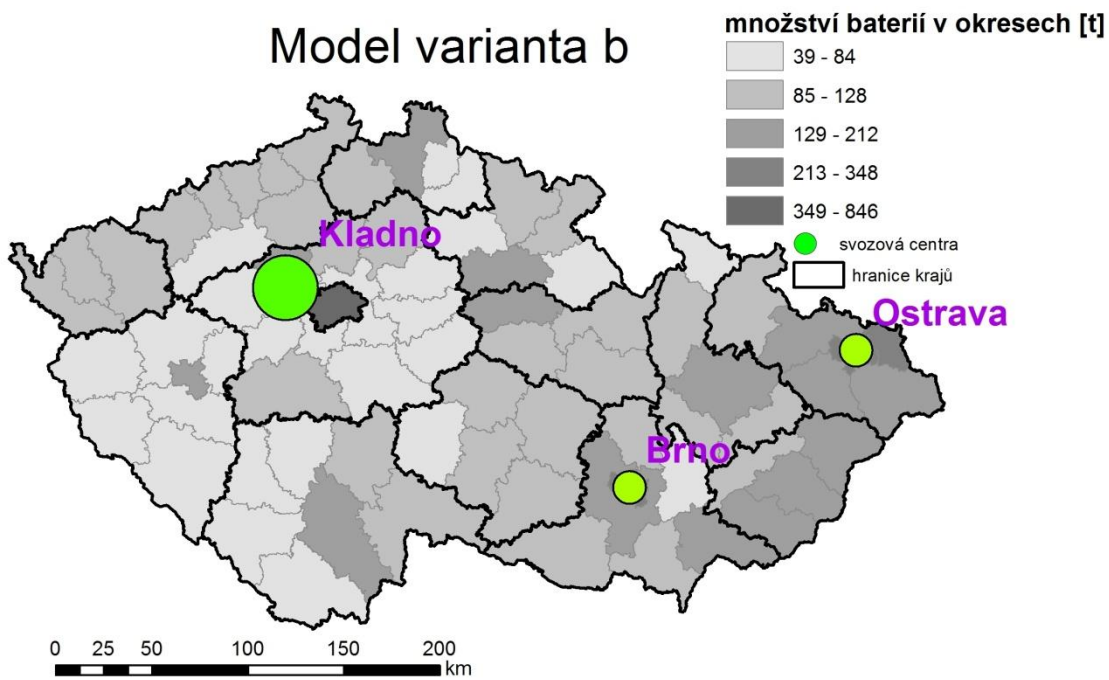
Model varianta a



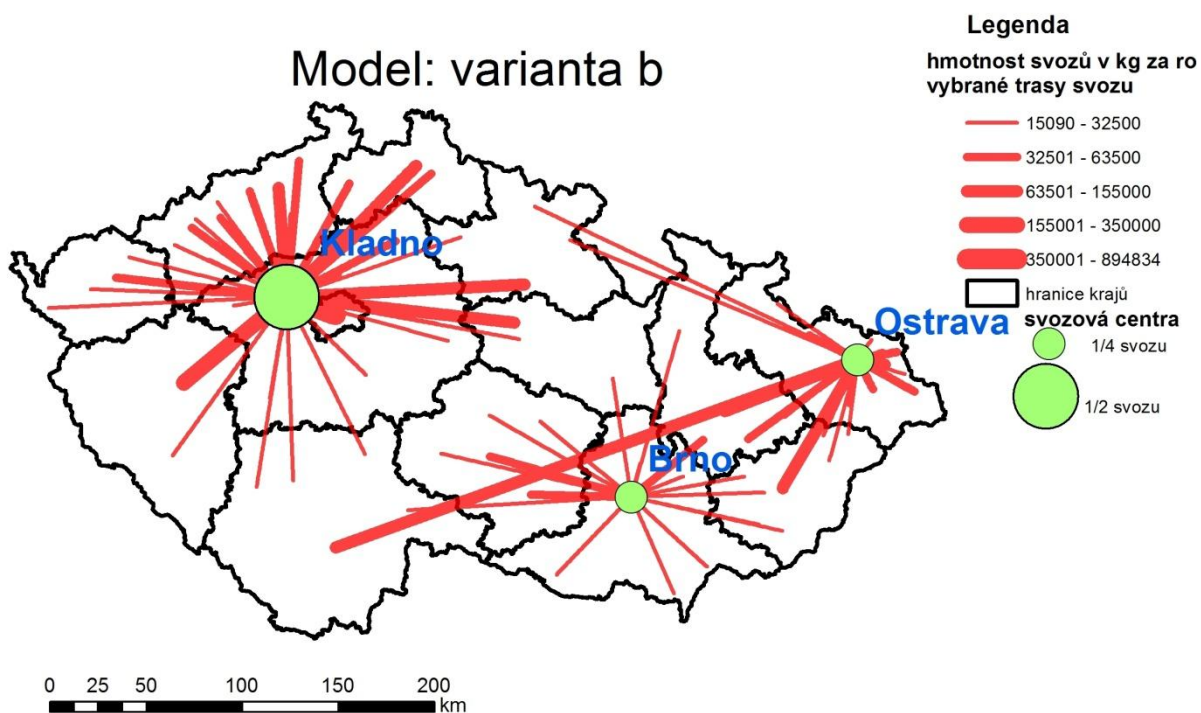
5.2.2 VÝSTAVBA MENŠÍCH SBĚRNÝCH CENTER V BRNĚ A OSTRAVĚ- MODEL VARIANTA B

Studie pod písmenem B ukazuje variantu, ve které by společnost ECOBAT zvolila úspornější variantu výstavby a postavila by menší sběrná centra v Brně a Ostravě, v modelu mají poloviční sběrnou kapacitu než zpracovatelská linka na Kladně. Realizace této varianty by si (nepočítáme-li variantu A) vyžádala nejmenší náklady. Hodnota kritériální funkce je $802276 \text{ km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$ což je dobrá hodnota oproti studii b, ale jinak je druhá nejhorší. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou žádné výstavby-(studie A), tak nám vychází přibližně 50 % snížení čísla převáženého množství násobeného jednotkovými náklady, tedy v podstatě 50% úspora na pohonných hmotách. Tato varianta se tedy jeví velmi příznivě a je z ní vidět, že už při vybudování dvou dalších svozových, tedy sběrných, center, je možné zlepšit náklady na dopravu. Osobně bych tuto variantu zvolil jako dobrý kompromis, protože přináší velkou úsporu nákladů na dopravu oproti studii a zároveň má nejmenší náklady na výstavbu (nepočítáme-li studii A). Otázkou, kterou již pak model neřeší je to, jaké by ještě vznikly náklady přepravou baterií se sběrných míst v Brně a Ostravě na zpracovatelskou linku v Kladně. Ovšem pokud by byla zvolena přeprava např. vlakovou nákladní dopravou, tak je možné, že by zde již moc velké náklady nebyly. Tyto úvahy však již nejsou předmětem studie. Rozdílná velikost kroužků svozových center právě ukazuje velikost kapacity. Kladno má tedy kapacitu poloviční a tu druhou polovinu zajišťuje Brno a Ostrava. Jak je možné z modelu vidět, tak jsou zde tři velké svozy (a stejně tak se to objevuje i u některých menších, které jsem do grafického výstupu nezahrnul), které nejsou svezeny z kapacitních důvodů k nejbližšímu sběrnému místu, ale jsou převezeny do Ostravy, kde jsou volné kapacity.

Model varianta b



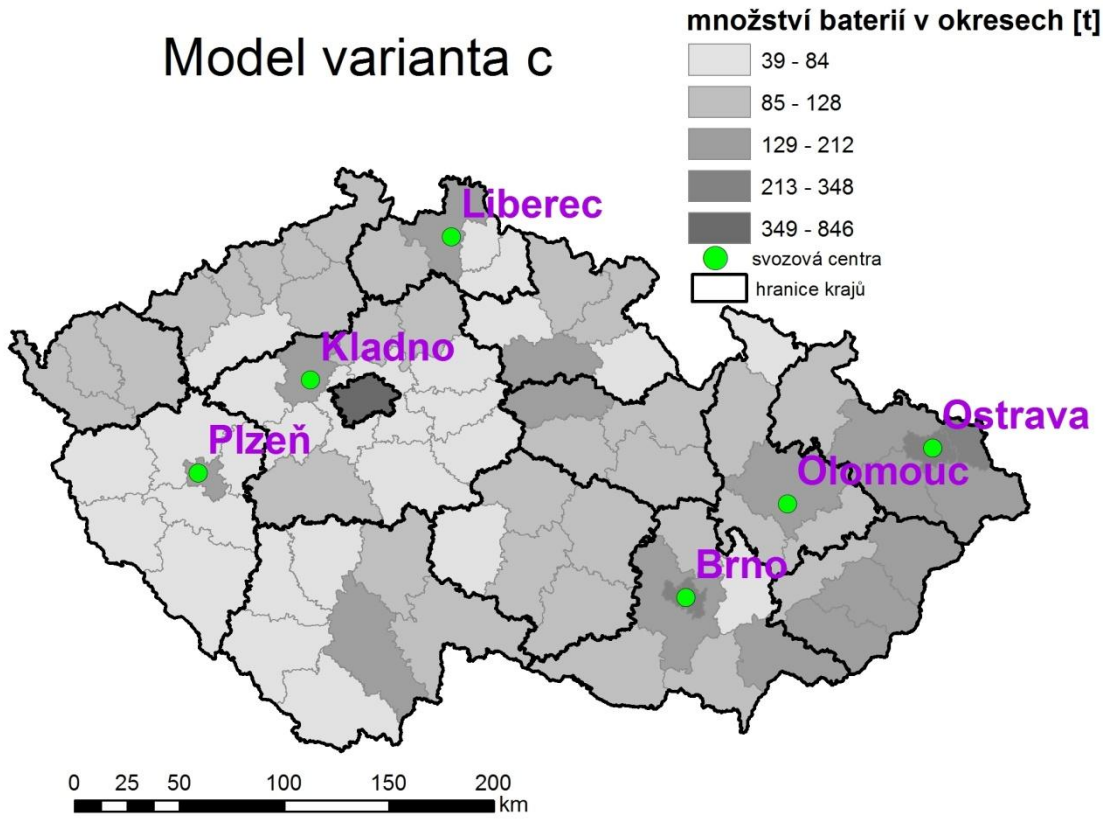
Model: varianta b



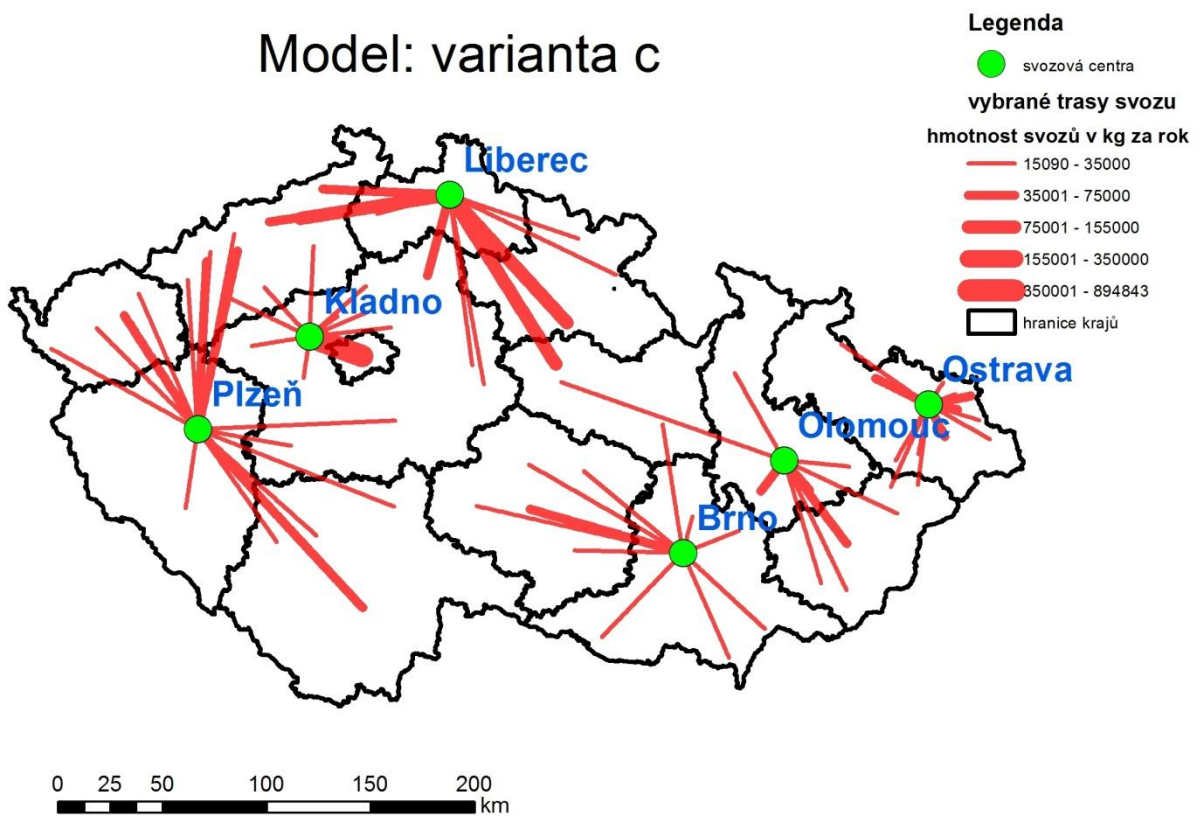
5.2.3 SBĚRNÁ CENTRA VE MĚSTECH NAD 100 TISÍC OBYVATEL- MODEL VARIANTA C

Studie pod písmenem c ukazuje variantu, ve které by se sběrná centra postavila pouze ve městech (u měst), která mají více než 100.000 obyvatel. Těmi jsou: Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Liberec a Olomouc (ČSÚ, 2017). Přičemž v Praze by se sběrné místo nestavělo, protože Praha již používá zpracovatelskou linku v Kladně. Takže by se baterie sbírali v 5 pěti nových sběrných místech, všechny se stejnou kapacitou a nově by se stavělo pouze 5 nových sběrných míst. Hodnota kritériální funkce je $628\,446 \text{ km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$, což je třetí nejnižší hodnota ze všech studií. Varianta vychází z hlediska výstavby jako třetí, z hlediska úspory energií na dopravu je také třetí. Pokud by byla snaha ušetřit více za energie a zároveň nestavět tolik sběrných center, tak by to rozhodně byla dobrá volba. Pro životní prostředí by měla pravděpodobně poměrně příznivý dopad. Svozová centra mají všechna stejnou kapacitu, což nám umožňuje velmi dobrou distribuci baterií a zjednodušuje to plánování, což můžeme vidět na schématech svozu, kdy zde ve větších vybraných schématech nejsou žádné problémy se svozy, které by baterie vozily přes větší část republiky. Opět zde samozřejmě vyvstává otázka, jak by účelně se svozová centra vybuodovala a jak by se dopravovaly baterie do Kladna ke zpracování, ale vzhledem k tomu, že jsou všechna tato města napojena na železnici, tak by se asi železnice jevila z hlediska nákladů a dopadů na životní prostředí asi nejlépe.

Model varianta c



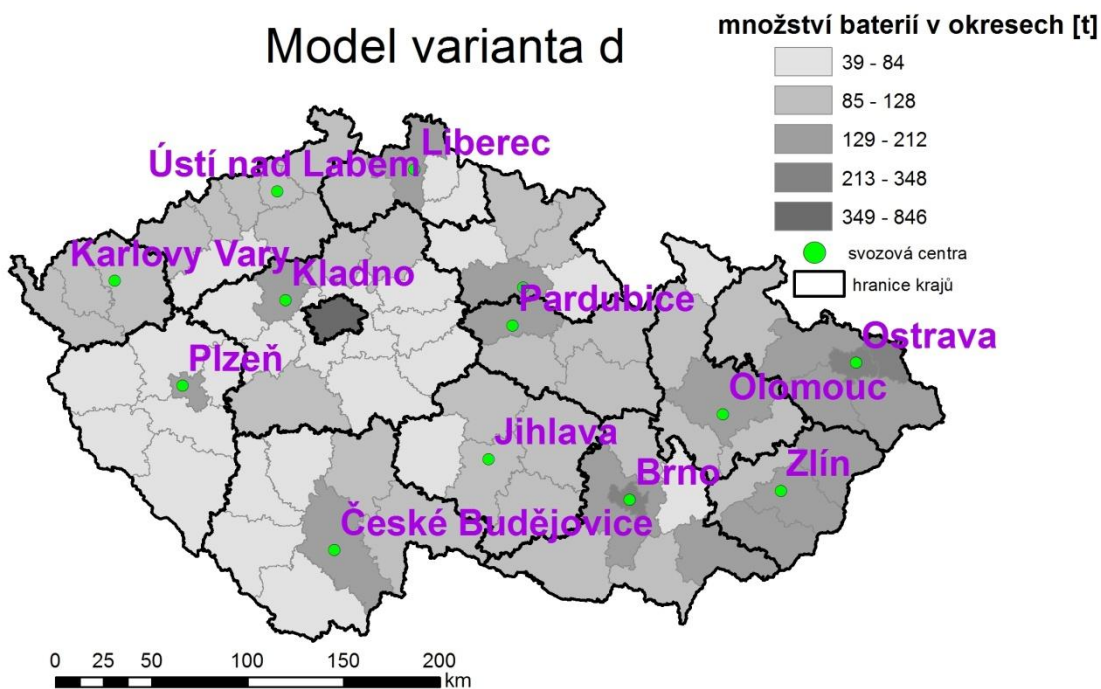
Model: varianta c



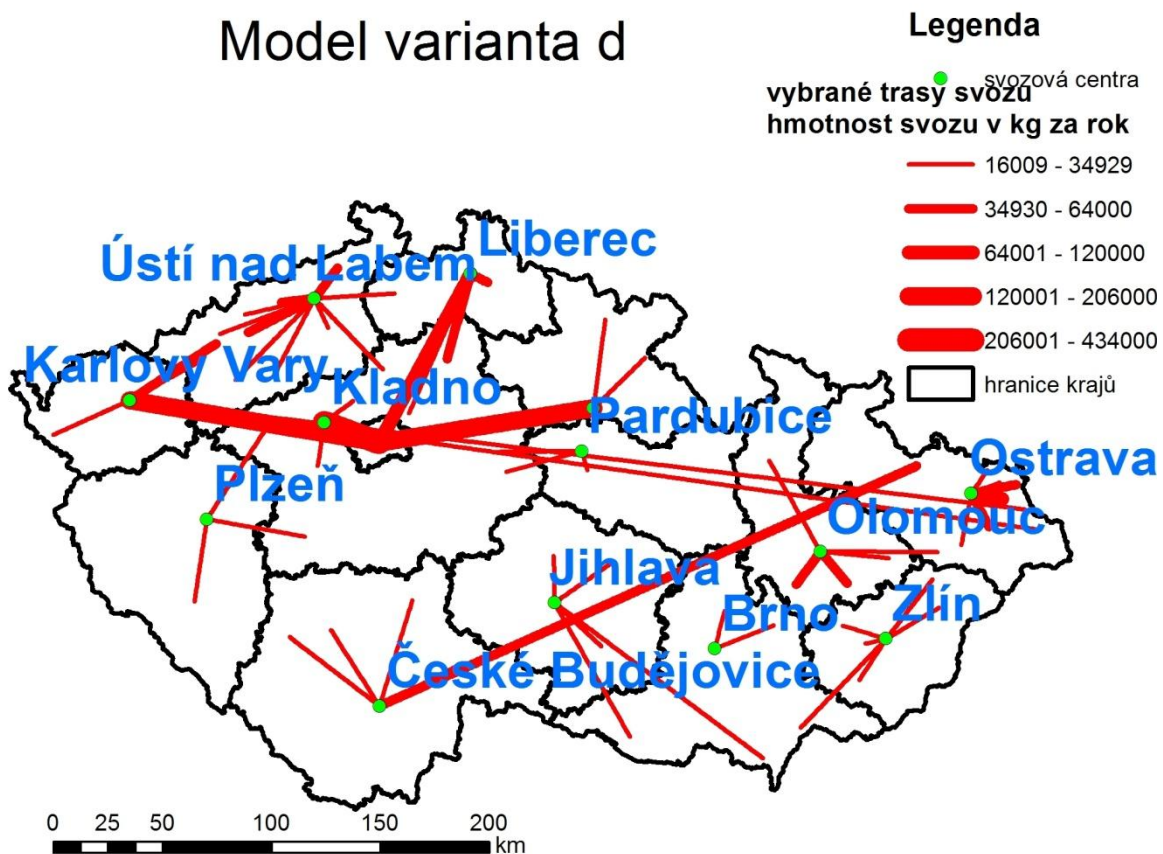
5.2.1 SBĚRNÁ CENTRA VE VŠECH KRAJSKÝCH MĚSTECH- MODEL VARIANTA D

Studie pod písmenem D ukazuje variantu, ve které by bylo v každém krajském městě postavena jedno sběrné místo. Výjimku má Praha a Středočeský kraj, kde by bylo používáno již stávající a funkční zařízení v Kladně, které by nejen tedy sloužilo pro sběr, ale zároveň by sloužilo a stále slouží ke zpracování baterií. V této variantě předpokládáme to, že sběrné kapacity budou rozloženy rovnoměrně a tedy by se ve všech provozech počítalo se stejným množstvím baterií. Hodnota kritériální funkce je $531214 \text{ km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$, což je druhá nejnižší hodnota ze všech studií. Z toho nám plyne, že tato studie by byla ze svozového hlediska druhá nejlepší, neboť při její realizaci vychází číslo převáženého množství násobeného jednotkovými náklady téměř nejlépe, ovšem zlepšení oproti studii c je již menší. Samozřejmě z hlediska realizace výstavby nových center vychází tato varianta nejhůře, protože by bylo třeba postavit 12 nových sběrných center, což by samozřejmě může být poměrně náročné. Vzhledem k tomu, že vidíme, že toto rozložení není ideální, protože je nutné někde baterie vozit přes část republiky, tak jsme se se školitelem rozhodli přidat variantu E, která se bude snažit tento nedostatek odstranit. Při praktickém vybudování této svozové sítě je stejně jako v předchozích případech jasné, že se budou muset dopravovat baterie ze svozových center vlakem. Což je díky české železniční síti možné.

Model varianta d



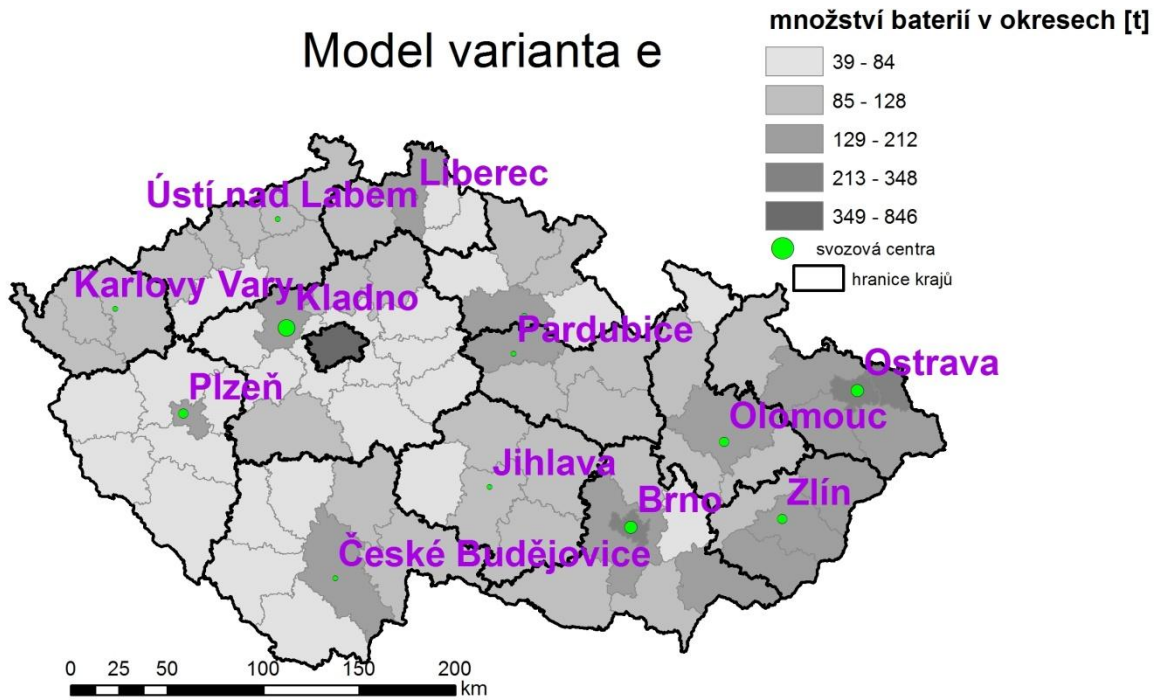
Model varianta d



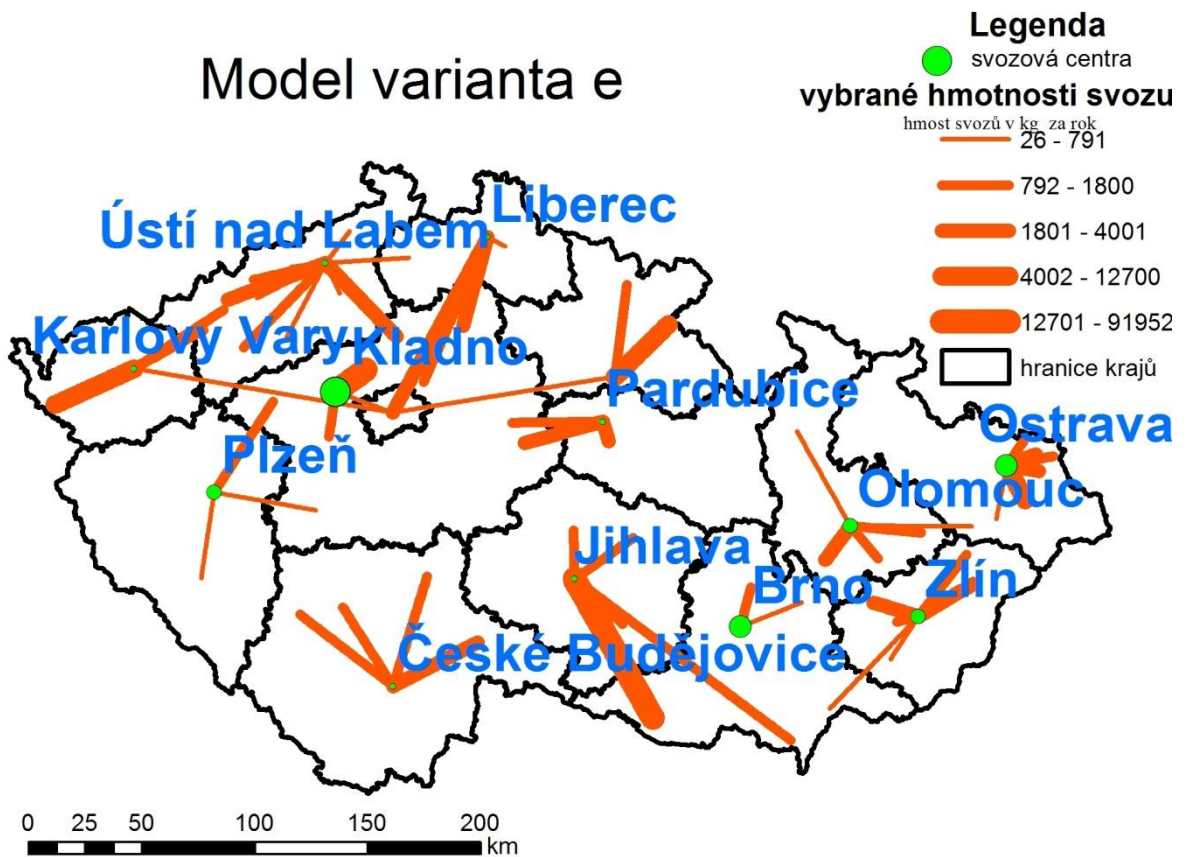
5.2.2 SBĚRNÁ CENTRA VE VŠECH KRAJSKÝCH MĚSTECH-S KAPACITOU SVOZU PODLE POČTU OBYVATEL KRAJE MODEL VARIANTA E

Studie pod písmenem E zobrazuje variantu, která je podobná variantě D a to v počtu sběrných center a stejně tak z hlediska jejich rozložení. Což znamená, že v každém krajském městě je postaveno jedno sběrné místo. Výjimkou je Praha a Středočeský kraj, které používají stávající sběrné centrum v Kladně. Varianta E je tedy velmi podobná variantě D, ale liší se od ní v tom, jak je rozdělena kapacita sběrných míst. Ve variantě D je sběrná kapacita rozdělena rovnoměrně mezi všechna sběrná centra a tedy každé sběrné místo má kapacitu $1/13$ celkové kapacity. Zde však byla kapacita rozpočítána na počet obyvatel krajů, což lépe odpovídá vysbíraným bateriím, protože lze předpokládat, že počet vysbíraných baterií koreluje s počtem obyvatel v kraji. Kriteriační funkce varianty E je $374\ 608\ \text{km}\cdot\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$. Jednotlivou hodnotu jsem spočítal tak, že jsem zjistil, kolik procent obyvatel z celé republiky žije v daném kraji a toto procento sběrné kapacity z celkového podílu jsem také přisoudil krajskému sběrnému místu. Linka v Kladně má procenta z Prahy a ze Středočeského kraje. Variantu tedy můžeme z hlediska svozu považovat za optimální, avšak ladit kapacitu skladovacího centra podle aktuálních svozů není pro praxi úplně snadné. Nastavení skladovaných baterií také neodpovídá počtu svezných baterií, protože ten se mění, dále počtu obyvatel v kraji, což je číslo, které nemusí korelovat s množstvím vysbíraných baterií.

Model varianta e



Model varianta e



6. Diskuse

Problematikou svozu odpadu a podobným řešením úlohy se zabývali také Simonetto a Borenstein (2007), Ghose et al. (2006), Perpina et al. (2009). Nikdo z nich se však nezabýval přímo bateriemi, ale zabývali se jinými komoditami odpadu, jakými byly bioodpad a další. Ovšem i oni používali k jejich studiím modely a pracovali se softwarem ArcGIS nebo podobným programem pro tvorbu a zpracování map. Avšak je nutné brát v úvahu, že i to jaká komodita, z jakých sběrných míst je svážena a v jaké zemi je sbírána má také značný vliv na to, jak probíhá její svoz.

Zkoumáním a rešeršní činností ohledně baterií se také zabývá více autorů, např. Armand, a Tarascon (2008), kteří hodnotí používání baterií dnes a dříve. A to jakým způsobem se baterie změnily a zda jsou dnes produkovány baterie lepší.

Mezi dalšími můžeme jmenovat např. Gaines (2014), která se zabývá ve své práci především litium-ion bateriemi a to nejen jejich technologií, ale také recyklací a budoucností.

Scherson, a Palencsár(2006), se zabývají bateriemi z hlediska jejich schopnosti akumulovat elektrickou energii, dále se bateriím věnuje ještě řada autorů např. Mohr et al. (2014) a další.

Mezi další velkou skupinu odborníků zabývajících se bateriemi patří ti, kteří se věnují aplikacím baterií v moderních technologiích, výrobcích a podobně, mezi něž patří např. Taborelli et al. (2016), který se věnuje aplikacím baterií při používání elektrokol.

Sběrem a svozem baterií se nezabývají vědecké články, ale naopak spíše firmy, které svozy řeší. U nás je hlavní firmou společnost ECOBAT s.r.o., podle dotazu na samotnou společnost

zajišťují asi 90 procent svozu baterií, dále třeba REMA battery. Tyto firmy si vedou vlastní svozovou statistiku a vydávají ke sběru baterií různé tiskové zprávy.

Pokud zhodnotím, která odborná periodika se zabývají bateriemi, tak to jsou: Sustainable Materials and Technologies (Gaines, 2014), Waste management (Ghose et al., 2006), International Journal of Powertrains (Taborelli et al., 2016), článek používám také z časopisu Nature (Armand a Tarascon, 2008).

Zvolení kombinace modelu sestaveného v Excelu a Arc GIS se ukázalo jako vhodné řešení, protože se zde skvěle doplnila technická přizpůsobitelnost Excelu, který byl na tvorbu modelu efektivním a zároveň uživatelsky přívětivým nástrojem, v kombinaci s programem Arc GIS od společnosti ESRI bylo umožněno sestavit schémata zobrazující získané vzdálenosti a zároveň je i prohlížet v grafické podobě. Díky softwaru ArcGIS online bylo zase získáno měření vzdáleností, které jsem úspěšně použil ve sestavování modelu. Získaná data od společnosti ECOBAT s.r.o. se jevila pro model jako dostačující, avšak při získání dat novějších mohl být model ještě aktuálnější a přesnější. Na stranu druhou lze konstatovat, že data byla velmi dobře zpracovatelná, což by u datové řady mnohonásobně větší bylo pravděpodobně problematické a i když by pak byla práce o něco přesnější, tak by byla také o dost náročnější na zpracování.

Kromě Excelu a programu Arc GIS od společnosti ESRI jsem také zvažoval využití metody Geographically Weighted Regression (GWR), tedy geografické vážené regrese. Základní myšlenkou této metody je, že parametry, které jsou dané závislou proměnou a jsou určovány kdekoli jsou kombinovány při určování s parametry, které byly měřeny na místech, jejichž poloha je známá a které mají jednu nebo více nezávislých proměnných. Místa, která při měření nejsou známá, se pak dopočítávají ze známých míst. Data jsou samozřejmě ovlivňována vzájemně a výsledek z neměřeného místa je tedy ovlivňován více okolními

měřeními (Charlton et al., 2009). Pro použití této metody je nejen nutné mít síť měření s určitými polohami, ale také je nutné mít tu síť dostatečně hustou, aby bylo možné další ta měření predikovat (Charlton et al., 2009). Metoda by byla pro využití v problematice svozu baterií velmi vhodnou, ale jen za předpokladu, že bychom měli dostatek vstupních dat. Bohužel se získanými vstupními daty by relevantní provedení metody nebylo možné, a proto metodu lze pouze doporučit při jiných výzkumech týkající se problematiky sběru baterií, pokud tyto výzkumy budou mít k dispozici daleko větší soubor dat.

7. Závěr

Závěrem lze říci, že zvolený počet svozových míst v modelu by byl optimální, pokud by byla vybudována a rozhodně by jejich vybudování přispělo ke snížení nákladu za dopravu baterií. Nejvhodnější varianta výstavby je varianta E, protože zde máme nejvíce svozových center s nejlépe rozloženou kapacitou svozu. Jaká by byla celková ekonomická bilance nelze adekvátně posoudit vzhledem k tomu, že neznáme cenu na vybudování jednotlivých nových sběrných center. Posouzení toho, zda je lepší stávající stav nebo vybudování nových center by bylo vhodné ještě posoudit s pomocí metodiky LCA. Zda bude vybudováno nějaké další centrum pro sběr nebo zpracování baterií záleží na společnosti ECOBAT s.r.o.

Zpracování úlohy pomocí modelu a její následná grafická interpretace se ukázala jako velmi vhodné řešení pro zadanou úlohu. Model by bylo možné aplikovat i při jiných svozových aktivitách a to nejen odpadu, při vhodném změnění parametru modelu, což vnímám jako přínos k dalšímu výzkumu v oblasti svozové problematiky.

Hypotéza jedna se potvrdila. Hypotéza dvě se potvrdila, operační výzkum je v rámci našeho průzkumu velmi vhodným nástrojem. Hypotéza 3 se ještě nepotvrdila, sestavený model je sice dost variabilní, ale pro ověření jeho účinnosti by se musel použít v nějakém dalším operačním výzkumu a zde by se ukázalo, zda je vhodně postaven.

Zdroje

Literatura

ARMAND, M.; TARASCON, J.-M. Building better batteries. *Nature*, 2008, 451.7179: str. 652-657.

BAZARAA, Mokhtar S.; JARVIS, John J.; SHERALI, Hanif D. *Linear programming and network flows*. John Wiley & Sons, 2010.

BEBAT, Lielens Advertising a In Sites Consulting, Boosting Battery Return research, Belgie, 2010

CENEK, Miroslav. ; JINDRA, Jiří; JON, Miroslav; KAZELLE, Jiří; KOZUMPLÍK, Josef; Akumulátory od principu k praxi. FCC PUBLIC sro, Praha 2003. ISBN 80-86534-03-0.

ČSÚ- Český statistický úřad, Česká republika od roku 1989 v číslech – 2016, 2017

ECOBAT 1- Tisková zpráva společnosti ECOBAT s.r. o. „Na recyklaci končí už skoro polovina baterií“, Praha, 16. února 2017

ECOBAT 2- Tisková zpráva společnosti ECOBAT s.r. o. „Spotřeba baterií roste, za poslední léta téměř o pětinu“, Praha, 17. července 2017

ECOBAT 3- Tisková zpráva společnosti ECOBAT s.r. o. „Konec výmluv! Sběrných míst na použité baterie je dostatek“, Praha, 6. dubna 2017

GAINES, Linda. The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 2014, 1: 2-7.

GHOSE, M. K.; DIKSHIT, A. K.; SHARMA, S. K., A GIS based transportation model for solid waste disposal—A case study on Asansol municipality. *Waste management*, 2006, 26.11: 1287-1293.

GRAY, Steven; PAOLISSO, Michael; JORDAN, Rebecca; GREY, Stefan *Environmental Modeling with Stakeholders: Theory, Methods, and Applications*. Springer, 2016.

GROS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. 432 s. ISBN 8024704218.

CHANG, Wen-Yeau. The state of charge estimating methods for battery: A review. *ISRN Applied Mathematics*, 2013, str. 1

CHARLTON, Martin; FOTHERINGHAM, Stewart; BRUNSDON, Chris. Geographically weighted regression. *White paper. National Centre for Geocomputation. National University of Ireland Maynooth*, 2009.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. 321 s ISBN 978-80-86946-44-3.

KATHARAKI, Maria. Approaching the management of hospital units with an operation research technique: The case of 32 Greek obstetric and gynaecology public units. *Health Policy*, 2008, 85.1: 19-31.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. *Handbook of Batteries*. 3rd. 2002.

MANHART Jaromír , *Informace Odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k určení typu baterií či akumulátorů v praxi*, 2017

MARKENT s.r.o., Způsoby nakládání s použitými bateriemi, 2016

MITÁŠOVÁ, Irena; VEVERKA, Bohuslav; PEZLAR, Zdeněk. Základy teorie systémů a kybernetiky s aplikacemi v geodézii a kartografii. Alfa, 1990.

MOHR, S. H.; FYFE, Julian; GIURCO, Damien. A Review of Data on Lead-Acid Batteries Entering Australia and Arising as Waste. 2014

Odpadové fórum: Waste management forum. Praha 10: CEMC, 2012, **13**(5). ISSN 1212-7779.

PERCARDS a SAGISEPR, The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC, 2013

PERPINA, C. ; ALFONSO, D. ; PERÉZ-NAVARRO, A.; PENALVO, E. ; VARGAS, C. ; Cárdenas, R. Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 2009, 34.3: 555-565.

PICCOLINO, Marco. The bicentennial of the Voltaic battery (1800–2000): the artificial electric organ. *Trends in neurosciences*, 2000, 23.4: 147-151.

SCHERSON, Daniel A.; PALENCSÁR, Attila. Batteries and electrochemical capacitors. *Interface*, 2006, 15.1: 17-22.

SIMONETTO, De Oliveira Eugenio; BORENSTEIN, Denis. A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management*, 2007, 27.10: 1286-1297.

TABORELLI, C. ; ONORI, S. ; MAES, S.; SVEUM, P. ; AL-HALLAJ, S. ; Al-Khayat, N; Advanced battery management system design for SOC/SOH estimation for e-bikes applications. *International Journal of Powertrains*, 2016, 5.4: 325-357.

TAKAMURA, Tsutomu. Carbon materials and the surface modification in view of electrochemical Li insertion/extraction. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 2002, 75.1: 21-44.

TICHÝ Jan, Metodika kalkulace nákladů silniční nákladní a osobní dopravy, Ústav logistiky a managementu dopravy Fakulta dopravní ČVUT v Praze, 2014

WHITTINGHAM, M. Stanley. History, evolution, and future status of energy storage. *Proceedings of the IEEE*, 2012, 100.Special Centennial Issue: 1518-1534.

Zákon č. 185/2001 Sb. Úplné znění zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Zpráva o činnosti ECOBAT 2014

2006/66/ES- SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY o bateriích a akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech

Internetové zdroje

Internet 1 About Call2Recycle. *Call2recycle* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.call2recycle.org/about-us/>

Internet 2 Battery recycling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_recycling

Internet 3 Total battery production statistics. *Battery Association of Japan* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.baj.or.jp/e/statistics/01.html>

Internet 4 Why recycle batteries? In: *Australian Battery Recycling Initiative: Value Oer Impact* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.batteryrecycling.org.au/recycling/batteries-and-the-environment>

Internet 5 Batteries & Accumulators. In: *European Commission Environment* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries>

Internet 6 Battery Collection and Recycling in Europe. *OneCallCollection: Battery collection & recycling* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.onecallcollection.com/en/>

Internet 7 Information about association. *EBRA: European battery recycling association* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.ebra-recycling.org/>

Internet 8 UK on course to meet first battery collection target. *Letsrecycle.com* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/uk-on-course-to-meet-first-battery-collection-target/>

Internet 9 Variabilita sběru a recyklace malých baterií. *Odpady* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/variabilita-sberu-a-recyklace-malych-baterii>

Internet 10 Recycle guidance. *Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: http://www.jbrc.com/images/top/15_GUIDANCE.pdf

Internet 11 *Total battery production statistics: In 2016* [online]. [cit. 2017-07-25]. Dostupné z: <http://www.baj.or.jp/e/statistics/01.html>

Internet 12 *Baterie - články - akumulátory: užitečný přehled vlastností* [online]. [cit. 2017-07-25]. Dostupné z: <http://www.baterie-clanky.cz/baterie/velikost/9-volt/>

Internet 13 *ArcGIS Pro: Service area analysis layer* [online]. [cit. 2017-08-09]. Dostupné z: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/networks/service-area-analysis-layer.htm>

Internet 14 *ArcMap: Service area analysis* [online]. [cit. 2017-08-09]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/service-area.htm>

Přílohy

Přílohy jsou umístěny z důvodu svého rozsahu a toho, že se jedná o propojené a funkční soubory na přiloženém CD, které je součástí diplomové práce.

Těmito přílohami je 5 variant svozového modelu označené písmeny a-e.