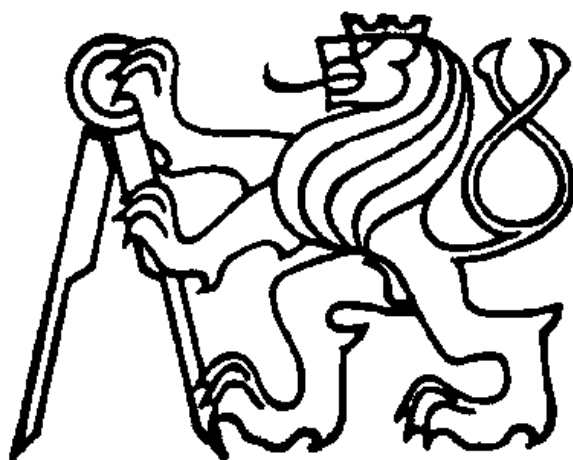


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Merleová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **468322**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Management a ekonomika ve stavebnictví**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Základní analýza možností IoT v odpadovém hospodářství

Název bakalářské práce anglicky:

Base analysis of IoT waste management options

Pokyny pro vypracování:

- 1) analýza aktuálního stavu IoT v odpadovém hospodářství v ČR a světě
- 2) příklady zapojení IoT v odpadovém hospodářství - vyhodnocení aktuálního stavu, pořizovací náklady, dosažená efektivita, atd.
- 3) modelový příklad řešení pro vybranou lokalitu

Seznam doporučené literatury:

Vermeesan, O and Friess, P, Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, River Publishers, Aalborg, Denmark, 2013. ISBN 978-87-9282-96-4
Jablonský, J.: Programy pro matematické modelování. 2. přeprac, Praha: Oeconomica, 2011. ISBN 978-80-245-1810-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Kalčev, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Petr Kalčev, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

„Základní analýza možností IoT v odpadovém hospodářství“

BACHELOR THESIS

“Base analysis of IoT waste management options“

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Základní analýza možností IoT v odpadovém hospodářství vypracovala samostatně, pod vedením mého vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších odborných textů, které jsou uvedeny na konci této práce. Jako autor této bakalářské práce prohlašuji, že jsem neporušila práva třetích osob.

Abstrakt

V bakalářské práci jsem se v praktické části pokusila v programu MS Excel vytvořit jednoduchý model, na kterém je možné demonstrovat umístování senzorů do odpadových nádob, které může pomoci k optimalizaci celého procesu svozu odpadu, konkrétně k ušetření času i peněz. V teoretické části jsem se zaměřila na popsání stávající situace v České republice a zahraničí a dále na přiblížení distribučních úloh, které slouží jako podklad pro praktickou část práce. Také jsem se snažila přiblížit problémy, které by zavedení IoT do odpadového hospodářství mohlo pomoci eliminovat.

Klíčová slova

Internet věcí, odpadové hospodářství, Smart city, odpadové nádoby, distribuční úlohy, problém obchodního cestujícího, MS Excel, Visual Basic for Applications, Řešitel, matematický model, náklady

Abstract

In the bachelor's thesis, I tried in the practical part to create a simple model in MS Excel, on which it is possible to demonstrate the placement of sensors in waste containers which can help to optimize the whole process of waste collection, specifically to save time and money. In the theoretical part, I focused on describing the current situation in the Czech Republic and abroad and on the distribution problems which serve as a basis for the practical part of the work. I also tried to explain the problems that the introduction of IoT into waste management could help eliminate.

Key words

Internet of Things, waste management, Smart city, waste containers, distribution problems, traveling salesman problem, MS Excel, Visual Basic for Applications, Solver, mathematical model, costs

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Petru Kalčevovi, PhD. za odborné vedení a vstřícnost při konzultacích. Věděla jsem, že se na něj mohu obrátit vždy, když jsem potřebovala odbornou radu. Dále bych také ráda poděkovala panu Ing. Ondřeji Šárovci z ICT Operátor, a.s., který si na mě udělal čas a podrobněji mě uvedl do probíhajících projektů v rámci konceptu Smart Prague v odvětví odpadového hospodářství. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za její trpělivost a podporu.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 12 |
| 1. TEORETICKÁ ČÁST | 13 |
| 1.1. KONCEPT SMART CITY | 13 |
| 1.1.1. <i>Vysvětlení pojmu</i> | 13 |
| 1.1.2. <i>Odpadového hospodářství</i> | 15 |
| 1.2. SOUČASNÝ STAV ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ V ČR | 16 |
| 1.2.1. <i>Problémy</i> | 17 |
| 1.3. INTERNET OF THINGS | 18 |
| 1.3.1. <i>Vysvětlení pojmu</i> | 18 |
| 1.3.2. <i>Obecné použití IoT v projektech Smart City</i> | 19 |
| 1.3.3. <i>Využití IoT v odpadovém hospodářství</i> | 21 |
| 1.3.3.1. IoT odpadové nádoby | 21 |
| 1.3.4. <i>Doprovodné aktivity</i> | 22 |
| 1.4. ZMAPOVÁNÍ POUŽÍVÁNÍ IOT V ODPADOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE A V ZAHRANIČÍ | 23 |
| 1.4.1. <i>Situace ve vybraných městech v České republice</i> | 23 |
| 1.4.1.1. Hlavní město Praha | 23 |
| 1.4.1.2. Kolín | 26 |
| 1.4.2. <i>Situace ve vybraných městech v zahraničí</i> | 27 |
| 1.4.2.1. Soul, Korejská republika | 27 |
| 1.4.2.2. Dubaj, Spojené arabské emiráty | 27 |
| 1.4.2.3. Melbourne, Austrálie | 28 |
| 1.4.2.4. New York, Spojené státy americké | 28 |
| 1.4.2.5. Sofia, Bulharsko | 29 |
| 1.4.2.6. Nitra, Slovensko | 29 |
| 1.5. DISTRIBUČNÍ ÚLOHY LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ | 30 |
| 1.5.1. <i>Fáze řešení lineárních optimalizačních úloh</i> | 31 |
| 1.5.1.1. Identifikace problému v reálném systému | 31 |
| 1.5.1.2. Sestavení ekonomického modelu daného problému | 31 |
| 1.5.1.3. Sestavení matematického modelu | 31 |
| 1.5.1.4. Řešení matematického problému a získání výsledků | 32 |
| 1.5.1.5. Verifikace získaných výsledků | 32 |
| 1.5.1.6. Implementace výsledků | 32 |
| 1.5.2. <i>Formulace distribučních úloh</i> | 32 |

| | | |
|-----------------------------|--|-----------|
| 1.5.2.1. | Dopravní problém | 32 |
| 1.5.2.2. | Kontejnerový dopravní problém | 33 |
| 1.5.2.3. | Alokační problém | 33 |
| 1.5.2.4. | Okružní dopravní problém..... | 33 |
| 1.5.3. | <i>Dostupný software pro řešení optimalizačních úloh</i> | <i>33</i> |
| 2. | PRAKTICKÁ ČÁST | 35 |
| 2.1. | NASTÍNĚNÍ VYBRANÉ SIMULACE..... | 35 |
| 2.2. | PROBLÉM OBCHODNÍHO CESTUJÍCÍHO (TSP)..... | 37 |
| 2.3. | ZHODNOCENÍ SOUČASNÉ SITUACE..... | 37 |
| 2.4. | MOTIVACE PRO PROVEDENÍ SIMULACE | 38 |
| 2.5. | POPIS ZJEDNODUŠENÉHO MODELU | 39 |
| 2.5.1. | <i>MS Excel</i> | <i>40</i> |
| 2.5.1.1. | <i>Solver</i> | <i>40</i> |
| 2.5.1.2. | <i>VBA</i> | <i>42</i> |
| 2.5.1.2.1. | <i>Formulář pro generaci podmínek simulace.....</i> | <i>42</i> |
| 2.5.2. | <i>Vstupní data do listu náklady.....</i> | <i>44</i> |
| 2.5.3. | <i>Popis průběhu simulace.....</i> | <i>46</i> |
| 2.5.3.1. | <i>Simulace bez podmínek.....</i> | <i>46</i> |
| 2.5.3.2. | <i>Simulace s podmínkami.....</i> | <i>47</i> |
| 2.6. | VÝSLEDKY SIMULACÍ V MODELU..... | 47 |
| 2.6.1. | <i>Simulace bez podmínek.....</i> | <i>47</i> |
| 2.6.2. | <i>Simulace s podmínkami.....</i> | <i>49</i> |
| 2.6.2.1. | <i>Hladina zaplnění 80 %</i> | <i>49</i> |
| 2.6.2.2. | <i>Hladina zaplnění 60 %</i> | <i>51</i> |
| 2.6.2.3. | <i>Hladina zaplnění 40 %</i> | <i>52</i> |
| 2.6.3. | <i>Náklady</i> | <i>53</i> |
| 2.7. | NAVRŽENÍ OPATŘENÍ PRO ELIMINACI PŘÍPADNÝCH PROBLÉMŮ PŘI DALŠÍ PRÁCI S MODELEM..... | 55 |
| ZÁVĚR | 56 | |
| SEZNAM TABULEK | 59 | |
| SEZNAM GRAFŮ | 60 | |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 61 | |
| SEZNAM ZDROJŮ..... | 63 | |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 66 | |

Úvod

Ročně se v České republice vyprodukuje velké množství odpadu. Pokud bychom množství za rok 2018 rozpočítali, tak na každého jednoho obyvatele by to bylo 3 556 kg odpadu. Mezi lety 2017 a 2018 produkce odpadu stoupla o více než 3 mil. tun (1).

Když chodíme po ulicích a vidíme, kolik vyprodukujeme denně odpadu, tak v dnešní době myslíme na to, jak můžeme jako jednotlivci přispět tomu, abychom produkovali odpadu co nejméně.

Samozřejmě, že to lze eliminovat pouze na určité množství, takže se tím dost pravděpodobně stejně nevyřeší problém stoupajícího množství odpadu, pokud budeme počítat s tím, že počet obyvatel ve velkých městech stále poroste.

Ulice však nejsou nafukovací a i přesto, že momentálně máme ještě možnost navyšovat kapacity odpadních nádob, do budoucna by tento růst nejspíše nebyl udržitelný.

Proto je za potřebí začít v nejvyšší možné míře využívat nástroje, které nám primárně v podobě informačních technologií dnešní doba nabízí. Díky těmto nástrojům zjistíme přesně, kde máme prostor pro optimalizaci dosud využívaných procesů. Na základě této optimalizace může časem dojít jednak k ekonomické úspoře, ale také například k postupné automatizaci jednotlivých procesů.

této bakalářské práce je vytvořit zjednodušený model situace, která bude simulovat optimalizaci odpadového hospodářství za pomoci moderních informačních technologií, v mém případě IoT. Tento model by měl prokázat úsporu nákladů a úsporu času.

Dalším dílčím cílem je zpracovat základní analýzu aktuálního stavu IoT ve vztahu k odpadovému hospodářství na území České republiky a ve světě a přiblížit pojem a jeho souvislost s odpadovým hospodářstvím.

Kapitola 1 se zabývá teoretickou částí této bakalářské práce. Píši zde o konceptu Smart city a vysvětluji, jakou pozici zaujímá odpadové hospodářství. Dále pak

popisují současný stav odpadového hospodářství v České republice, také zde blíže popisují a vysvětlují, co znamená a k čemu se používá IoT. Následně popisují IoT v České republice, konkrétně v Praze a Kolíně, a některých městech v zahraničí. Teoretickou část završuje část věnovaná seznámení se s distribučními úlohami lineárního programování.

Kapitola 2 se zabývá praktickou částí, kterou v této práci představuje model situace, kdy optimalizujeme svoz odpadu za pomoci IoT. Nejdříve nastíním situaci, pro kterou budu daný model sestavovat. Poté popisují typ distribuční úlohy, kterou jsem si pro model zvolila. Dále zhodnotím stávající situaci před provedením simulace, zaměřím se také na vysvětlení motivace pro provedení simulace. Dále popíši práci s MS Excel a funkce k sestavení zjednodušeného modelu. Po vysvětlení simulace přejdu k prezentaci výsledků a navrhnou opatření pro další práci s modelem.

Seznam použitých zkratek

IoT = Internet of Things

ČR = Česká republika

ICT = Information and Communication Technologies

MMR ČR = Ministerstvo pro místní rozvoj ČR

CD = Compact disc

DVD = Digital Versatile Disc

Wi-Fi = Wireless Fidelity

NFC = Near Field Communication

QR = Quick Response

HMP = hlavní město Praha

NKS = Nitrianske komunálne služby

LP = lineární programování

LINDO = Linear Interactive and Discrete Optimizer

VBA = Visual Basic for Applications

ČNB = Česká národní banka

1. Teoretická část

V této kapitole se dozvíte, co je koncept Smart City, co si představit pod pojmem IoT a jak to všechno souvisí s odpadovým hospodářstvím. Dále také, jak to vypadá s IoT v odpadovém hospodářství ve vybraných městech České republiky a ve vybraných zahraničních městech. V závěru teoretické části se seznámíte s některými typy distribučních úloh lineárního programování.

1.1. Koncept Smart City

1.1.1. Vysvětlení pojmu

Z důvodu nárůstu obyvatel ve městech, neustále se zrychlujícímu průmyslu a také posunu v informačním technologiích je potřeba se na tyto změny adaptovat, a proto vznikl koncept Smart city, který má za úkol mimo jiné optimalizovat procesy řízení měst a vše, co si pod městskou správou představíme (2).

Pojem Smart city byl poprvé použit v 90. letech 20. století. Jedná se o pojem, který má mnoho definic. V časopise Journal of Urban Technology vyšel v roce 2015 článek, kde jich je možno napočítat 23. Jedna z nich říká, že: „*Znakem inteligentního*



Obrázek 1: Koncept Smart city (zdroj: Internet of business, <https://internetofbusiness.com/global-smart-city-platform-market/>)

města je používat technologie inteligentních počítačů k výrobě kritických infrastrukturních komponent a služeb města, mezi něž patří správa města, vzdělávání, zdravotnictví, veřejná bezpečnost, nemovitosti, doprava a nástroje inteligentnější, propojené a efektivnější.“ (2)

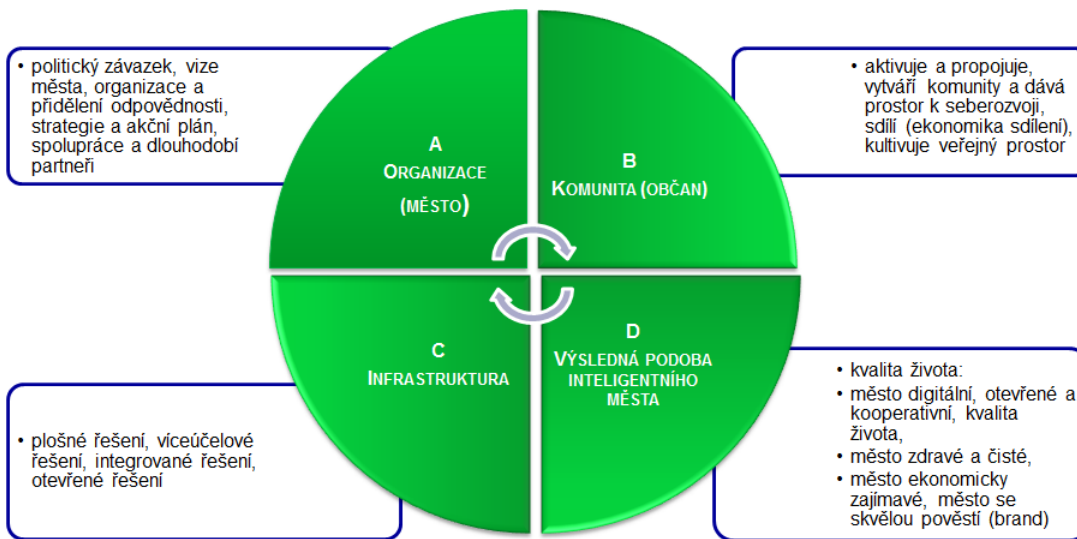
Také se jednotlivé zdroje liší v tom, jaké jsou klíčové dimenze, které by měl koncept Smart city pojímat. Většina z nich má ale společné tyto body: ekonomiku, životní prostředí, mobilitu, vládu a zvýšení kvality života (3).

Pod kvalitu života můžeme tedy zařadit i nakládání s odpady, jemuž se věnuje odvětví odpadového hospodářství.

Obrázek výše jednoduchou formou ilustruje, co vše lze do konceptu Smart City zařadit.

Ministerstvo pro místní rozvoj ČR na svém oficiálním webu uvádí, že pod konceptem Smart Cities rozumíme možnost, jak posunout města více směrem k jejich udržitelnému rozvoji. Také uvádí, že tohoto rozvoje by města měla dosahovat integrací moderních technologií. Nejvíce se se začleněním tohoto konceptu počítá s oblastmi energetiky, dopravy a informačních a komunikačních technologií (ICT). Sekundárně by se také integrace konceptu měla promítnout právě do odpadového hospodářství, krizového řízení, vodohospodářství a e-government. V poslední řadě MMR ČR upozorňuje, že v rámci konceptu Smart Cities se nejedná o jednorázovou změnu, ale naopak o postupný proces (4).

Níže přikládám graf, který poukazuje na 16 komponent, které uvádí MMR ČR.



Obrázek 2: Schéma komponent konceptu Smart Cities dle MMR ČR (zdroj: <https://www.mmr.cz/cs/temp/smart-cities/koncept-smart-cities>)

1.1.2. Odpadového hospodářství

Odpadové hospodářství se stará o nakládání se vzniklým odpadem. Pokud budeme chápat odpadové hospodářství jako sled činností, které na sebe navazují, byly by tyto činnosti následující:

- sběr odpadu,
- jeho doprava na místo, kde se s ním bude dále nakládat, případně kde bude uložen,
- uložení,
- recyklace,
- monitoring (5).

V rámci konceptu Smart city se tedy snažíme tyto činnosti zefektivnit a optimalizovat, což znamená, že do tohoto odvětví pouštíme informační technologie, abychom na základě jejich vyspělosti dokázali optimalizace a efektivity opravdu dosáhnout. Více se informačními technologiemi v odpadovém hospodářství budu zabývat v kapitole věnované internetu věcí.

1.2. Současný stav odpadového hospodářství v ČR

Na základě dat Ministerstva životního prostředí bylo v roce 2018 v České republice vyprodukováno 38,8 mil. tun odpadu. Z tabulky níže je možné vidět vývoj množství odpadů mezi lety 2009 a 2018 (1).

Tabulka 1: Celková produkce všech odpadů v ČR 2009 - 2018 (zdroj: ISOH, MŽP, 2019)

| Rok | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Produkce odpadů [tis. t] | 32 267 | 31 811 | 30 672 | 30 023 | 30 621 | 32 028 | 37 338 | 34 242 | 34 513 | 37 785 |

V dnešní době se odpady dělí do 39 kategorií, a to: autoskla, autovraky, azbest, baterie, bioodpad, bioplasty, CD / DVD, dřevo, elektroodpad, gastroodpad, hliník, kaly z čističek vod, komunální odpad, kosmický odpad, kovy, letadla, mikroplasty, mobilní telefony, munice, nanoodpady, nápojové kartony, nebezpečný odpad, papír, plasty, pneumatiky, potravinový odpad, radioaktivní odpad, sklo, solární panely, stavební odpad, technické oleje, textil, tuky a oleje, úsporné žárovky, tonery a inkousty, velkoobjemový odpad, zdravotnický odpad, sběrné dvory a ostatní odpady (6).

Je tedy logické, že s každým typem odpadu je potřeba zacházet jinak. Jsou typy odpadu, například papír, plast, sklo a komunální odpad, za které fyzické osoby platí poplatky a stát zprostředkovává odpadkové koše, popelnice či kontejnery, kam je možné tyto odpady umístit. O jejich svoz se pak starají jednotlivé soukromé firmy, jednou z výjimek tvoří hl. město Praha, které vlastní akciovou společností Pražské služby a.s. (7), což znamená, že město má vlastní firmu, která je částečně schopna svoz v hlavním městě pokrýt.

Na svoz větších odpadů, nebo odpadů, které by nebylo bezpečné vyházovat do volně přístupných kontejnerů, jsou k dispozici sběrná místa, nebo také sběrné dvory. Rozdíl mezi sběrným místem a dvorem není dán legislativou, jelikož legislativa rozeznává pouze sběrný dvůr. V laickém slova smyslu je tento rozdíl primárně v počtu obyvatel obce nebo daného města. Čím menší je daná obec, tím spíše zde najdete sběrné místo. Sběrné místo se vyznačuje tím, že zpravidla zde můžete

vyhodit více druhů odpadů, kdežto sběrné dvory jsou většinou specializované na méně druhů odpadu (6).

1.2.1. Problémy

K ukládání a svážení tříděného odpadu, na který se budu primárně zaměřovat, se váže několik problémů. Níže popsané problémy jsou problémy, kterých jsem si za roky života ve městě všimla.



Obrázek 3: Přeplněné kontejnery tříděného odpadu (zdroj: vlastní)

Problém, který vnímají nejvíce obyvatelé, jsou často přeplněné kontejnery ve větších městech. Například v Praze, kde byla pořízena fotka výše, je tento problém poměrně častý. Obyvatel jde vynést tříděný odpad, přijde k jednomu místu, kde se nacházejí nádoby na tříděný odpad, a chce ho zde vyhodit. Nádoby jsou však plné, proto přejde k dalšímu místu, kde jsou nádoby na tříděný odpad, ale situace je naprosto totožná. Pokud se tato situace zopakuje několikrát dokola, po pár pokusech svou snahu vzdává a odpadky položí vedle nádoby. Což jednak znečišťuje veřejný prostor, a také tím obyvatelé porušují zákon č. 185/2001 Sb., tedy zákon o odpadech, kde fyzické osobě, která se tohoto prohřešku dopustí, může hrozit peněžní postih až do výše 50 000 Kč (8).

Dalším problémem, tentokrát pro účastníky provozu, může být i samotná služba svážení odpadu. To znamená, že při svážení odpadu dochází často k zablokování provozu v místě, kde k vyvážení dochází. Což je problém v místech, kde se nachází

mnoho jednosměrek a provoz skrz tyto lokality je problematictější i za standardních podmínek, kdy nepředpokládáme svoz odpadu.

Jako poslední problém bych jmenovala problematiku dopravy a logistiku svozu ze strany svozových firem, které často z důvodu úspory času couvají do jednosměrek, popřípadě z důvodu neukázněného parkování ostatních aut mají problém projet komunikací, aby se k nádobám na tříděný odpad vůbec dostali.

1.3. Internet of Things

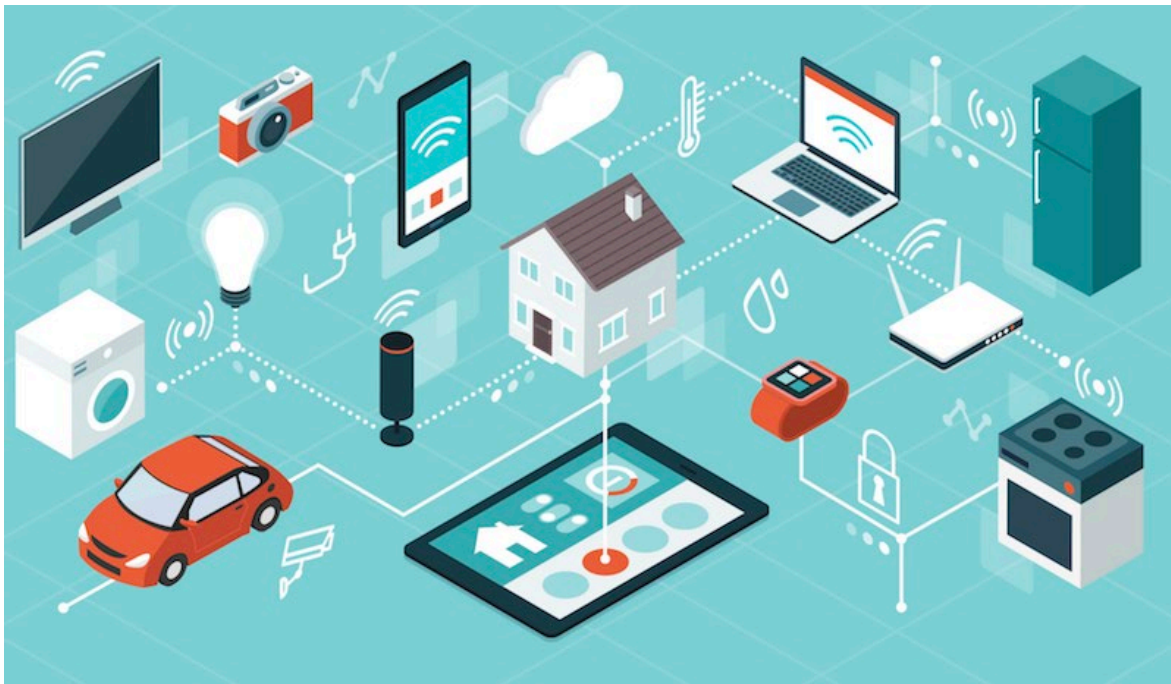
1.3.1. Vysvětlení pojmu

Internet of Things, zkratkou spíše známý jako IoT, je komunikační paradigma. Na jeho základě by v blízké budoucnosti měly věci pro nás běžné v každodenním životě být schopné odesílat data, na jejichž základě bude možné samotné věci zdokonalovat. Na základě těchto dat mohou také vznikat úplně nové služby. Z analytického hlediska mohou být tato data použita v různých odvětvích. V některých může na základě dostatečného množství odeslaných dat dojít časem až k úplné automatizaci. Konkrétně už teď víme, že toto paradigma by mohlo významně vylepšit úroveň např. v průmyslové automatizaci, zdravotnické péči, při pomoci starším osobám, automobilovém průmyslu, řízení dopravy (9).

To, co můžeme vidět vlastníma očima, je hardwarová část IoT. To znamená především různé typy čipů, které v sobě mají software, který zajišťuje odesílání dat do předem připravených cloudových úložišť. Cloudové úložiště poskytuje dodávku výpočetního výkonu, úložiště databáze, aplikací a dalších zdrojů. Hlavní služba cloudu je právě placené poskytování prostoru pro ukládání dat (10).

Pro konkrétní představu lze jako příklad uvést třeba rychlovarnou konvici. Pro tyto případy budeme předpokládat, že se jedná o rychlovarnou konvici s nastavitelnou cílovou teplotou vody. Za předpokladu, že byla konstruována v souladu s IoT, bude v konvici umístěn čip. Čip, který bude do cloudového úložiště zasílat dostupná data o používání této konvice. Budeme tak například vědět, jak často se konvice používá, v jakých denních hodinách je používána nejvíce, zda majitel konvice využívá možnost nastavení cílové teploty a na jakou teplotu je voda zahřívána v největším

počtu případů. Při sesbírání dostatečného vzorku dat z určitého počtu takto zkonstruovaného typu rychlovarné konvice se firma, která konvici vyrábí, dozví, zda jimi navržené konvice vyhovují uživatelům v nejvyšší možné míře, nebo zda je možné nějak vylepšit konstrukci a nabízené funkce tak, aby zákazník byl co nejspokojenější a jejich konvice odpovídala co nejpřesněji poptávce veřejnosti, když chtějí koupit rychlovarnou konvici (11).



Obrázek 4: Jak si představit fungování IoT (zdroj: <https://threatpost.com/vacuum-cleaners-baby-monitors-and-other-vulnerable-iot-devices/153294/>)

1.3.2. Obecné použití IoT v projektech Smart City

Je nepřehledné množství IoT aplikací, které by bylo možné rozdělit na základě technologií a také podle potřeb uživatelů. Jednou z výzev, kterou můžeme v oblasti aplikace IoT pozorovat, je začlenění do konceptu Smart City (12).



Obrázek 5: IoT využití v odpadovém hospodářství (zdroj: <https://www.ecomena.org/internet-of-things/>)

Mezi konkrétní aplikace IoT v konceptu Smart City můžeme jmenovat chytré domy. Tyto domy obsahují senzory a díky připojení k internetu je za pomoci webového rozhraní nebo mobilní aplikace možné ovládat dům na dálku. Často se takto používá chytré svícení. Chytré svícení lze využít, když jste již před domem a odemknete, mezitím stisknete tlačítko a až odemknete a vstoupíte, už máte rozsvíceno. Často se také tato funkce využívá pro odrazení případných zlodějů, pokud je majitel domu na delší dobu pryč (13).

Dále je možné jmenovat chytrá parkoviště. Na základě dat z takovýchto parkovišť je například při stavbě nového parkoviště možné vycházet ze získaných informací a postavit nové parkoviště v oblasti, kde často není místo, protože program vyhodnotí, že by bylo potřeba navýšit kapacitu parkovišť v okolí (13).

Jeden z největších benefitů zapojení IoT do konceptu Smart City přináší analýzy automobilové dopravy měst. Z nich mají užitek obyvatelé města, ale také město samotné. Obyvatelé tak mají aktuální informace a vědí, kolik času potřebují, pokud se musejí někam dostat a jakým místům se případně vyhnout. Pro město je to také cenná informace. Nehledě na to, že jakákoliv další rozhodnutí spojená s dopravou ve městě mohou být na základě dat a z nich provedených analýz relevantnější (13).

1.3.3. Využití IoT v odpadovém hospodářství

V odpadovém hospodářství v současné době rozumíme pod pojmem IoT především odpadové nádoby, do kterých lze zabudovat senzor, popřípadě odpadové nádoby, které jsou již vyráběny se zabudovanými senzory a případně mají další přídatné funkce (14).

1.3.3.1. IoT odpadové nádoby

Pro potřeby této práce rozlišujeme dva typy odpadových nádob, a to nádoby v aktivním a v pasivním režimu. Toto rozlišení není odborně zavedeno, ale pro pochopení odlišností je dostačující (15).

První kategorií jsou odpadové nádoby v aktivním režimu. Aktivním režimem rozumíme, že nádoba má v sobě zabudovaný čip se senzorem, který odesílá data ohledně zaplněnosti. Stav zaplnění zjišťuje díky ultrazvukovému senzoru, který v nastavených intervalech vysílá ultrazvukové vlny a na základě jejich ozvěny vyhodnocuje aktuální zaplnění. Ultrazvukové senzory jsou bezdrátové a mohou být napájeny dvěma způsoby. Prvním způsobem je napájení lithiovou baterií. Druhý způsob je napájení solárními panely (16).

V rámci tohoto aktivního režimu tedy existuje momentálně několik možných řešení. Je možné zakoupit senzor a namontovat ho do již existujících odpadových nádob. Druhou možností je zakoupení celé odpadové nádoby, která kromě ultrazvukového senzoru umí odpad také stlačit. Tím, že je odpadová nádoba schopná do ní vhozený odpad stlačit, se prodlouží perioda jejího naplnění (14).

Na druhý zmíněný typ je v dnešní době možné napojit několik dalších funkcí, například může sloužit jako Wi-Fi router, reklamní panel nebo audio reproduktor (14).

Odpadové nádoby v pasivním režimu jsou takové nádoby, které na sobě mají umístěnou nálepkou s NFC čipem a QR kódem, která je propojená s mobilní aplikací a jejímž prostřednictvím může kdokoliv, kdo přijde k odpadové nádobě, po jejím načtení ručně zadat, z kolika procent je nádoba zaplněna (15).

1.3.4. Doprovodné aktivity

Aby bylo možné získaná data vyhodnotit a dále zpracovat, je potřeba mít ještě software, který nám data zpracuje do podoby, abychom je mohli dále použít (17).

Pokud máme software a již máme reprezentativní vzorek dat, které můžeme vyhodnotit, nabízí nám software velké množství možností, jak s těmito daty naložit (17).

Na základě dat je možné dynamicky přepínat trasy, po kterých jezdí vozy, které odpad svážejí. V první fázi se jedná pouze o zvýšení nebo snížení frekvence svozu z dané odpadové nádoby. Ve chvíli, kdy je algoritmus dokonale propracovaný a schopný pracovat s daty, které nádoby vysílají, a také s daty o aktuální dopravní situaci, pak může sloužit také přímo řidičům svozových automobilů, kdy, pokud dojde k nepředvídanému přeplnění odpadové nádoby, reaguje software přepínáním původní trasy (17).

Další možností je použití softwaru pro fyzické osoby a zvýšení jejich motivace k třídění odpadu za pomoci aplikace nebo webové stránky, kde si na základě odesílaných dat z odpadových nádob mohou vytipovat nejbližší odpadovou nádobou s dostatečnou volnou kapacitou pro vyhození svého odpadu. Ve chvíli, kdy vidí, že nejbližší odpadová nádoba není volná, ale jiná o 300 metrů dále ano, s největší pravděpodobností nebudou mít problém k této nádobě dojít. Pokud by tuto informaci fyzická osoba neměla a došla by k nejbližšímu stanovišti odpadových nádob, kde by nádoby byly přeplněné, zvyšuje se pravděpodobnost porušení vyhlášky a zanechání odpadu vedle sběrné nádoby i přes hrozbu pokuty (8).

1.4. Zmapování používání IoT v odpadovém hospodářství v České republice a v zahraničí

1.4.1. Situace ve vybraných městech v České republice

1.4.1.1. Hlavní město Praha

Hlavní město Praha jako odpověď na koncept Smart City přišlo s koncepcí Smart Prague 2030, která má za úkol proměnit Prahu v příjemné město pro život za pomoci nejmodernějších technologií (18).

Při tvoření koncepce Smart Prague 2030 bylo stanoveno šest klíčových oblastí, kterým se koncepce věnuje. Klíčové oblasti pro tento koncept jsou: Mobilita budoucnosti, Chytré budovy a energie, Bezodpadové město, Atraktivní turistika, Lidé a městské prostředí a Datová oblast. Tato koncepce reflektuje světové trendy v technologickém vývoji a přináší je do každodenního městského života (18).

V tomto projektu hraje klíčovou roli Operátor ICT, a.s., ten koncept zaštiťuje a má na starosti manažerské řízení celé koncepce. Operátor ICT, a.s. dále spolupracuje s dalšími orgány města (18).

Pro zjištění aktuální situace pro nás jsou klíčové projekty v oblasti Bezodpadové město.

V tuto chvíli v rámci konceptu Smart Prague běží v Praze dva projekty.

1.4.1.1.1. Chytrý svoz odpadu

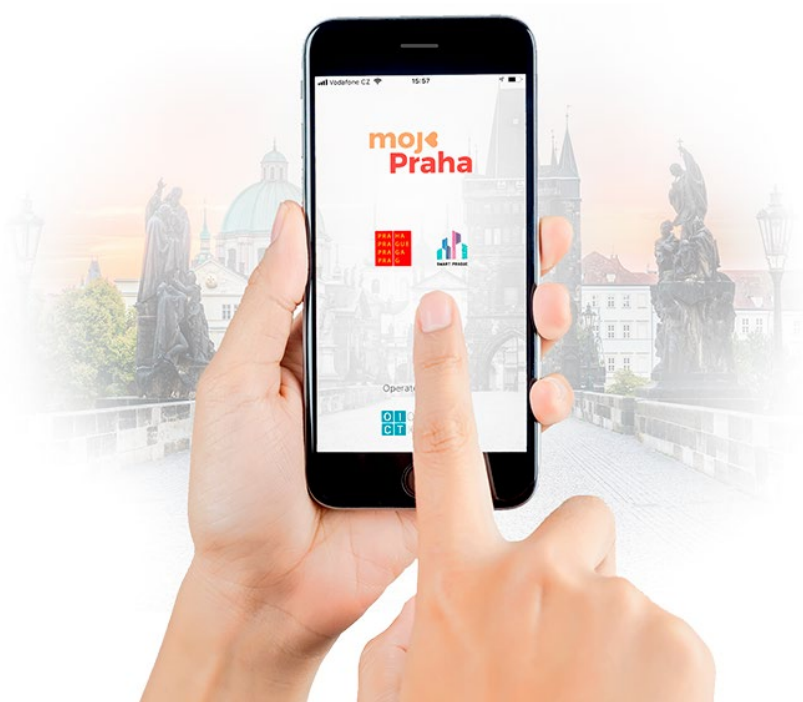
První projekt, který je ve fázi pilotního projektu, se specializuje na svoz odpadu. V rámci tohoto projektu bylo na rok osazeno 420 ks kontejnerů senzory, které v rámci IoT zasílaly informace o zaplněnosti nádob. Toto se týkalo kontejnerů na tříděný odpad, konkrétně kontejnerů na plast, sklo, papír a elektroodpad. Cílem projektu bylo optimalizovat četnost svozu na základě informací o vytíženosti. Výsledkem měly být nižší náklady na svoz a sběr dat pro další optimalizaci prostoru (19).

Jelikož stránka informující o tomto projektu nebyla příliš podrobná, setkala jsem se 04. března 2020 s panem Ing. Ondřejem Šárovcem z firmy Operátor ICT, a.s., který má tento konkrétní projekt na starosti.

Následující informace jsou shrnutím toho, co jsem se o projektu dozvěděla.

Pilotní projekt jako takový byl již ukončený. Začal v roce 2018, kdy se začalo pracovat na procesech pro vlastní realizaci projektu. Vlastní pilotní provoz byl zahájen v únoru 2019, kdy bylo senzorem osazeno 380 ks podzemních kontejnerů a 40 ks nadzemních kontejnerů. Podzemní kontejnery, jakožto kontejnery s velkou kapacitou a větší náročností časovou i finanční, byly hlavním důvodem realizace tohoto projektu. Roční provoz skončil v lednu 2020, od té doby se pracuje na vyhodnocení dat a sestavení závěrečné zprávy, která bude po schválení městem uveřejněna.

Bezdrátový přenos dat ze sensorů využíval řešení LoRa a Sigfox. Tato řešení byla zvolena s ohledem na pokrytí signálu. Sensory byly naprogramované tak, aby zasílaly data o zaplněnosti každé 4 hodiny, tedy 6x denně, spolehlivost byla zhruba 75 %. Nashromážděná data sloužila primárně k analýze toho, u kterých nádob je možné prodloužit interval vývozu.



Obrázek 6: Aplikace Moje Praha (zdroj: <https://mojepraha.eu>)

Jako vedlejší funkce byla tato data použita do aplikace Moje Praha, kde si obyvatelé mohli u osazených kontejnerů zjistit, jaký je momentální stav jejich zaplněnosti.

Největším úskalím v začátku projektu byl strach z toho, zda bude možné senzory nainstalovat z povrchu bez toho, aby bylo nutné podzemní kontejnery za pomoci nákladních aut zvedat a otvírat. To naštěstí problém nebyl a kontejnery bylo možné osadit z povrchu za pomoci vrtačky.

Nyní uvádím pár poznatků, které pan Ing. Šárovec uváděl jako poznatky, které nebylo třeba zakládat na analýze. Odesílaná data každé 4 hodiny nebyla dostatečná, občas se také stalo, že některá data nedoputovala. Navrhoval by zhuštění odesílání dat od 6:00 do 22:00. V noci by pak nebylo potřeba odesílat data žádná, jelikož v noci lidé s odpadem nechodí tak často. Senzor se moc neosvědčil při monitorování nádob na papír a plast, kde často docházelo ke zkreslování dat na základě zastínění senzoru, který pak odeslal data o zaplnění nádoby i přesto, že ve skutečnosti v nádobě ještě prostor byl. Senzory se naopak osvědčily při monitorování skla, nápojových kartonů a kovů.

Z tohoto důvodu se v rámci praktické části této bakalářské práce zaměřím na vývoz nádob na sklo.

1.4.1.1.2. Kompresní koše

Druhým projektem, kde momentálně probíhá příprava k implementaci rutinního projektu, jsou kompresní koše.

Předcházející pilotní fáze trvala 72 týdnů. Tento pilotní projekt ukázal pozitivní přínos. Pilotní projekt ukázal efektivitu 95% úspory na svozu kompresních košů oproti standardním odpadovým nádobám. Doba úspory byla sledována za období 6 měsíců. Nedošlo pouze ke snížení počtu svozů, ale také k úspoře nákladů ve výši 834 653 Kč bez DPH, také za období 6 měsíců (20).

Kompresní koše mají zabudovaný mechanismus na lisování a také senzor, na jehož základě je možné detekovat zaplnění nádoby a podle odesílaných informací plánovat trasy svozu. Koše byly instalovány na náměstí Republiky, zde konkrétně 7 ks, dále v ulici Na Příkopě, kde bylo umístěno 18 ks košů, posledním místem bylo Rašínovo nábřeží, kde bylo osazeno 5 ks (20).

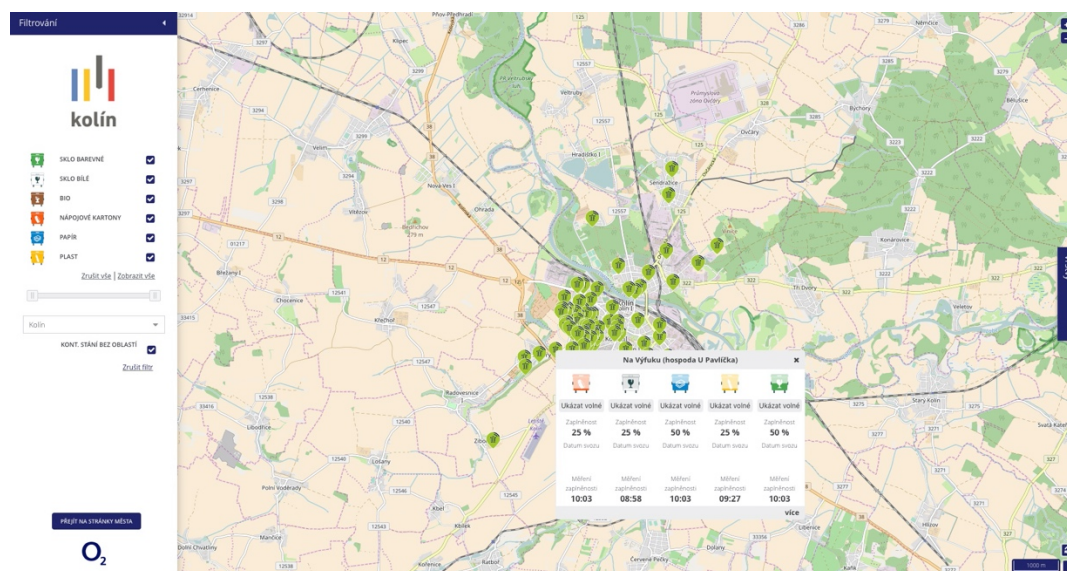
K testování kompresních košů bylo přistoupeno z důvodu problémů spojených se standardními odpadovými nádobami, se kterými se HMP potýká. Konkrétně například potřeba častého svozu odpadových nádob a tím související jejich malý objem. Dále také například vysoký počet instalovaných nádob v městských ulicích. Na všechny tyto problémy poskytly kompresní koše řešení (20).

1.4.1.2. Kolín

Dalším městem, které stojí v rámci IoT v odpadovém hospodářství za zmínku, je nepochybně město Kolín.

Město Kolín již v roce 2016 testovalo službu od společnosti O2 IT Services ve spolupráci s firmou AVE, která zajišťuje v Kolíně svoz odpadu. V pilotním projektu, který běžel mezi zářím 2016 a únorem 2017, bylo zapojeno 330 ks kontejnerů. Kontejnery byly jak v režimu aktivním, tak v režimu pasivním (15).

Impulsem k tomuto řešení byla potřeba zvýšit motivaci obyvatelů ke třídění (15). K projektu je dostupná webová stránka kolin.smartcity.cz na které uživatel přehledně vidí všechny stanoviště tříděného odpadu. Po rozkliknutí stanoviště se objeví typy odpadových nádob jejich procentní zaplněnost a také čas, kdy proběhlo poslední měření zaplněnosti (21).



Obrázek 7: Prostředí webové stránky pro třídění odpadů ve městě Kolín (zdroj: <https://kolin.smartcity.cz/public/>)

1.4.2. Situace ve vybraných městech v zahraničí

1.4.2.1. *Soul, Korejská republika*

Soul má přibližně 10 milionů obyvatel (22). V Soulu se nachází několik UNESCO památek, a tak je také velmi navštěvovaným turistickým městem (23).

Z toho důvodu vzešla v roce 2014 potřeba začít řešit odpadové hospodářství komplexněji za pomoci IoT. Tehdy bylo nainstalováno 85 odpadových nádob se senzorickým systémem a systémem na stlačení odpadu, na nejméně navštěvovaná místa v centru (23).

Po třech měsících byla vyhodnocena data a na jejich základě bylo možné optimalizovat četnost svozu, která před instalací nádob byla v řádu 4 svozů během jednoho dne (23).

V univerzitních kampusech v Soulu zase řešili problém s velkým množstvím odpadu, který znečišťoval okolí stávajících odpadových nádob. Do 4 univerzitních kampusů, konkrétně univerzit: Seoul National University, Yonsei University, Korea University, and Dongguk University, bylo nainstalováno 144 odpadových nádob, což snížilo náklady o 86 % (24).

1.4.2.2. *Dubaj, Spojené arabské emiráty*

Společnost, která má v Dubaji na starosti odpadové hospodářství, obsluhuje plochu přes 4000 km². Různě po městě je možné najít recyklační centra. Recyklační centrum se sestává ze 17 nádob, každá vyhrazená na jednu komoditu (25).

I přesto, že odpadové hospodářství zde fungovalo dobře, rozhodli se hledat nové způsoby, jak odpadové hospodářství ještě zefektivnit. Nejlepší možností se ukázalo být IoT. Použili senzory, které monitorují hladinu odpadových nádob, a software, který sbírá výsledky, aby tak docílili efektivnějšího plánování sběru odpadu (25).

Technologie, která byla pro tyto recyklační centra použita, je zajímavá tím, že senzory pracují v režimu zvaném Master-Slave. Tím se šetří nejen výsledné náklady na vývoz, ale i samotné náklady na přenos dat. Na recyklačním centru je jeden senzor Master a ostatní Slave. Master neboli hlavní senzor přijímá data od senzorů

Slave za pomoci technologie Bluetooth nebo RF. Až ve chvíli, kdy má Master potřebná data, odešle je jednorázově všechny najednou prostřednictvím dostupné sítě (25).

1.4.2.3. Melbourne, Austrálie

Melbourne, hlavní město australského státu Victoria je druhým největším městem v Austrálii. V roce 2019 mělo město přes 5 milionů obyvatel. Podle dat z předchozích let počet obyvatel stále roste. Mezi lety 2018 a 2019 vzrostl počet obyvatel o 3,82 % (26).

Z důvodu předpokládaného dalšího růstu počtu obyvatel a také velké turistické návštěvnosti v roce 2018 začalo město instalovat CleanCUBEs, což jsou odpadové nádoby firmy Ecube Labs, které mají zabudované solární panely, které dobíjejí odpadovou nádobu, která má v sobě zabudovaný senzor a lisovací mechanismus, za pomoci kterého pak odpadová nádoba pojme více odpadu předtím, než ji je nutné vyvézt (27).

Výsledkem této instalace klesla frekvence jednotlivých sběrů odpadových nádob z průměrného sběru jednou za 6 hodin na průměr jednou za 7 dní (27).

1.4.2.4. New York, Spojené státy americké

V New Yorku se v roce 2013 rozhodli zaměřit na Times Square, kde denně projde na půl milionu lidí, s čímž se samozřejmě pojí i velké množství odpadu. Toto místo se tedy vybralo jako nejvhodnější k pilotnímu projektu (28).

Bylo instalováno 30 recyklačních stanic. Stanice se skládá z odpadových nádob se zabudovaným systémem pro stlačení odpadu tak, aby zabíral co nejméně místa a tak se prodloužil interval, kdy je nutné nádobu vyprázdnit. Každá odpadová nádoba také samozřejmě obsahuje senzor, který hlásí stav zaplněnosti, data z tohoto senzoru jsou odesílána do softwaru, který data zpracovává a vytváří výstupy na základě kterých se následně rozhoduje o optimalizacích (28).

Z pilotního projektu bylo zjištěno několik informací k budoucí optimalizaci. Kapacita odpadové nádoby díky systému stlačení odpadu vzrostla, a to tak, že do jedné

odpadové nádoby se vešlo 3krát více odpadu. Původní frekvence vyvezení nádoby se snížila z průměrných 28 vyvezení za týden na 14,6. Což je skoro o polovinu méně než původně (28).

Jelikož pilotní program byl úspěšný, rozhodla se radnice města New York na postupném rozšiřování počtu stanovišť s chytrými odpadními nádobami a od roku 2013 z původních 30 stanovišť jich je v okolí Time Square již více než 190 (28).

1.4.2.5. Sofia, Bulharsko

Na podzim roku 2017 se město Sofia rozhodlo zahájit pilotní fázi instalace senzorů do odpadového hospodářství. Pro pilotní program byly vybrány odpadové nádoby v centru města (29).

Město Sofia realizovalo tento program z důvodu seznámení se s technologií a také chtěli mít zpětnou vazbu na kvalitu poskytovaných služeb v odvětví odpadového hospodářství a chtěli zjistit, zda v případě jimi poskytovaných služeb existuje prostor pro zlepšení (29).

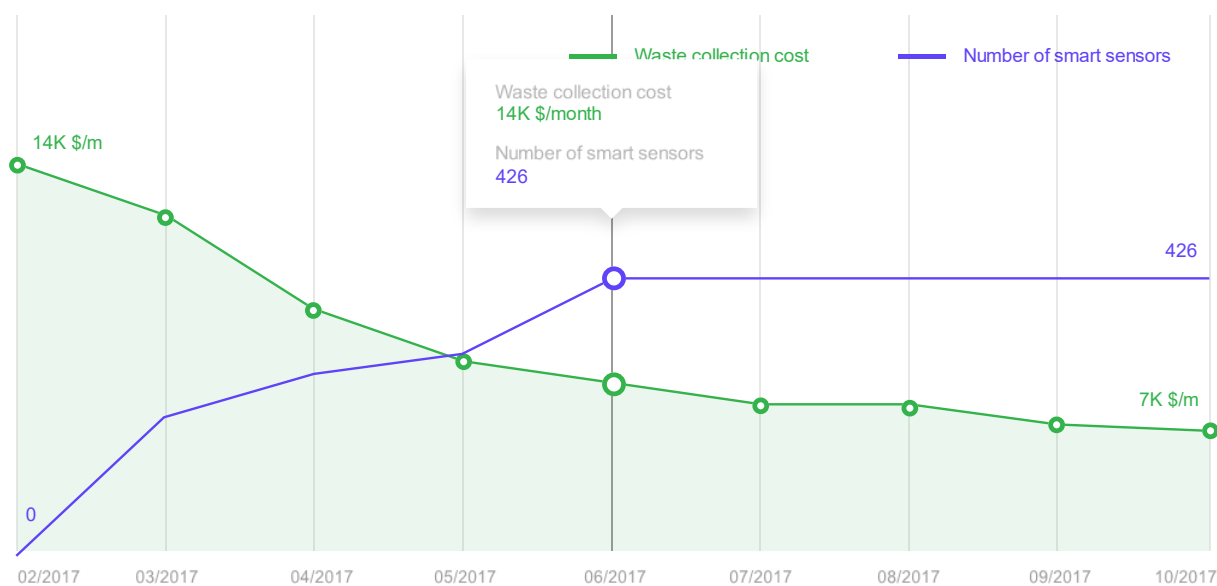
Pro první fázi bylo použito 33 senzorů, které byly nainstalovány do stávajících odpadových nádob. V návaznosti na předpokládané zaplnění odesílalo 10 senzorů informaci o zaplnění každých 5 minut, zbylých 23 senzorů pak zasílalo výsledky měření jednou za 4 hodiny. Tedy 6krát denně (29).

1.4.2.6. Nitra, Slovensko

Ve slovenském městě Nitra má na starosti svoz odpadu společnost NKS – Nitrianske komunálne služby. Sensory ve spojení s příslušným softwarem se rozhodli používat z důvodu velkého nárůstu polo podzemních kontejnerů, kde nasazení IoT by pomohlo maximalizovat benefity, které tyto velkokapacitní kontejnery nabízejí (30).

Bylo nainstalováno 130 ultrazvukových IoT senzorů na monitorování odpadu ve výše zmíněných typech kontejnerů. V roce 2016 a 2017 se projekt dále rozšířil a senzory byly umístěny do dalších kontejnerů, konkrétně do kontejnerů na skelný odpad (30).

Na grafu níže lze vidět závislost snížení měsíčních nákladů na svoz na počtu nainstalovaných senzorů v Nitře (30).



Graf 1: Počet senzorů vs. náklady na svoz (zdroj: <https://sensoneo.com/sk/reference/nitra/>)

1.5. Distribuční úlohy lineárního programování

Software, který poskytuje optimalizaci a zasílá data odpadové společnosti, popřípadě řidiči odpadového vozidla, může pracovat na různých principech. Pro základní přehled jsem se rozhodla použít distribuční úlohy lineárního programování, na základě jednoho z níže vysvětlených projektů jsem založila simulaci v praktické části této práce.

Distribuční úlohy jsou součástí optimalizačních úloh, tyto úlohy lze modelovat jako úlohu matematického programování. Primární dělení optimalizačních úloh je na dvě skupiny, lineární a nelineární optimalizační úlohy. Do jaké kategorie řešený problém patří lze zjistit z toho, zda funkce a podmínky, které se uvádějí ve spojitosti s optimalizační úlohou, jsou lineární nebo nelineární. Optimalizační lineární úlohy jsou jednodušší na řešení. Z tohoto důvodu je na aplikaci principu lineárního modelování založeno velké množství modelů. Do této skupiny, tedy lineárních optimalizačních úloh, řadíme i distribuční úlohy (31).

Pokud řešíme lineární optimalizační problémy, lze jejich řešení rozdělit do šesti fází (31).

1.5.1. Fáze řešení lineárních optimalizačních úloh

1.5.1.1. Identifikace problému v reálném systému

Jako první lze popsat fázi identifikace problému. Jako modelový příklad nám poslouží řešení problému ve firmě, kterého by si mělo všimnout vedení managementu. A na základě zjištění a podrobnější analýzy, kterou provede buď vedoucí pracovník nebo externista najatý na konzultaci problému, se pak postupuje k dalšímu bodu, kde se následně zapojuje odborník na matematické modelování (31).

1.5.1.2. Sestavení ekonomického modelu daného problému

Ekonomický model popisuje vztahy a prvky systému zjištěné při analýze problému. Tento model by měl obsahovat čtyři hlavní části: cíl analýzy (to, co budeme řešit za pomoci optimalizace); musí popisovat popis procesů, které probíhají, a to, jak to ovlivňuje stanovený cíl; dále také musí popisovat činitele, kteří mají na probíhající procesy vliv; jako poslední musí obsahovat jednotlivé vztahy již jmenovanými cíli, procesy a činiteli (31).

1.5.1.3. Sestavení matematického modelu

Poté, co je problém identifikován a je sestavený ekonomický model problému, následuje matematický model úlohy lineárního programování (LP). Struktura matematického modelu je stejná jako u ekonomického modelu. Cíl je vyjádřen účelovou funkcí. Procesy jsou v modelu popsány hodnotami proměnných. Jako činitele se v matematickém modelu stanovují omezující podmínky. A vzájemné vztahy jsou nakonec v matematickém modelu vyjádřeny strukturálními modely. Často matematický model bývá doplněn ještě o speciální podmínky. Mezi nejčastější z nich lze uvést například potřebu uvést proměnné v celých číslech. Tyto typy matematických modelů se speciální podmínkou pak nazýváme úlohy celočíselného programování (31).

1.5.1.4. Řešení matematického problému a získání výsledků

Pro získání výsledků při řešení matematického problému se nejčastěji používá simplexová metoda. Tato metoda se za pomoci iterace snaží přiblížit k optimálnímu řešení, za předpokladu, že takové řešení vůbec pro daný matematický model existuje (31).

1.5.1.5. Verifikace získaných výsledků

Po získání odpovědi je důležité ověřit, že výsledky odpovídají očekávání. Je totiž možné, že v jakémkoliv předchozím kroku mohla nastat neúmyslná chyba. Tuto chybu lze odhalit za pomoci verifikace na základě opětovné kontroly všech předchozích kroků a ověření jejich správnosti. Někdy se může stát, že chyba nastala již při přípravě vstupních dat, v takovém případě je potřeba přepracovat celý postup a opět verifikovat (31).

1.5.1.6. Implementace výsledků

Pokud vyhodnotíme verifikaci jako úspěšnou, můžeme postoupit do poslední fáze, a tou je implementace výsledků. Pokud byl postup ve všech fázích správný, mělo by po implementování výsledků dojít k pozitivnímu ovlivnění chování modelovaného systému (31).

1.5.2. Formulace distribučních úloh

Jak již bylo zmíněno výše, distribuční úlohy se řadí mezi optimalizační lineární úlohy. Tyto úlohy jsou nejtypičtější a velice důležitou skupinou úloh LP. Níže jsou uvedené některé typy, které jsou dále rozvedeny (31).

1.5.2.1. Dopravní problém

V dopravním problému je naším cílem vyřešit vztah mezi zdroji a cíli. Konkrétně o rozvržení rozvozu materiálu nebo zboží z dodavatelských míst k odběratelům. Cílem je co nejvíce ušetřit náklady. Každému zdroji je předepsaná omezená kapacita a omezená cílová místa. Každý vztah mezi jednotlivým cílem a zdrojem je ohodnocen.

Jako jednotka k ohodnocení vzájemného vztahu může sloužit například vykalkulovaný náklad na přepravu jedné jednotky (31).

Cílem řešení je snaha o naplánování výsledné trasy mezi jednotlivými zdroji a cílovými místy, aby bylo dosaženo uspokojení všech cílových míst bez překročení kapacity zdrojů (31).

1.5.2.2. Kontejnerový dopravní problém

Kontejnerový dopravní problém je modifikovaný dopravní problém. Jak už název napovídá, tak uvažujeme, že dopravu mezi zdroji a cílovými místy realizujeme kontejnery, které mají určitou kapacitu. Náklady se tedy nevztahují k jednotce zboží, ale k jednomu kontejneru. To znamená, že za kontejner zaplatíme stejnou částku ať je kontejner poloprázdný nebo plný (31).

1.5.2.3. Alokační problém

Opět se jedná o modifikaci dopravního problému. Modifikace spočívá v podmínce, že každé cílové místo může být zaváženo pouze jedním zdrojem (31).

1.5.2.4. Okružní dopravní problém

Okružní dopravní problém, více známý jako úloha obchodního cestujícího. Úkolem této úlohy je vyjít nebo vyjet z výchozího bodu a postupně se dostat do všech zadaných míst za podmínky, že každé místo se navštíví pouze jednou, posledním místem bude opět výchozí bod, jinak je pořadí libovolné (31).

Cílem okružního dopravního problému je najít co nejkratší cestu (31).

1.5.3. Dostupný software pro řešení optimalizačních úloh

Optimalizační úlohy lze řešit za pomoci tabulkových kalkulátorů nebo za pomoci profesionálních optimalizačních softwarů (31).

Pokud se zaměříme na tabulkové kalkulátory, tak jejich nespornou výhodou je, že pro běžného člověka jsou jednoduše dostupné. Nejrozšířenějším tabulkovým kalkulátorem je MS Excel. V MS Excel můžeme najít mezi rozšiřujícími funkcemi

finanční analýzy, nástroje pro statickou analýzu dat a také nástroje na optimalizační úlohy (31).

Pro řešení optimalizačních úloh lze použít aplikaci Řešitel (Solver). Tato aplikace patří mezi tak zvané add-in aplikace, které standardně v MS Excel nejsou vidět, protože se jedná o rozšiřující nástroje, ale lze si ho přidat přes nastavení možností a aktivování doplňků. Stejným způsobem lze například aktivovat i záložku Vývojář, kde naleznete nástroj Makro (31).

Mezi profesionální optimalizační software řadíme například LINDO. Tento program dokáže v nejrozšířenější verzi (extended LINDO) řešit optimalizační úlohy, které obsahují několik desítek proměnných i omezujících podmínek. Používá se především k řešení úloh lineárního programování (31).

2. Praktická část

Praktická část se zabývá modelem, který jsem vytvořila. Tento model simuluje proces optimalizace svozu tříděného odpadu, konkrétně smíšeného skla. Z důvodu zjednodušení modelové situace se zaměřím na vesnice, mezi kterými není velký provoz. Vesnice jsem zvolila z důvodu, že v případě simulace umístěné do většího města, by se úloha ztížila například o jednosměrné ulice a také o uvažovanou trasu dojezdu, kterou by nejspíš bylo potřeba měnit na základě aktuální dopravní situace.

Svoz pouze jedné suroviny jsem zvolila pro zjednodušení modelu, z toho důvodu také uvažuji pro svoz vozidlo, které sváží pouze jeden druh odpadu. Dále budu také uvažovat, že každá z vybraných vesnic vlastní právě jednu nádobu na smíšené sklo.

V praktické části nastíním aktuální situaci, vysvětlím, jaký druh distribuční úlohy jsem se rozhodla použít pro tvorbu modelu a vyhodnotím stávající situaci. Také popíši motivaci, na základě které jsem se rozhodla model sestavit. Dále popíši strukturu modelu a jeho funkce a návaznosti.

V posledních dvou kapitolách praktické části vyhodnotím výsledky simulace a blíže je popíšu a navrhuji opatření pro případnou další práci s modelem.

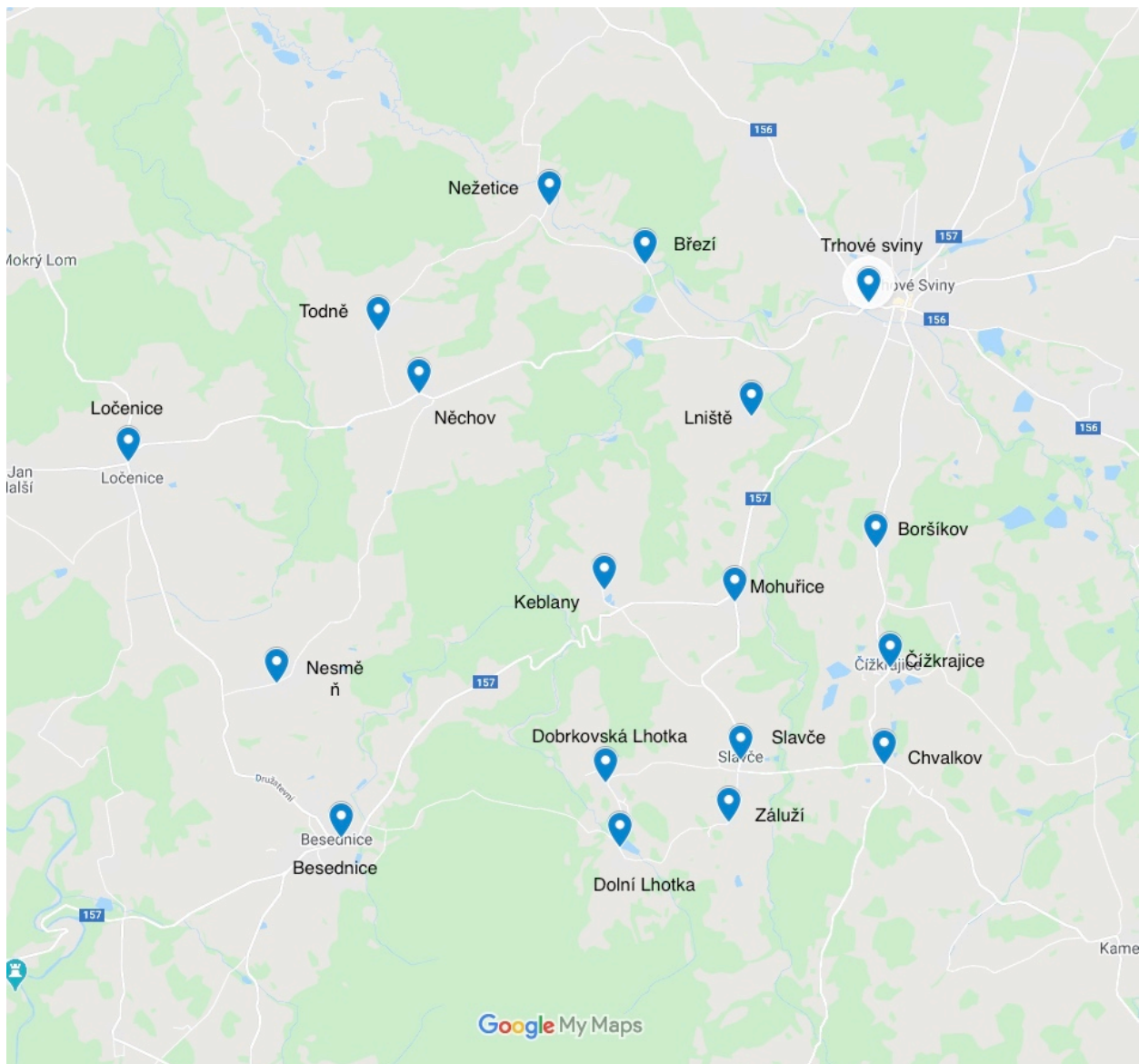
2.1. Nastínění vybrané simulace

Pro simulaci jsem si vybrala vesnice v jižních Čechách, konkrétně v okolí města Trhové Sviny.

V rámci simulace jsem si stanovila následující podmínky. Město Trhové Sviny je počátečním a koncovým bodem, zde vývoz neprobíhá. Počátečním a koncovým bodem je proto, že v blízkém okolí je to jedno z největších měst, proto svoz ve městě samotném probíhá zvlášť. Vůz absolvuje trasu mezi 17 vesnicemi a 1 městem.

Městem jsou již jmenované Trhové Sviny, názvy vesnic jsou následující: Březí, Nežetice, Todně, Něchov, Ločenice, Nesměň, Besednice, Keblany, Lniště, Mohuřice, Slavče, Dobrkovská Lhotka, Dolní Lhotka, Záluží, Chvalkov, Čížkrajice a Boršíkov.

Níže je uvedena mapa, na jejíž základě je možné si udělat představu o vzájemné vzdálenosti jednotlivých vesnic.



Obrázek 8: Mapa vybraných vesnic pro simulaci (zdroj:<https://www.google.com/maps/>)

Jak bylo již uvedeno výše, pracuji s předpokladem, že v každé vesnici se nachází jedna odpadová nádoba na smíšené sklo.

V tabulce níže uvádím vzdálenosti mezi jednotlivými vesnicemi a městem. Tyto vzdálenosti byly získány z výše uvedené mapy. Jako údaj o vzdálenosti neuvažujeme vzdušnou vzdálenost, ale vzdálenost bodů při jízdě po silnicích pro motorová vozidla, po které svozové vozidlo bez problému projede.

Tabulka 2: Tabulka vzdáleností mezi jednotlivými vesnicemi a městem (zdroj: vlastní)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------------------|--------------|-------|----------|-------|--------|---------|--------|-----------|---------|--------|----------|--------|-------------------|--------------|--------|----------|-----------|----------|
| Vzdálenost [km] | Trhové sviny | Březí | Nežetice | Todně | Něchov | Ločnice | Nesměň | Besednice | Keblany | Lniště | Mohuřice | Slavče | Dobrkovská Lhotka | Dolní Lhotka | Záluží | Chvalkov | Čížkrajce | Boršíkov |
| 1 Trhové Sviny | 0 | 3 | 4 | 6 | 5 | 9 | 12 | 10 | 6 | 3 | 4 | 6 | 8 | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 |
| 2 Březí | 3 | 0 | 1 | 4 | 4 | 7 | 11 | 13 | 9 | 2 | 7 | 9 | 11 | 11 | 10 | 9 | 7 | 6 |
| 3 Nežetice | 4 | 1 | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 12 | 10 | 4 | 9 | 11 | 12 | 13 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| 4 Todně | 6 | 4 | 2 | 0 | 1 | 4 | 7 | 9 | 12 | 5 | 10 | 12 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 9 |
| 5 Něchov | 5 | 4 | 4 | 1 | 0 | 3 | 7 | 9 | 11 | 4 | 9 | 11 | 13 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 |
| 6 Ločnice | 9 | 7 | 6 | 4 | 3 | 0 | 3 | 5 | 10 | 8 | 11 | 12 | 9 | 9 | 10 | 14 | 13 | 12 |
| 7 Nesměň | 12 | 11 | 10 | 7 | 7 | 3 | 0 | 3 | 8 | 11 | 9 | 10 | 7 | 6 | 8 | 12 | 13 | 15 |
| 8 Besednice | 10 | 13 | 12 | 9 | 9 | 5 | 3 | 0 | 5 | 8 | 6 | 7 | 4 | 3 | 5 | 9 | 10 | 12 |
| 9 Keblany | 6 | 9 | 10 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 0 | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| 10 Lniště | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | 8 | 11 | 8 | 4 | 0 | 2 | 4 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 5 |
| 11 Mohuřice | 4 | 7 | 9 | 10 | 9 | 11 | 9 | 6 | 2 | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 12 Slavče | 6 | 9 | 11 | 12 | 11 | 12 | 10 | 7 | 3 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 13 Dobrkovská Lhotka | 8 | 11 | 12 | 14 | 13 | 9 | 7 | 4 | 4 | 6 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| 14 Dolní Lhotka | 8 | 11 | 13 | 15 | 13 | 9 | 6 | 3 | 5 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | 5 | 6 |
| 15 Záluží | 7 | 10 | 11 | 13 | 12 | 10 | 8 | 5 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 | 5 |
| 16 Chvalkov | 6 | 9 | 10 | 12 | 11 | 14 | 12 | 9 | 4 | 6 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| 17 Čížkrajce | 4 | 7 | 9 | 11 | 10 | 13 | 13 | 10 | 5 | 7 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| 18 Boršíkov | 3 | 6 | 8 | 9 | 8 | 12 | 15 | 12 | 7 | 5 | 6 | 4 | 6 | 6 | 5 | 2 | 1 | 0 |

2.2. Problém obchodního cestujícího (TSP)

Z distribučních úloh lineárního programování popsaných výše (kapitola 1.5.2.) jsem si pro simulaci zvolila Okružní distribuční problém (kapitola 1.5.2.4.), anglicky Travelling Salesman Problem, odtud také pochází zkratka TSP.

Budu se snažit hledat cestu vycházející z počátečního bodu, kterým jsou Trhové Sviny, která povede přes všechny uvedené vesnice. Každou vesnici navštíví vozidlo z důvodu odvozu smíšeného skla maximálně jednou.

Budu hledat nejkratší možnou trasu, která bude odpovídat zadaným podmínkám.

Pro tento konkrétní model je důležitá ještě jedna podmínka. Model nebude hledat vždy nejkratší možnou cestu. Bude hledat nejkratší možnou cestu, která bude vyhovovat podmínce průjezdnosti. To znamená, že svozové vozidlo bude projíždět pouze na cestách, jejichž povaha je uzpůsobena k jízdě takového vozidla. Silnice bude mít odpovídající rozměry a při průjezdu nebude hrozit zničení vozidla.

Tabulka 2 zahrnuje pouze trasy, které této podmínce odpovídají.

Modelování bude probíhat v programu Microsoft Excel za využití aplikace Solver.

2.3. Zhodnocení současné situace

V simulaci vycházíme z aktuálního stavu, kdy je vývoz odpadu realizován jednou za 14 dní. Trasa je následující: Trhové Sviny – Nesměň – Ločnice – Todně – Nežetice – Březí – Něchov – Besednice – Keblany – Mohuřice – Dobrkovská Lhotka – Dolní Lhotka – Záluží – Slavče – Lniště – Chvalkov – Čížkrajce – Boršíkov – Trhové Sviny.



Obrázek 9: Možné spojení mezi jednotlivými vesnicemi (zdroj: <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?hl=cs&mid=1E-tig4rNPbPFZxjj822EIKX4V3U5Jv1&ll=48.819497329289476%2C14.581495700000005&z=13>)

Celková trasa má nyní 64 km.

2.4. Motivace pro provedení simulace

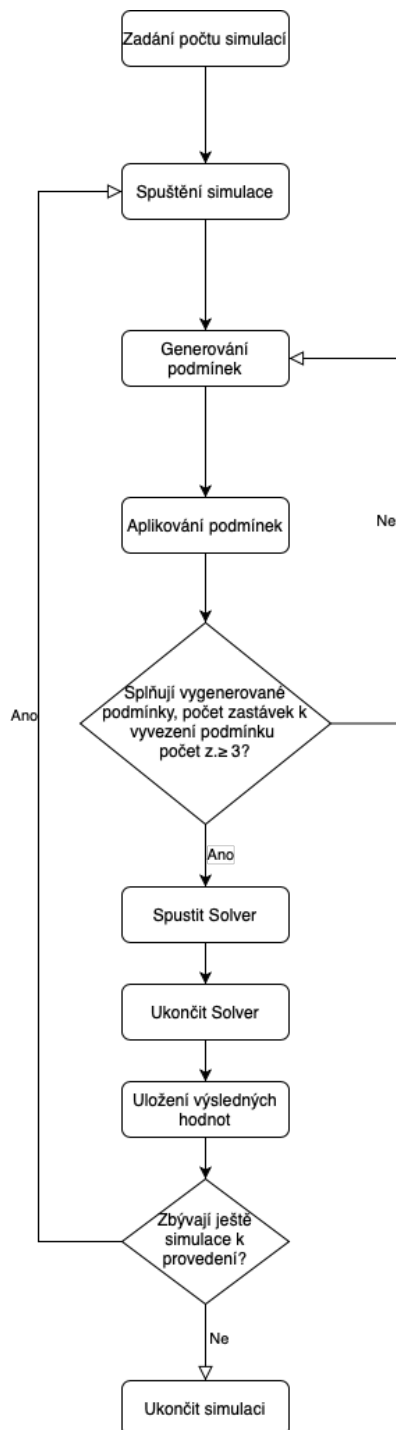
Model bude simulovat situaci, kdy došlo k nainstalování IoT senzorů do odpadových nádob na smíšené sklo.

Z modelu se budu snažit zjistit, zda na základě optimalizace dojde k úspoře přímých nákladů, nepřímých nákladů a také času. Budu také testovat, při jakém procentu zaplnění bude ideální odpadové nádoby vyvézt.

2.5. Popis zjednodušeného modelu

Model byl vytvořen v MS Excel, za pomoci VBA (Visual basic for Application).

Níže je graficky zobrazena posloupnost modelu. Jednotlivé kroky a funkce, které jsou využity, budou rozvedeny dále v textu.



Obrázek 10: Grafické znázornění postupu simulace (zdroj: draw.io)

2.5.1. MS Excel

Jak již bylo řečeno výše, celý model byl vytvořen v programu MS Excel, typ produktu Microsoft Office 365 ProPlus. Byl vytvořen na základě podkladu o dostupném software pro řešení optimalizačních úloh z knihy Programy pro matematické modelování (31).

2.5.1.1. Solver

Nejtěžejnější pro vytvoření modelu bylo použití aplikace Solver v MS Excel, česky Řešitel, v tomto textu dále označován jako Solver. Tato aplikace na základě vstupních dat je schopna najít nejkratší cestu. Pro nás byly vstupními daty vzdálenosti mezi jednotlivými zastávkami.

Vytvoření Solvera bylo závislé na dvou krocích. V prvním kroku bylo potřeba vytvořit tabulku, kde se napsala čísla vesnic od 1 do 18 s tím, že bylo potřeba nakonec znovu zařadit 1, aby bylo možné vypočítat vzdálenost mezi poslední vesnicí a následným návratem do Trhových Svinů. Následně k těmto číslům přes funkci SVYHLEDAT byl přes tabulku vzdáleností vyhledán název vesnice. Dále bylo potřeba použít funkci INDEX. Funkce INDEX na základě dvou po sobě jdoucích čísel je schopna z tabulky vzdáleností vyhledat vzdálenosti mezi konkrétními dvěma čísly, která symbolizují vesnici. Čísla byla použita pro zjednodušení, jelikož funkce index je schopna vyhledávat mezi čísly, ale ne mezi názvy.

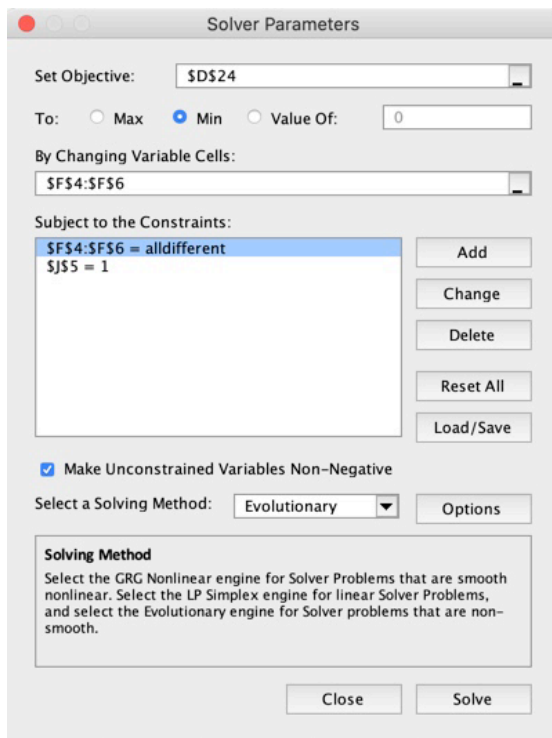
Po zpracování prvního kroku vypadala tabulka vizuálně takto. V tabulce je zatím k vidění původní trasa svozu odpadu.

Tabulka 3: Aktuální způsob svozu odpadu v daných lokalitách

| Název | Přiřazené číslo | Vzdálenost [km] | Zastávka č. |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Trhové Sviny | 1 | 12 | 1 |
| Nesměň | 7 | 3 | 2 |
| Ločenice | 6 | 4 | 3 |
| Todně | 4 | 2 | 4 |
| Nežetice | 3 | 1 | 5 |
| Březí | 2 | 4 | 6 |
| Něchov | 5 | 9 | 7 |
| Besednice | 8 | 5 | 8 |
| Keblany | 9 | 2 | 9 |
| Mohuřice | 11 | 4 | 10 |
| Dobrkovská Lhotka | 13 | 1 | 11 |
| Dolní Lhotka | 14 | 1 | 12 |
| Záluží | 15 | 1 | 13 |
| Slavče | 12 | 4 | 14 |
| Lniště | 10 | 6 | 15 |
| Chvalkov | 16 | 1 | 16 |
| Čížkrajice | 17 | 1 | 17 |
| Boršíkov | 18 | 3 | 18 |
| Trhové Sviny | 1 | | |

Celková trasa [km] **64**

Ve druhém kroku bylo již možné připravit samotnou aplikaci Solver. Jelikož jsem chtěla, aby Solver sledoval nejkratší vzdálenost, vybrala jsem nejdřív buňku, kam se má zobrazovat nejkratší trasa – v Solveru označovaná jako účelová funkce. Dále bylo potřeba zadat, že chci vyhledat nejkratší trasu. Jako proměnné modelu jsem zvolila přiřazená čísla, která jsou před započítáním simulace očíslována podle původní trasy. Důležité bylo nezapomenout nastavit omezující podmínky. Zásadní omezující podmínkou bylo, že každá zastávka se mi zobrazí ve výsledku hledání nejkratší možné cesty pouze jednou a pak také, že místo, kde se vždy začíná, jsou Trhové Sviny. Poté už bylo potřeba jen zvolit délku řešení, kterou jsme zvolila 10 sekund. Délka řešení byla zvolena na základě typu algoritmu, na kterém model funguje. Po uplynutí 10 sekund se již hodnoty výrazně neměnily, proto jsem nechala kratší časový rámec, který byl pro potřebné výstupy dostačující. Jako metodu jsem zvolila metodu evolučního algoritmu, která je určena pro nehladké nelineární problémy.



Obrázek 11: Nastavení aplikace Solver pro simulaci

Takto připravený Solver byl schopný vyřešit primární optimalizaci původní trasy, kterou bylo možné zkrátit. Tato optimalizace bude rozvedena dále v textu.

2.5.1.2. VBA

Abych však byla schopna správně nasimulovat situaci, kdy jsou senzory namontované v odpadových nádobách a zasílají data, bylo nutné Solver rozšířit.

Pro toto rozšíření jsem zvolila Visual Basic for Applications, protože umožňuje tvorbu cyklu a několikanásobné spouštění aplikace Solver.

Ke zlepšení uživatelské přívětivosti nástroje jsem využila i formulář UserForm, který umožňuje vizuálně zobrazit lokality a generovat pro průběh simulace.

2.5.1.2.1. Formulář pro generaci podmínek simulace

Jako podklad pro UserForm jsem použila mapu, která již byla ukázána výše v souvislosti s nastíněním vybrané situace.

Obrázek 12: Podoba UserForm - Podminky ve VBA

Každá vesnice dostala přiřazený box, na kterém lze vybrat číslo 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 a 100. Tyto čísla reprezentují procenta, tak jako by senzor vysílal údaje o procentním zaplnění nádoby. Data je možné vybrat ručně nebo po stisknutí tlačítka Generovat se vygenerují náhodné hodnoty. Pokud chceme vygenerovaná nebo ručně nastavená data použít, stiskneme tlačítko aplikovat. Data se nám přepíše do listu Simulace s podmínkami, kde v závislosti na zvolené procentní hranici, při jakém zaplnění chceme nádobu vyvézt, nastavíme funkci KDYŽ, která nám následně odpovídá ANO / NE ukáže, zda danou nádobu bude potřeba vyvézt.

Takto nastavené podmínky se následně v proceduře Simulace_podminky napojí na proceduru Solver. Abych však docílila toho, že se mi výběr zastávek bude vztahovat pouze na zastávky, kde je potřeba vyvézt odpadovou nádobu, bylo potřeba ve funkci Solver vyměnit sloupec, který bude působit jako proměnná modelu. Tentokrát jsme zvolili číslo zastávky. Spolu s touto výměnou jsme ještě přes funkci SVYHLEDAT spárovali pomocnou tabulku na zpětné propsání přiřazených čísel tak, aby výsledná celková vzdálenost byla brána ze správných proměnných.

V tabulce níže je k vidění tabulka, kam se zapisují vygenerované výsledky, které se za pomoci procedury zapsané ve VBA zapíší do kolonky pod nadpisem stav zaplněnosti. Ve sloupci s názvem Vyvězt vidíme výsledky funkce KDYŽ. Vpravo vidíme tabulku na zpětné propsání přiřazených čísel.

Tabulka 4: Rozšíření aplikace Solver o vygenerované podmínky

| Základní podmínka začátek a konec | | |
|-----------------------------------|--|---|
| Trhové. Sviný | | |
| 1 | | 1 |

| č. | Název | Stav zaplněnosti | Vyvězt |
|----|-------------------|------------------|--------|
| 2 | Březí | 20 | NE |
| 3 | Nežetice | 60 | ANO |
| 4 | Todně | 80 | ANO |
| 5 | Něchov | 60 | ANO |
| 6 | Ločnice | 10 | NE |
| 7 | Nesměň | 0 | NE |
| 8 | Besednice | 70 | ANO |
| 9 | Keblary | 40 | ANO |
| # | Lniště | 40 | ANO |
| # | Mohuřice | 50 | ANO |
| # | Slavče | 90 | ANO |
| # | Dobrkovská Lhotka | 50 | ANO |
| # | Dolní Lhotka | 60 | ANO |
| # | Záluží | 50 | ANO |
| # | Chvalkov | 60 | ANO |
| # | Čížkrajice | 0 | NE |
| # | Boršíkov | 30 | NE |

| | |
|----|----|
| 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 4 |
| 4 | 5 |
| 5 | 8 |
| 6 | 9 |
| 7 | 10 |
| 8 | 11 |
| 9 | 12 |
| 10 | 13 |
| 11 | 14 |
| 12 | 15 |
| 13 | 16 |
| 14 | 1 |
| 15 | |
| 16 | |
| 17 | |
| 18 | |
| 19 | |

2.5.2. Vstupní data do listu náklady

Aby bylo možné vyčíslit náklady a porovnat je s původními náklady, bylo potřeba si sestavit tabulku nákladů.

V této bakalářské práci jsem se zabývala pouze přímými náklady.

Pro obsluhu popelářského vozu je potřeba jeden řidič a jeden popelář, který se fyzicky postará o vysypání odpadové nádoby. Dle nabídek práce u jednotlivých společností jsem si určila, že hrubá měsíční mzda řidiče je 30 000 Kč. Hrubá mzda popeláře je 25 000 Kč. V tabulce jsou vidět údaje o měsíční a roční hrubé a superhrubé mzdě. Pro další výpočty nás bude zajímat pouze superhrubá mzda, kterou jsme získali z hrubé mzdy vynásobením koeficientem 1,34, který nám říká, jaké jsou skutečné náklady firmy na jednoho zaměstnance. 34 % navíc oproti hrubé mzdě jsou odvody zaměstnavatele na zdravotní a sociální pojištění.

Pro provoz služby na svoz odpadů je potřeba přizpůsobené vozidlo. V našem případě je to vozidlo Mercedes Benz Antos 2530 L, jehož pořizovací cena bez DPH

byla 173 500 €, kurz Eura byl dle stránek České národní banky dne 7.4.2020 27,22 Kč (32). Po přepočtu na české koruny byla tedy cena vozu bez DPH 4 721 802,5 Kč.

Níže je zobrazen automobil, který uvažujeme při počítání přímých nákladů na 1 rok provozu. Jeho průměrná spotřeba je 30 litrů nafty na 100 kilometrů.

V tabulce, která je zobrazena pod inzerátem na popelářský vůz, také najdete odpisy. Automobil se řadí do 2. odpisové skupiny, odepisujeme jej tudíž 5 let. Pro odpis jsem zvolila rovnoměrné odpisy, které se v případě druhé odpisové skupiny odpisují následně. V prvním roce se odepíše 11 % z pořizovací ceny a v dalších letech se pak odepisuje 22,25 %. (33)

Pro srovnání nákladů je také potřeba znát cenu nafty. Ta byla dne 7.4.2020 dle kurzu ČNB 27,59 Kč na 1 litr nafty. (32)

Jelikož se jedná o nový automobil, do období, které vyhodnocuji, nepočítám s náklady na údržbu.

€ 173500
Netto cena
≈ \$ 188900
≈ CZK 4722000

€ 213405
Cena s DPH

Kontakt s dealerem

Značka: MERCEDES-BENZ
Model: Antos 2530 L
Typ: popelářský vůz
Rok výroby: 2019
Najeto: 300 km
Lokalizace: Polsko
Szczecin
Datum zanesení: déle než jeden 1 měsíc
Autoline ID: ZR18490

1/7

Zobrazit všechny fotografie

Obrázek 13: Inzerát na prodej popelářského vozu (zdroj: <https://autoline.cz/-/prodej/popelarske-vozy/MERCEDES-BENZ-Antos-2530-L--19050916583266047300>)

Tabulka 5: Tabulka podkladů pro výpočet nákladů

| Profese | Hrubá mzda | Superhrubá mzda | Hrubá mzda roční | Super hrubá mzda roční |
|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| řidič | 30 000,00 Kč | 40 200,00 Kč | 360 000,00 Kč | 482 400,00 Kč |
| popelář | 25 000,00 Kč | 33 500,00 Kč | 300 000,00 Kč | 402 000,00 Kč |
| CELKEM | 55 000,00 Kč | 73 700,00 Kč | 660 000,00 Kč | 884 400,00 Kč |

| Vozidlo | Cena bez DPH | kurz (dne 7.4.2020) 1€ = | Cena v Kč bez DPH |
|-----------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|
| Mercedes Benz Antos 2530 L | 173 500,00 € | 27,22 Kč | 4 721 803 Kč |
| Technické údaje | | | |
| Rok výroby | 2019 | | |
| Palivová nádrž [l] | 290 | | |
| Typ nádrže | naftová | | |
| Průměrná spotřeba na 100 km = 30l | | | |

| Nafta | cena za 1l | cena za plnou nádrž |
|---------------------|------------|---------------------|
| (kurz dne 7.4.2020) | 27,59 Kč | 8 001,10 Kč |

| Průměrná spotřeba | | |
|-------------------|-------|-----------|
| vzdálenost | litry | cena |
| 100 | 30 | 827,70 Kč |
| 1 | 0,3 | 8,28 Kč |

| Odpisy | |
|---------------------------------------|--------|
| Odpisová skupina | 2 |
| Doba odepisování | 5 let |
| Rovnoměrné odpisy - Odepisované sazby | |
| 1.rok odepisování | 11% |
| další roky odepisování | 22,25% |

2.5.3. Popis průběhu simulace

Výše jsem vysvětlila funkce, na kterých je simulace závislá, a jejich provázanost. Nyní již k samotné simulaci.

2.5.3.1. Simulace bez podmínek

U simulace bez podmínek jsem se pouze na základě aplikace Solver pokoušela zjistit, zda je možné najít kratší trasu, která by přesto stále propojovala všechny zastávky. Z toho samozřejmě také vyplývá možnost ušetřit náklady na pohonných hmotách.

Tato simulace je k vidění na listě simulace bez podmínek.

Je také možné si všimnout základní podmínky, která je společná pro oba typy simulace, tedy pro simulaci bez podmínek i simulaci s podmínkami. Tato podmínka nám říká, že pokud se čísla shodují, tak je jako první zastávka označeno město Trhové Sviny, odkud začínají všechny svozy odpadu.

Tabulka 6: Podoba základní podmínky

| Základní podmínka začátek a konec | |
|-----------------------------------|---|
| Trhové Sviny | |
| 1 | 1 |

2.5.3.2. Simulace s podmínkami

Simulace s podmínkami byla prováděna ze dvou důvodů. Prvním důvodem byla otázka, jaká bude úspora nákladů při optimalizaci za pomoci dat odesílaných senzory. Druhým důvodem bylo porovnání výsledků simulací, pokud bychom senzory nastavili na tři typy hladiny, kdy mají indikovat potřebu vývozu. Hladiny byly zvoleny tři a to 40, 60 a 80 %.

2.6. Výsledky simulací v modelu

Při prezentování výsledků modelu u každé části modelu nejprve popíši, jak se daná trasa proměnila, popřípadě, co jsem díky části simulace zjistila. U každé části pak ještě uvedu vyčíslené náklady za období 5 let. V poslední podkapitole 2.6.3. uvedu porovnání nákladů dílčích simulací.

2.6.1. Simulace bez podmínek

V simulaci bez podmínek jsem se snažila zjistit, zda je možné zkrátit původní trasu jen na základě změny pořadí zastávek.

To se ukázalo jako možné. Trasu se za pomoci změny pořadí zastávek povedlo z 64 kilometrů zkrátit na 40 kilometrů.

To znamená, že se při frekvenci výjezdu 1krát za 14 dní ujede ročně při průměrném počtu 52 týdnů v roce, kdy počítáme, že vůz vyjede 26krát, o 624 kilometrů méně. K číslu jsme došli odečtením čísla 1040 od čísla 1664. První číslo reprezentuje celkový počet kilometrů najetých při svozu odpadu při zachování původní trasy. Druhé číslo je celkový počet kilometrů ujetých za rok u optimalizované trasy, kde jedna cesta popelářského vozu je dlouhá 40 kilometrů.

Tabulka 7: Optimalizace trasy bez aplikování podmínek

| Název | Přiřazené číslo | Vzdálenost [km] | Zastávka č. |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Trhové Sviny | 1 | 12 | 1 |
| Nesměň | 7 | 3 | 2 |
| Ločenice | 6 | 4 | 3 |
| Todně | 4 | 2 | 4 |
| Nežetice | 3 | 1 | 5 |
| Březí | 2 | 4 | 6 |
| Něchov | 5 | 9 | 7 |
| Besednice | 8 | 5 | 8 |
| Keblany | 9 | 2 | 9 |
| Mohuřice | 11 | 4 | 10 |
| Dobrkovská Lhotka | 13 | 1 | 11 |
| Dolní Lhotka | 14 | 1 | 12 |
| Záluží | 15 | 1 | 13 |
| Slavče | 12 | 4 | 14 |
| Lniště | 10 | 6 | 15 |
| Chvalkov | 16 | 1 | 16 |
| Čížkrajice | 17 | 1 | 17 |
| Boršíkov | 18 | 3 | 18 |
| Trhové Sviny | 1 | | |

➔

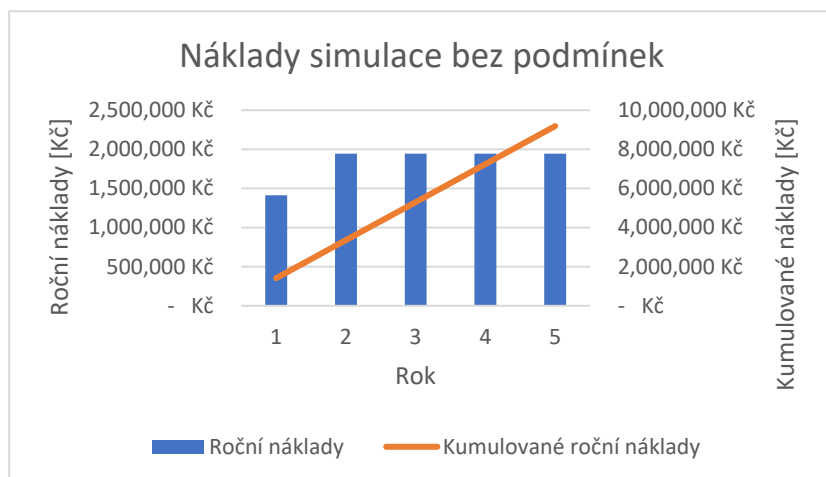
| Název | Přiřazené číslo | Vzdálenost [km] | Zastávka č. |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Trhové Sviny | 1 | 3 | 1 |
| Březí | 2 | 1 | 3 |
| Nežetice | 3 | 2 | 2 |
| Todně | 4 | 1 | 1 |
| Něchov | 5 | 3 | 3 |
| Ločenice | 6 | 3 | 3 |
| Nesměň | 7 | 3 | 8 |
| Besednice | 8 | 4 | 6 |
| Dobrkovská Lhotka | 13 | 1 | 9 |
| Dolní Lhotka | 14 | 1 | 10 |
| Záluží | 15 | 1 | 11 |
| Slavče | 12 | 2 | 12 |
| Mohuřice | 11 | 2 | 13 |
| Lniště | 10 | 4 | 14 |
| Keblany | 9 | 4 | 15 |
| Chvalkov | 16 | 1 | 16 |
| Čížkrajice | 17 | 1 | 17 |
| Boršíkov | 18 | 3 | 18 |
| Trhové Sviny | 1 | | |

Celková trasa [km] 64 **Celková trasa [km]** 40

Spolu se zkrácením trasy jsem si také vypočítala přímé náklady při trase dlouhé 40 km. Celková částka za 5 let byla 9 186 843 Kč.

Tabulka 8: Náklady při provedení simulace bez podmínek

| rok | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mzdy | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč |
| Odpisy na nákladní automobil | 519 398 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč |
| Počet najetých km (simulace bez podmínek) | 1 040 Kč | 1 040 Kč | 1 040 Kč | 1 040 Kč | 1 040 Kč |
| Náklady na palivo | 8 608 Kč | 8 608 Kč | 8 608 Kč | 8 608 Kč | 8 608 Kč |
| CELKEM | 1 412 406 Kč | 1 943 609 Kč | 1 943 609 Kč | 1 943 609 Kč | 1 943 609 Kč |
| Kumulované náklady | 1 412 406 Kč | 3 356 015 Kč | 5 299 625 Kč | 7 243 234 Kč | 9 186 843 Kč |
| CELKEM 5 let | 9 186 843 Kč | | | | |



Graf 2: Náklady při simulaci bez podmínek

Graf zobrazuje přehledněji náklady z tabulky výše.

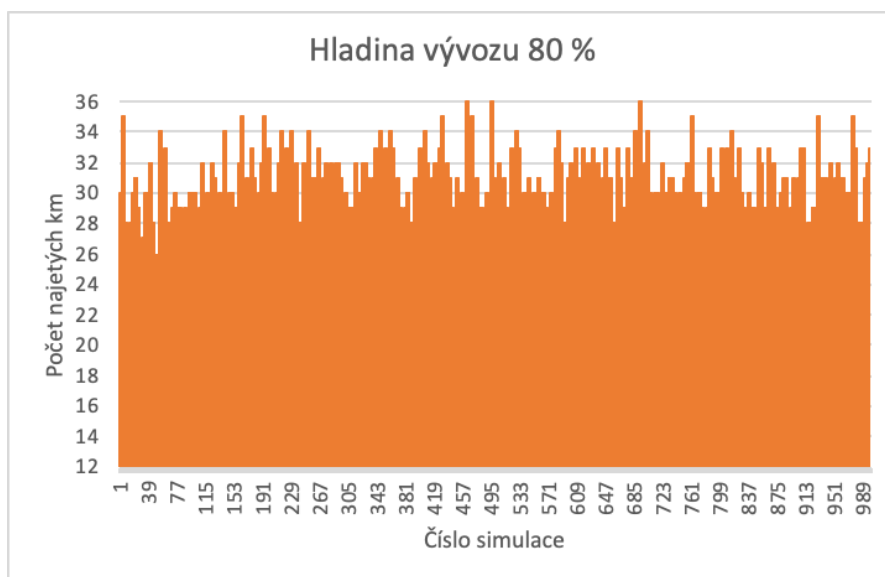
2.6.2. Simulace s podmínkami

Při simulaci s podmínkami proběhlo celkem 3000 simulací. Pro každou hladinu tedy 1000 simulací.

Jednotlivé hladiny níže nám reprezentují hranici, při které senzor zahlásí, že je potřeba odpadovou nádobu vyvézt.

Zvolila jsem tři hranice, a to hranice 80, 60 a 40 %. U každé hranice mě po provedení 1000 simulací zajímala průměrná vzdálenost jednoho svozu, průměrný počet zastávek, které popelářský vůz absolvuje při svozu nádob, a pak také nejdelší a nejkratší svozová trasa.

2.6.2.1. Hladina zaplnění 80 %



Graf 3: Simulace při hladině vývozu nádob nastavené na 80 %

Průměr z těchto 1000 simulací při nastavení hladiny na 80 % byl, že jedna cesta byla dlouhá průměrně 27 kilometrů. Nejdelší cesta byla 36 kilometrů a nejkratší pak 12 kilometrů.

Z této simulace je také možné zjistit průměrný počet zastávek. Průměrný počet zastávek, kdy bylo potřeba vyvézt odpad, byl 6.

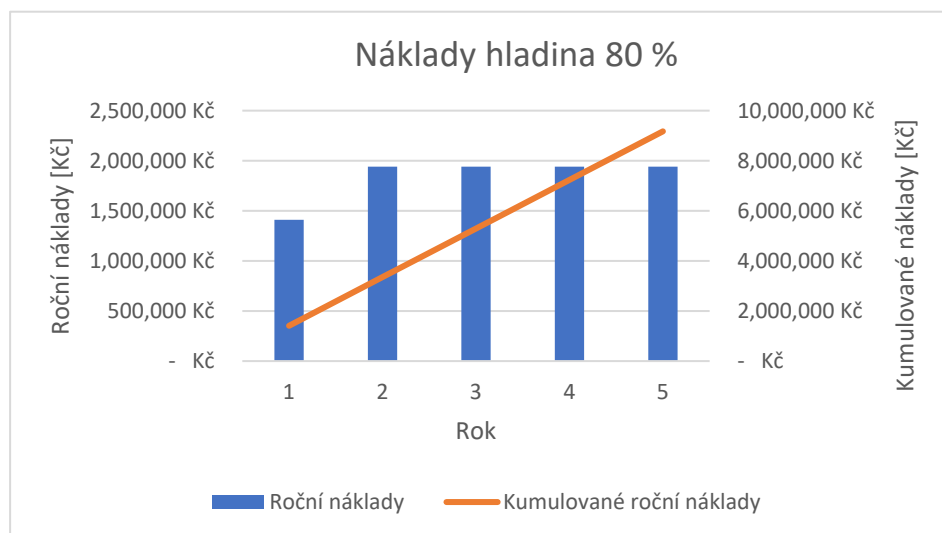
Pro porovnání jsem si také spočítala mediány pro počet zastávek a délku trasy. Medián pro počet zastávek vyšel totožný jako průměr, proto lze říct, že v tomto případě nedošlo k výsledkům simulace, které by bylo možné označit jako odlehlé výsledky. Při porovnání průměru délky trasy a jejího mediánu je zde rozdíl 1, tedy medián vyšel v tomto případě 28. Vzhledem k tomu, že se jedná o rozdíl 1, bude číslo odlehlých výsledků simulace velmi malé.

Výsledky jednotlivých simulací na této hladině je možné najít v příloze 1 na listu s názvem Hladina 80 %.

Co se nákladů týče, při vývozu odpadu při hranici zaplněnosti 80 % vychází náklady za období 5 let 9 172 529 Kč. Jednotlivé náklady za každý rok naleznete v tabulce níže.

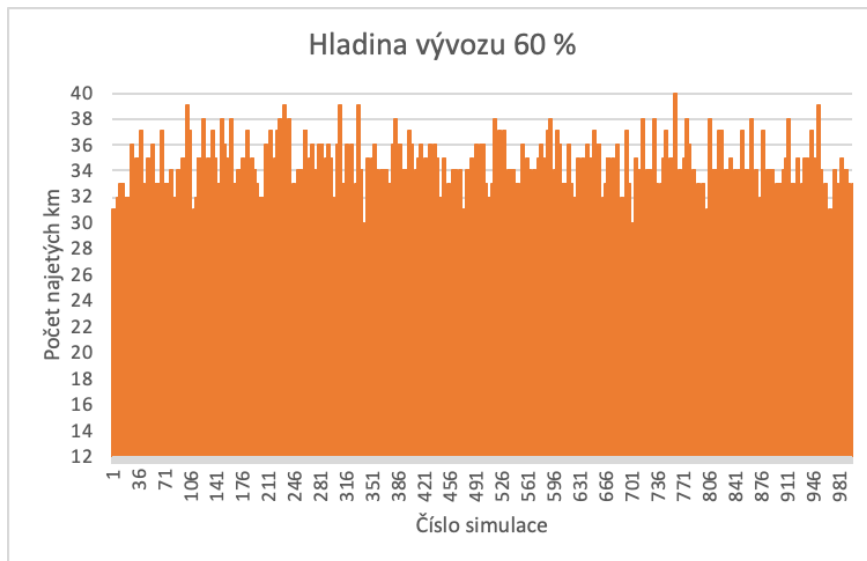
Tabulka 9: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 80 %

| rok | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mzdy | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč |
| Odpisy na nákladní automobil | 519 398 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč |
| Počet najetých km (simulace s podmínkami) hladina 80 % | 694 Kč | 694 Kč | 694 Kč | 694 Kč | 694 Kč |
| Náklady na palivo | 5 745 Kč | 5 745 Kč | 5 745 Kč | 5 745 Kč | 5 745 Kč |
| CELKEM | 1 409 544 Kč | 1 940 746 Kč | 1 940 746 Kč | 1 940 746 Kč | 1 940 746 Kč |
| Kumulované náklady | 1 409 544 Kč | 3 350 290 Kč | 5 291 036 Kč | 7 231 782 Kč | 9 172 529 Kč |
| CELKEM 5 let | 9 172 529 Kč | | | | |



Graf 4: Náklady hladina 80 %

2.6.2.2. Hladina zaplnění 60 %



Graf 5: Simulace při hladině vývozu nádob nastavené na 60 %

V tomto případě jsem hladinu zaplnění, při jejíž překročení nebo dosažení má dojít k vyvezení, nastavila na 60 %. Očekávala jsem, že čím nižší bude hladina, při které je třeba odpadovou nádobu vyvézt, tím více nádob bude potřeba vyvézt a tím pádem se zvýší průměrná vzdálenost ujetá při jednom svozu. Toto očekávání se ukázalo jako správné.

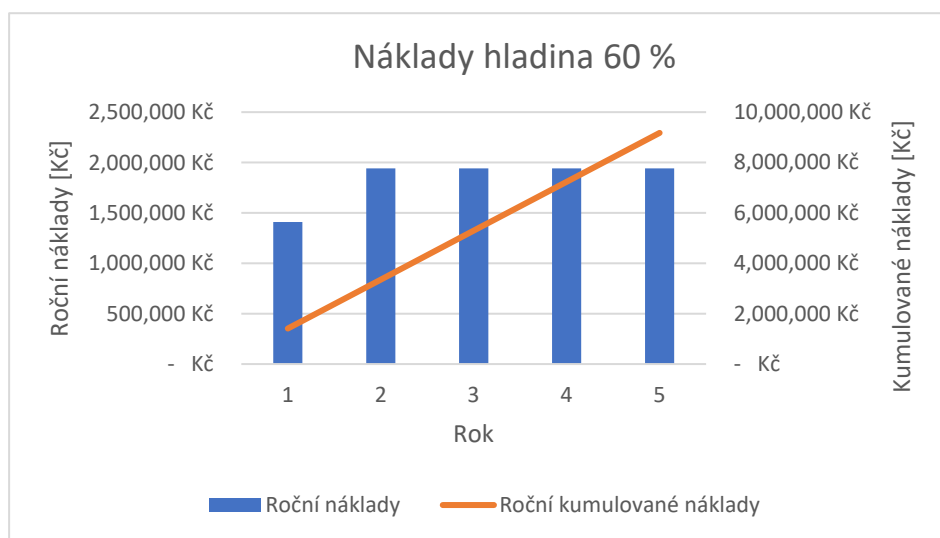
Průměrná vzdálenost při počtu 1000 simulací byla 31 kilometrů. Průměrný počet zastávek, kde při jednom svozu bylo třeba vyvézt odpadové nádoby byl 9. Nejdelší trasa byla dlouhá 41 kilometrů a nejkratší 12 kilometrů.

Pokud se zaměřím opět na mediány, jsou při tomto typu simulace naprosto stejné. Tedy medián pro délku trasy je 31 kilometrů a medián počtu navštívených zastávek odpovídá číslu 9.

Celkové náklady za období 5 let činí 9 176 822 Kč.

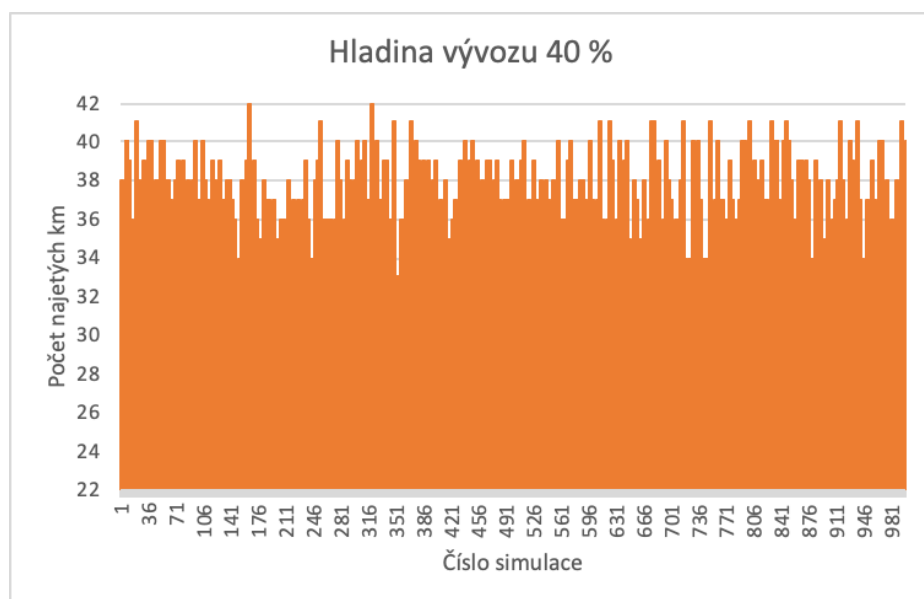
Tabulka 10: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 60 %

| rok | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mzdy | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč |
| Odpisy na nákladní automobil | 519 398 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč |
| Počet najetých km (simulace s podmínkami) hladina 60 % | 798 Kč | 798 Kč | 798 Kč | 798 Kč | 798 Kč |
| Náklady na palivo | 6 604 Kč | 6 604 Kč | 6 604 Kč | 6 604 Kč | 6 604 Kč |
| CELKEM | 1 410 402 Kč | 1 941 605 Kč | 1 941 605 Kč | 1 941 605 Kč | 1 941 605 Kč |
| Kumulované náklady | 1 410 402 Kč | 3 352 007 Kč | 5 293 612 Kč | 7 235 217 Kč | 9 176 822 Kč |
| CELKEM 5 let | 9 176 822 Kč | | | | |



Graf 6: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 60 %

2.6.2.3. Hladina zaplnění 40 %



Graf 7: Simulace při hladině vývozu nádob nastavená na 40 %

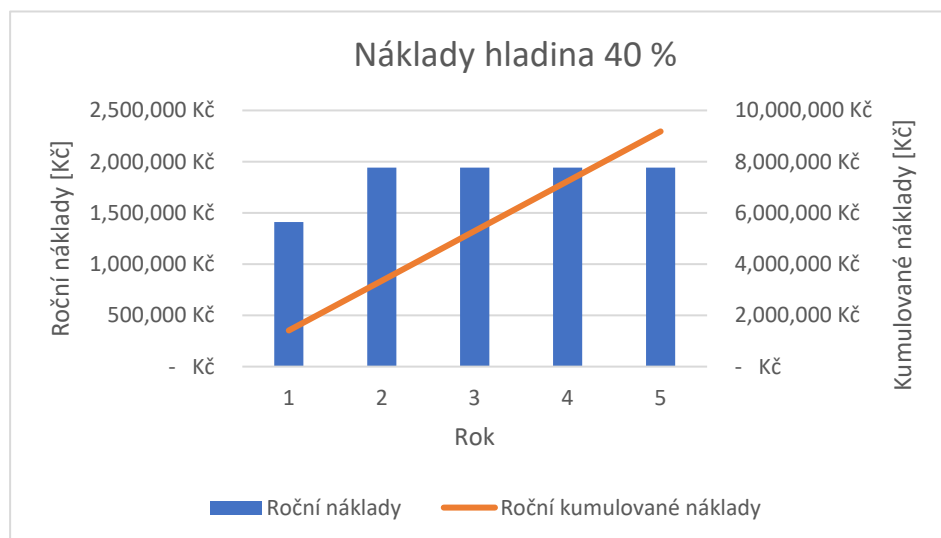
Po provedení simulací na hladině zaplnění 40 % vyšlo, že průměrná vzdálenost jedné cesty při svozu odpadu byla 35 kilometrů dlouhá, průměrně bylo vyvezen odpad ze 12 míst. Nejdelší trasa byla 42 kilometrů dlouhá, nejkratší trasa pak měřila 22 kilometrů.

Stejně jako u simulace s podmínkami na hladině zaplnění 60 % jsou mediány totožné jako průměrné hodnoty.

Náklady při tomto typu simulace jsou 9 180 977 Kč.

Tabulka 11: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 40 %

| rok | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mzdy | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč | 884 400 Kč |
| Odpisy na nákladní automobil | 519 398 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč | 1 050 601 Kč |
| Počet najetých km (simulace s podmínkami) hladina 40 % | 899 Kč | 899 Kč | 899 Kč | 899 Kč | 899 Kč |
| Náklady na palivo | 7 439 Kč | 7 439 Kč | 7 439 Kč | 7 439 Kč | 7 439 Kč |
| CELKEM | 1 411 237 Kč | 1 942 440 Kč | 1 942 440 Kč | 1 942 440 Kč | 1 942 440 Kč |
| Kumulované náklady | 1 411 237 Kč | 3 353 677 Kč | 5 296 117 Kč | 7 238 557 Kč | 9 180 997 Kč |
| CELKEM 5 let | 9 180 997 Kč | | | | |



Graf 8: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 40 %

2.6.3. Náklady

Při vyhodnocování nákladů jsem se zaměřila na horizont 5 let. A porovnávala jsem data, která jsem získala z výchozího stavu, simulace bez podmínek a simulace s podmínkami zvlášť pro každou hladinu.

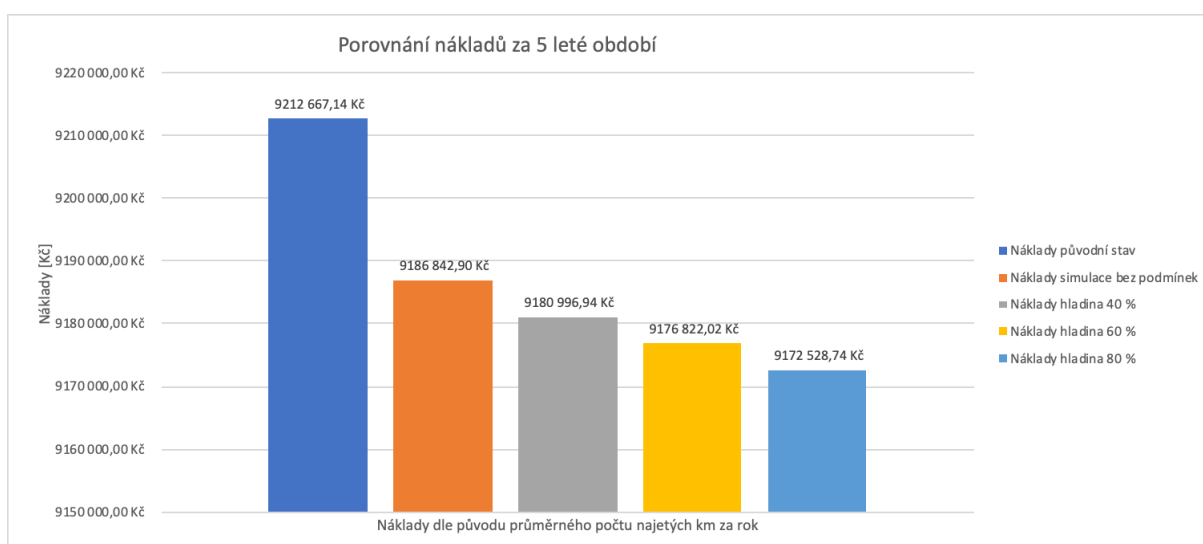
Nejdříve jsem si pro každý stav vytvořila svou tabulku, kde jsem vypočítala náklady na mzdy a odpisy na nákladní automobil, které jsou pro všechny tabulky stejné.

Dále jsem počítala počet najetých kilometrů při počtu 52 týdnů v roce, kdy se odpad vyveze 26krát. U výchozího stavu a simulace bez podmínek je délka trasy vždy stejná, u třech hladin při simulaci s podmínkami počítám s průměrem, který jsem získala při porovnání 1000 simulací.

V závislosti na počtu najetých kilometrů jsem pak vypočetla cenu paliva.

Dále jsem provedla součet všech výše jmenovaných nákladů a dostala jsem náklady za každý rok. Z těchto součtů jsem si udělala kumulované náklady a celkovou částku za 5 let.

Všechny tabulky je možné vidět v příloze na listě Vypočtení nákladů.



Graf 9: Porovnání celkových přímých nákladů za typu dle počtu najetých km za rok

U tohoto porovnání jsou patrné rozdíly v celkových nákladech za 5 let pro jednotlivé typy dat. Nejvíce nákladů se ušetří při využití IoT technologie, při které budou senzory nastavené na 80 % zaplnění nádoby.

2.7. Navržení opatření pro eliminaci případných problémů při další práci s modelem

První problém, který se při práci s modelem objevil, se týkal simulace s podmínkami, kdy, pokud bylo programu předloženo moc simulací v řadě, v mém případě 1000, stávalo se, že se program sám od sebe restartoval, aniž by se objevila hláška o chybě. Z toho usuzuji, že počet simulací byl příliš velký. Po této zkušenosti jsem simulace pouštěla pouze po 200. To problém vyřešilo.

Dalším problém nastal také při simulaci s podmínkami. Problém se týkal toho, že aplikace Solver si neuměla poradit se situací, kdy dle vygenerovaných podmínek vycházelo, že místo, které se má navštívit je jen jedno nebo dvě. Situace se vyřešila podmínkou, že pokud se po náhodné generaci vygeneruje méně než 3 místa, která se musí navštívit, musí generace proběhnout znovu. Předtím než se do kódu přidala část zabraňující neproběhnutí simulace, aplikace vždy po proběhnutí několika simulací přestala odpovídat.

```
(General)
Public Function Gen() As Integer
Dim RandomNumber As Integer
Dim isAny As Integer
isAny = 0

Randomize
Dim Boxes As Control
For Each Boxes In Podminky.Controls
RandomNumber = (Int(10) * Rnd)
RandomNumber = RandomNumber * 10
If TypeName(Boxes) = "ComboBox" Then
Boxes.Value = RandomNumber
If RandomNumber >= 40 Then
isAny = isAny + 1
End If
End If
Next Boxes

Gen = isAny
End Function

Public Sub Generovat_Click()
Do While Gen < 3
Loop
End Sub
```

Obrázek 14: Část kódu zabraňující kolapsu simulace

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvoření zjednodušeného modelu, který simuluje zapojení IoT do odpadové hospodářství. Abych mohla dosáhnout tohoto cíle, bylo nejprve nutné provést rešerši a vysvětlit jednotlivé teoretické pojmy. Tím jsem se zabývala v kapitole 1. Ve druhé kapitole je popisován samotný model.

V teoretické části jsem v kapitole 1.1. vysvětlila, co si představit pod konceptem Smart City a jakou roli v něm hraje odpadové hospodářství.

V další kapitole, tedy 1.2. jsem se soustředila na předesnění současné situace v odpadovém hospodářství v České republice. Zmínila jsem vývoj produkce odpadů v letech 2009 až 2018, typy jednotlivých druhů odpadu a pokusila se vysvětlit rozdíl mezi sběrným místem a sběrným dvorem. Následně jsem se pokusila vyjmenovat typy problémů spojených se současnou situací v odpadovém hospodářství.

Kapitola 1.3. se věnovala internetu věcí. Nejdříve jsem vysvětlila, co tento pojem znamená a jaké je jeho využití v konceptu Smart City. Dále jsem se již zaměřila na IoT v odpadovém hospodářství a popsala jsem rozdělení IoT odpadových nádob na aktivní a pasivní odpadové nádoby. Nakonec bylo potřeba ještě zmínit software, který pomáhá přenášet informace získané ze senzorů odpadových nádob do jednoho místa, kde je možné je přehledně analyzovat. V kapitole 1.4. jsem se pak věnovala zmapování IoT v odpadovém hospodářství na území ČR a v zahraničí. Za Českou republiku jsem jmenovala Prahu a Kolín, kde je IoT nejvíce rozšířené. Ohledně informací o aktuálním dění jsem nejvíce čerpala z osobní schůzky s pracovníkem ze společnosti Operátor ICT, a.s., který má na starosti projekty v odvětví odpadového hospodářství pro koncept Smart Prague. V zahraničí jsem popsala projekty probíhající v Soulu, Dubaji, Melbourne, New Yorku, Sofii a Nitře.

Poslední kapitola teoretické části se zabývala distribučními úlohami lineárního programování. Vyjmenovala a popsala jsem základní fáze řešení těchto úloh a vyjmenovala několik konkrétních typů těchto úloh.

Po provedení rešerší a nastudování a popsání všech teoretických konceptů jsem se mohla přesunout k praktické části. V jejím úvodu jsem popsala výchozí situaci pro

tvorbu modelu. Dále jsem pak vysvětlila, jaký typ distribuční úlohy jsem si vybrala pro tvorbu modelu. Následovalo zhodnocení stávající situace. Poté jsem se již přesunula k popsání samotného modelu, vysvětlení jeho funkcí, a to na základě jakých funkcí a aplikací funguje. Po vysvětlení, jak model funguje a jak probíhají simulace, jsem začala pracovat na simulaci samotné.

Pro tuto simulaci jsem si vybrala pouze barevné sklo, ale samozřejmě by bylo možné zahrnout i další materiály, jako například bílé sklo a kovy. Lze zahrnout jakýkoliv těžší kompaktnější materiál, kde se senzory nedopouští chyb při stavu zaplněnosti. Také by se v návaznosti na více druhů materiálu mohlo zapojit vozidlo, které je schopné vyvézt více druhů tříděného odpadu najednou. Pro tento model jsem však počítala pouze s verzí, kdy vozidlo vyváží jen jeden druh odpadu. Bylo to z důvodu, že jsem pak nemusela sledovat maximální kapacitu jednotlivých druhů odpadů, která by v případě vozidla s více druhy odpadu byla znatelně menší, což by znatelně ztížilo tvorbu takového modelu.

Pokud bych chtěla do modelu přidávat ještě další proměnné, zvolila bych pro práci jiný druh softwaru, který by zvládl zpracovat více podmínek v kratším čase. Pro zpřesnění modelu by se ještě mohlo do modelu zapracovat sledování předchozích výsledků, který jsme dostali na základě generování podmínek. To znamená, že by se číslo negenerovalo úplně náhodně, ale s ohledem na předchozí výsledek generování podmínek.

Při provedené simulaci se ukázalo, že zapojení IoT do odpadového hospodářství přinese úsporu nákladů. Můj model vykazuje tendenci, na základě které předpokládám, že v důsledku zkrácení trasy mezi výchozím stavem a simulací s podmínkami, kde hladina sběru odpadu byla nastavena na 80 %, může být zkrácená trasa kratší o více než 50 %. Na základě toho by mohlo dojít k přibrání dalšího okruhu pro posádku a k ušetření přímých nákladů na mzdy, kdy by nebylo na dva různé okruhy potřeba zaměstnat 4 lidi, ale pouze 2.

Úspora nafty a naježděných kilometrů by také mohla mít sekundární vliv na životní prostředí a do ovzduší by se mohlo dostat menší množství škodlivých emisí.

Na druhou stranu je potřeba se opět podívat na rozdíly, které jsou mezi jednotlivými typy simulací a výchozí situací. Vidíme, že rozdíly nejsou tak markantní, proto lze

také předpokládat, že jelikož jsem při výpočtech neuvažovala náklady na pořízení a provoz senzorů a softwaru, pokud bychom tuto částku připočetli k ušetřeným nákladům, mohla by výsledná částka být vyšší než v případě nákladů vypočítaných pro výchozí situaci.

Na základě mnou sestaveného modelu tedy nelze jednoznačně určit, zda zavedení IoT do odpadového hospodářství přinese úsporu nebo ne a očekávaná jednoznačná úspora nákladů se neprokázala.

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Celková produkce všech odpadů v ČR 2009 - 2018 (zdroj: ISOH,MŽP, 2019) | 16 |
| Tabulka 2: Tabulka vzdáleností mezi jednotlivými vesnicemi a městem (zdroj: vlastní) | 37 |
| Tabulka 3: Aktuální způsob svozu odpadu v daných lokalitách | 41 |
| Tabulka 4: Rozšíření aplikace Solver o vygenerované podmínky | 44 |
| Tabulka 5: Tabulka podkladů pro výpočet nákladů..... | 46 |
| Tabulka 6: Podoba základní podmínky..... | 46 |
| Tabulka 7: Optimalizace trasy bez aplikování podmínek | 48 |
| Tabulka 8: Náklady při provedení simulace bez podmínek | 48 |
| Tabulka 9: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 80 % | 50 |
| Tabulka 10: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 60 % | 52 |
| Tabulka 11: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 40 % | 53 |

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1: Počet senzorů vs. náklady na svoz (zdroj: https://sensoneo.com/sk/reference/nitra/)..... | 30 |
| Graf 2: Náklady při simulaci bez podmínek | 48 |
| Graf 3: Simulace při hladině vývozu nádob nastavené na 80 % | 49 |
| Graf 4: Náklady hladina 80 % | 50 |
| Graf 5: Simulace při hladině vývozu nádob nastavené na 60 % | 51 |
| Graf 6: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 60 % | 52 |
| Graf 7: Simulace při hladině vývozu nádob nastavená na 40 % | 52 |
| Graf 8: Náklady při simulaci s podmínkami - hladina 40 % | 53 |
| Graf 9: Porovnání celkových přímých nákladů za typu dle počtu najetých km za rok | 54 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Koncept Smart city (zdroj: Internet of business, https://internetofbusiness.com/global-smart-city-platform-market/) | 13 |
| Obrázek 2: Schéma komponent konceptu Smart Cities dle MMR ČR (zdroj: https://www.mmr.cz/cs/temp/smart-cities/koncept-smart-cities) | 15 |
| Obrázek 3: Přeplněné kontejnery tříděného odpadu (zdroj: vlastní)..... | 17 |
| Obrázek 4: Jak si představit fungování IoT (zdroj: https://threatpost.com/vacuum-cleaners-baby-monitors-and-other-vulnerable-iot-devices/153294/)..... | 19 |
| Obrázek 5: IoT využití v odpadovém hospodářství (zdroj: https://www.ecomena.org/internet-of-things/) | 20 |
| Obrázek 6: Aplikace Moje Praha (zdroj: https://mojepraha.eu)..... | 24 |
| Obrázek 7: Prostředí webové stránky pro třídění odpadů ve městě Kolín (zdroj: https://kolin.smartcity.cz/public/) | 26 |
| Obrázek 8: Mapa vybraných vesnic pro simulaci (zdroj: https://www.google.com/maps/)..... | 36 |
| Obrázek 9: Možné spojení mezi jednotlivými vesnicemi (zdroj: https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?hl=cs&mid=1E-_tig4rNPbPFZXjj822EIKX4V3U5Jv1&ll=48.819497329289476%2C14.58149570000005&z=13) | 38 |
| Obrázek 10: Grafické znázornění postupu simulace (zdroj: draw.io)..... | 39 |
| Obrázek 11: Nastavení aplikace Solver pro simulaci..... | 42 |
| Obrázek 12: Podoba UserForm - Podmínky ve VBA..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 13: Inzerát na prodej popelářského vozu (zdroj: https://autoline.cz/-/prodej/popelarske-vozy/MERCEDES-BENZ-Antos-2530-L--19050916583266047300) | 45 |
| Obrázek 14: Část kódu zabraňující kolapsu simulace | 55 |

Seznam zdrojů

1. **Ministerstvo životního prostředí.** Odpady. *Ministerstvo životního prostředí.* [Online] Ministerstvo životního prostředí, 2019. [Citace: 14. Březen 2020.] https://www.mzp.cz/cz/odpady_podrubrika.
2. *Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative, Technological Forecasting and Social Change.* **Marsal-LLacuna, Maria-LLuisa, Colomer-Llinas, Joan a Melendez-Frigola, Joaquim.** Part B, Amsterdam : Elsevier, January 2015, Technological Forecasting and Social Change, Sv. 90, stránky 611-622.
3. *Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives.* **Albino, Vito, Berardi, Umberto a Dangelico, Rosa Maria.** 1, Online : Routledge, Taylor & Francis Group, 2015, Jurnal of Urban Technology, Sv. 22, stránky 3-21.
4. **Ministerstvo pro místní rozvoj ČR.** Koncept Smart Cities. *Ministerstvo pro místní rozvoj ČR.* [Online] 2020. [Citace: 5. Duben 2020.] <https://www.mmr.cz/cs/temp/smart-cities/koncept-smart-cities>.
5. **Waste Management Resources.** Waste Management Resources. *Waste Management Resources.* [Online] 2009. [Citace: 14. Březen 2020.] <http://www.wrfound.org.uk>.
6. **samosebou.cz.** Sběrný dvůr - vše, co jste chtěli vědět. *samosebou.cz.* [Online] Samosebou.cz, 2020. [Citace: 14. Březen 2020.] <https://www.samosebou.cz/2018/04/09/sberny-dvur-vse-co-jste-chteli-vedet/>.
7. **Ministerstvo spravedlnosti České republiky.** Výpis z obchodního rejstříku. *Veřejný rejstřík a Sbírka listin.* [Online] Ministerstvo spravedlnosti České republiky, 2015. [Citace: 14. Březen 2020.] <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=711792&typ=PLATNY>.
8. **Zákon č. 185/2001, Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů (aktuální znění 01.01.2020 - verze 50).** Praha : autor neznámý, 2001.

9. *Internet of Things for Smart Cities*. Zanella, Andrea, a další. 1, místo neznámé : IEEE, Únor 2014, IEEE Internet of Things Journal, Sv. 1, stránky 22-32.
10. *Security Threats and Preventive Mechanismus in Cloud Computing*. Sujatha, P. a SriPriya, P. 12, místo neznámé : JASC, Prosince 2012, Journal of Applied Science and Computations, Sv. 5.
11. Help, Software Testing. Software Testing Help. *Software Testing Help*. [Online] 2020. [Citace: 21. Květen 2020.] <https://www.softwaretestinghelp.com/iot-devices/>.
12. Vermesan, Ovidiu a Friess, Peter. *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Enviroments and Integrated Ecosystems*. Aalborg : River Publishers, 2013. ISBN: 978-87-92982-96-4.
13. *Challenges and Opportunities of Waste Management in IoT-Enabled Smart Cities: A Survey*. Anagnostopoulos, Theodoros, a další. 3, místo neznámé : IEEE, 5. Duben 2017, IEEE Transactions on Sustainable Computing, Sv. 2, stránky 275 - 289.
14. Ecube Labs. CleanCUBE, the solar-powered trash compactor. *Ecube Labs*. [Online] [Citace: 22. Březen 2020.] <https://www.ecubelabs.com/solar-powered-trash-compactor/>.
15. Kolín. Odpady. *MU Kolín*. [Online] 31. Srpen 2016. [Citace: 22. Březen 2020.] <https://www.mukolin.cz/cz/o-meste/smart-city-kolin/odpady/>.
16. Ecube Labs. CleanFLEX, the ultrasonic fill-level sensor. *Ecube Labs*. [Online] [Citace: 22. Březen 2020.] <https://www.ecubelabs.com/ultrasonic-fill-level-sensor/>.
17. Sensoneo. Waste management solution. *Sensoneo*. [Online] 2020. [Citace: 29. Březen 2020.] Sensoneo.
18. Smart Prague. O Smart Prague. *Smart Prague*. [Online] 2019. [Citace: 27. Březen 2020.] <https://smartprague.eu/o-smart-prague>.

19. —. Chytrý svoz odpadu. *Smart Prague*. [Online] Smart Prague, 2019. [Citace: 27. Březen 2020.] <https://smartprague.eu/projekty/chytry-svoz-odpadu>.
20. Operátor ICT, a.s. Solární odpadové nádoby. *Operátor ICT*. [Online] Operátor ICT, a.s., 13. Únor 2018. [Citace: 27. Březen 2020.] <https://operatorict.cz/wp-content/uploads/2019/09/Závěrečná-zpráva-Kompresn%C3%AD-odpadové-nádoby-na-web.pdf>.
21. Kolín. Smart City - Odpady. [Online] O2 IT Services. [Citace: 27. Březen 2020.] <https://kolin.smartcity.cz/public/>.
22. SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT. Population. *SEOUL*. [Online] SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT. [Citace: 18. Duben 2020.] <http://english.seoul.go.kr/get-to-know-us/seoul-views/meaning-of-seoul/4-population/>.
23. Ecube Labs. Case Study: City of Seoul. *Ecube Labs*. [Online] Ecube Labs. [Citace: 18. Duben 2020.] <https://www.ecubelabs.com/references/city-of-seoul/>.
24. —. Case Study: 4 Universities in Seoul. *Ecube Labs*. [Online] Ecube Labs. [Citace: 18. Duben 2020.] <https://www.ecubelabs.com/references/4-university-campuses-in-seoul/>.
25. Sensoneo. Reference: Waste management. *Sensoneo*. [Online] Sensoneo. [Citace: 20. Duben 2020.] <https://sensoneo.com/reference/waste-management-company-uae/#>.
26. Population Australia. Melbourne Population 2020. *Population Australia*. [Online] Population Australia, 2020. [Citace: 20. Duben 2020.] <http://www.population.net.au/melbourne-population/>.
27. Ecube Labs. Case Study: Melbourne. *Ecube Labs*. [Online] Ecube Labs. [Citace: 2020. Duben 2020.] <https://www.ecubelabs.com/references/melbourne/>.
28. Bigbelly, Inc. New York City's Times Square Efficiently Manages 26,056 Gallons of Waste and Recycling Each Day with Bigbelly. *Bigbelly*. [Online] Bigbelly, Inc., 2020. [Citace: 18. Duben 2020.] <http://info.bigbelly.com/case->

study/times-square-new-york-

city?__hstc=102188574.004784dfb411add81403adb3e4be56e6.1586801433138.1586801433138.1586801433138.1&__hssc=&hsCtaTracking=d54600cd-ac5b-49cb-996b-acebd11f61b8%7C788204a1-59ff-44a8-b8e2-cf81267b9e62.

29. Sensoneo. Reference: City of Sofia. *Sensoneo*. [Online] Sensoneo, 2020. [Citace: 2. Duben 2020.] <https://sensoneo.com/reference/soitron-city-sofia/>.

30. —. Referencia: Nitrianske komunálne služby. *Sensoneo*. [Online] Sensoneo, 2020. [Citace: 20. Duben 2020.] <https://sensoneo.com/sk/reference/nitra/>.

31. Jablonský, Josef. *Programy pro matematické modelování, 2. přepracování*. Praha : Oeconomica, 2011. ISBN 987-80-245-1810-7.

32. ČNB. Kurzy devizového trhu. *Česká národní banka*. [Online] Česká národní banka, 2020. [Citace: 11. Květen 2020.] <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/index.html?date=07.04.2020>.

33. *Zákon č. 586/1992, Zákon české národní banky o daních z příjmu, Příloha č. 1 (Aktuální znění 01.01.2020 - verze 125)*. Praha : autor neznámý, 1992.

Seznam příloh

Příloha 1..... TSP BP Simulace