FAKULTA PODNIKATELSKÁ, ÚSTAV INFORMATIKY

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
DEPARTMENT OF INFORMATICS

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

VYUŽITÍ METOD SOFT COMPUTINGU JAKO PODPORY PRO ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ PODNIKU

THE USE OF SOFT COMPUTING AS SUPPORT FOR BUSINESS DECISION-MAKING

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Ing. Jan Pekárek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
prof. Ing. Petr Dostál, CSc.

BRNO 2018

KLÍČOVÁ SLOVA

rozmístění nabíjecí infrastruktury, model nabíjecí infrastruktury, optimalizační model, nabíjení elektromobilů, elektromobilita, Česká republika, ekonomie.

KEYWORDS

charging infrastructure placement, charging infrastructure model, optimization model, electric vehicles charging, electromobility, Czech Republic, economics.

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta podnikatelská

Oddělení pro vědu a výzkum

Kolejní 2906/4

612 00 Brno

Knihovna FP VUT v Brně

OBSAH

KLÍČOVÁ SLOVA 2
KEYWORDS 2
MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE 2
OBSAH 3
ÚVOD 4
1 LITERÁRNÍ ZDROJE 4
1.1 OBECNĚ O ELEKTROMOBILITĚ VE SVĚTĚ A V ČR 4
1.2 ZÁKLADNÍ ODBORNÁ LITERATURA 6
1.3 MATEMATICKÉ MODELY V OBORU ELEKTROMOBILITY 8
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE 9
3 METODOLOGIE 9
4 DÍLČÍ MODELY 10
4.1 ZAVEDENÍ POJMU SERVICE AREA 10
4.2 MODEL POPTÁVKY PO NABÍJECÍ SLUŽBĚ 12
4.2.1 KRÁTKODOBÉ PERIODICKÉ ČASOVÉ ROZLOŽENÍ POPTÁVKY 12
4.2.2 DLOUHODOBÉ TRENDOVÉ ČASOVÉ ROZLOŽENÍ POPTÁVKY 13
4.2.3 MODEL KOMBINUJÍCÍ OBA TYPY ČASOVÉHO ROZLOŽENÍ POPTÁVKY 14
4.3 MODEL NABÍDKY NABÍJECÍ SLUŽBY 15
4.4 SIMULÁTOR NABÍJENÍ 18
5 OPTIMALIZAČNÍ MODEL A METODA JEHO ŘEŠENÍ 21
5.1 METODA ŘEŠENÍ MODELU 22
5.2 PŘILOŽENÝ MODEL V JAZYCE MATLAB 23
6 NUMERICKÉ VÝSLEDKY A EKONOMICKÉ KONSEKVENCE 25
ZÁVĚR 26
POUŽITÁ LITERATURA 27
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS 33
ABSTRACT 34
SEZNAM VYDANÝCH PUBLIKACÍ 35

ÚVOD

Jestliže se současné trendy nezvrátí, potom 10. léta 21. století si bude historie pamatovat jako dobu, kdy se nastartoval zájem vyspělého světa o více než 100 let starou myšlenku – osobní silniční vozidlo s elektrickým pohonem, zkráceně elektromobil.

Disertační práce se zabývá tématem z oblasti elektromobility, konkrétně problémem optimálního rozmístění nabíjecích stanic pro elektromobily. Nedostatečná nabíjecí infrastruktura je totiž mezi odbornou veřejností identifikována jako jedna z hlavních překážek rozvoje elektromobility.

Smyslem práce je vytvořit nástroj, který svým uživatelům umožní systematicky dekomponovat stanovený problém, definovat na něm důležité proměnné, pro tyto proměnné si zajistit vstupy a na nich postavit matematický model, který je všechny kombinuje. Z tohoto hlediska nejde pouze o numerický výsledek modelu. Ten je pouze demonstrací jeho funkčnosti, případně jakýmsi informačním bonusem. Skutečnou hodnotu v modelu představuje provázání vzájemných vztahů do jediného celku včetně odůvodnění, proč je autor navrhl právě takto.

1 LITERÁRNÍ ZDROJE

1.1 OBECNĚ O ELEKTROMOBILITĚ VE SVĚTĚ A V ČR

Za kolébku elektromobility lze považovat Spojené státy americké, především jejich západní pobřeží [1], [2]. Podle aktuálních studií byl trh elektromobilů ve Spojených státech největším na světě do roku 2014 a pravděpodobně dále do poloviny roku 2015 [3]. V roce 2015 však došlo k mírnému poklesu prodejů oproti roku 2014 v řádu jednotek procent. Trh v USA si toto prvenství udržoval prakticky od počátku masového rozšiřování elektromobilů kolem roku 2008. Právě v roce 2015 však došlo k obrovské expanzi trhu v Číně, meziročně přibližně o 230 %, kdy se na tamním trhu prodalo téměř 177 tisíc vozidel označených jako PEV [4]. Spojené státy nicméně dominují díky vyšší kupní síle obyvatel na trhu luxusnějších elektromobilů, které zpravidla určují módní trendy a produkují inovace [5] [6].

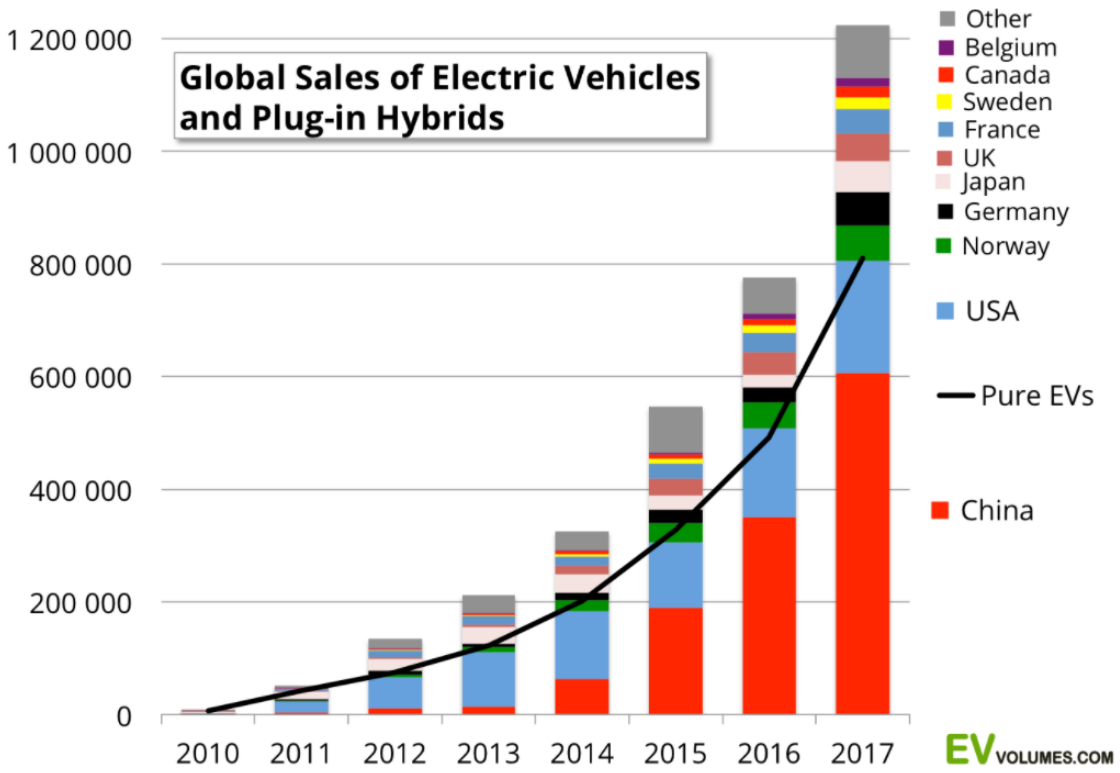
V žebříčku porovnávajícím tzv. adoption rate, tedy míru přijímání elektromobilů do vozového parku dané země, se za hlavními světovými hráči dneška, Čínou a USA, zařadily jen samé evropské země [4]. Žebříček je sestaven podle absolutních počtů prodaných elektromobilů v dané zemi v roce 2015. To poněkud zkresluje situaci z hlediska skutečné koncentrace elektromobilů, nicméně to přesně vystihuje tamní velikost trhu. Země jako Nizozemsko, Norsko, Velká Británie nebo Francie vykazují podíl elektromobilů na automobilovém trhu v řádu jednotek procent oproti USA nebo Číně, kde jde o desetiny procenta. Mezi nejvyspělejší trhy se v tomto ohledu řadí především Nizozemsko a Norsko [4] [7]. Poptávka po elektromobilech je v těchto evropských zemích silně stimulována legislativními a finančními subvencemi ze strany vlád. Například Norsko považuje vlastní trh za nejpříznivější pro elektromobily na celém světě a podporuje jej širokou škálou pobídek [8].

Asijskému trhu jednoznačně dominuje Čína, Japonsko, které bylo dříve silné, svou snahu o zavádění elektromobility zbrzdilo [4]. Obyvatelé rapidně rostoucích východoasijských metropolí si začínají uvědomovat, že *zero-emission* osobní doprava je nejen zbaví emisí CO_2, ale též ostatních plynů vznikajících ve spalovacím motoru osobního auta. Ty totiž stále častěji způsobují významné znečištění ovzduší v oblasti těchto mnohamilionových metropolí, zejména v zimním období. Vlády těchto zemí si problému všimly a některé již zareagovaly agresivní politikou subvencí čistších způsobů dopravy. Začátkem roku 2016 byl v indickém Dillí a čínských urbanizovaných provinciích na východě země omezen pohyb vozidel se spalovacím motorem. Čína chce do roku 2020 zavést 5 milionů vozidel využívajících nové zdroje energie [9].

Výchozím dokumentem podporujícím aktuálnost a relevantnost předkládané práce pro ČR je Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) [10]. Jedná se o závazný plán Ministerstva průmyslu a obchodu ČR plnit Směrnici evropského parlamentu a rady 2014/94/EU [11] o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. NAP CM je aktuálně platný pro období 2015-2018 s výhledem do roku 2030 a je průběžně aktualizován každé tři roky. Zabývá se technologií a trhem alternativních paliv v odvětví dopravy a příslušné infrastruktury, zejména elektromobilitou, CNG, LNG a technologií palivových článků. Oficiálně deklarovaným cílem NAP CM je: „*Vytvoření dostatečně příznivého prostředí pro širší uplatnění vybraných alternativních paliv a pohonů v sektoru dopravy v podmínkách ČR a dosažení podmínek srovnatelných v této oblasti s jinými vyspělými státy Evropské unie tak, aby v dlouhodobém horizontu (období po roce 2030) byla elektromobilita vnímána jako standardní technologie a zemní plyn pak jako standardní palivo a vodíková technologie se dostala minimálně z fáze výzkumu/vývoje do situace, v jaké se v současnosti nachází elektromobilita, tj. aby byla realizována určitá základní opatření k rozvoji této technologie ve střednědobém a dlouhodobém horizontu.“* [10].

Na tomto cíli, speciálně jeho části o elektromobilitě, lze jasně ukázat oficiální dlouhodobý záměr vlády ČR aktivně rozvíjet podporu elektromobilů a příslušné infrastruktury na území České republiky. Za rok 2017 se v ČR registrovalo 3100 plně elektrických nebo hybridních vozidel. Toto číslo však objektivně nedemonstruje skutečnost, jelikož plně elektrických z nich bylo jen 307 [12]. Toto množství je oproti vyspělým zemím světa a zejména srovnatelným zemím západní Evropy nízké, i když jej vezmeme per capita.

Globální prodeje elektrických vozidel a plug-in hybridů až do roku 2017 demonstruje obr. 1, ze kterého je vidět jednoznačný, v čase rostoucí zájem zákazníků o elektrická vozidla rozdělený podle zemí.



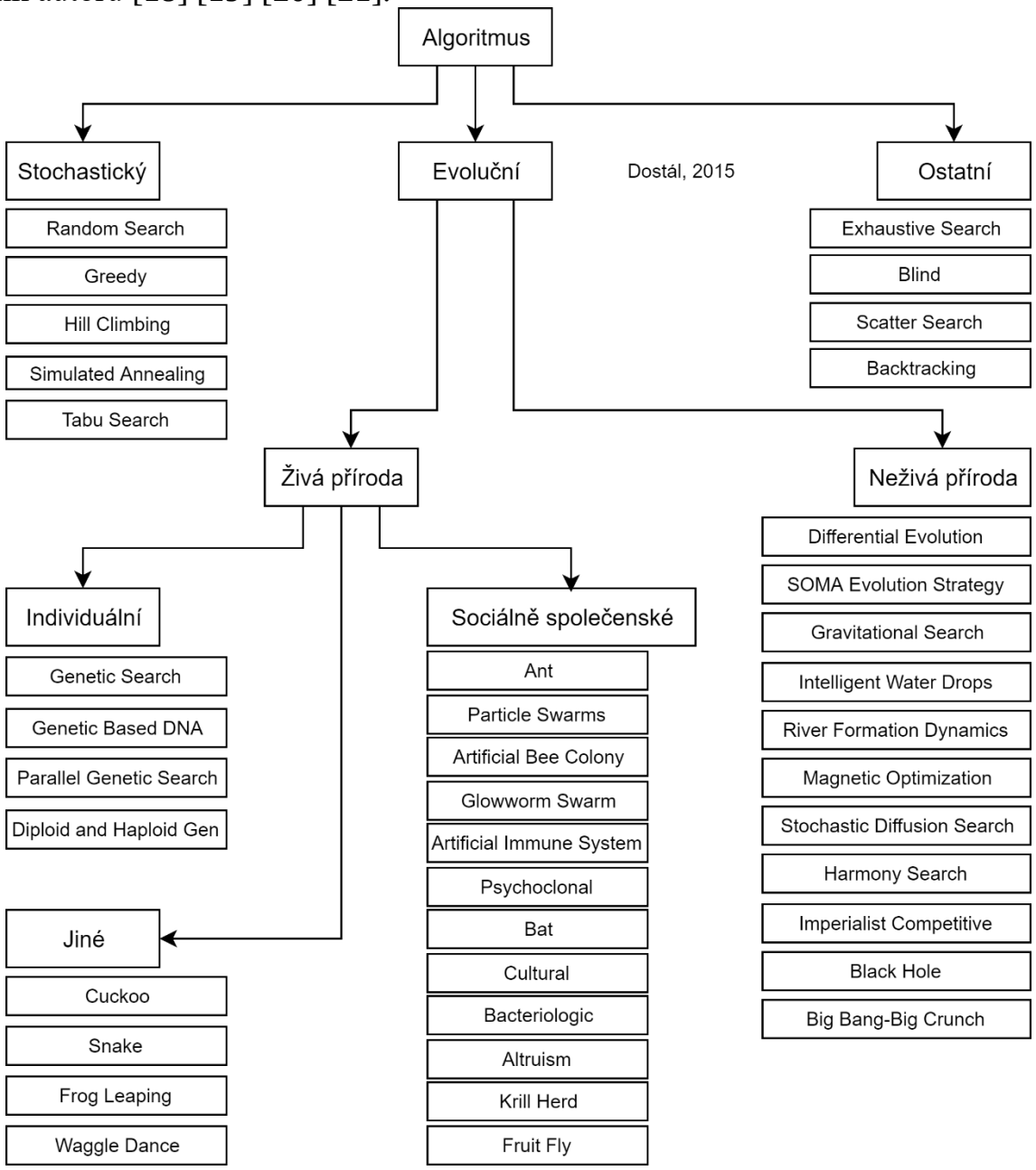
Obr. 1: Globální počty prodejů čistých elektromobilů a hybridů (Zdroj: [13])

1.2 ZÁKLADNÍ ODBORNÁ LITERATURA

Práce se sice zabývá elektromobilitou, oborem zde ovšem máme na mysli souhrnně multioborové propojení vybraných statí operačního výzkumu a matematické informatiky. Zejména bude kladen důraz na modelování, simulaci, optimalizaci, strojové učení a soft computing, vše v takovém pojetí, aby z výsledků bylo možné vyvodit ekonomický závěr. Spojujícím tématem všech uvedených oborů je modelování. O modelování obecně pojednává například Janíček [14], praktické příklady modelování popisuje Dostál [15]. Procesem modelování z pohledu operačního výzkumu se zabývá Hillier [16].

Speciálním typem modelů jsou modely optimalizační. Model navržený v předkládané práci je v celkovém pojetí modelem optimalizačním. O optimalizaci hovoří Dostál [15], píše, že je to matematická disciplína, ve které hledáme minimum, resp. maximum, dané funkce $f(x)$ na dané množině M, přičemž této funkci říkáme účelová funkce. Zelinka [17] rozebírá optimalizaci podrobněji. Zejména se zaměřuje na problémy s optimalizací spojené a na zdroje těchto problémů. Uvádí, že komplikace mohou vzniknout a) z důvodu přílišné velikosti prohledávaného prostoru proměnných, b) matematický model problému může být až příliš zjednodušený, takže získané výsledky nejsou aplikovatelné na realitu, c) účelová funkce může podléhat šumu, a tak nelze jednoznačně stanovit jediné optimální řešení, d) možná řešení problému jsou v prostoru proměnných rozložena velmi roztrouseně a jejich nalezení je proto extrémně obtížné. Existují různé typy

metod řešení optimalizačních úloh, přičemž členění těchto metod poskytuje hned několik autorů [18] [19] [20] [21].



Obr. 2: Rozdělení optimalizačních metod podle Dostála
(Zdroj: [18])

Není cílem kapitoly pojednávat široce o výpočetních evolučních technikách. Aby bylo možné poskytnout výstižnou rešerši relevantní literatury, je třeba co nejvíce zúžit oblast zájmu a soustředit se pouze na výpočetní techniky použité dále v této práci. Hlavní optimalizační algoritmus práce je inspirován teoretickými poznatky z oblasti genetických algoritmů. Genetické algoritmy patří ke známějším evolučním optimalizačním technikám, pojednává o nich například [15] [18] [19]. Často citovanými pracemi jsou slavná Goldbergova kniha o genetických algoritmech [22],

Michalewiczova prakticky zaměřená práce [23], nebo původní Hollandova práce [24].

Genetické algoritmy používají tři základní genetické operace – selekci, křížení a mutaci. Těmito třemi operacemi se modifikuje původní náhodně vygenerovaná populace jedinců tak, aby její informační (genetický) obsah směřoval směrem ke globálnímu optimu prohledávané účelové funkce. Jelikož je však poloha globálního optima dané funkce z principu neznámá, smyslem těchto genetických transformací je prohledávat prostor proměnných a postupnými malými kroky vylepšovat aktuální hodnotu účelové funkce, přičemž je snaha neuváznout v lokálním optimu.

1.3 MATEMATICKÉ MODELY V OBORU ELEKTROMOBILITY

Tři nejvýznamnější práce, na kterých byla postavena výsledná podoba disertace, jsou Jamianova [25], Wangova [26] a Lamova [27] práce. Všechny pojednávají o matematických modelech problému nabíjecí infrastruktury pro elektromobily (CSPP). Koncepty v těchto článcích stály u zrodu myšlenky vytvořit model modulární, dynamický s jednoduše škálovatelnou složitostí a postavený původně na grafové reprezentaci silniční sítě. I když musela být grafová reprezentace sítě z praktických důvodů nahrazena, jak bude popsáno v příslušné kapitole, ostatní koncepty ve výsledném modelu zůstaly.

Relevantní literaturu k tomuto úzce specifikovanému tématu lze rozdělit do několika skupin. Jde o literaturu zabývající se modely CSPP, modely poptávky po nabíjecí službě, ekonomické modely rozmístění stanic a metody řešení těchto modelů. Níže budou stručně představeny některé literární zdroje z každé kategorie.

Problém CSPP lze formulovat jako lineární smíšený celočíselný program [28] [29], lze jej formulovat i nelineárně [30]. Je možné chápat jej jako vehicle routing problém [31], nebo jako rovnovážný problém [32]. Lze jej chápat jako vícekriteriální a lze do něj zakomponovat nejrůznější heuristické algoritmy [33]. Používají se například algoritmy včelí kolonie ABC, nebo algoritmy roje částic PSO [25].

Správný odhad poptávky po nabíjecí službě je v CSPP klíčový. Samostatně se modely poptávky po nabíjecí službě diskutují v těchto článcích [34] a [35]. V USA zkoumá poptávku Harris [36] a Sears [37]. Autoři vycházejí z rozsáhlé databáze celostátního průzkumu dopravy National Household Travel Survey [38]. V ČR sbírá analogické informace, i když v nižší kvalitě, Ředitelství silnic a dálnic [39]. S poptávkou souvisejí cestovní vzory řidičů, které zkoumá například Azadfar [40] nebo Robinson [41].

Ekonomické modely se dívají na problematiku CSPP odlišně, nesoustředí se tolik na technické detaily nabíjení, jako na ekonomické ukazatele. Například Levinson [42] poskytuje různé scénáře vývoje tamního trhu. Vollers [43] se snaží najít ziskový business model a Nigro [44] poskytuje detailní ekonomický rozbor dopadů použití dvou hlavních variant nabíjecích stanic.

Metodami řešení CSPP se specificky myslí způsoby řešení navržených modelů. Vedle výše zmíněných celočíselných programů se v literatuře objevují programy

s podmínkami komplementarity [32]. Lin [45] využívá Saatyho analytický hierarchický proces [46] jako metodu řešení svého modelu. Lam [47] využívá heuristiku založenou na chemických reakcích a Xu modifikuje PSO algoritmus o tabuizované prohledávání [48]. Větší množství autorů pak pochopitelně řeší svůj problém nějakou verzí genetického algoritmu [49] [29] [50]. Speciálně navržený genetický algoritmus je použit jako metoda řešení i v předložené disertační práci.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem disertační práce je tvorba dynamického rozšiřitelného optimalizačního modelu problému rozmístění nabíjecí infrastruktury pro elektromobily, určení optimální metody jeho řešení a demonstrace modelu na případě ČR.

Pro úspěšné splnění hlavního cíle je třeba provést sérii kroků, přičemž výstupy těchto kroků lze označit za dílčí cíle. Jsou jimi:

- Analýza prostředí elektromobility ve světě a v ČR.
- Analýza typů zkoumaných problémů vztahujících se k tématu elektromobility a výběr vhodného tématu.
- Nalezení takového metodologického rámce a jeho nástrojů, který bude zkoumané téma schopen výstižně uchopit, popsat a řešit.
- Stanovení základních proměnných, nalezení požadovaných datových zdrojů, jejich čerpání a zpracování.
- Návrh architektury modelu, návrh jeho dílčích částí, stanovení požadavků na data k jednotlivým částem.
- Návrh metody řešení modelu, měření výkonnosti metody a její optimalizace.
- Demonstrace funkčnosti modelu na reálných datech.
- Poskytnutí dostatečně obsáhlé strukturované diskuze ke každému z analyzovaných podproblémů za účelem zvýšení čitelnosti a pochopitelnosti práce.

Současně, z argumentace v kapitole o ekonomických aspektech práce plyne, že smyslem optimalizačního modelu je najít takové rozmístění stanic v průběhu času a prostoru, aby nabíjecí infrastruktura rostla společně s počty provozovaných elektromobilů.

3 METODOLOGIE

Hlavní metodologická linka disertační práce se opírá o Hillierův postup tvorby optimalizačního modelu [16]:

1) Definuj problém a zajisti si data.
2) Formuluj matematický model reprezentující problém.
3) Vytvoř počítačovou proceduru k řešení modelu problému.
4) Otestuj model a uprav jej v případě potřeby.
5) Připrav se na nadcházející aplikaci modelu a jeho výsledků.
6) Implementuj změny.

Každý z kroků vyžaduje upravení metodického rámce, resp. jeho rozpracování do obrysů konkrétních okolností zkoumaného problému. V prvním kroku bylo zapotřebí zajistit nejprve datové zdroje, tedy nalézt dostupné databáze, instituce, nositele informací, ze kterých byla extrahována relevantní data. Hlavní použité datové zdroje jsou data z Národního dopravního informačního centra, které spadá pod Ředitelství silnic a dálnic. Jedná se o vektorová data silniční sítě ČR [51] a data z průzkumu dopravy z let 2010 [52], resp. 2016 [39]. Dále byla použita veřejná databáze nabíjecích stanic Open Charge Map [53], průzkumy závislosti hustoty dopravy na čase [54] a data o počtu registrovaných elektromobilů na území ČR [55].

Formulace matematického modelu (krok ad 2) je spolu s jeho implementací do podoby počítačového programu (krok ad 3) největší částí práce. Za matematický model lze považovat všechny kapitoly dílčích modelů a kapitolu o optimalizačním modelu, který všechny dílčí modely využívá. Celkem 4 jednotlivé modely jsou stručně představeny v samostatných kapitolách, po kterých následuje kapitola o optimalizační metodě. Ta pracuje s účelovou funkcí optimalizačního modelu a hledá její optimální řešení.

Testování předloženého modelu v tradičním pojetí je poměrně obtížným krokem. Model nejde testovat empiricky, jelikož experimentálně jsou jeho závěry netestovatelné (principiálně pochopitelně jsou, ovšem autor modelu nemá prostředky testovat model prakticky). Implicitně je testování obsaženo v detailní sebekritice, zejména u problematických částí, jako je dílčí model poptávky, je poskytnuta široká diskuze nad případnými nedostatky modelu a jejich konsekvencemi.

4 DÍLČÍ MODELY

Optimalizační model jako celek lze chápat jako simulaci interakce mezi jednotlivými elektromobily a nabíjecími stanicemi. Z toho důvodu jej není možné vyjádřit pouze pomocí aritmetických vztahů, ale tvoří jej 3 provázané dílčí modely zkoumaných veličin. Tato kapitola poskytuje jejich přehled, princip a charakteristiku. Nejprve je však třeba zavést jeden z klíčových konceptů práce.

4.1 ZAVEDENÍ POJMU SERVICE AREA

Pohyb v silniční síti omezuje dojezdová vzdálenost vozidla. Dostupnou oblast pohybu pak vymezuje tzv. service area (SA). SA je oblast kolem určitého pevného bodu poskytujícího nějakou službu, například službu nabíjení pro elektromobily, přičemž platí, že odkudkoliv z této oblasti je bod poskytující službu dosažitelný. V případě nabíjecí stanice jako centrálního bodu je SA oblast, ve které lze vozidlem libovolně cestovat, avšak pouze do chvíle, než je dosažena kritická vzdálenost mezi aktuální polohou vozidla a nabíjecí stanicí z pohledu zbývající kapacity baterie.

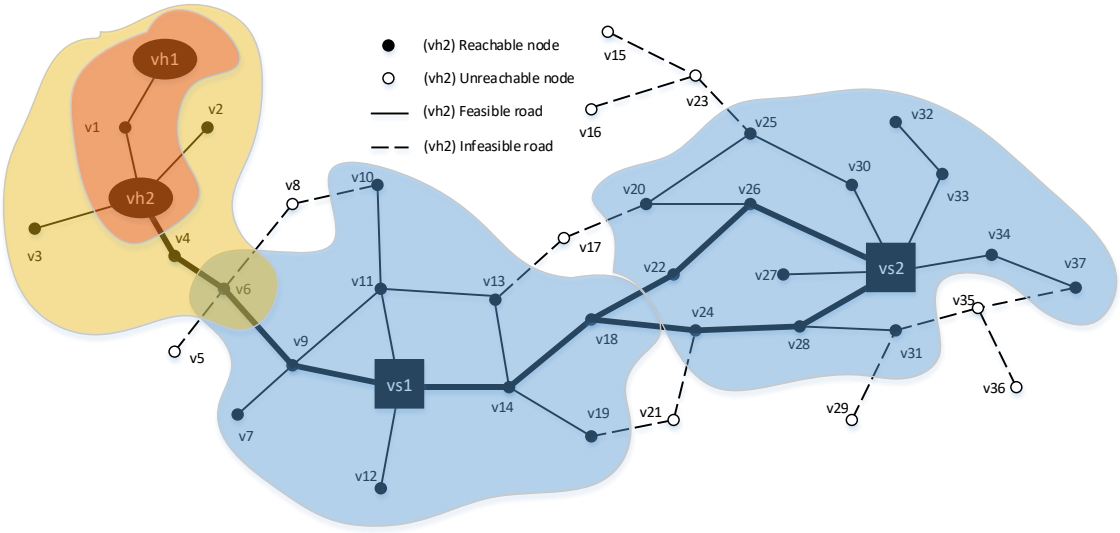
Pro větší názornost může být celá situace demonstrována ilustrativním příkladem pomocí obr. 3. Na něm figurují dva uživatelé elektromobilu sídlící v uzlech v_{h1} a v_{h2}. Zároveň jsou v uzlech v_{s1} a v_{s2} umístěny veřejné nabíjecí stanice. Hrany mají všechny shodnou velikost rovnou jedné. Dojezdová vzdálenost $R = 5$ jednotek

(hran). Obecně se předpokládá, že existují základní dva typy nabíjecích stanic: veřejné a soukromé. Veřejné stanice v_{s1} a v_{s2} jsou volně přístupné komukoliv. Soukromé stanice jsou součástí domácnosti uživatelů elektromobilů. U těch platí, že obsluhují pouze toho uživatele elektromobilu, který je jejich vlastníkem. Obecně nelze nabíjet elektromobil u někoho cizího doma. Uživatel v_{h1} může soukromě nabíjet pouze u sebe doma, ve vrcholu v_{h1}, uživatel v_{h2} pouze ve vrcholu v_{h2}. SA stanice v_{h1}, používané výhradně uživatelem v_{h1}, je zobrazena červenou barvou. SA stanice v_{h2}, používané výhradně uživatelem v_{h2}, je zobrazena žlutou barvou. Následuje otázka, které uzly jsou pro různé uživatele *dosažitelné* (*reachable*) a které hrany jsou *přípustné* (*feasible*).

Uvedený příklad obsahuje více než jednu SA. SA uživatele $h1$ je tvořena *množinou dosažitelných uzlů* $\{v_{h1}, v_1, v_{h2}\}$ a *množinou přípustných hran* je $\{\{v_{h1}, v_1\}, \{v_1, v_{h2}\}\}$. Uživatel v_{h1} nemůže dosáhnout jiné než své domácí SA.

Uživatel v_{h2} je schopen dostat se z SA vytyčené jeho soukromou stanicí do veřejné SA v_{s1} a dokonce dále do SA v_{s2}. Konkrétně je schopen *dosáhnout* všech uzlů, které jsou označeny plnými kolečky, a neschopen *dosáhnout* uzlů, které jsou označeny prázdnými kolečky. V rámci dosažitelných uzlů může cestovat po *přípustných hranách*, které jsou označeny plnými čárami, a nesmí cestovat po *nepřípustných hranách*, které jsou označeny přerušovanými čarami (pokud nechce, aby se mu vozidlo zcela vybilo ještě předtím, než dojede k některé z nabíjecích stanic). Toto pojetí nepřípustných hran pochopitelně předpokládá zákaz otáčení se do protisměru někde uprostřed hrany. Rozhodovat o dalším směru lze jen v uzlech.

Takto definovaným pojem SA pomůže pochopit transformaci použitou v následujícím dílčím modelu poptávky.



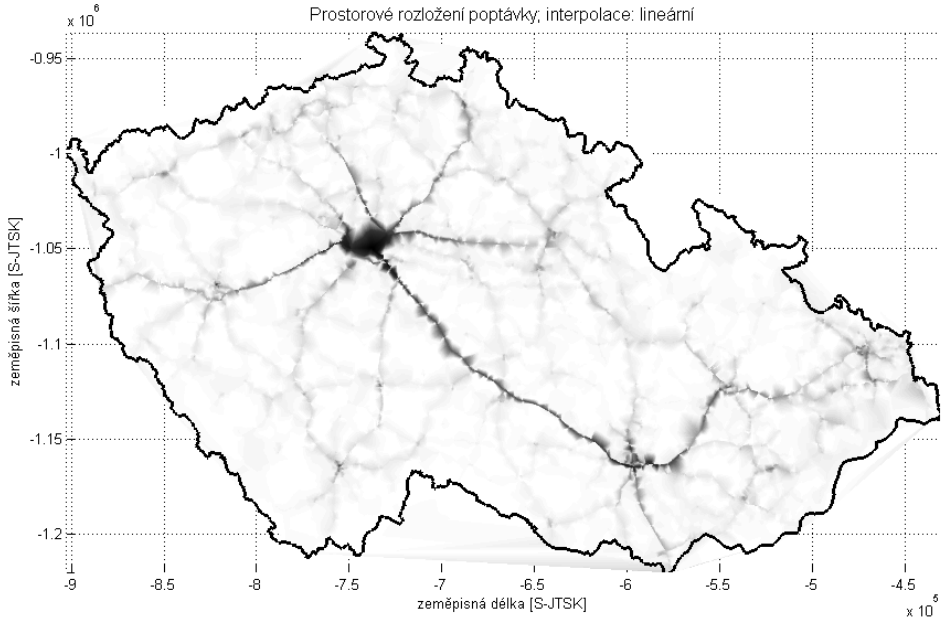
Obr. 3: Zjednodušený diagram silniční sítě
(Zdroj: [35])

4.2 MODEL POPTÁVKY PO NABÍJECÍ SLUŽBĚ

Původní návrh modelu poptávky počítal s tím, že silniční síť bude reprezentována jako neorientovaný ohodnocený graf, v rámci něhož bude definována SA určité stanice. Ukázalo se, že tento způsob však není ideální, proto byla navržena transformace charakteristik grafu do roviny. Výsledkem transformace je projekce do roviny, která zachycuje charakteristiky předchozího grafového modelu s určitou definovatelnou přesností (v práci se pracuje s 5 % přípustnou chybou).

Model poptávky je rozdělen na prostorový model poptávky a časový model poptávky. Časový model poptávky je dále rozdělen na krátkodobé periodické časové rozložení poptávky a dlouhodobé trendové časové rozložení poptávky.

Prostorový model zachycuje rozdělení poptávky po nabíjecí službě na území ČR, přičemž vychází z dat o dopravě, viz obr. 4. V něm platí, že čím tmavší barva, tím více je nabíjecí služba poptávána. Zde podotkněme, že poptávka je kalkulována výhradně pro dálnice a silnice, I. až III. třídy dle Silničního zákona [56], nikoliv pro komunikace obecní, tj. ulice měst.



Obr. 4: Prostorové rozložení poptávky po nabíjecí službě v ČR
(Zdroj: vlastní zpracování)

Časový model poptávky zachycuje změny v poptávce v průběhu času, přičemž je rozdělen na model krátkodobých periodických změn daných denním, týdenním nebo ročním cyklem, a model dlouhodobých změn daný růstem poptávky po elektromobilech.

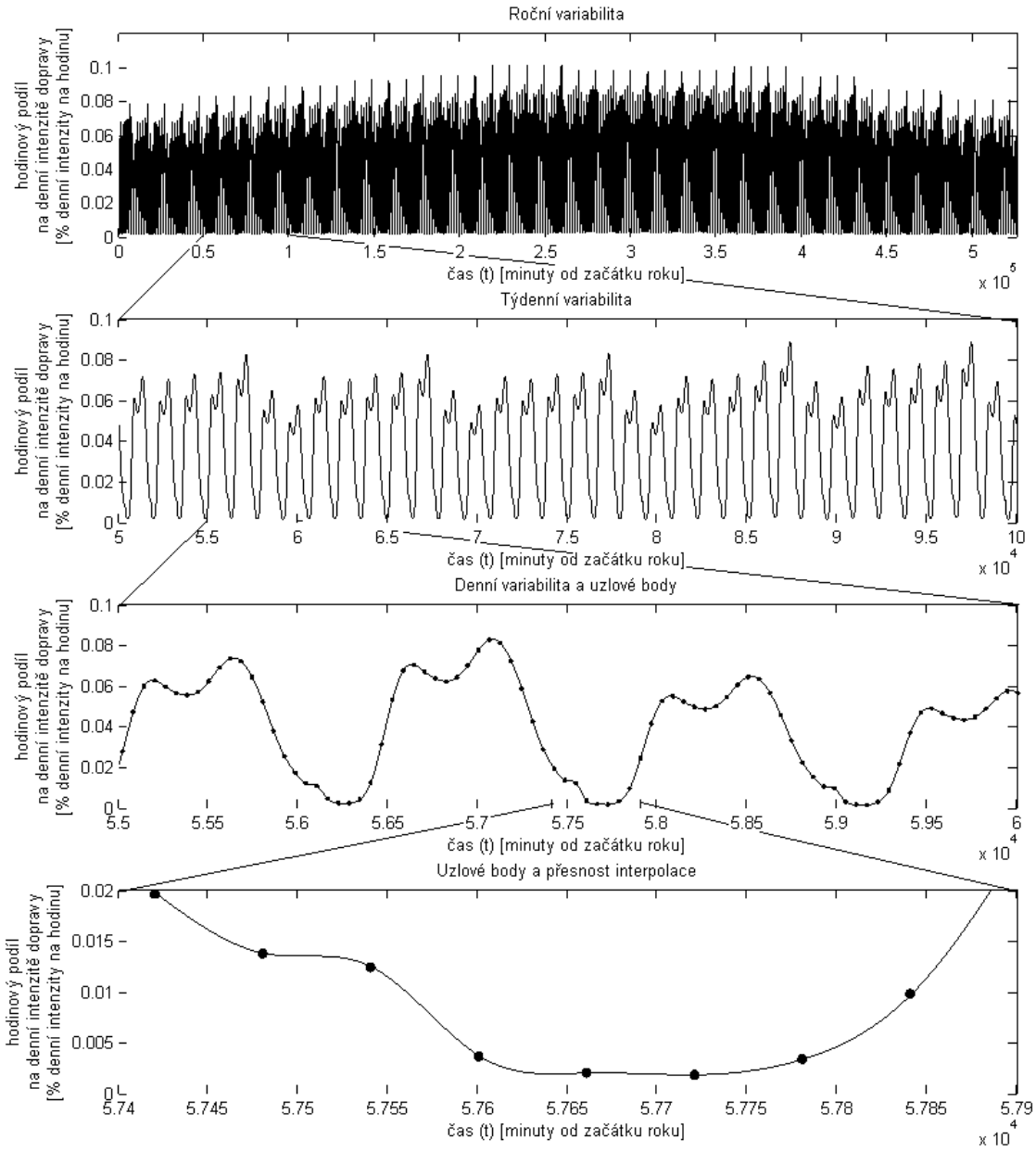
4.2.1 KRÁTKODOBÉ PERIODICKÉ ČASOVÉ ROZLOŽENÍ POPTÁVKY

Krátkodobý model je vystaven na datech z dokumentu o hustotě dopravy [54], kde je vyčíslena hustota dopravy pro jednotlivé hodiny během dne, dny v týdnu a roční období. Na obr. 5 je vidět výstup krátkodobého modelu poptávky jako hodinová intenzita dopravy za celý kalendářní rok po minutách. Z toho důvodu je

obrázek rozdělen do několika úrovní přiblížení. První snímek obsahuje celý rok, kde je viditelné zvýšení intenzity dopravy v období poloviny roku, což odpovídá zvýšené dopravě v době letních měsíců. Na druhém grafu je přiblížení, kdy jsou rozpoznatelné jednotlivé dny a lze pozorovat měnící se intenzitu dopravy podle dne v týdnu. Páteční doprava představuje z hlediska týdne nejvyšší hustotu, nedělní naopak nejnižší. Na třetím grafu v obrázku je vidět dynamika během jednotlivých dní. Ta tvoří nejvýznamnější složku periodických výkyvů v dopravě – střídání dne a noci. Během dne lze zároveň vidět charakteristické vrcholy denní a odpolední zvýšené intenzity. Na posledním grafu je pak funkce intenzity extrémně přiblížená na úroveň jednotlivých hodin, které jsou znázorněny jako černé tečky. Ty představují skutečné hodnoty zjištěné z původního dokumentu o hustotě dopravy [54] a tvoří uzlové body interpolované funkce. Tato funkce interpoluje předpokládaný vývoj v období mezi uzlovými body a umožnuje pracovat s časovým rozlišením dat na úrovní minut.

4.2.2 DLOUHODOBÉ TRENDOVÉ ČASOVÉ ROZLOŽENÍ POPTÁVKY

Druhou částí časového modelu poptávky je dlouhodobý trend v poptávce odvozený od vývoje trhu s elektromobily. Trh elektromobilů není významně rozvinut ve všech zemích světa. Součástí rešerše literatury je průzkum zemí, kde je trh elektromobility dostatečně rozvinutý, aby byl zajímavý pro analýzu chování jeho účastníků. V každé zemi se trh vyvíjel jinak, ovšem podle velmi podobného schématu. Vývoj jednotlivých zemí lze věrně zachytit exponenciálním modelem, kde každá země má vlastní parametry. Tento exponenciální model s parametry specifickými pro ČR tvoří dlouhodobý trend v poptávce, který je druhou časovou složkou modelu poptávky.



Obr. 5: Časová variabilita poptávky – jednotlivé složky
(Zdroj: vlastní zpracování)

4.2.3 MODEL KOMBINUJÍCÍ OBA TYPY ČASOVÉHO ROZLOŽENÍ POPTÁVKY

Jestliže jsou oba časové modely spojeny, vzniká výchozí kombinovaný model časového rozložení poptávky na obr. 6. Kromě těchto dvou složek musí být ještě zohledněny dva parametry φ a η reflektující fakt, že ne všichni uživatelé elektromobilů poptávají veřejnou nabíjecí službu a že ti, kteří ji poptávají, ji využívají jen občas. V horní části je vidět časový model hodinové poptávky po nabíjecí službě v ČR za několik let. Ve spodní části je pak tentýž model, ovšem za kratší období, aby byly zřejmé významné výkyvy v poptávce během dne.

Další obr. 7 zachycuje totožný model, ovšem z hlediska denní poptávky, kde díky agregaci za 24 hodin nejsou viditelné detaily dané denní dobou. Na tomto grafu je

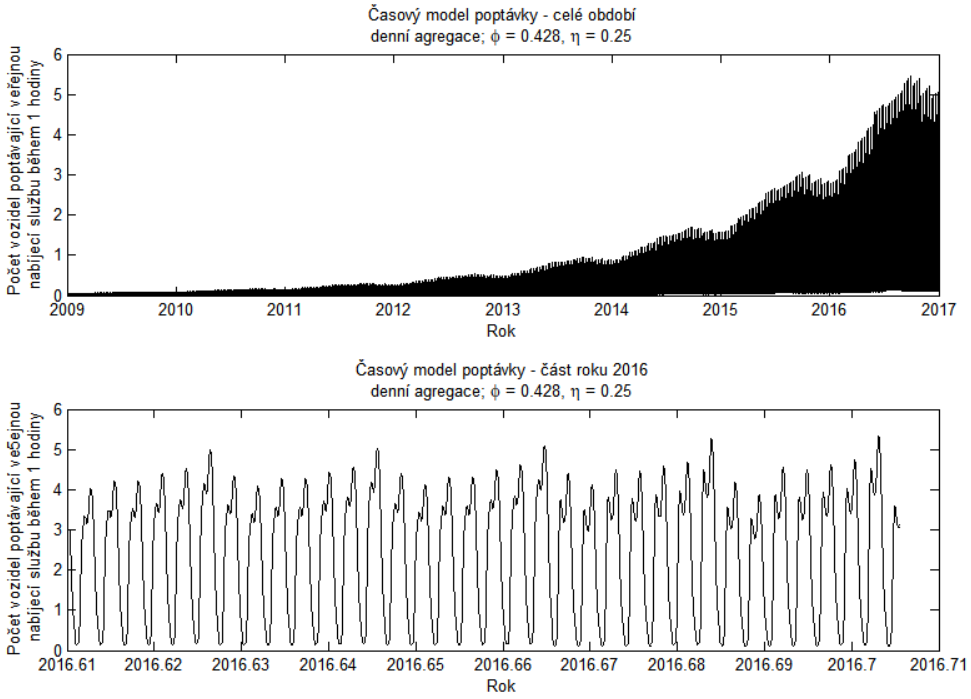
možné lépe pozorovat interakci dlouhodobého modelu (červené trendové linky) a krátkodobých periodických výkyvů.

Spojení prostorové a časové složky modelu poptávky je vysvětleno až v kapitole o simulátoru nabíjení, kde všechny dílčí modely vzájemně interagují.

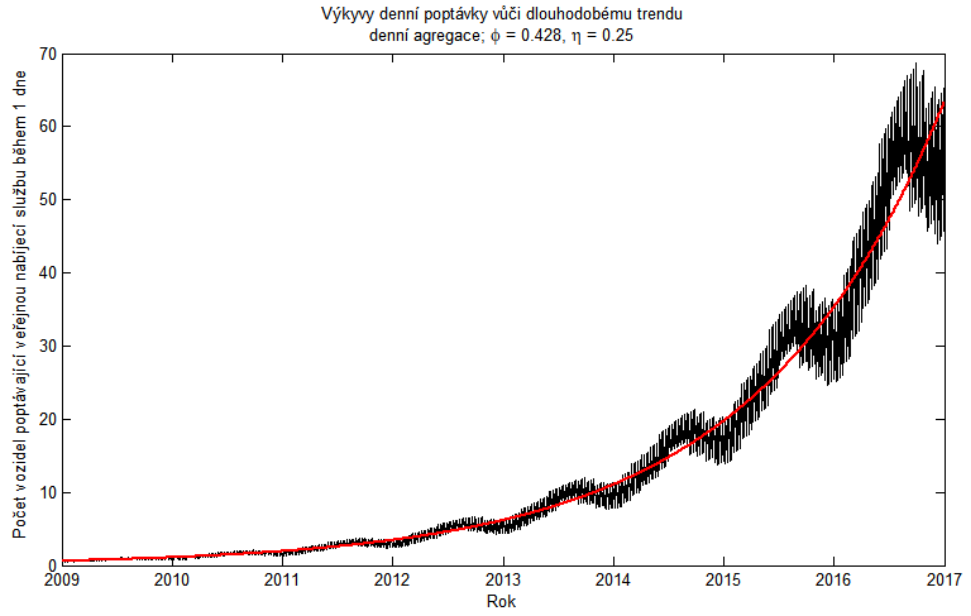
4.3 MODEL NABÍDKY NABÍJECÍ SLUŽBY

Dalším dílčím modelem je model nabídky nabíjecí služby, kterou představují existující aktivní veřejné nabíjecí stanice. Seznam nabíjecích stanic je získán z otevřené, průběžně aktualizované databáze nabíjecích stanic [53]. Databáze obsahuje údaje o jednotlivých stanicích, jejich funkčnost, polohu, výkon, počet konektorů a některé další údaje. Strukturu dat demonstruje tab. 1.

Data o nabíjecích stanicích jsou použita jako základ pro model nabídky nabíjecí služby v čase a prostoru, aby byla možná jeho plnohodnotná interakce s modelem poptávky po nabíjecí službě. Při tvorbě modelu nabídky se proto musela diskutovat nejen jeho struktura, ale musely být rozebrány faktory vztahující se k jeho budoucímu propojení s modelem poptávky. Kromě rozdělení na prostorovou a časovou dimenzi dochází ještě k dělení časové dimenze na krátkodobou a dlouhodobou složku, zde nazvanou jako expanzivní a obslužnou. Expanzivní časová dimenze nabídky by měla popisovat potřebu růstu sítě nabíjecích stanic kvůli dlouhodobému růstu poptávky po nabíjecí službě z důvodu expanze trhu s elektromobily. Naopak obslužná časová dimenze nabídky by měla popisovat schopnost nabídky reagovat na periodické výkyvy v poptávce odvozené od cyklického využívání vozidla během dne, týdne, roku. Kromě těchto dvou faktorů nabídky je pak zohledněn faktor dostupnosti stanice související s faktem, že v použité databázi nejsou všechny stanice nutně ve stavu „operational“, tedy „v provozu“. Dále je pak rozebrán faktor kompatibility stanice a vozidla z hlediska jejich vzájemné propojitelnosti, konkrétně, jak se vypořádat s různými typy konektorů používaných výrobci nabíjecích stanic a elektromobilů. V neposlední řadě je pak rozebrán dopad nedokonalé racionality v používání vozidla, neboť celý model je založen na uniformním předpokladu typizovaného (racionálního) chování člověka jakožto uživatele elektromobilu. Tento předpoklad je ovšem nutným zjednodušením pro potřeby modelu a v realitě bude pravděpodobně do jisté míry porušen.



Obr. 6: Časový model poptávky
(Zdroj: vlastní zpracování)



Obr. 7: Časový model poptávky – denní agregace a výkyvy vůči trendu
(Zdroj: vlastní zpracování)

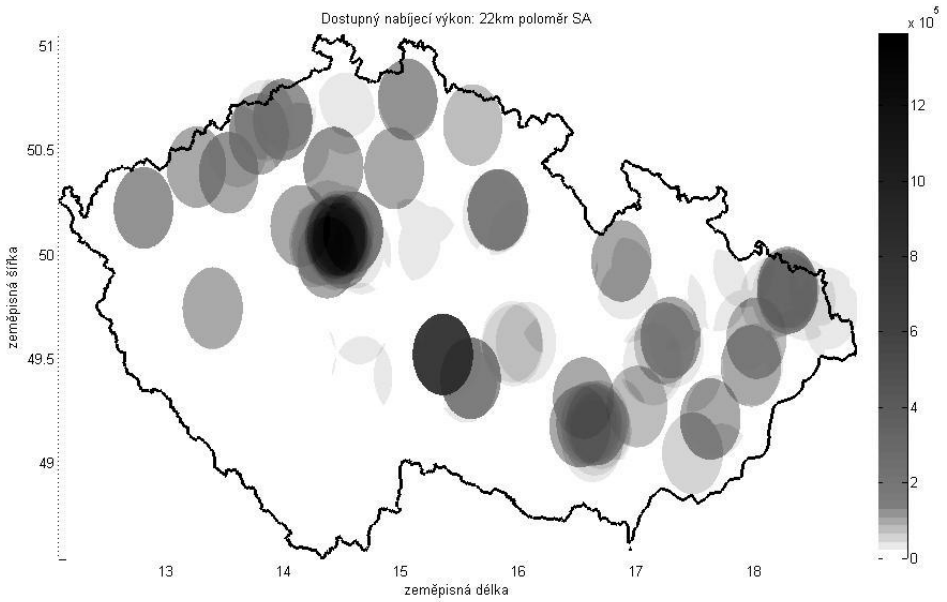
Tab. 1: Parametry nabíjecí stanice

Název	Popis	Příklad
Umístění	Stručný popis lokality, kde se stanice nachází.	Galerie Vaňkovka
Zeměpisná šířka	Zeměpisná souřadnice ve formátu WGS-84.	49.1881169033673
Zeměpisná délka	Zeměpisná souřadnice ve formátu WGS-84.	16.6147003490002
Počet konektorů	Počet konektorů s různými parametry proudu a	3

	napětí. Každý typ konektoru má vlastní parametry proudu, napětí, kategorie, množství a stavu.	
Elektrický proud (A)	Deklarovaná hodnota elektrického proudu v ampérech. Každý konektor má tuto statistiku vlastní.	32
Elektrické napětí (V)	Deklarovaná hodnota elektrického napětí ve voltech. Neobsahuje informaci o polaritě. Každý konektor má tuto statistiku vlastní.	400
Kategorie (tzv. Level)	Rozdělení výkonu konektoru do tří úrovní podle přibližných výkonnostních úrovní. Každý konektor má tuto statistiku vlastní.	Level 2: Medium (Over 2kW)
Množství	Násobnost konektoru určitého typu. Množství větší než 1 znamená, že konektor s daným proudem, napětím, kategorií a stavem je v rámci nabíjecí stanice zastoupen více než jednou.	2
Stav	Deklarovaný stav stanice při poslední aktualizaci.	Operational
Poslední aktualizace	Časové razítko poslední aktualizace.	12/6/2016 6:39:00
Operátor	Název provozovatele nabíjecí stanice.	E.ON (cz)
Dostupnost	Úroveň dostupnosti služby. Určuje, kdo a za jakých podmínek může využívat nabíjecí službu.	Public

(Zdroj: vlastní zpracování dle Open Charge Map [53])

Samotná implementovaná komponenta – model nabídky, neobsahuje obslužnou časovou dimenzi. Ta je implementována jako speciální logika až do simulátoru nabíjení. Model nabídky se zaměřuje primárně na prostorové rozložení nabídky na území ČR a její „kvalitu“. Kvalitou se myslí všechny související statistiky, jako obsloužená oblast, tedy celková service area, počet nabíjecích stanic, jejich výkon a počet konektorů. Tyto statistiky lze zobrazit jako samostatná překrytí mapy ČR. Pro demonstraci je poskytnut obr. 8 znázorňující dostupný kumulativní výkon nabíjecích stanic na území ČR. Zde je nutné připomenout, že zobrazený stav se vztahuje ke konkrétním okamžiku a v současnosti se velmi rychle mění. Skripty poskytnuté k disertační práci ovšem umožňují stáhnout aktuální data a zobrazit analogický graf s aktuálním stavem.



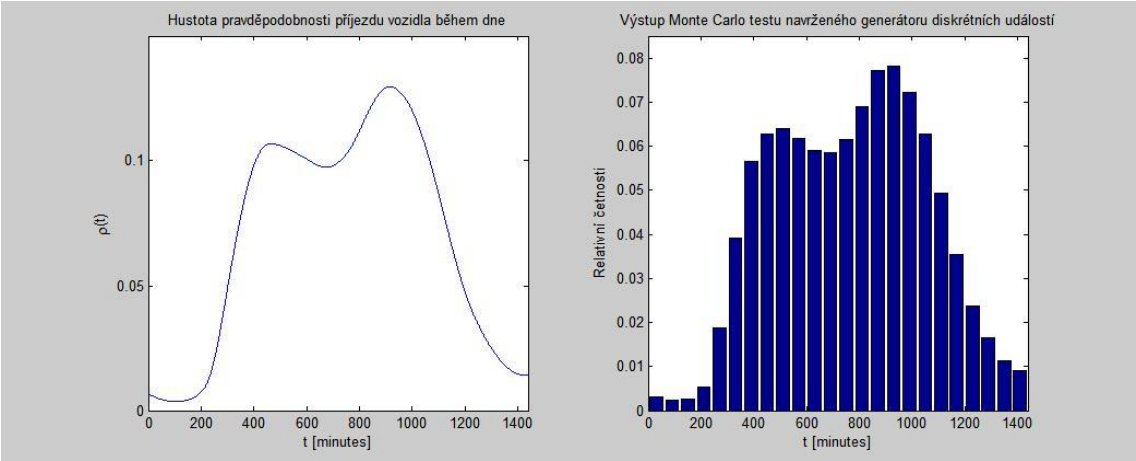
Obr. 8: Kumulativní dostupný výkon nabíjecích stanic
(Zdroj: vlastní zpracování)

4.4 SIMULÁTOR NABÍJENÍ

Simulátor nabíjení jako samostatná komponenta sice spadá do dílčích modelů z hlediska architektury, ale ve skutečnosti jde o první agregační úroveň, kde spolu interagují modely poptávky a nabídky. Simulátor nabíjení je model interakce mezi dvěma hlavními aktéry – elektromobily a veřejnými nabíjecími stanicemi. Zjednodušeně jej lze chápat jako model hromadné obsluhy, nicméně ten by měl být tradičně definován jazykem teorie hromadné obsluhy, což není případ simulátoru nabíjení.

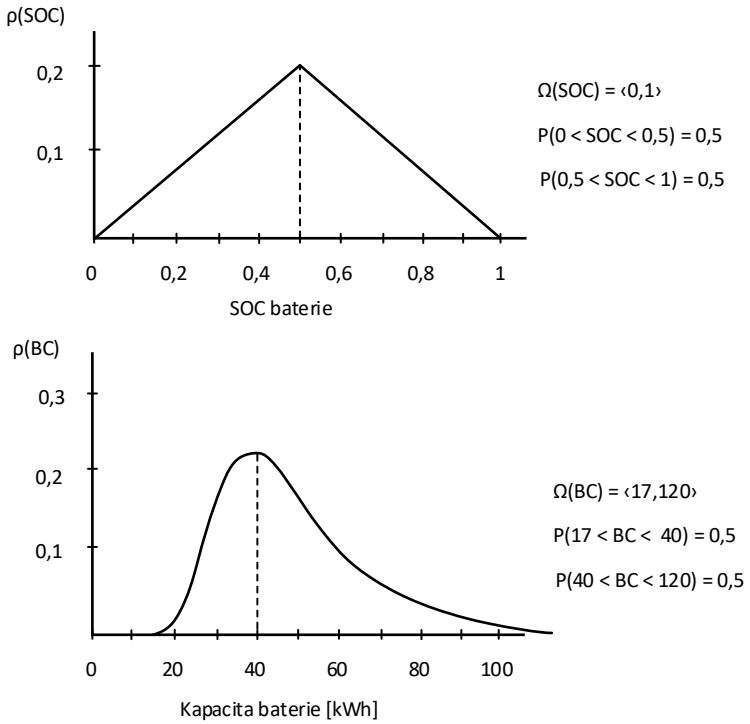
Klíčovou částí simulátoru nabíjení jsou generátory diskrétních náhodných událostí. Těch je několik a liší se podle typu události. Výstupy těchto generátorů tvoří impulzy, které zpracovává model interakce vozidel a stanic, který lze chápat jako výpočetní logiku postavenou na poskytnutých datových strukturách a příchozích impulzech. Jednotlivé generátory a model interakce vozidel a stanic budou nyní zevrubně představeny.

Prvním z generátorů událostí je generátor příjezdů vozidel k nabíjecím stanicím. Ten generuje časy příjezdů vozidel na základě aktivity jejich uživatelů během dne. Hustota dopravy na území ČR během dne je získána z modelu krátkodobé periodické poptávky, který je popsaný výše. Na základě relativních četností dopravy v jednotlivých hodinách dne je vytvořena funkce hustoty pravděpodobnosti. Na té je pak založen generátor diskrétních událostí, který generuje takové události, aby jejich pravděpodobnost výskytu v čase odpovídala původní funkci hustoty pravděpodobnosti. Grafickou demonstraci takové funkce poskytuje obr. 9.



Obr. 9: Funkce hustoty pravděpodobnosti (vlevo), výstup Monte Carlo simulace navrženého generátoru diskrétních událostí (vpravo)
(Zdroj: vlastní zpracování, MATLAB)

Dále v práci figuruje generátor požadované kapacity nabíjení. Přijíždějící vozidla, zastoupena jako diskrétní události příjezdů, musí nést informaci o tom, kolik mají volné nabíjecí kapacity, tedy kolik energie budou poptávat po stanici, ke které přijíždějí. Volná kapacita, definovaná jako množství kWh, není generována přímo, ale je dekomponována na dvě dílčí komponenty. Volná nabíjecí kapacita přijíždějícího vozidla je totiž závislá na celkové kapacitě baterie přijíždějícího vozidla a míře nabití této baterie. Použití těchto základnějších veličin je vhodné zejména proto, že přímo pro volnou nabíjecí kapacitu neexistují data. Existují však studie, které uvádějí, s jak prázdnou baterií přijíždějí průměrně vozidla k nabíjecím stanicím a existují studie, které uvádějí složení provozovaných elektromobilů na daném území, což zase dává informace o celkové kapacitě baterií. Ačkoliv je autorovi známo, že data získaná pro jedno území lze obtížně aplikovat na jiné území, jsou vytvořeny funkce hustoty pravděpodobnosti stavu baterie a kapacity baterie demonstrované na obr. 10.



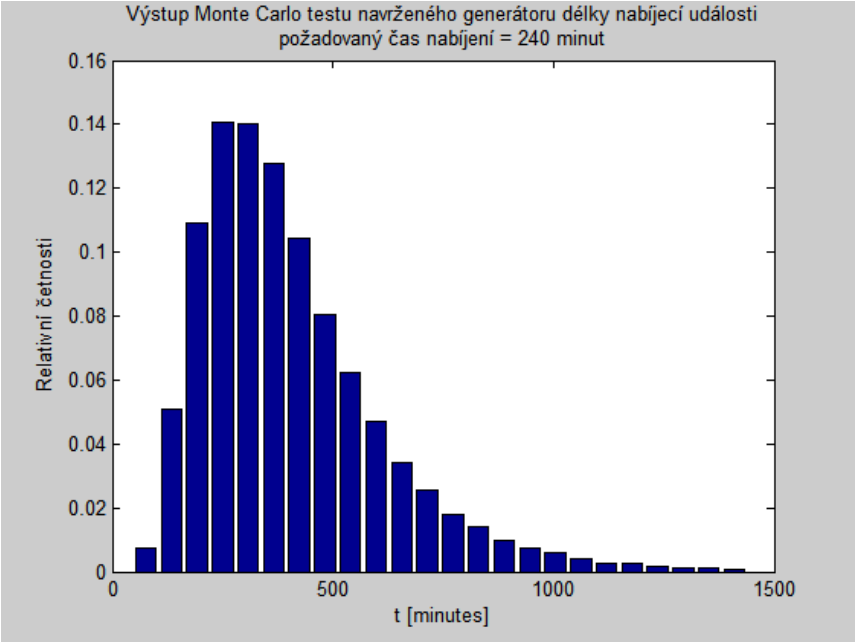
Obr. 10: Funkce hustoty pravděpodobnosti veličiny stav baterie (nahoře) a veličiny kapacita baterie (dole)
(Zdroj: vlastní zpracování)

Generátory diskrétních událostí pro veličiny stav baterie a kapacitu baterie fungují na stejném principu jako generátor příjezdů. Odpovídající funkce hustoty pravděpodobnosti slouží jako pravděpodobnostní rozdělení, která se generátory diskrétních událostí snaží kopírovat při mnohonásobném opakování.

Posledním generátorem je generátor pobytu, případně jej lze chápat jako generátor časů odjezdů. Tento určuje, jak dlouho se vozidlo na stanici zdrží. Jestliže je současně znám čas příjezdu vozidla, pak je efektivně získán čas odjezdu vozidla od stanice. K tomuto účelu je opět nutná funkce hustoty pravděpodobnosti, demonstrovaná na obr. 11 jako histogram generovaný již přímo generátorem.

Jádro simulátoru nabíjení tvoří model interakce vozidel a stanic, který spojuje všechny potřebné komponenty. Jsou v něm volány výstupy modelu poptávky, tedy datové struktury zachycující rozdělení poptávky v prostoru a čase, jsou volány výstupy modelu nabídky, tedy rozdělení stanic v prostoru, a jsou volány všechny generátory diskrétních událostí. Celý proces je zachycen jako diagram na obr. 12.

Výsledek simulace zachycuje modul statistik nabíjení, které jsou využívány k vyhodnocení výsledku nabíjení (vytíženost stanic, pokrytí území ČR nabíjecí službou, míra odmítnutí přijíždějících vozidel stanicí z důvodu plné kapacity). Tyto statistiky hrají klíčovou roli v optimalizačním modelu, jelikož na nich je zkonstruována účelová funkce.



Obr. 11: výstup Monte Carlo simulace navrženého generátoru délky nabíjecí události
(Zdroj: vlastní zpracování, MATLAB)

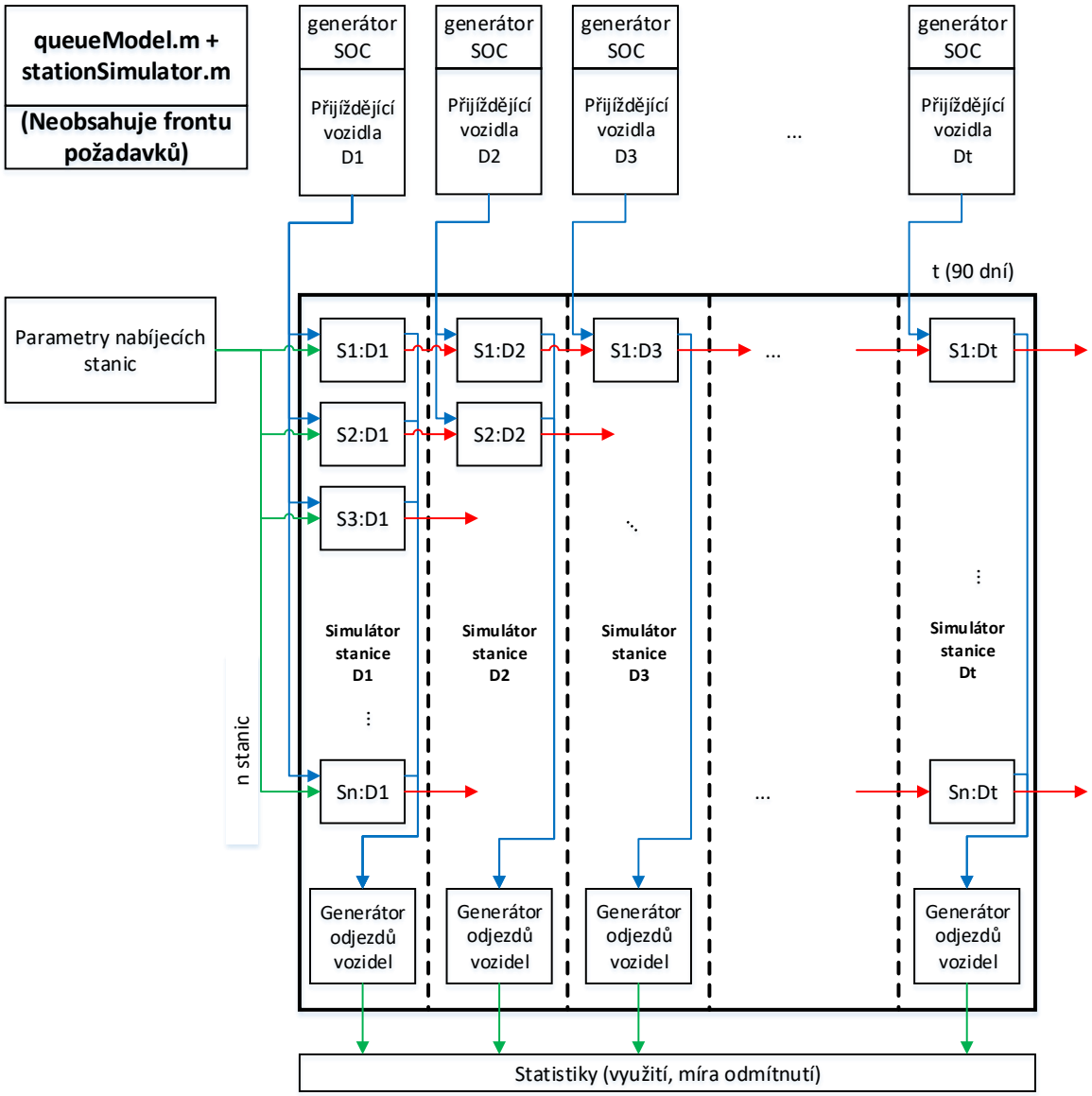
5 OPTIMALIZAČNÍ MODEL A METODA JEHO ŘEŠENÍ

Optimalizační model je centrálním produktem disertační práce. Jde o rozšíření předchozích dílčích modelů a simulátoru nabíjení o formulaci optimalizačních kritérií a omezujících podmínek. Výsledná forma modelu by měla být taková, aby mohla být předložena optimalizačnímu algoritmu a ten byl schopen nalézt optimální nastavení jeho vstupů. Optimalizační model lze chápat jako „zabalení“ simulátoru nabíjení do účelové funkce, se kterou jsou formulována omezující kritéria. Účelovou funkci tvoří tyto dílčí metriky:

- Pokrytí ČR veřejnou nabíjecí službou
- Míra neuspokojitelné poptávky
- Vzájemná prostorová vzdálenost poptávky a nabídky
- Míra vytíženosti stanic
- Míra odmítnutí přijíždějících vozidel

Hodnoty těchto metrik jsou normalizovány, je stanovena jejich vzájemná priorita a jsou agregovány do jediné hodnoty účelové funkce.

Jelikož podkladový simulátor není striktně deterministický (jeho podstatou jsou generátory náhodných čísel), musel být proveden test stability hodnoty účelové funkce. Z toho důvodu byla funkce počítána opakovaně se stejnými vstupními parametry a bylo zjištěno, že vliv náhodné složky je méně než setina procenta hodnoty účelové funkce. Protože tato hodnota je o nejméně dva řády po hodnotou vlivu změny vstupních proměnných, byla účelová funkce prohlášena za stabilní.



Obr. 12: Grafické znázornění modelu interakce vozidel a stanic.
(Zdroj: vlastní zpracování)

Výpočetní náročnost optimalizačního modelu, resp. výpočetní čas jednoho ohodnocení účelové funkce se na stolním PC pohyboval v řádu minut, což bylo pro účely optimalizace příliš. Z toho důvodu je navržena paralelizace nejnáročnější části výpočtu nejdříve na více jádrech CPU a později i na GPU. Proces paralelizace zrychlil výpočet náročné části kódu přibližně 20-krát, což mělo za následek více než pětinásobné snížení výpočetního času celé účelové funkce. Díky tomu bylo možné jeden optimalizační běh programu provést v řádu jednotek hodin.

5.1 METODA ŘEŠENÍ MODELU

Formulovaný a paralelizovaný optimalizační model je obvykle předkládán nějakému optimalizačnímu algoritmu k řešení. Tento algoritmus obvykle bývá funkcí v nějakém programovacím jazyce, která účelovou funkci bere jako svůj

vstup. Algoritmus pak známe jako „solver“, popř. „řešitel“. Aby mohl být optimalizační model řešen, musel být takový solver vytvořen.

Vytvořený optimalizační solver je nazván CGA a je postaven na myšlence genetické transformace populace jedinců. Pracuje se speciálním formátem jedinců. Každý jedinec je tvořen stromovou strukturou, která reprezentuje soubor nabíjecích stanic, kde každá má různý počet připojení, přičemž stanice a připojení mají vlastní parametry umístění a výkonu. Grafická reprezentace populace jedinců a funkce algoritmu CGA je zobrazena na obr. 13.

Obr. 13: Grafická demonstrace algoritmu CGA
(Zdroj: vlastní zpracování)

Navržený solver je schopen takové jedince vytvořit, geneticky reprodukovat, tedy aplikovat na nich selekci, křížení a mutaci a poznat, zda jsou patologičtí (zda nemají nějakou vadu ve struktuře nebo v hodnotách, která by způsobovala, že takové stanice není v realitě možné vytvořit). Současně solver umí populaci jedinců udržovat ve stavu, aby nedocházelo k její degeneraci. Solver také obsahuje řídící logiku, která zastavuje reprodukci, jestliže je dosaženo určitých předem nastavených podmínek. Solver zároveň přidává do celé optimalizace faktor času, takže neoptimalizuje staticky pro jedno nezávislé období, ale dynamicky, kdy výstupy jednoho období jsou vstupy období následujícího.

V neposlední řadě má optimalizační solver na starosti extrakci výsledků optimalizace a jejich prezentaci uživateli.

5.2 PŘILOŽENÝ MODEL V JAZYCE MATLAB

Navržený optimalizační model by nebylo snadné formulovat tradičním způsobem pomocí matematických rovnic. Model je vhodné chápat jako program v jazyce MATLAB, které je softwarovou přílohou disertační práce. Model je příliš rozsáhlý, aby zde mohl být plně dokumentován, na tomto místě bude v tab. 2 poskytnut pouze výčet jednotlivých funkcí a skriptů.

Tab. 2: Seznam funkcí modelu

Kategorie / Název funkce / Název skriptu	Popis
Optimalizační model nabíjecí infrastruktury pro elektromobily	**Velikost: 118,6 kB**

Model poptávky	**Velikost: 38,5 kB**
blh2xy.m	Transformace souřadnic z S-JTSK do WGS-84.
constructDemand.m	Vizualizace uměle generované poptávky pro účely ladění.
custRound.m	Speciální funkce zaokrouhlení.
dopravaANDtrafficFinalMerge.m	Spojení databáze silnic s databází hustoty dopravy.
dopravaUseky2uzlyTest.m	Testovací transformace .shp úseků na uzly.
examineRmax.m	Vizualizace hodnoty Rmax z předchozích výpočtů.
extractDemand.m	Testovací extrakce úseků a uzlů z .shp formátu.
getCRborder.m	Získání a transformace souřadnic územních celků ČR.
getGeodeticDist.m	Výpočet geodetické vzdálenosti mezi dvěma body.
getRmax.m	Výpočet hodnoty Rmax.
graph2meshgridDistances.m	Převod grafové vzdálenosti na vzdálenosti mesh modelu.
mainDoprava.m	Hlavní skript výpočtu a vizualizace dopravy.
mainFullConstruct.m	Hlavní skript výpočtu a vizualizace vzdáleností uzlů, varianta výpočet.
mainFullLoad.m	Hlavní skript výpočtu a vizualizace vzdáleností uzlů, varianta načtení dříve vypočtených, uložených dat.
maxDemSat.m	Doplnění nesaturované poptávky.
modelGraphicPattern.m	Testovací vizualizační skript.
trafficApprox.m	Testovací transformační skript.
trafficDataLoad.m	Nahrání, transformace a vizualizace dopravy.
wgs2jtsk.m	Transformace souřadnic z WGS-84 do S-JTSK.

Model nabídky	**Velikost: 23,8 kB**
CSdownload.m	Stažení aktuální verze databáze nabjecích stanic z OpenChargeMap.org.
CSmodel.m	Hlavní funkce modelu nabídky nabíjecí služby.
CSomegaFunction.m	Funkce omega ochoty uživatelů PEV cestovat.
CStransformData.m	Čištění a transformace stažených dat.
parseXML.m	Transformace XML formátu na MATLAB formát struct (1).
xml2struct.m	Transformace XML formátu na MATLAB formát struct (2).

Simulátor nabíjení	**Velikost: 29,3 kB**
assignDemand.m	Přiřazení poptávky na podkladový mesh, výpočet vzdáleností, paralelizace celého procesu na CPU a GPU.
carArrivalGenerator.m	Generátor příjezdů vozidel ke stanici.
carDepartureGenerator.m	Generátor odjezdů vozidel od stanice.
customRNG.m	Vlastní generátor náhodných čísel podle dané PDF.
demand2meshgrid.m	Tvorba meshe a přiřazení poptávky na mesh.
distDiminish.m	Výpočet matice vážených vzdáleností mezi uzlem sítě a stanicí.
generateArrivals.m	Generátor příjezdů, vizualizace a uložení výsledků.
GPUgeodeticDistance.m	Paralelizovaný výpočet geodetické vzdálenosti.
h2m.m	Přepočet hodin na minuty.
infrastructureStats.m	Výpočet a agregátor ukazatelů výsledků nabíjecích událostí.
jtsk2gps.m	Transformace souřadnic z S-JTSK do WGS-84.
m2h.m	Přepočet minut na hodiny.
mainEVmarket.m	Model dlouhodobé časové složky poptávky.
prepTimeDemandModelData.m	Příprava spojení časových poptávkových modelů.
queueModel.m	Hlavní funkce simulátoru nabíjení.
scrCustomPlot.m	Tvorba a uložení grafů skutečné a simulované PDF dopravy.
scrFullYearDemandVariability.m	Transformace a spojení dílčích PDF dopravy.
SOCfunction.m	Generátor SOC funkce z parametrů trhu elektromobilů.
SOCgenerator.m	Generátor SOC funkce pro přijíždějící vozidla.

stationSimulator.m	Model interakce vozidel a stanic.
testCustomRNG.m	Testovací generátor náhodných čísel.
timeDemandModel.m	Hlavní funkce dlouhodobégo časového modelu poptávky.
timeDemandModelMerge.m	Spojení časových poptávkových modelů a vizualizace.

Optimalizační model	**Velikost: 11,0 kB**
determinismTest.m	Test determinismu (variability hodnot) účelové funkce.
displayResults.m	Sumarizace a zobrazení výsledků optimalizace – jedno období.
displayResultsMultiplePeriods.m	Sumarizace a zobrazení výsledků optimalizace – více období + vytvoření GIFu pro všechny kvartály současně.
displayResultsMultiplePeriodsSingleQ.m	Sumarizace a zobrazení výsledků optimalizace – více období + vytvoření PNG obrázků pro samostatné kvartály.
fullRepublicCoverTest.m	Ověření pokrytí povrchu ČR nabíjecí službou.
MAIN.m	Hlavní spouštěcí skript celého procesu optimalizace (celého modelu).
mainObjectiveFunction.m	Účelová funkce optimalizačního modelu.

CGA solver	**Velikost: 16,0 kB**
addNewStations.m	Otestuje a v případě potřeby vygeneruje novou stanici.
GAnormalCrossover.m	CGA operace genetického křížení.
GAnormalEnrichPop.m	Vygeneruje nového jedince a přidá ho do genotypu.
GAnormalMutation.m	CGA operace genetické mutace.
GAnormalReproduction.m	Řídící funkce genetické reprodukce.
GAnormalSelection.m	CGA operace genetické selekce.
GAnormalSolver.m	CGA solver pro jedno obrobí.
GAnormalSolverMultiplePeriods.m	CGA solver pro více období.
genotype2phenotype.m	Překlad genotypu jedince na jeho fenotyp.
getRandomGenotype.m	Vygeneruje nový náhodný genotyp jedince.

(Zdroj: vlastní zpracování)

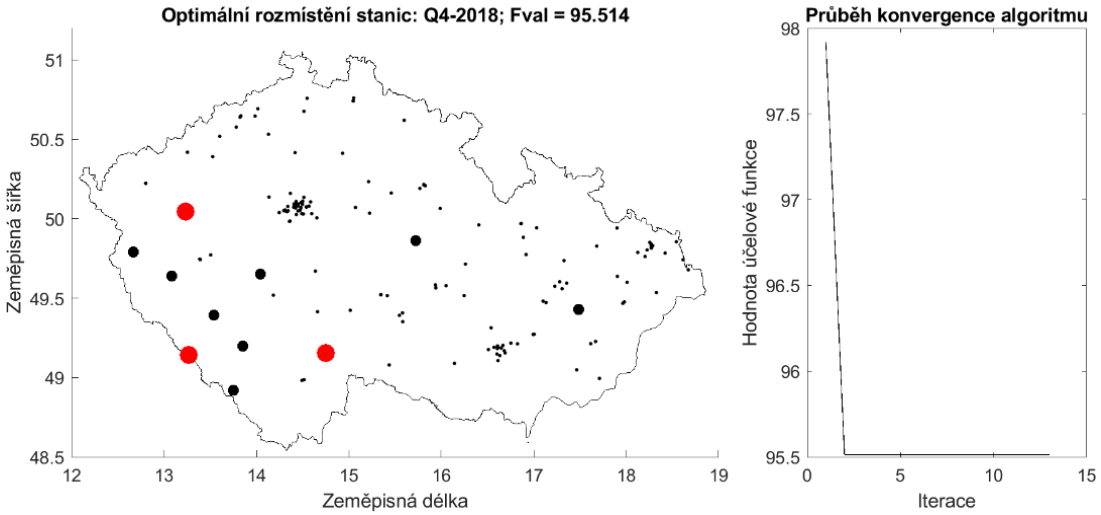
6 NUMERICKÉ VÝSLEDKY A EKONOMICKÉ KONSEKVENCE

Model je otestován na reálných datech z prostředí ČR. Výstupy optimalizace poskytují charakteristiky procesu rozmisťování stanic v po sobě jdoucích obdobích. V numerickém příkladu je použito období čtyř kvartálů roku 2018, kdy v každém kvartálu mohou být umístěny maximálně 3 stanice, což je předmětem uživatelské konfigurace.

Na obr. 14 je znázorněn výstup pro poslední ze čtyř období. Červené tečky demonstrují polohy stanic umístěných v tomto období, velké černé tečky jsou polohy stanic z předchozích optimalizovaných období a malé černé tečky jsou polohy existujících veřejných nabíjecích stanic z databáze Open Charge Map.

Tento výsledek pouze demonstruje funkčnost optimalizačního modelu. Model v podobě, kdy je implementovaný v jazyce MATLAB, nedosahuje kvality, aby byl přímo nabízený jako produkt, nebo použitelný interně pro nějaký komerční či veřejný subjekt. Jde však o funkční prototyp, na základě kterého lze vytvořit funkčně identický software, do kterého budou zakomponovány specifické požadavky budoucího uživatele. Závisí totiž, zda by uživatelem modelu byl komerční subjekt provozující vlastní síť nabíjecích stanic, zda by šlo o soukromou

osobu, která by chtěla vědět, zda svoji soukromou nabíjecí stanici neposkytnout veřejnosti, zda by model používala veřejná instituce k vytipování lokalit vhodných k zařazení do územního plánu jako budoucí nabíjecí stanice. Konkrétní požadavky těchto potenciálních uživatelů nejsou v demonstrovaném prototypu zahrnuty.



Obr. 14: Výsledek optimalizace metodou CGA pro 4 období, výsledek pro Q4/2018
(Zdroj: vlastní zpracování)

Hlavním ekonomickým přínosem práce je ovšem zjištění, které je do prototypu implicitně zakomponováno. Jde o fakt, že v zemích jako je Česká republika, kde je reálně provozováno jen velmi malé množství elektromobilů, bude v současnosti každý investiční záměr o stavbě veřejné nabíjecí infrastruktury nerentabilní. Alespoň na papíře. Problém je, že elektromobily si široká veřejnost nepořídí, dokud nebude existovat hustá a spolehlivá síť nabíjecích stanic. Jenomže pokud je provoz stanic nerentabilní, pak je nikdo nebude ochoten stavět a provozovat. Z tohoto kruhu musí jedna strana vystoupit, udělat první krok a podstoupit určité riziko. Z dvojice podnikatel-uživatel bude mít přirozeně menší averzi k riziku podnikatelský subjekt, který může chtít stavět síť stanic i přesto, že ví, že při současném počtu elektromobilů bude stanice ztrátová.

Jak ovšem rozhodne, kde stanice postavit? Pokud by se řídil tradiční metrikou návratnosti, a ta by byla vždy záporná, pak by se jakýkoliv optimalizační model, který by použil, snažil minimalizovat ztrátu. Místo toho, aby rozmisťoval stanice smysluplně dle poptávky z hlediska výkonu a počtu, bude stanice rozmisťovat co nejlevněji, tedy co nejmenší počet co nejméně výkonných stanic. To ovšem zcela jistě není vhodný způsob. Alternativou je formulace rozmisťovacích kritérií jiným způsobem, například tím, který demonstruje předložená disertační práce.

ZÁVĚR

Problematika rozmisťování nabíjecí infrastruktury je pro Českou republiku aktuální téma. Úroveň elektromobility v zemi ještě není na takové úrovni, jaká je v USA, západní Evropě nebo například Číně. Mnozí namítnou, že takto je to

správně, že bychom se do masového zavádění elektromobilů vůbec pouštět neměli. Faktem ovšem zůstává, že jako členové Evropské unie jsme se v minulosti k této ekologické myšlence zavázali.

Elektromobil lze chápat ryze pragmaticky, jako nový produkt aspirující stát se možnou alternativou ke stroji, který po sto let definoval status quo v daném odvětví. Ovšem provoz takového nového produktu – elektromobilu – s sebou nese požadavek na infrastrukturu. Ta se naštěstí nemusí budovat celá, stačí nově vznikající zařízení napojit na existující silovou síť. Kde konkrétně ovšem veřejná nabíjecí místa vytvořit, to je otázka s mnohem méně zřejmou odpovědí.

Předložená disertační práce se pokouší na tuto otázku poskytnout odpovědi, přičemž se na problematiku snaží dívat ekonomickým pohledem. Poskytuje matematický model zachycující protichůdné požadavky tržních subjektů, který umožňuje nalézt určité řešení i tam, kde čistá ekonomická kalkulace není příliš použitelná. Model simuluje v čase probíhající růst zájmu o elektromobilitu, měnící se požadavky na nabíjení během dne, růst nabídky dostupných nabíjecích míst, interakci vozidel a stanic na úrovni jednotlivých nabíjecích událostí a výsledek iterativního přidávání stanic v čase. Smyslem modelu je najít takové rozmístění stanic, aby pokrytí nabíjecí službou v ČR rostlo spolu s požadavky uživatelů. Model je určen pro jakýkoliv subjekt, který má zájem o mapování stavu, predikci nebo modelování vztahu mezi elektromobily a nabíjecími stanicemi. Autor doufá, že předkládaná práce spolu s doprovodným modelem v jazyce MATLABu dobře poslouží zájemcům z řad průmyslu, vědy a výzkumu.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] JAFFE, Eric. Where Electric Vehicles Actually Cause More Pollution Than Gas Cars. *CityLab* [online]. New York: CityLab, 2015 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.citylab.com/environment/2015/06/where-electric-vehicles-actually-cause-more-pollution-than-gas-cars/397136/

[2] SLOWIK, Peter a Nic LUTSEY. Expanding the electric vehicle market in U.S. cities. *The International Council of Clean Transportation* [online]. Washington, USA: International Council on Clean Transportation, 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.theicct.org/publications/expanding-electric-vehicle-market-us-cities

[3] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, . Global EV Outlook 2017: Two million and counting. *International Energy Agency* [online]. France: IEA Publications, 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf

[4] COBB, Jeff. Top Six Plug-in Vehicle Adopting Countries – 2015. *Hybrid Cars* [online]. Toronto, Canada: VerticalScope Inc., 2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.hybridcars.com/top-six-plug-in-vehicle-adopting-countries-2015/

[5] SHAHAN, Zachary. US Large Luxury Car Sales. *EVObsession* [online]. Important Media: Important Media, 2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://evobsession.com/tesla-model-s-1-in-large-luxury-car-market-in-us-in-2015/

[6] INSIDE EVS, . Monthly Plug-in Sales Scorecard. *Inside EVs* [online]. Inside EVs: Inside EVs, 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://insideevs.com/monthly-plug-in-sales-scorecard/

[7] SHAHAN, Zachary. Electric Cars Now = 23% of New Car Sales in Norway. *EVObsession* [online]. EVObsession: Sustainable Enterprises Media Inc., 2015 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://evobsession.com/electric-cars-now-23-of-new-car-sales-in-norway/

[8] LINDQUIST, Kathy a Michel WENDT. Electric Vehicle Policies, Fleet, and Infrastructure: Synthesis. *Washington State Department of Transportation* [online]. Washington, USA: Washington State Department of Transportation, 2011 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/5559AE0E-8AB5-4E6B-8F8B-DEAA7ECE715D/0/SynthesisEVPoliciesFleetandInfrastructureFINALRev112911.pdf

[9] PUGLIESE, Tony. Environment drives growth in EV sales in Asia. *Just Auto* [online]. Bromsgrove, United Kingdom: Aroq, 2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.just-auto.com/comment/environment-drives-growth-in-ev-sales-in-asia_id166251.aspx

[10] *Národní akční plán čisté mobility (NAP CM)*. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015, ročník 2015, číslo 1. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSZP-NAP_CM-20160105.pdf

[11] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU*. In: . Brusel: Evropský parlament, 2014, ročník 2014, číslo 1. Dostupné také z: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32014L0094

[12] SVAZ DOVOZCŮ AUTOMOBILŮ, . Grafy a tabulky ke statistice vozidel registrovaných v ČR v roce 2017. *Svaz dovozců automobilů* [online]. Hradec Králové: RTV data, 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2018_01_tiskovka-pdf-2017-12.pdf

[13] EV VOLUMES, . Global Plug-in Sales for Q1-2018. *EV Volumes* [online]. Sweden: EV Volumes, 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/

[14] JANÍČEK, Přemysl. *Systémová metodologie: brána do řešení problémů*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, 1 sv. (různé stránkování) : il. ISBN 978-80-7204-887-8.

[15] DOSTÁL, Petr. *Pokročilé metody rozhodování v podnikatelství a veřejné správě*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 713 s. : il., grafy, tab. ISBN 978-80-7204-798-7.

[16] HILLIER, Frederick S. a Gerald J. LIEBERMAN. *Introduction to operations research*. Tenth edition. New York, NY: McGraw-Hill, 2015. ISBN 978-0073523453.

[17] ZELINKA, Ivan. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 189 s. : grafy, tab. ISBN 80-7300-069-5.

[18] DOSTÁL, Petr. *Soft computing v podnikatelství a veřejné správě*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015, 2 sv. : il., mapy, grafy. ISBN 978-80-7204-896-0.

[19] ZELINKA, Ivan. *Evoluční výpočetní techniky: principy a aplikace*. 1. české vyd. Praha:

BEN, 2009, 534 s. ISBN 978-80-7300-218-3.

[20] VESTERSTROM, J. S., J. RIGET a T. KRINK. Division of labor in particle swarm optimisation. In: *Evolutionary Computation, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on*. Honolulu, HI, USA: IEEE, 2002, 2, s. 1570-1575. DOI: 10.1109/CEC.2002.1004476. ISBN 0-7803-7282-4. ISSN 1530-9304.

[21] DRÉO, J. *Metaheuristics for hard optimization: methods and case studies*. 1. Berlin: Springer, 2006. ISBN 978-3540230229.

[22] GOLDBERG, David E. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. 1. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1989. ISBN 0201157675.

[23] MICHALEWICZ, Zbigniew. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Third, Revised and Extended Edition. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 9783662033159.

[24] HOLLAND, John H. *Adaptation in natural and artificial systems an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. 1st MIT Press ed. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992. ISBN 9780262275552.

[25] JAMIAN, J.J., M.W. MUSTAFA, H. MOKHLIS a M.A. BAHARUDIN. Simulation study on optimal placement and sizing of Battery Switching Station units using Artificial Bee Colony algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* [online]. 2014, 55(1), 592-601 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.10.009. ISSN 01420615. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142061513004262

[26] WANG, Ying-Wei a Chuan-Ren WANG. Locating passenger vehicle refueling stations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* [online]. 2010, 46(5), 791-801 [cit. 2018-05-25]. DOI: 10.1016/j.tre.2009.12.001. ISSN 13665545. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1366554509001513

[27] LAM, Albert Y. S. YIU-WING LEUNG a XIAOWEN CHU. Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity, and Solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2014, 5(6), 2846-2856. DOI: 10.1109/TSG.2014.2344684. ISSN 1949-3053. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/6879337/

[28] HENGSONG WANG, QI HUANG CHANGHUA ZHANG a AIHUA XIA. A novel approach for the layout of electric vehicle charging station. In: *The 2010 International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis Proceeding*. IEEE, 2010, s. 64-70. DOI: 10.1109/ICACIA.2010.5709852. ISBN 978-1-4244-8025-8. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/5709852/

[29] YOU, Peng-Sheng a Yi-Chih HSIEH. A hybrid heuristic approach to the problem of the location of vehicle charging stations. *Computers & Industrial Engineering* [online]. 2014, 70(1), 195-204 [cit. 2018-05-25]. DOI: 10.1016/j.cie.2014.02.001. ISSN 03608352. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360835214000345

[30] SADEGHI-BARZANI, Payam, Abbas RAJABI-GHAHNAVIEH a Hosein KAZEMI-KAREGAR. Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy* [online]. 2014, 125(1), 289-299 [cit. 2018-05-25]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.03.077. ISSN 03062619. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914003171

[31] WORLEY, Owen, Diego KLABJAN a Timothy M. SWEDA. Simultaneous vehicle routing and charging station siting for commercial Electric Vehicles. In: *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. Greenville, USA: IEEE, 2012, s. 1-3. DOI: 10.1109/IEVC.2012.6183279. ISBN 978-1-4673-1561-6. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/6183279/

[32] HE, Fang, Di WU, Yafeng YIN a Yongpei GUAN. Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological* [online]. 2013, 47(1), 87-101 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.trb.2012.09.007. ISSN 01912615. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191261512001336

[33] WANG, Guibin, Zhao XU, Fushuan WEN a Kit Po WONG. Traffic-Constrained Multiobjective Planning of Electric-Vehicle Charging Stations. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2013, 28(4), 2363-2372. DOI: 10.1109/TPWRD.2013.2269142. ISSN 0885-8977. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/6555966/

[34] PEKÁREK, Jan. A Model of Charging Service Demand for the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 2017, 65(5), 1741-1750 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.11118/actaun201765051741. ISSN 1211-8516. Dostupné z: https://acta.mendelu.cz/65/5/1741/

[35] PEKÁREK, Jan. A Dynamical Model of the Charging Station Placement Problem. In: *Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth*. 25. Amsterdam, Netherlands: International Business Information Management Association (IBIMA), 2015, s. 2292-2302. ISBN 978-0-9860419-4-5.

[36] HARRIS, Chioke B. a Michael E. WEBBER. An empirically-validated methodology to simulate electricity demand for electric vehicle charging. *Applied Energy* [online]. 2014, 126(1), 172-181 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.03.078. ISSN 03062619. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914003183

[37] SEARS, Justine, Karen GLITMAN a David ROBERTS. Forecasting demand of public electric vehicle charging infrastructure. In: *2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*. Portland, OR, USA: IEEE, 2014, s. 250-254. DOI: 10.1109/SusTech.2014.7046252. ISBN 978-1-4799-5238-0. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/7046252/

[38] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, . National Household Travel Survey. *2017 National Household Travel Survey* [online]. Washington, USA: U.S. Department of Transportation, 2018 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: https://www.nationalhouseholdtravelsurvey.com/

[39] *Celostátní sčítání dopravy 2016* [online]. Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2017 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://scitani2016.rsd.cz/pages/informations/default.aspx

[40] AZADFAR, Elham, Victor SREERAM a David HARRIES. The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, 42, 1065-1076. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.058. ISSN 13640321. Dostupné také z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008831

[41] ROBINSON, A.P., P.T. BLYTHE, M.C. BELL, Y. HÜBNER a G.A. HILL. Analysis of electric vehicle driver recharging demand profiles and subsequent impacts on the carbon content of electric vehicle trips. *Energy Policy* [online]. 2013, 61(1), 337-348 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.05.074. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421513004266

[42] LEVINSON, Rebecca S. a Todd H. WEST. Impact of public electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 2017, (), - [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.trd.2017.10.006. ISSN 13619209. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136192091630757X

[43] VOLLERS, Welmoed, Roland STEINMETZ a Qi HAN. Sustainable business models for public charging points. In: *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*. Barcelona, Spain: IEEE, 2013, s. 1-11. DOI: 10.1109/EVS.2013.6915022. ISBN 978-1-4799-3832-2. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6915022

[44] NIGRO, Nick a Matt FRADES. Business Models for Financially Sustainable EV Charging Networks. *Washington State Legislature* [online]. USA: State of Washington, 2015 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://leg.wa.gov/JTC/Documents/Studies/EV/FinalReport_EVChargingNetworksWEB.pdf

[45] LIN, Xiangning, Jinwen SUN, Shengfang AI, Xiaoping XIONG, Yunfei WAN a Dexian YANG. Distribution network planning integrating charging stations of electric vehicle with V2G. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* [online]. 2014, 63(1), 507-512 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.ijepes.2014.06.043. ISSN 01420615. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142061514004013

[46] SAATY, Thomas L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. 1st ed. London: McGraw-Hill International Book Co., 1980. ISBN 9780070543713.

[47] LAM, Albert Y S a Victor O K LI. Chemical-Reaction-Inspired Metaheuristic for Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2010, 14(3), 381-399. DOI: 10.1109/TEVC.2009.2033580. ISSN 1941-0026. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/5353674/

[48] XU, Hao, Shihong MIAO, Chunyong ZHANG a Dongyuan SHI. Optimal placement of charging infrastructures for large-scale integration of pure electric vehicles into grid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* [online]. 2013, 53(1), 159-165 [cit. 2018-05-26]. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.04.022. ISSN 01420615. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142061513001907

[49] HESS, Andrea, Francesco MALANDRINO, Moritz Bastian REINHARDT, Claudio CASETTI, Karin Anna HUMMEL a Jose M. BARCELÓ-ORDINAS. Optimal deployment of charging stations for electric vehicular networks. In: *Proceedings of the first workshop on Urban networking - UrbaNe '12*. New York, New York, USA: ACM Press, 2012, s. 1-6. DOI: 10.1145/2413236.2413238. ISBN 9781450317818. Dostupné také z: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2413236.2413238

[50] NING, Guobao, Zijian ZHEN, Peng WANG, Yang LI a Huaixian YIN. Economic Analysis

on Value Chain of Taxi Fleet with Battery-Swapping Mode Using Multiobjective Genetic Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering* [online]. 2012, 2012(1), 1-15 [cit. 2018-05-25]. DOI: 10.1155/2012/175912. ISSN 1024-123X. Dostupné z: http://www.hindawi.com/journals/mpe/2012/175912/

[51] NÁRODNÍ DOPRAVNÍ INFORMAČNÍ CENTRUM, . Zjednodušená vektorová data dopravních úseků silniční sítě České Republiky. *Národní dopravní informační centrum: Ředitelství silnic a dálnic* [online]. Ostrava: Ředitelství silnic a dálnic, 2014 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://portal.dopravniinfo.cz/informacni-a-ridici-centra-dopravy/narodni-dopravni-informacni-centrum#

[52] *Celostátní sčítání dopravy 2010* [online]. Praha: Ředitelství silnic a dálnic, 2011 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx

[53] *Open Charge Map Database* [online]. https://www.openchargemap.com/site: Open Charge Map, 2018 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: https://www.openchargemap.com/site

[54] BARTOŠ, Luděk. *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: Technické podmínky* [online]. 2. vyd. Praha: EDIP, 2012 [cit. 2018-05-26]. ISBN 978-80-87394-06-9. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP189.pdf

[55] *Centrální registr vozidel* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2018 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/

[56] Zákon č. 13/1997 Sb.: Zákon o pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: Česká republika, 1997, ročník 1, číslo 1. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-13

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS

Jméno a příjmení: Ing. Jan Pekárek
Trvalé bydliště: Bolzanova 31H, Znojmo, 669 02
Narozen: 24. března 1989, Brno
Kontakt pracovní: xpekar06@vutbr.cz
Kontakt osobní: pekarek.jan89@gmail.com

Vzdělání

2014 – nyní	VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, doktorské studium – obor Řízení a ekonomika podniku, zaměření – ekonomické aplikace metod umělé inteligence
2012 – 2014	VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, magisterské studium – obor Informační management, titul Ing.
2009 – 2012	VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, bakalářské studium – obor Manažerská informatika, titul Bc.
2004 – 2008	Gymnázium Dr. K. Polesného, Nám. Komenského 4, 669 75, Znojmo

Některé relevantní pracovní zkušenosti

2018 – nyní	datový analytik Mavenir s.r.o.
2017 – 2018	datový analytik v OKAY s.r.o.
2015 – 2018	lektor MS Office software v rámci předmětu Informatika pro ekonomy
2015 – 2018	lektor předmětu Znalostní management v rámci MBA oboru soukromé školy SMA (Slovensko)
2014 – 2018	lektor předmětů Pokročilé metody v rozhodování (analýza dat pomocí nástrojů AI)
2014 – nyní	doktorand při Ústavu informatiky, FP, VUT v Brně
2008 – 2018	externí soukromý lektor: výuka matematiky, informatiky, ekonomie, angličtiny

Jazykové znalosti

Anglický jazyk (C1)

ABSTRACT

The presented dissertation deals with the problem of deploying the charging infrastructure for electric vehicles in the Czech Republic. First, the topic is defined and the motivation is explained. Subsequently, literary sources of a different nature are examined to provide a broad, comprehensive view of the subject. The aims of the work are defined and an explanation of the methodology is provided. Consequently, the architecture of the core of the work is presented, so that it is possible to move on to the explanation of the parts. The core of the thesis is a mathematical optimization model, or we can interpret it as an optimization simulation, which is implemented in the language of MATLAB computing software. The model consists of several sub-units representing separate models of studied sub-problems. The individual chapters of the work describe successively these sub-models. In the beginning we discuss the used data sources, followed by a description of the demand model for the charging service. Because the model is quite critical, a detailed critique of the proposed solution is provided exploring the potential weaknesses of the model. Next chapter describes model of the charging service based on the public database of existing charging stations. These two models mutually interact in the charging simulator, which models the charging events. The optimization model is first examined in terms of computational complexity, and before we attempt to solve it, changes are designed and implemented to multiply its calculation speed. The next chapter presents custom optimization method based on the principle of heuristic genetic reproduction of the populations of possible solutions. A population format is proposed, where genetic information is carried by both the stored values and the structure. The optimization method is presented as an optimization solver with possibility to set control parameters and input the objective function. The optimization solver is implemented in two versions, as a basic solver capable of calculating one period ahead and as a more sophisticated multi-period solution solver to optimize several consecutive deployment phases. The use of both types of solvers is demonstrated on a numerical example using realistic current data. The final chapter deals with an economic aspect of the problem under consideration, the implications of the findings and the role that the optimization model plays in the context under consideration. The main benefit of the work is not in the provided numerical results, as they obsolete very quickly. The true value of the work lies in the formulation of the problem as a mathematical model, the accompanying analyzes and the provided justifications. Any user with updated data can then use this work along with the attached scripts to find answers to questions about the relationship between electromobility and the charging infrastructure.

SEZNAM VYDANÝCH PUBLIKACÍ

PEKÁREK, J.; SCHÜLLER, D. Optimization of the Automotive Service Centre Network for New Entrants into Czech and Slovak Markets. *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series D,* 2018, no. 43, p. 196-207. ISSN: 1804-8048.

SCHÜLLER, D.; PEKÁREK, J. Customer Satisfaction Measurement – Clustering Approach. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis,* 2018, vol. 66, no. 2, p. 561-569. ISSN: 1211-8516.

SCHÜLLER, D.; PEKÁREK, J.; CHLEBOVSKÝ, V.; ŠIMBEROVÁ, I. Novel Method of Price Determination based on Reference Price. *Engineering Economics,* 2018, vol. 29, no. 1, p. 13-23. ISSN: 1392-2785.

PEKÁREK, J. A Model of Charging Service Demand for the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2017, vol. 5, no. 65, p. 1741-1750. ISSN: 1211-8516.

MAZÁNEK, L.; PEKÁREK, J.; VRANIAK, L.; KONEČNÁ, Z. Identification Of Leadership Competencies In The International Environment. In *Global and national business theories and practice: bridging the past with the future.* Rome, Italy: EuroMed Press, 2017. p. 1018-1029. ISBN: 978-9963-711-56-7.

MAZÁNEK, L.; PEKÁREK, J.; VRANIAK, L.; KONEČNÁ, Z. Identification Of Leadership Competencies In The International Environment. *EuroMed Academy of Business Conference Book of Proceedings,* 2017, vol. 1, no. 1, p. 1018-1029. ISSN: 2547-8516.

PEKÁREK, J.; SCHÜLLER, D. Charging Supply Measurement: The Case of Czech Republic. In *Urban Planning, Architecture & Design: Conference Proceesings, Volume II. SGEM International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts.* 2017. p. 81-88. ISBN: 978-619-7408-25-6. ISSN: 2367-5659.

PEKÁREK, J.; SCHÜLLER, D. Buying Motives of Green Customer in Automotive Industry. In *Urban Planning, Architecture & Design: Conference Proceesings, Volume II. SGEM International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts.* 2017. p. 73-80. ISBN: 978-619-7408-25-6. ISSN: 2367-5659.

MAZÁNEK, L.; MEGOVÁ, S.; PEKÁREK, J. Current Personnel Marketing Approches As Applied By Local South Moravian HPO Company. In *Proceedings of the Interdisciplinary Scientific International Conference for PhD students and*

assistants. 2017. p. 71-79. ISBN: 978-80-87952-20-7.

MAZÁNEK, L.; PEKÁREK, J.; VESELÝ, J. South Moravian SME´s Performance in Relation to Maturity of Leadership: Results of a Quantitative Research Study. In *Innovation, Management, Entrepreneurship and Sustainability. Proceedings of the 5th International Conference (IMES 2017).* Oeconomica, 2017. p. 596-605. ISBN: 978-80-245-2216-6.

SCHÜLLER, D.; PEKÁREK, J. Market Attractiveness Classification of European Union Countries for Establishing Logistics Centres. *Vědecký sborník,* 2016, vol. 24, no. 05/2016, p. 3-13. ISSN: 0572-3043.

PEKÁREK, J.; SCHÜLLER, D. Importance of Customer Satisfaction Factors in Strategic Marketing: Neural Network Method. In *Innovation Management and Sustainable Economic Competitive Advantage: From Regional Development to Global Growth.* 26. Madrid, Spain: International Business Information Management Association (IBIMA), 2015. p. 1174-1182. ISBN: 978-0-9860419-5-2.

PEKÁREK, J. Determination of Electric Vehicle Charging Demand. In *Innovation Management and Sustainable Economic Competitive Advantage: From Regional Development to Global Growth.* 26. Madrid, Spain: International Business Information Management Association (IBIMA), 2015. p. 1211-1220. ISBN: 978-0-9860419-5-2.

SCHÜLLER, D.; PEKÁREK, J.; RAŠTICOVÁ, M. Managerial Decisions on Optimal Number of Demand Segments. In *2nd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2015.* 2. Albena, Bulgaria: Bulgarian Academy of Sciences, 2015. p. 545-552. ISBN: 978-619-7105-48-3.

SCHÜLLER, D.; PEKÁREK, J.; DOSTÁL, P.; CHLEBOVSKÝ, V. Profitability of Customer Satisfaction Segments: Genetic Algorithm Method in Multidimensional Clustering. In *In Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth.* 25. Amsterdam, Netherlands: 2015. p. 2561-2571. ISBN: 978-0-9860419-4-5.

PEKÁREK, J. A Dynamical Model of the Charging Station Placement Problem. In *Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth.* 25. Amsterdam, Netherlands: International Business Information Management Association (IBIMA), 2015. p. 2292-2302. ISBN: 978-0-9860419-4-5.

PEKÁREK, J. *Evoluční algoritmy v problému nabíjecí infrastruktury pro elektromobily.* 2014. s. 1-13.