

Brno University of Technology
Faculty of Information technology



Modelování a simulace
Zadání č. 5 Energetika. Zdroje, suroviny
FIT VUT v Brně, 2021
Název týmu: Velikán

Autorky:
Elena Carasec (xcaras00)
Viktoryia Tomason (xtomas34)

Brno

Contents

1	Úvod a motivaci	3
1.1	Autorky a zdroje informací	3
1.2	Ověření validity	3
2	Shrnutí relevantních faktů, zdroje informací	3
2.1	Popis původu použitých metod/technologií	4
3	Koncepce metody, přístupu, modelu	5
4	Implementaci metody, modelu	6
5	Experimentování	7
5.1	Postup	7
5.2	Experimenty	7
5.2.1	Ověřování validity	7
5.2.2	Maximální počet prodávaných aut ročně na jednu linku	7
5.2.3	Škalování	8
5.2.4	Řidiče nákladních aut	9
6	Závěr	10
7	Bibliography	11

1 Úvod a motivaci

V této práci je řešen proces recyklace baterií elektrických automobilu, který bude použit pro sestavení modelu, a jeho ekologické aspekty. Na základě modelu a simulačních experimentů bude ukázáno jaká kapacita závodu by měla být aby odpovídala poptávce a kolik kilogramů oxidu uhličitého denně se bude uvolňovat kvůli tomuto procesu.

Smyslem experimentů je demonstrovat poptavku na recyklaci na bázi počtu aktuálně prodáváných elektromobilů a modelovat potřebnou kapacitu závodu, který by zůstal aktuálním během následujících 10 let a jaké budou jeho následky pro prostředí. To znamená kolik oxidu uhličitého bude ušetřeno při opětovné recyklaci baterií.

1.1 Autorky a zdroje informací

Projekt vypracovaly studentky Carasec Elena a Tomason Viktoriya z FIT VUT v Brně.

Informace jsou čerpány z magisterské práce Claudii García Reyes[3] a článku C.Aichbergera a G.Jungmeiera[1], takže bylo využito zdrojů z kurzu Modelování a simulace[2].

1.2 Ověření validity

Ověřování validity probíhalo na základě údajů o pilotním závodě Volkswagen v Salzgit-teru¹. Podrobnější popis naleznete v sekci 5.2.1.

2 Shrnutí relevantních faktů, zdroje informací

Tématem práce je simulace recyklace baterií elektrických automobilu. Jako vzor automobilů jsme vybraly Škoda Citigo iV². V rozmezí od 7 do 10 let po nákupu elektromobilu se v něm degraduje baterie. Po degradaci se prochází nutné demontování baterky v demontažním centru. Takových center je 14, což se rovná počtu krajů v Česku. A tak se to dělá s každou baterií. Dalším krokem je recyklace baterie na závodě. Jako nákladní automobil pro odvoz baterií na závod byl vybrán Mercedes-Benz-Atego, který má tyto vlastnosti: nosnost: 2700 kg, spotřeba : 17 l/100km, emise CO₂: 446 g/km, střední rychlost 70km/h, což znamená 31,2 g/h CO₂ průměrná váha baterie 400 kg, co znamená že můžeme za jednu cestu převést 6 baterie. Tyto baterky nákladní auto veze do demontážního centra, kde se recykluje do nových baterií.

¹<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/lithium-to-lithium-manganese-to-manganese.html>

²<https://www.skoda-storyboard.com/en/skoda-world/innovation-and-technology/technology/top-e-questions-and-e-answers/>

2.1 Popis původu použitých metod/technologií

Návrh byl proveden pomocí Petriho sítě, které byly probrány v předmětu IMS. Pak vytvořený model jsme implementovaly ve v jazyce C++³, pomocí knihovny SIMLIB, která byla získána z oficiálních stránek tohoto nástroje⁴. Pro překlad zdrojových souborů byl použit Makefile. Takže byly přezkoumány všechny demo cvičení z předmětu IMS, které byly pro nás oporou.

³<https://cppreference.com/w/cpp>

⁴<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

3 Koncepce metody, přístupu, modelu

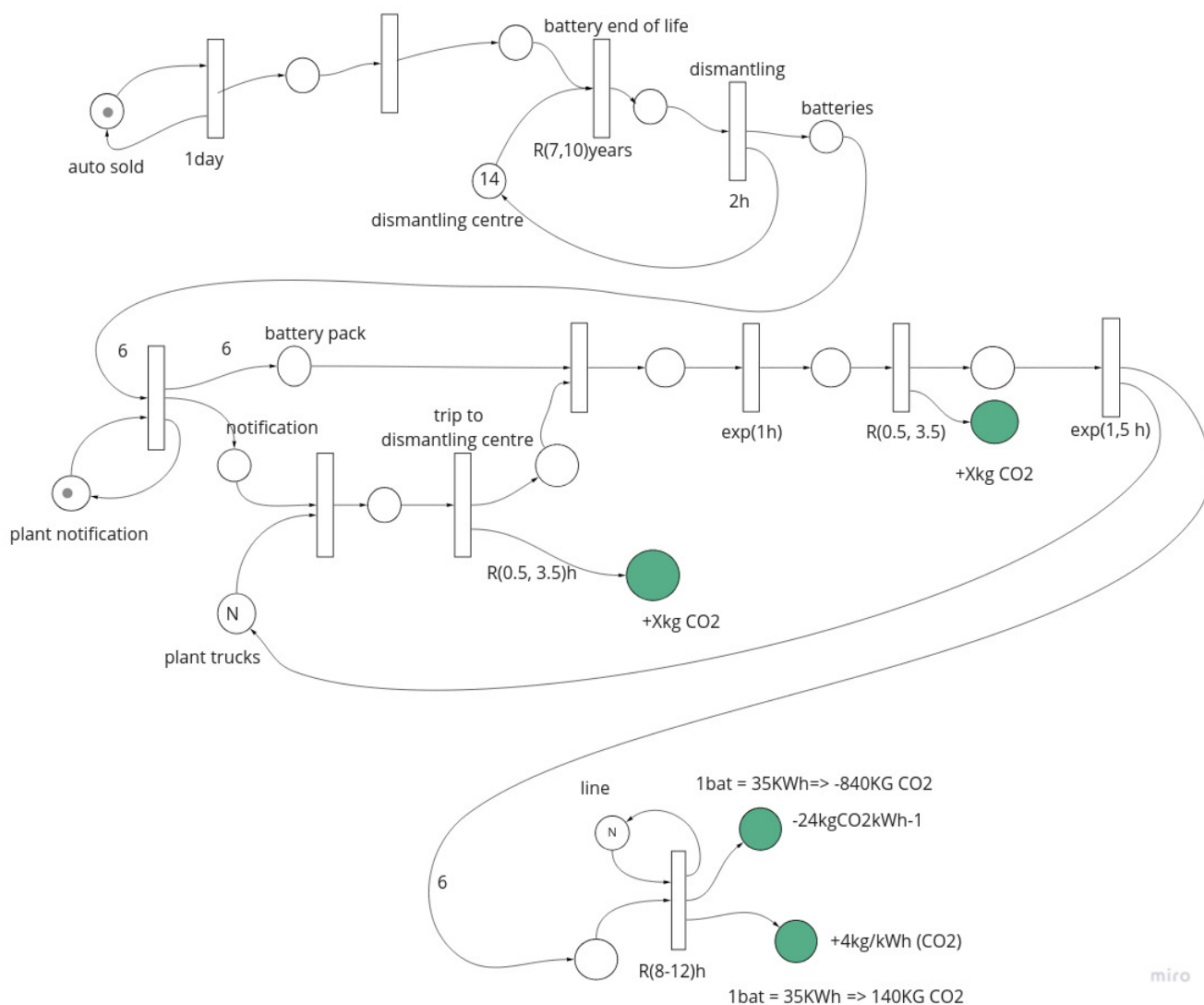


Figure 1: Konceptuální schéma modelu

Na obrázku je vidět Petriho síť reprezentující recyklace baterií elektrických automobilů. Uživatel uvádí kolik aut ročně se prodává. V modelu máme elektrický automobil, u kterého dochází k degradaci baterky, co se nastává v intervalech danými rovnoměrným rozložením 7 až 10 let. Po degradaci je baterie v demontážním centru, kde ji úplně vybijí a demontují. Ten proces trvá 2 hodiny.

Jakmile se shromáždí 6 baterií, odesílá se zpráva řidiči nákladního automobilu o potřebě odvozu baterií k recyklaci. Nákladní auto, které je stále umístěno na recyklačním závodu, vyjíždí pro baterii na cestu s rovnoměrným rozložením 0.5 až 3.5 hodin. Cestou vypouští oxid uhličitý. Pracovní doba demontážního centru a řidiče

nákladního auta je 8 hodin denně.

Po příjezdu se začíná nakládání baterií, což trvá hodinu exponencialně. Hned po ukončení se nákladní auto vrací zpět na závod, ale kvůli tomu že už je naplněné, jede pomaleji, jeho cesta trvá 0.75 až 5.25 hodiny. Taky cestou vypouští oxid uhličitý.

1,5 hodiny se probíhá vykládání baterií, pak je nákladní auto uvolněno. Na jedné z volných linek se probíhá recyklace baterie z rovnoměrným rozložením 8 až 12 hodin. Při recyklaci baterie s kapacitou 1 KWh vypouští 4 kq/KWh CO₂. Baterie Škoda má 36.8 KWh, tím pádem vypouští 147.2 kq/KWh oxidu uhličitého. Při vytváření nové baterie vypouští 883.2 kq/KWh oxidu uhličitého. To znamená, že při opětovné recyklaci baterií, ušetříme 736 kg oproti výrobě nové baterky z vytěžených materiálů. Po ukončení recyklace linka se uvolní.

4 Implementaci metody, modelu

Na začátku simulace jsou spuštěné dvě události **Workshift** a **Generator**. **Workshift** střídá den s délkou 8 hodin a noc s délkou 16 hodin. **Generator** generuje prodaná auta. Jakmile baterie v elektrokolech dosáhne 80 procent, její životní cyklus již končí a nemůže být použita pro jízdu autem, což se obvykle děje po 7 až 10 letech prodeje automobilu. Implementace toho procesu je realizována ve třídě **Battery**. Dále baterka čeká na denní směnu demontážního centra pro úplné vybíjení. Proces vybíjení a demontování je realizován ve třídě **DismCentre**.

Po demontování probíhá čekání na denní směnu řidiče. Proces nakládání, odvoz baterií nákladním autem a vypouštění oxidu uhličitého po celé cestě je implementován třídou **TruckRide**. Pro realizaci recyklace baterií slouží proces **PlantProcessing**. Popis jejich činnosti je v kapitole 3.

Po skončení simulačního běhu se vytiskne statistika ve formě histogramu, která ukazuje kolik aut v různých letech života dochází do nezpůsobilosti.

5 Experimentování

Cílem experimentů je ověřování validity modelu a zjištění limitů systému. Taky důležitým cílem je ověření, jestli recyklace je opravdu přínosná pro životní prostředí z pohledu oxidu uhličitého.

5.1 Postup

Pro každý experiment byly vybrány vstupní hodnoty, které uvádí dobu simulace, počet prodávaných elektroaut ročně, počet nákladních vozů a tím pádem počet řidičů a počet recyklačních linek závodu, které mohou paralelně zpracovávat baterie. Následně se třikrát spouští program s těmito parametry a v tabulce jsou uvedené průměry výsledků. Jakmile máme data, uděláme z ně uzavěr.

5.2 Experimenty

5.2.1 Ověřování validity

Jako vzor byl vybrán pilotní závod Volkswagen v Salzgitteru, který podle informací na oficiálních stránkách je schopen zpracovávat kolem 3000 baterií ročně⁵. Je důležité aby závod byl schopen fungovat alespoň po dobu 10 let, což znamená že simulační doba pro ověření validity má být alespoň 17 let, protože první baterie s kapacitou méně než 80% se objeví po 7 letech simulačního času.

Simulační doba [let]	Počet aut ročně	Počet řidičů nákladních aut	Počet linek závodu	Ušetřeno CO_2 [ton]	Úspěch závodu
17	3000	1	4	18789.42	99,99%
17	3000	1	5	18639.28	100%

Table 1: Experiment 1.

Z výsledků prvního experimentu 1 je vidět že při pěti linkách fungujících 24 hodin denně závod bude stíhat recyklovat baterie. Baterie jednoho auta se zpracovává v průměru 8-12 hodin. V roce je $365 * 24 = 8760$ hodin, při pěti linkách závod stíhne zpracovat 3650-5475 baterií, což je víc než 3000 aut, proto úspěch je 100%, při 4 linkách úspěch závodu je 99,99% a podle výpočtu závod stíhá zpracovávat 2920-4380, což nezaručuje 100% úspěch a proto považujeme model za validní.

5.2.2 Maximální počet prodávaných aut ročně na jednu linku

Cílem tohoto experimentu je zjistit úspěch závodu při jedné funkční lince.

⁵<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/lithium-to-lithium-manganese-to-manganese.html>

Símulací doba [let]	Počet aut ročně	Počet řidičů nákladních aut	Počet linek závodu	Ušetřeno CO_2 [ton]	Úspěch závodu
17	300	1	1	1903.23	100%
17	400	1	1	2532.49	99,99%
17	500	1	1	3205.17	99,99%
17	600	1	1	3726.24	99,99%
17	700	1	1	4418.79	99,99%
17	800	1	1	5028.91	99,99%
17	900	1	1	5470.49	99,96%
17	1000	1	1	5561.00	99,86%

Table 2: Experiment 2.

Z tabulky 2 je vidět, že pokud počet prodáváných elektromobilů ročně nepřekročuje 300 kusů, úspěch jedné linky je 100%, pokud tento počet je až 800 kusů, úspěch je přijatelných 99,99% a se zvýšením počtu roste i masa oxidu uličitého, který byl ušetřen díky tomuto recyklačnímu závodu. Při prodeji od 900 aut ročně jedná linka nebude stačit a je potřeba mít alespoň dvě.

5.2.3 Škalování

Cílem tohoto experimentu je ověřit, že s růstem počtu linek závodu bude růst i jeho propustnost odpovídajícím tempem.

Símulací doba [let]	Počet aut ročně	Počet řidičů nákladních aut	Počet linek závodu	Ušetřeno CO_2 [ton]	Úspěch závodu
17	600	1	2	3793.21	100%
17	900	1	3	5630.20	100%
17	1200	1	2	7393.59	99,99%
17	1800	1	3	11138.97	99,99%
17	1800	1	2	11045.49	99,96%
17	1800	1	3	16491.69	99,96%

Table 3: Experiment 3.

Z tabulky 3 je vidět, že daný model je škalovalatelný, a proto na základě prognóz prodeje elektroaut Škoda CitiGO iV se dá zjistit z simulací, kolik linek je potřeba mít na závodu, aby on pokryl potřeby České republiky. Z 2 je vidět, že počet prodaných elektroaut za 2020 rok je 1454, v roce 2021 tento počet klesl kvůli nedostatku čípu,

nikoliv kvůli zájmu lidí o elektromobily. Na základě těchto dat můžeme předpokládat, že roční prodej se bude zvyšovat a může dosáhnout až 4000 aut. Pro 99,99% úspěch je potřeba mít alespoň $4000/800 = 5$ funkčních linek a to ušetří 25251.27 ton CO_2 .

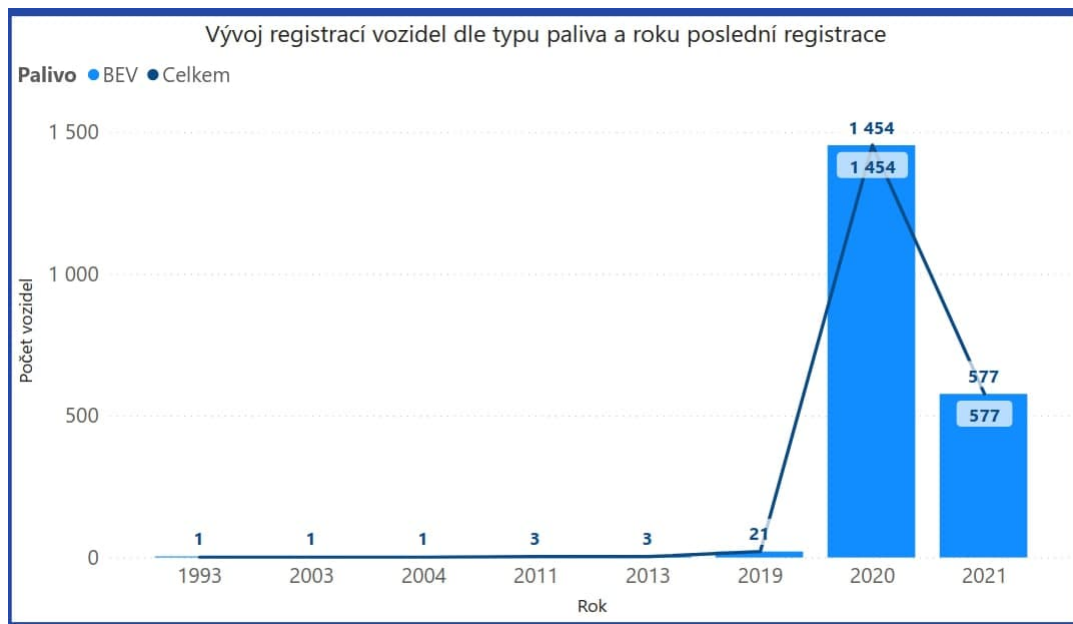


Figure 2: Počet prodaných aut s typem paliva BEV v České republice. Zdroj: <https://www.civinet.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr/>

5.2.4 Řidiče nákladních aut

Cílem daného experimentu je zjistit, kolik maximálně baterií ročně je schopen uvést jeden řidič nákladního auta.

Símační doba [let]	Počet aut ročně	Počet řidičů nákladních aut	Počet linek závodu	Neúspěch řidiče [ba- terie]
10	1600	1	1	0
10	1700	1	1	0
10	1800 - 3200	1	1	0 - 6
10	9000	1	1	0 - 6

Table 4: Experiment 4.

V tomto experimentu, jak je vidět z tabulky 4, se ukázalo, že jedno nákladní auto je schopné uvést dvakrát-třikrát více baterie ročně, než je potřeba pro cíle České republiky při prodeji 4000 elektroaut ročně. Tím pádem by bylo možné zkrátit pracovní dobu řidiče, což by ušetřilo firmě finanční prostředky.

6 Závěr

Studii provedenou na našem modelu bylo jednoznačně prokázáno, že recyklační závod pro baterie elektroaut ušetří tisíce tun oxidu uhličitého ročně a jeho stavba by byla jednoznačným přínosem pro Českou republiku. V rámci experimentů bylo zjištěno, že průměrné zatížení jedné linky závodu je 800 baterií elektroaut ročně. Z experimentů vyplývá jednoznačné doporučení, aby provozovatel měl alespoň 5 linek a jedno nákladní auto, aby závod stíhal zpracovávat baterie elektroaut.

Na experimentech jsme ověřili funkčnost hypotetického systému, zahrnujícího sběrné-demontážní centra, řidiče nákladního auta a závod, který bude recyklovat baterie.

Případným rozšířením této studie by mohlo být změna konstantního počtu prodáváných aut na zvětšující se a taky spočítávání, kolik tun oxidu uhličitého bude vypuštěno při stavbě tohoto závodu.

Celkem bylo provedeno 4 experimentů. Každá tabulka je znázorněním různých experimentů při různých parametrech.

7 Bibliography

References

- [1] Christian Aichberger and Gerfried Jungmeier. “Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review”. In: (2020). DOI: [10.3390/en13236345](https://doi.org/10.3390/en13236345).
- [2] Petr Peringer and Martin Hrubý. *Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně*. [online]. 2021. URL: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [3] Claudia García Reyes. “Study of a battery collection and repurposing for a second life plant”. In: (2020), pp. 31–33. URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192604/TFM_ClaudiaGarciaReyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y.