



Simulačná štúdia

Varianta 9: Plasty

12. listopadu 2020

Radoslav Grenčík (xgrec00)
Róbert Hubinák (xhubin03)

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Autori, zdroje	1
1.2	Overovanie validity modelu	1
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	1
2.1	Použité postupy	1
2.2	Popis pôvodu použitých metód a technológií	1
3	Koncepcia metódy, prístupu, modelu	2
3.1	Popis konceptuálneho modelu	2
3.2	Forma konceptuálneho modelu	3
4	Architektúra simulačného modelu/simulátora	3
4.1	Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu	3
4.2	Spustenie simulačného modelu, parametre programu	3
4.2.1	Popis parametrov programu	4
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	4
5.1	Experimenty	4
5.1.1	Experiment 1	4
5.1.2	Experiment 2	5
5.1.3	Experiment 3	6
5.1.4	Experiment 4	7
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	8

1 Úvod

V tejto práci sa rozoberá problém plastov na našej planéte. Cieľom práce je vytvoriť model, ktorý popisuje kritickú situáciu s prebytkom plastového odpadu na našej planéte. V práci sa rozoberá hlavne problém s jednoúčelovými a jednorázovými plastovými výrobkami ako sú rôzne obaly poprípade iné jednorázové výrobky. Tieto výrobky tvoria najväčšiu časť plastového odpadu. V práci sa vyskytujú rôzne experimenty, ktorých zmyslom je demonštrovať, čo sa stane ak okamžite neznížime produkciu plastového odpadu, ako na množstvo plastového odpadu vplýva recyklácia a iné faktory.

1.1 Autori, zdroje

Projekt vypracovali študenti VUT FIT v Brne Radoslav Grenčík a Róbert Hubinák.

K vypracovaniu projektu boli využité poznatky a študijné texty z predmetu Modelování a simulace [9], ktorý sa vyučuje na VUT FIT v Brne. Ako zdroj údajov slúžili rôzne štúdie a články na internete a takisto vlastné meranie.

1.2 Overovanie validity modelu

Validita modelu bola overovaná experimentovaním a porovnávaním výsledkov s reálnymi nameranými dátami, ktoré boli čerpané z overených zdrojov.

2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Systém modeluje životný cyklus plastu - od jeho vzniku až po rozklad. Podľa článku na portále **Euractiv** [12] celosvetová produkcia plastu stúpa v roku 2018 bolo vyrobených 359 miliónov ton plastu, čo je 3,2% nárast oproti roku 2017.

Vyprodukovaný plast môže byť stále použitý, môže sa z neho stať odpad, môže byť spálený alebo zrecyklovaný. Podľa článkov na portáloch **Our World in Data** [11] a **ScienceAdvances** [7] je približne 30% plastu stále použitých, približne 56% je odpad, približne 8% je spálených a len približne 6% je zrecyklovaných. Ďalej je v týchto článkoch spomenutý fakt, že približne 20% zo zrecyklovaného odpadu sa znova použije, takisto približne 20% sa spália a až 60% zrecyklovaného odpadu ide na skládky.

Podľa grafov z portálu **European Parliamentary Research Service Blog** [2] je väčšina plastového odpadu tvorená hlavne plastovými obalmi a druhé miesto tvoria rôzne plastové výrobky nespadajúce do kategórií: elektronika, automobilový priemysel ani stavebníctvo. Model sa preto zameriava práve na spomínaný druh plastového odpadu. Podľa článku na portále **EcoWatch** [4] je práve top 10 nájdených vecí pri medzinárodnom čistení pláží hnutím Ocean Conservancy v roku 2018 plastový odpad a to hlavne cigaretové ohorky a rôzne plastové obaly alebo iné jednorázové produkty z plastu.

2.1 Použité postupy

Pre vytvorenie simulačného modelu sme využili programovací jazyk C++ a knižnicu SIMLIB [10]. Tieto technológie sú vhodné na riešenie nášho problému. Ďalej boli použité postupy popísané v prednáškach k predmetu Modelování a simulace [9] na VUT FIT v Brne pre vytvorenie Petriho siete a programovanie v SIMLIBE [10].

2.2 Popis pôvodu použitých metód a technológií

Boli použité štandardné knižnice jazyka C++ a knižnica SIMLIB [10] pre implementovanie Petriho siete v simulačnom modeli. Autormi knižnice SIMLIB [10] sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek. Ako nástroj pre preklad bol použitý GNU Make [6].

3 Koncepcia metódy, prístupu, modelu

Údaj o celosvetovej produkcií plastu bol zjednodušený a v simulačnom modeli sa generuje každý deň 1 milión ton plastu čo je vo výsledku 365 miliónov ton plastu ročne. V simulačnom modeli sa dá nastaviť ročný prírastok v produkcií plastu. Priestupné roky zanedbávame pretože pri takomto množstve je tento údaj zanedbateľný. Simulačný model si sám počíta čas, za ktorý sa generuje 1 milión ton plastu na základe ročnej produkcie plastu.

V článku na portále **EcoWatch** [4] sú spomenuté množstvá jednotlivých vyzbieraných vecí pri medzinárodnom čistení pláží v roku 2018. Na základe týchto množstiev a vlastného merania - približná hmotnosť predmetov bola získaná vážením rôznych zástupcov určitého druhu a spriemerovaním - bola vypočítaná celková hmotnosť nájdených predmetov v jednotlivých kategóriách. Nasledovne boli predmety zoskupené do kategórií podľa doby rozkladu. Údaje o dobách rozkladu boli problematickým údajom, pretože sa na rôznych stránkach vyskytujú rôzne údaje. Údaje získané z nasledovných stránok nie sú úplne presné, avšak pre vytvorenie si predstavy o probléme s plastovým odpadom sú dostačujúce. Údaje boli získané z nasledovných stránok [14], [3], [13], [5], [15]. Výsledky sú v tabuľke 1.

MNOŽSTVO	KUSOVÁ HMOTNOSŤ	CELKOVÁ HMOTNOSŤ	DOBA ROZKLADU	KATEGÓRIA
cigaretový ohorok/ drobný odpad	2412151	1,4 g	3377 kg	A
slamka	643562	0,42 g	270 kg	200 rokov
PET fľaša	1569135	30 g	47074 kg	450 rokov
PET vrchnák	1091107	2 g	2182 kg	450 rokov
plastový vrchnák	624878	3 g	1874 kg	450 rokov
"take away" box z plastu	632874	4,5 g	2848 kg	450 rokov
igelitová taška	757523	5,5 g	4166 kg	20 rokov
plastové vrece	746211	5,5 g	4104 kg	20 rokov
fólia/drobný obal	1739743	2 g	3479 kg	20 rokov
"take away" box z peny	580570	4,5 g	2612 kg	50-80 rokov
SPOLU:		71986 kg		

Tabuľka 1: Tabuľka top 10 nájdených predmetov a výsledky meraní

Nakoniec bola vypočítaná percentuálna zastúpenosť jednotlivých kategórií v celkovej hmotnosti vyzbieraného odpadu. Kategória A má zastúpenie 5%, kategória B 0,4%, kategória C 75%, kategória D 16% a kategória E 3,6%. Tieto údaje boli použité pri tvorbe Petriho siete ??.

3.1 Popis konceptuálneho modelu

Na vstupe modelu - príloha ?? sa nachádza časovaný prechod s dĺžkou prechodu 1 deň. Za túto časovú jednotku sa na vstupe vygeneruje 1 milión ton plastu. Plast potom môže prejsť do 4 stavov:

- pravdepodobnosť 35% - Plast sa znova použije a posiela sa na vstup systému.
- pravdepodobnosť 56% - Plast sa stáva odpadom a môže ďalej prejsť do 5 stavov.
- pravdepodobnosť 8% - Plast sa spáli a stáva sa rozloženým - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 6% - Plast sa pošle na recykláciu a môže ďalej prejsť do 3 stavov.

Pokiaľ sa plast stal odpadom prejde do jedného z nasledujúcich stavov:

- pravdepodobnosť 5% - Stáva sa cigaretovým ohorkom poprípade iným drobným odpadom. Odpad sa stáva rozloženým za 5-10 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 0,4% - Stáva sa slamkou. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 200 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 75% - Stáva sa o PET fľašou/vrchnákom poprípade plastovým obalom/vrchnákom. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 450 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 16% - Stáva sa taškou poripáde plastovým vreckom či fóliou. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 20 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 3,6% - Stáva sa penovým "take away" obalom na jedlo. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 50 rokov - opúšťa systém.

Pokiaľ sa plast pošle na recykláciu prejde do jedného z nasledujúcich stavov::

- pravdepodobnosť 20% - Plast sa spáli a stáva sa rozloženým - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 20% - Plast sa znova použije a posiela sa na vstup systému.
- pravdepodobnosť 60% - Plast sa stáva odpadom a môže ďalej prejsť do 5 stavov.

3.2 Forma konceptuálneho modelu

Model je vyjadrený formou Petriho siete - príloha ??.

4 Architektúra simulačného modelu/simulátora

Hlavnými komponentami implementačnej časti projektu sú triedy `Production` a `Plastic`. Trieda `Production` dedí od tieto `Event` [10] a stará sa o generovanie a aktiváciu procesov ktoré spracovávame. Životný cyklus týchto procesov je popísaný v triede `Plastic`. Program takisto obsahuje triedu `ArgumentParser`, ktorá sa stará o spracovanie argumentov programu.

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Ako už bolo spomenuté v úvode kapitoly 4 o generovaní procesov vstupujúcich do systému sa stará trieda `Production`. Jeden tento proces predstavuje jeden milión ton plastu. Po vygenerovaní je proces rozdelený do jednej zo 4 vetiev, ktoré predstavujú stavy popísané v modeli ?? (recyklovaný, skládka...). Rozdelenie je vo forme intervalov, ktoré zodpovedajú percentám v modeli. O náhodnosť rozdelenia sa stará funkcia `Random()` [10]. Po tom čo prejde proces do tohto stavu, inkrementuje sa celočíselná premenná ktorá predstavuje množstvo plastu v danom stave. Ak prejde proces do stavu recyklácie je následne opäť náhodne rozdelení do stavov podľa rozdelenia v modeli. Procesy ktoré sa dostali do stavu skládka sú takisto rozdelené a podľa kategórie, do ktorej spadajú im je nastavené čakanie funkciou `Wait()` [10]. Ak takýto čakajúci proces stihne skončiť pred skončením simulácie považujeme ho za rozložený.

4.2 Spustenie simulačného modelu, parametre programu

Simulačný model je nutné pred spistením preložiť príkazom `make` alebo `make run` (tento príkaz po preklade spustí program). Simulačný model je možné spustiť ako bez parametrov, tak s nimi, a to v ľubovoľnom poradí. Ak užívateľ nezadá parametre, je program spustený s prednastavenými parametrami.

4.2.1 Popis parametrov programu

- **-y** Počet rokov simulácie [Prednastavená hodnota: 10 rokov]
- **-r** Percento recyklovaných plastov. Maximálna percentuálna hodnota je nastavená na 62%, pretože recyklácia sa netýka plastu ktorý je znovupoužitý a spálený. [Prednastavená hodnota: 6 (viz ??)]
- **-s** Percento úspešne zrecyklovaných plastov(znovupoužitých). Maximálna hodnota je nastavená na 80% pretože 20% z recyklovaných plasov sa spáli [Prednastavená hodnota: 20 (viz ??)]
- **-i** Percentuálny ročný nárast produkcie plastov [Prednastavená hodnota: 0]

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov bolo overiť verejne dostupné informácie o problematike plastového odpadu vo svete a navrhnuť vhodný a zrealizovateľný plán ako zastaviť nadmerné znečistenie našej planéty. Experimenty 2 - sekcia 5.1.2 a 3 - sekcia 5.1.3 a zameriavajú na otázku, či je vhodnejšie zvýšiť percento recyklovaného odpadu alebo kvalitu recyklácie.

5.1 Experimenty

5.1.1 Experiment 1

Cieľom prvého experimentu bolo overiť verejne dostupné informácie zo stránky **National Geographic** [8]. Na tejto stránke je uvedené že ak sa bude produkcia plastov naďalej zvyšovať tempom akým sa zvyšuje, v roku 2050 bude na zemi okolo 12000 miliónov ton plastového odpadu. Podľa zdroja [1] bolo v roku 2018 recyklovaných 25 % plastového odpadu, preto sme nastavili parameter **-r** na 25. Takisto predpokladáme že úspešnosť recyklácie je aspoň 30%. Nárast produkcie plastov sa odhaduje na 3.6% takže parameter **-i** sme nastavili na 3.6. V článku National Geographic [8] je takisto spomenuté, že z 6300 milionov ton vyprodukovaných ludstvom do teraz, sa 79 percent uložilo na skládky alebo sa povaľuje voľne v prírode. Preto sme pred spustením každého experimentu nastavili počiatočnú hodnotu znečistenia na 5000Mton. `./ims-projekt -y 50 -r 25 -i 3.6 -s 30.`

Total produced	18842	100%
Reused	7088	38%
Waste	9352	49%
<i>Decomposed</i>	1313	
Incinerated	2401	13%
Recycled	4745	(20%)
<i>Reused</i>	1444	
<i>Incinerated</i>	932	
<i>Wasted</i>	2368	
Total world waste	13038 milion tons	

Tabuľka 2: Výsledok experimentu 1

Ako možno vidieť v tabuľke 2, simulátor vrátil číslo 13038 čo sa takmer zhoduje s údajom v spomínanom článku. Týmto experimentom sme zároveň testovali validitu modelu, pretože v prvých verziach nám simulačný model vracal hodnotu o 5000 väčšiu čím sme odhalili jeho vadu.

5.1.2 Experiment 2

Cieľom druhého experimentu bolo zistiť, či je pri snahe o zredukovanie plastového odpadu výhodnejšie sa zamerať na vyššiu mieru recyklácie odpadu alebo skôr zefektívniť recykláciu odpadu. Budeme simulaovať časový úsek 10 rokov.

Spustenie simulácie s maximálnou mierou recyklácie odpadu -r 62%: ./ims-projekt -r 62.

Total produced	3590	100%
Reused	1539	43%
Waste	1342	37%
<i>Decomposed</i>	82	
Incinerated	708	20%
Recycled	2230	(62%)
<i>Reused</i>	461	
<i>Incinerated</i>	426	
<i>Wasted</i>	1342	
Total world waste	6259 milion tons	

Tabuľka 3: Experiment 2 - maximálna miera recyklácie

Spustenie simulácie s mierou recyklácie odpadu -r 20% a s maximálnou efektivitou recyklácie -s 100: ./ims-projekt -r 20 -s 100.

Total produced	3590	100%
Reused	1650	46%
Waste	1527	42%
<i>Decomposed</i>	89	
Incinerated	413	12%
Recycled	705	(20%)
<i>Reused</i>	573	
<i>Incinerated</i>	132	
<i>Wasted</i>	0	
Total world waste	6438 milion tons	

Tabuľka 4: Experiment 2 - maximálna efektivita recyklácie

Ako možno vidieť v tabuľkách 3 a 4, simulátor vrátil v tabuľke 3 číslo 6259 a v tabuľke 4 číslo 6438. V prípade časového úseku 10 rokov sa viacej oplatí zamerať sa na maximálnu efektivitu recyklácie odpadu.

5.1.3 Experiment 3

Cieľom tretieho experimentu bude overiť čo sa stane ak si zopakujeme experiment číslo 2, ale budeme simulovaliť časový úsek 100 rokov.

Spustenie simulácie s maximálnou mierou recyklácie odpadu -r 62% a časovým úsekom -y 100 rokov:
`./ims-projekt -r 62 -y 100.`

Total produced	35900	100%
Reused	15389	43%
Waste	13272	37%
<i>Decomposed</i>	3592	
Incinerated	7238	20%
Recycled	22177	(62%)
<i>Reused</i>	4522	
<i>Incinerated</i>	4380	
<i>Wasted</i>	13272	
Total world waste	14679 milion tons	

Tabuľka 5: Experiment 3 - maximálna miera recyklácie, 100 rokov

Spustenie simulácie s mierou recyklácie odpadu -r 20%, s maximálnou efektivitou recyklácie -s 100 a časovým úsekom -y 100 rokov: `./ims-projekt -r 20 -s 100 -y 100.`

Total produced	35900	100%
Reused	16370	46%
Waste	15212	42%
<i>Decomposed</i>	4130	
Incinerated	4317	12%
Recycled	7222	(20%)
<i>Reused</i>	5760	
<i>Incinerated</i>	1463	
<i>Wasted</i>	0	
Total world waste	16081 milion tons	

Tabuľka 6: Experiment 3 - maximálna efektivita recyklácie, 100 rokov

Ako možno vidieť v tabuľkách 5 a 6, simulátor vrátil v tabuľke 5 číslo 14679 a v tabuľke 6 číslo 16081. V prípade časového úseku 100 rokov sa taktiež viac oplatí zamerať na maximálnu efektivitu recyklácie odpadu a môžme vidieť že čísla, ktoré vrátil simulátor v tomto experimente sa k sebe nepriblížili, naopak sa od seba viac vzdialil. Z tohto môžme vyvodiť záver, že sa do budúcnosti oplatí zamerať na maximálnu mieru recyklácie odpadu.

5.1.4 Experiment 4

V tomto experimente sme sa zamerali na to, aký veľký rozdiel spraví 3,6 percentný ročný nárast a úbytok v produkcií plastov. Experimentovali sme s 3 prípadmi. Ako bude situácia vyzeráť ak bude produkcia každoročne narastať, klesať a stagnovať. Ako testovacie obdobie sme si zvolili 50 rokov a zvyšné parametre sme nastavili podľa experimentu 1 - sekcia 5.1.1. Menili sme len parameter -i { -3.6, 1.0, 3.6 }.

Total produced	48479	100%
Reused	18167	37%
Waste	24014	50%
<i>Decomposed</i>	4577	
Incinerated	6297	13%
Recycled	12153	(25%)
<i>Reused</i>	3640	
<i>Incinerated</i>	2417	
<i>Wasted</i>	6095	
Total world waste	24436 milion tons	

Tabuľka 7: Výsledok experimentu s rastúcou produkciou

Total produced	8378	100%
Reused	3139	37%
Waste	4150	50%
<i>Decomposed</i>	791	
Incinerated	1088	13%
Recycled	2100	(25%)
<i>Reused</i>	629	
<i>Incinerated</i>	417	
<i>Wasted</i>	1053	
Total world waste	8358 milion tons	

Tabuľka 8: Výsledok experimentu s klesajúcou produkciou

Total produced	17951	100%
Reused	6726	37%
Waste	8892	50%
<i>Decomposed</i>	1695	
Incinerated	2332	13%
Recycled	4500	(25%)
<i>Reused</i>	1348	
<i>Incinerated</i>	894	
<i>Wasted</i>	2257	
Total world waste	12196 milion tons	

Tabuľka 9: Výsledok experimentu so stagnujúcou produkciou

Ako môžme vidieť, v experimente kde sme ponechali nárast produkcie 3.6% - tabuľka 7 je celkový odpad 3krát väčší ako v experimente kde sme znižovali produkciu - tabuľka 8 a 2krát väčší ako v experimente so stagnujúcou produkciou - tabuľka 9. Zistujeme, že ak by sme udržali produkciu na leveli akom je momentálne ušetrili by sme 12000 miliónov ton plastového odpadu.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z výsledkov experimentu 1 - sekcia [5.1.1](#) vyplýva, že náš model je valídny a vracia výsledky odpovedajúce realite. Z experimentu 2 - sekcia [5.1.2](#) a experimentu 3 - sekcia [5.1.3](#) vyplýva, že na vyriešenie problému s plastovým odpadom bude dôležité maximalizovať mieru recyklácie a taktiež z experimentu 4 - sekcia [5.1.4](#) vyplýva, že bude nutné zastaviť ročné zvyšovanie produkcie plastov.

V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý realisticky modeluje kritickú situáciu s prebytkom plastového odpadu na našej planéte. Tento nástroj bol implementovaný v jazyku C++ s použitím knižnice SIMLIB [\[10\]](#). Systém je možné spustiť s rôznymi argumentami a tým pádom vykonávať rôzne experimenty, ktorých výsledky sú vracané vo formáte prehľadných tabuľiek.

Literatúra

- [1] [online], [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://utahrecycles.org/get-the-facts/the-facts-plastic/>
- [2] Plastic Waste. [online], 11 2013, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://epthinktank.eu/2013/11/07/plastic-waste/>
- [3] The lifecycle of plastics. [online], 6 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.wwf.org.au/news/blogs/the-lifecycle-of-plastics#gs.lf61en>
- [4] Chow, L.: 10 Most Common Types of Beach Litter Are All Plastic. [online], 7 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.ecowatch.com/beach-litter-plastics-ocean-conservancy-2581760475.html>
- [5] CREIGHTON, J.: Infographic: Here's How Long Your Trash Will Be Around. [online], 2 2014, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://futurism.com/plastic-decomposition>
- [6] Feldman, S.: GNU Make. [online], 5 2016, [online 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/make/>
- [7] Geyer, R.; Jambeck, J. R.; Law, K. L.: Production, use, and fate of all plastics ever made. [online], 7 2017, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
- [8] PARKER, L.: A whopping 91[online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/06/plastic-planet-waste-pollution-trash-crisis/>
- [9] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace. [online], 10 2019, [online 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [10] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 10 2018, [online 2019-12-08]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>
- [11] Ritchie, H.; Roser, M.: Plastic Pollution. [online], 9 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [12] Senet, S.: Plastic production on the rise worldwide but slowing in Europe. [online], 6 2019, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/while-global-plastic-production-is-increasing-worldwide-it-is-slowing-down-in-europe/>
- [13] Smith, T.: WHY IS SINGLE-USE PLASTIC CAUSING SUCH A PROBLEM TO THE MARINE ENVIRONMENT TODAY & FOR THE FUTURE? [online], [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.pelagicdivetravel.com/single-use-plastic-and-the-marine-environment>
- [14] Whiting, K.: This is how long everyday plastic items last in the ocean. [online], 11 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2018/11/chart-of-the-day-this-is-how-long-everyday-plastic-items-last-in-the-ocean/>
- [15] Wright, M.; Kirk, A.; Molloy, M.; aj.: The stark truth about how long your plastic footprint will last on the planet. [online], 1 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/01/10/stark-truth-long-plastic-footprint-will-last-planet/>