

Simulačná štúdia

Variant 9: Plasty

9. prosince 2019

Radoslav Grenčík (xgrenc00)
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/simulátoru	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	5
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	5
A	Petriho sieť	7

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 a ako dlho by trvalo zbaviť sa všetkého plastového odpadu aj keby sa okamžite prestalo s produkciou akýchkoľvek plastových výrobkov.

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, 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** [11] 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** [10] 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 znovu použije, takisto približne 20% sa spáli 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 nespádajúce 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 [9]. Tieto technológie sú vhodné na riešenie nášho problému. Ďalej boli použité postupy popísané v prednáškach k predmetu Modelování a simulace na VUT FIT v Brne pre vytvorenie Petriho siete a programovanie v SIMLIBE [9].

2.2 Popis pôvodu použitých metód a technológií

Boli použité štandardné knižnice jazyka C++ a knižnica SIMLIB [9] pre implementovanie Petriho siete v simulačnom modeli. Autormi knižnice SIMLIB [9] sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek. Ako nástroj pre preklad bol použitý GNU Make [6].

3 Konceptcia metódy, prístupu, modelu

Údaj o celosvetovej produkcii 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 produkcii 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. 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 [13], [3], [12], [5], [14]. Výsledky sú v tabuľke 1.

	MNOŽSTVO	KUSOVÁ HMOTNOSŤ	CELKOVÁ HMOTNOSŤ	DOBA ROZKLADU	KATEGÓRIA
cigaretový ohorok/ drobný odpad	2412151	1,4 g	3377 kg	5-10 rokov	A
slamka	643562	0,42 g	270 kg	200 rokov	B
PET fľaša	1569135	30 g	47074 kg	450 rokov	C
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	D
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	E
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 A.

3.1 Popis konceptuálneho modelu

Na vstupe modelu - príloha A 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 znovu použije a posielajú 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 popripade 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 popripade plastovým obalom/vrchnákom. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 450 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 16% - Stáva sa taškou popripade 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 znovu použije a posiel 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 A.

4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Hlavnými komponentami implementačnej časti projektu sú triedy `Production` a `Plastic`. Trieda `Production` dedí od triedy `Event` 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 generovanie 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 A (recyklovaný, skládka...). Rozdelenie je vo forme intervalov, ktoré zodpovedajú percentám v modeli. O náhodnosť rozdelenia sa stará funkcia `Random()`. 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 rozdelený 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()`. 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 spustením 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 A)]
- -s Percento úspešne zrecyklovaných plastov(znovupoužitých). Maximálna hodnota je nastavená na 80% pretože 20% z recyklovaných plasov sa spáli [Prednastavená hodnota: 20 (viz A)]
- -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 navrhnúť vhodný a zrealizovateľný plán ako zastaviť nadmerné znečistenie našej planéty. Cieľom posledného experimentu bolo simuláciou zistiť koľko by približne trvalo rozloženie všetkého plastu ktorý sa aktuálne na planéte vyskytuje.

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 paramter -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 ľudstvom do teraz, sa 79 percent uložilo na skládky alebo sa povaluje 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	

Tabulka 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 verziách 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 simulovať 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%
Decomposed	82	
Incinerated	708	20%
Recycled	2230	(62%)
Reused	461	
Incinerated	426	
Wasted	1342	
Total world waste	6259 milion tons	

Tabulka 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	43%
Decomposed	89	
Incinerated	413	12%
Recycled	705	(20%)
Reused	573	
Incinerated	132	
Wasted	0	
Total world waste	6438 milion tons	

Tabulka 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 viac opláti zamerať sa na maximálnu efektivitu recyklácie odpadu.

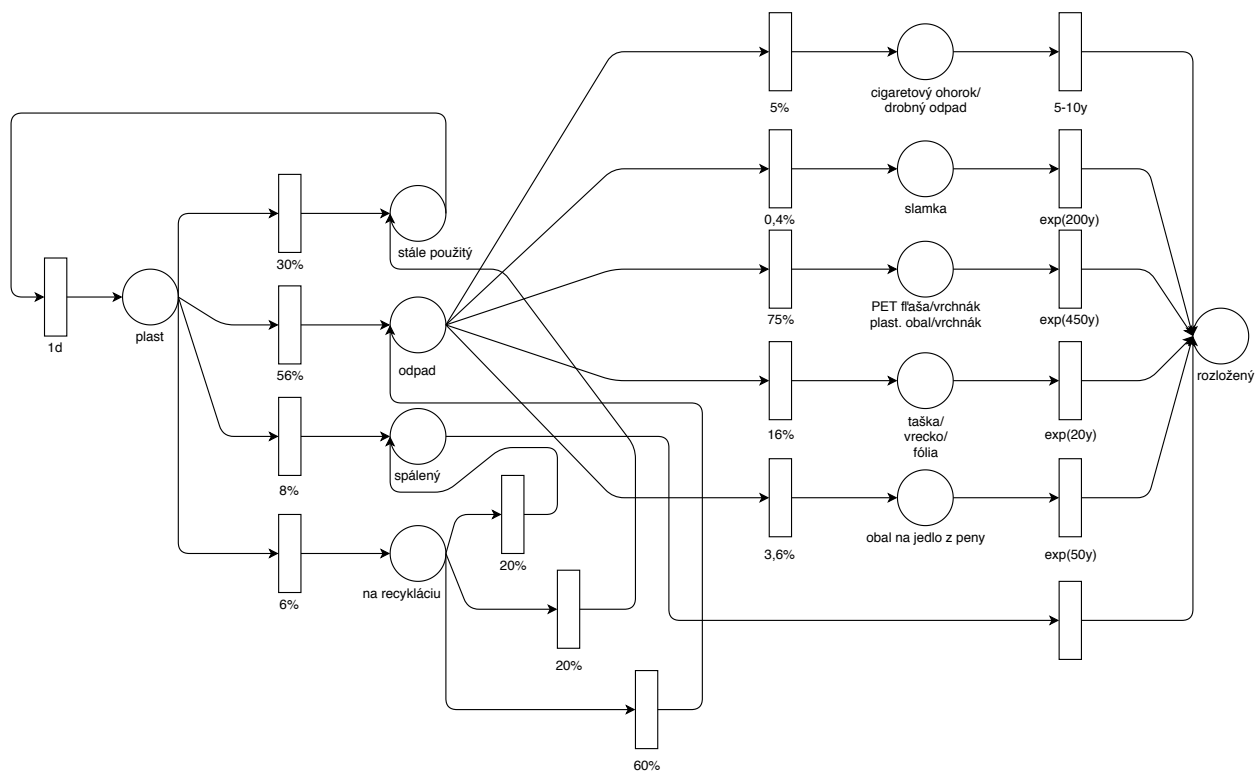
5.1.3 Experiment 3

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

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.lf6len>
- [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.; 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>
- [10] Ritchie, H.; Roser, M.: Plastic Pollution. [online], 9 2018, [online 2019-12-09]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [11] 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-slowin-down-in-europe/>
- [12] 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>
- [13] 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/>
- [14] 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/>

A Petriho sieť



Obrázek 1: Petriho sieť