

# Simulačná štúdia

## Variant 9: Plasty

9. prosince 2019

Radoslav Grenčík (xgrenc00)  
Róbert Hubinák (xhubin03)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Autori, zdroje	1
1.2	Overovanie validity modelu	1
<b>2</b>	<b>Rozbor témy a použitých metód/technológií</b>	<b>1</b>
2.1	Použité postupy	1
2.2	Popis pôvodu použitých metód a technológií	1
<b>3</b>	<b>Koncepcia metódy, prístupu, modelu</b>	<b>2</b>
3.1	Popis konceptuálneho modelu	2
3.2	Forma konceptuálneho modelu	3
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu/simulátoru</b>	<b>3</b>
4.1	Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu	3
4.2	Spustenie simulačného modelu, parametre programu	3
4.2.1	Popis parametrov programu	4
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	<b>4</b>
5.1	Experimenty	4
5.1.1	Experiment 1	4
5.1.2	Experiment 2	4
5.1.3	Experiment 3	5
5.1.4	Experiment 4	6
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačných experimentov a záver</b>	<b>7</b>
<b>A</b>	<b>Petriho sieť</b>	<b>9</b>

# 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 popřípade 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 popřípade plastovým obalom/vrchnákom. Odpad sa stáva rozloženým za exponenciálne 450 rokov - opúšťa systém.
- pravdepodobnosť 16% - Stáva sa taškou popřípade 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 posielajú 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` [9] a stará sa o generovanie a aktiváciu procesov ktoré spracováваме. 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()` [9]. 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()` [9]. 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. Experimenty 5.1.2 a 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 ľudstvom do teraz, sa 79 percent uložilo na skládky alebo sa považuje 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.

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

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

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

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`.

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 viacej oplatí zamerať sa na maximálnu efektivitu recyklácie odpadu a môžeme vidieť že čísla, ktoré vrátil simulátor v tomto experimente sa k sebe nepriblížili, naopak sa od seba viacej vzdialil. Z tohoto môžeme vyvodiť záver, že sa do budúcnosti oplatí zamerať na maximálnu mieru recyklácie odpadu.

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

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

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

Tabulka 6: Experiment 3 - maximálna efektívnosť recyklácie, 100 rokov

#### 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 produkcii 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 5.1.1. Menili sme len parameter -i { -3.6, 1.0, 3.6 }.

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

Tabulka 7: Výsledok experimentu s rastúcou produkciou

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



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

Tabulka 8: Výsledok experimentu s klesajúcou produkciou

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

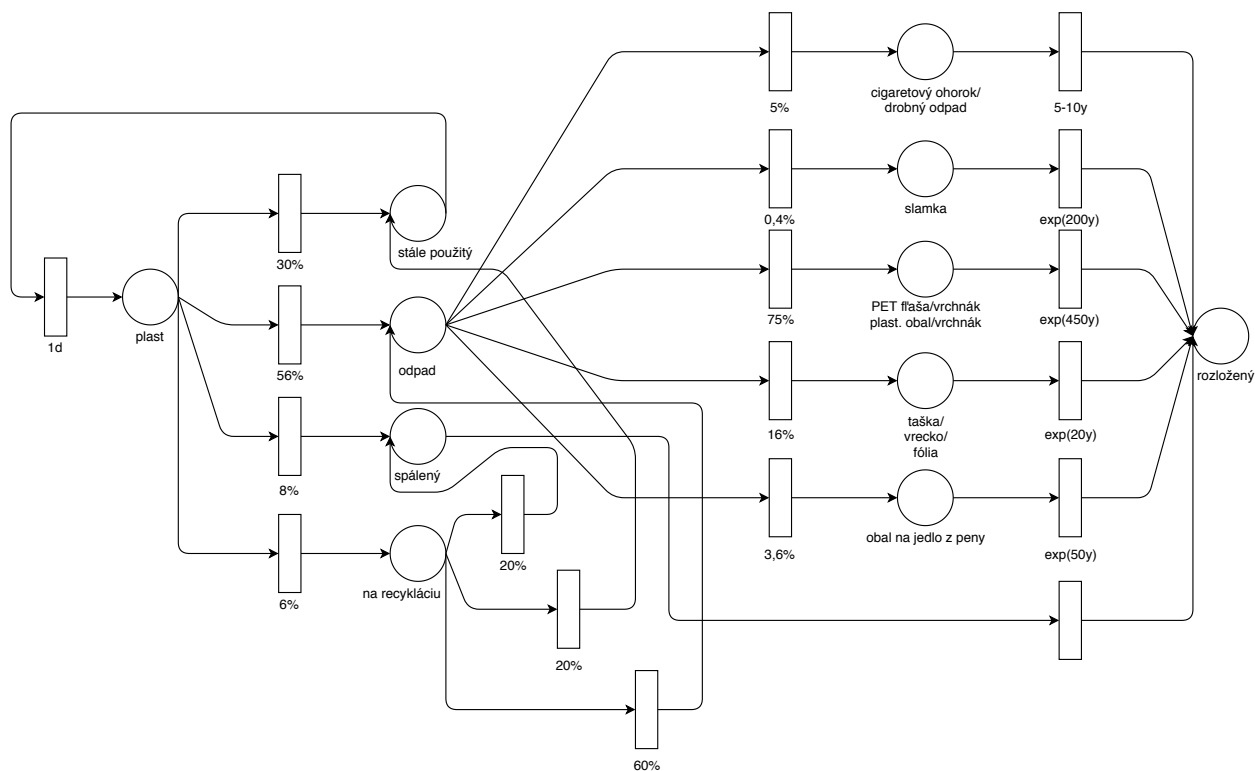
Tabulka 9: Výsledok experimentu so stagnujúcou produkciou

## 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