



IMS 2020/21 - Simulačná štúdia
Téma č. 6: Modelování vodohospodářství

7. decembra 2020

Radoslav Grenčík,
xgrenc00@stud.fit.vutbr.cz

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Autor, zdroje	3
1.2	Overovanie validity modelu	3
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	4
2.1	Použité postupy	4
2.2	Popis pôvodu použitých metód a technológií	4
3	Koncepcia metódy, prístupu, modelu	5
3.1	Popis konceptuálneho modelu	5
3.2	Forma konceptuálneho modelu	5
4	Architektúra simulačného modelu/simulátoru	6
4.1	Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu	6
4.2	Spustenie simulačného modelu, parametre programu	6
4.2.1	Popis parametrov programu	6
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	7
5.1	Simulačné experimenty	7
5.1.1	Experiment 1	7
5.1.2	Experiment 2	8
5.1.3	Experiment 3	9
5.1.4	Experiment 4	10
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	11
A	Petriho sieť	13

1 Úvod

Kvôli nedostupnosti a nedostatku informácií o téme modelovanie vodohospodárstva, som sa rozhodol nadviazať na projekt, ktorý som vypracoval spolu so študentom Robertom Hubinárom do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 [7]. Spomínaný projekt sa zameriava na problémy s extrémnym prebytkom plastového odpadu na našej planéte. Podľa môjho názoru je práve táto téma veľmi blízko previazaná so znečistením svetových oceánov tonami plastového odpadu. Práve preto je cieľom tejto práce poukázať na tento problém, vytvoriť model, ktorý popisuje túto kritickú situáciu a vyvodíť riešenia, ktoré by mohli zabrániť v ďalšom znečisťovaní našej vzácnej planéty Zeme.

1.1 Autor, zdroje

Projekt vypracoval študent VUT FIT v Brne Radoslav Grenčík.

K vypracovaniu projektu boli využité poznatky a študijné texty z predmetu Modelování a simulace [10], ktorý sa vyučuje na VUT FIT v Brne. Ako zdroj údajov slúžili rôzne štúdie a články na internete. Táto práca naväzuje na projekt, ktorý som vypracoval spolu so študentom Robertom Hubinárom do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 [7]. Touto cestou by som mu chcel poďakovať za povolenie použiť materiály, ktoré boli vypracované ako súčasť spomínaného projektu.

1.2 Overovanie validity modelu

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

2 Rozbor témy a použitých metod/technológií

Keďže tento projekt naväzuje na projekt, ktorý bol vytvorený do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 [7], tak sa značná časť rozboru témy zhoduje so spomínaným projektom. Spomínaný projekt rozoberá nasledovné:

- Systém modeluje životný cyklus plastu - od jeho vzniku až po rozklad.
- Celosvetová produkcia plastu stúpa v roku 2018 bolo vyrobených 359 miliónov ton plastu, čo je 3,2% nárast oproti roku 2017 [13].
- Približne 30% plastu je stále použitých, približne 56% je odpad, približne 8% je spálených a len približne 6% je zrecyklovaných.
- Približne 20% zo zrecyklovaného odpadu sa znovu použije, takisto približne 20% sa spáli a až 60% zrecyklovaného odpadu ide na skládky [12] [5].
- Väčšina plastového odpadu je tvorená hlavne plastovými obalmi, druhé miesto tvoria rôzne plastové výrobky nespádajúce do kategórií: elektronika, automobilový priemysel a ani stavebníctvo [2].
- Top 10 nájdených vecí pri medzinárodnom čistení pláží hnutím Ocean Conservancy v roku 2018 bol plastový odpad a to hlavne cigaretové ohorky, rôzne plastové obaly alebo iné jednorázové produkty z plastu [3].

Táto práca sa však viacej zaoberá problémom znečistenia svetových oceánov tonami plastového odpadu. Podľa článku na portáli **Coastal Care** [8] skončí každý rok v oceánoch až 8 miliónov ton plastu. Podľa iného článku na portáli **Ocean Conservancy** [1] sa v tejto chvíli nachádza vo svetových oceánoch odhadom až 150 miliónov ton plastového odpadu. Takisto je tu spomenuté, že sa predpokladá nárast v produkcii plastu v nasledujúcich 10 rokoch až o 100% a očakáva sa, že v tejto dobe sa bude v oceánoch nachádzať až 250 miliónov ton plastového odpadu.

2.1 Použité postupy

Pre vytvorenie simulačného modelu bol využitý programovací jazyk C++ a knižnica SIMLIB [11]. Ďalej boli použité postupy popísané v prednáškach k predmetu Modelování a simulace [10], ktorý je vyučovaný na VUT FIT v Brne.

2.2 Popis pôvodu použitých metod a technológií

Boli použité štandardné knižnice jazyka C++ štandardu 11. Ďalej bola použitá knižnica SIMLIB [11], ktorej autormi sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek, vďaka ktorej je možné naimplementovať simulačný model, ktorý vychádza z Petriho siete. Pre automatizáciu prekladu a tvorby dokumentácie bol použitý nástroj GNU Make [4].

3 Konceptia metódy, prístupu, modelu

Celá táto kapitola zodpovedá kapitole z projektu, ktorý bol vytvorený do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 a preto uvádzam len citáciu [7]. Obsah tejto kapitoly je možné vidieť v dokumentácii [6] ku spomínanému projektu v **kapitole 3**.

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.

Ako už bolo spomenuté v kapitole 2, každoročne sa do svetových oceánov dostáva až 8 miliónov ton plastu. Prepočítal som, že je to práve 4,5% zo všetkého plastového odpadu. Použil som pravdepodobnostné prechody, pretože predpokladám, že so zvyšujúcou sa celosvetovou produkciou plastu sa bude zvyšovať aj množstvo plastu, ktoré skončí v oceáne. Pokiaľ sa plast stal odpadom prejde do jedného z nasledujúcich stavov:

- pravdepodobnosť 95,5% - Odpad končí na suchozemskej skládke.
- pravdepodobnosť 4,5% - Odpad končí v oceáne.

Následne sa odpad rozkladá a môže prejsť do jedného z 5 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 poprípade 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 2 stavov.

3.2 Forma konceptuálneho modelu

Model je vyjadrený formou Petriho siete - príloha A.

4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Celá táto kapitola zodpovedá kapitole z projektu, ktorý bol vytvorený do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 a preto uvádzam len citáciu [7]. Obsah tejto kapitoly je možné vidieť v dokumentácii [6] ku spomínanému projektu v **kapitole 4**.

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Celá táto podkapitola zodpovedá kapitole z projektu, ktorý bol vytvorený do predmetu IMS v akademickom roku 2019/2020 a preto uvádzam len citáciu [7]. Obsah tejto kapitoly je možné vidieť v dokumentácii [6] ku spomínanému projektu v **kapitole 4.1**.

4.2 Spustenie simulačného modelu, parametre programu

Simulačný model je nutné pred spustením preložiť príkazom `make`. Simulačný model je možné spustiť ako bez parametrov, tak s nimi, a to v ľubovoľnom poradí. Ak užívateľ nezadá žiadne parametre, je program spustený s prednastavenými parametrami.

4.2.1 Popis parametrov programu

- `-y` Počet rokov simulácie (rednastavená hodnota: 10 rokov, minimálna hodnota: 1 rok).
- `-r` Percento plastov poslaných na recykláciu. Maximálna percentuálna hodnota je nastavená na 62%, pretože recyklácia sa netýka plastu ktorý je znovapoužitý a spálený (prednastavená hodnota: 6 (viz. A), minimálna hodnota: 0).
- `-s` Percento úspešne zrecyklovaných plastov (znovupoužitých). Maximálna hodnota je nastavená na 80%, pretože 20% z recyklovaných plastov sa spáli (prednastavená hodnota: 20 (viz. A), minimálna hodnota: 0).
- `-i` Percentuálny ročný nárast/pokles v produkcii plastov (prednastavená hodnota: 0).
- `-h` Zobrazí nápovedu.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov bolo overiť verejne dostupné informácie o problematike znečistenia svetových oceánov nadmerným množstvom plastového odpadu, overiť validitu navrhnutého modelu a dospieť k východiskám, ktoré by pomohli vyriešiť spomínaný problém.

5.1 Simulačné experimenty

5.1.1 Experiment 1

Cieľom prvého experimentu je overiť validitu modelu. Podľa voľne dostupných informácií na stránke **Ocean Conservancy** [1] sa predpokladá nárast v produkcii plastu v nasledujúcich 10 rokoch (dĺžka simulácie bude 10 rokov: -y 10) až o 100% (za 10 rokov nárast o 100%, ročne o 10%: -i 10) a očakáva sa, že v tejto dobe sa bude v oceánoch nachádzať až 250 miliónov ton plastového odpadu.

V článku na stránke **National Geographic** [9] je takisto spomenuté, že zo 6300 miliónov ton plastu vyprodukovaných ľudstvom doteraz, sa 79 percent nachádza na skládkach alebo sa povaluje voľne v prírode. Podľa iného článku na portáli **Ocean Conservancy** [1] sa v tejto chvíli nachádza vo svetových oceánoch odhadom až 150 miliónov ton plastového odpadu. V simulačnom modeli je nastavené počiatočné množstvo plastu na pozemných skládkach na $6300 * 0,79 - 150 = 4827$ megaton. Počiatočné množstvo plastu v oceánoch je nastavené na 150 megaton. ./xgrenc00 -y 10 -i 10.

Total produced	5721.54	100%
Reused	1797.74	31.42%
Incinerated	505.22	8.83%
Recycled	361.78	(6.32%)
Reused	58.97	
Incinerated	74.91	
Wasted	227.91	
Decomposed	200.81	3.51%
Waste	3217.77	
Land waste	3105.26	54.27%
Ocean waste	112.51	1.97%
Total land waste	7932.26 megatons	
Total ocean waste	262.51 megatons	
Total world waste	8194.77 megatons	

Tabuľka 1: Výsledok experimentu 1

Ako možno vidieť v tabuľke 1, simulátor vrátil hodnotu **Total ocean waste**: 262,51 megaton. Táto hodnota sa takmer zhoduje s údajom 250 megaton v článku na stránke **Ocean Conservancy** [1]. Týmto experimentom bola overená validita modelu.

5.1.2 Experiment 2

Cieľom druhého experimentu je zistiť, aký by bol najefektívnejší spôsob, ktorým by sa dosiahlo zníženie množstva plastového odpadu, ktorý sa dostáva do oceánov. Budeme simulovať časový úsek 50 rokov. Najprv sa pokúsime zamerať na zníženie produkcie plastového odpadu ročne o 10%. `./xgrenc00 -y 50 -i -10`.

Total produced	3571.70	100%
Reused	1112.44	31.15%
Incinerated	321.53	9%
Recycled	217.27	(6.08%)
<i>Reused</i>	45.76	
<i>Incinerated</i>	41.78	
<i>Wasted</i>	129.73	
Decomposed	418.83	11.73%
Waste	1718.90	
<i>Land waste</i>	1650.74	46.22%
<i>Ocean waste</i>	68.15	1.91%
Total land waste	6477.74 megatons	
Total ocean waste	218.15 megatons	
Total world waste	6695.90 megatons	

Tabuľka 2: Výsledok experimentu 2.1

Pokúsime sa ponechať produkciu plastov na stagnujúcej úrovni a zoptimalizovať recykláciu tak, že maximalizujeme jej mieru z 6% na 62%. `./xgrenc00 -y 50 -r 62`.

Total produced	17951.00	100%
Reused	7518.00	41.88%
Incinerated	3615.00	20.14%
Recycled	11201.00	(62.40%)
<i>Reused</i>	2193.00	
<i>Incinerated</i>	2190.00	
<i>Wasted</i>	6818.00	
Decomposed	1289.00	7.18%
Waste	5529.00	
<i>Land waste</i>	5259.77	29.30%
<i>Ocean waste</i>	269.23	1.50%
Total land waste	10086.77 megatons	
Total ocean waste	419.23 megatons	
Total world waste	10506.00 megatons	

Tabuľka 3: Výsledok experimentu 2.2

Pokúsime sa ponechať produkciu plastov na stagnujúcej úrovni a zoptimalizovať recykláciu tak, že maximalizujeme jej efektivitu z 20% na 80%. `./xgrenc00 -y 50 -s 80`.

Total produced	17951.00	100%
Reused	6276.00	34.96%
Incinerated	1608.00	8.96%
Recycled	1101.00	(6.13%)
<i>Reused</i>	894.00	
<i>Incinerated</i>	207.00	
<i>Wasted</i>	0.00	
Decomposed	2001.00	11.15%
Waste	8066.00	
<i>Land waste</i>	7740.70	43.12%
<i>Ocean waste</i>	325.30	1.81%
Total land waste	12567.70 megatons	
Total ocean waste	475.30 megatons	
Total world waste	13043.00 megatons	

Tabuľka 4: Výsledok experimentu 2.3

Ako je možné vidieť z vyššie uvedených výsledkov experimentov, tak sa nasledujúcich 50 rokov treba jednoznačne zamerať na zníženie produkcie plastu (viz. tabuľka 2), pretože sme nasimulovali, že sa v oceáne bude nachádzať "len" 218,15 megaton plastového odpadu oproti 419,23 megatonám odpadu keď maximalizujeme mieru recyklácie z 6% na 62% (viz. tabuľka 3). Najviac sa neoplatí maximalizovať efektivitu recyklácie z 20% na 80% (viz. tabuľka 4), pretože v tomto prípade zostane v oceánoch až 475.30 megaton plastového odpadu.

5.1.3 Experiment 3

V treťom experimente budeme takisto simulovať časový úsek 50 rokov a zameráme sa na maximálnu možnú mieru recyklácie - 62% a takisto zvýšime aj jej efektivitu na 50% pri stagnujúcej produkcii plastov. `./xgrenc00 -y 50 -s 50 -r 62`.

Total produced	17951.00	100%
Reused	10980.00	61.17%
Incinerated	3640.00	20.28%
Recycled	11090.00	(61.78%)
<i>Reused</i>	5554.00	
<i>Incinerated</i>	2205.00	
<i>Wasted</i>	3331.00	
Decomposed	644.00	3.59%
Waste	2687.00	
<i>Land waste</i>	2567.61	14.30%
<i>Ocean waste</i>	119.39	0.67%
Total land waste	7394.61 megatons	
Total ocean waste	269.39 megatons	
Total world waste	7664.00 megatons	

Tabuľka 5: Výsledok experimentu 3

Ako je možné vidieť z tabuľky 5, značné zníženie množstva plastov v oceáne môžeme dosiahnuť aj pomocou efektívnej recyklácie odpadu. Avšak takúto vysokú efektivitu recyklácie plastového odpadu je ťažké dosiahnuť

a výsledky sú aj tak horšie ako pri klesajúcej produkcii plastov (viz. tabuľka 2).

5.1.4 Experiment 4

V poslednom experimente si predvedieme čo sa stane, ak nezakročíme a medziročne bude produkcia plastového odpadu rásť o 5%. Budeme simulovať úsek 50 rokov. `./xgrena00 -y 50 -i 5`.

Total produced	75160.12	100%
Reused	23409.29	31.15%
Incinerated	6766.13	9.00%
Recycled	4572.16	(6.08%)
<i>Reused</i>	963.00	
<i>Incinerated</i>	879.26	
<i>Wasted</i>	2729.90	
Decomposed	8813.55	11.73%
Waste	36171.15	
<i>Land waste</i>	34736.96	46.22%
<i>Ocean waste</i>	1434.19	1.91%
Total land waste	39563.96 megatons	
Total ocean waste	1584.19 megatons	
Total world waste	41148.15 megatons	

Tabuľka 6: Výsledok experimentu 4

Ako je možné vidieť z tabuľky 6, ak nezakročíme a necháme medziročnú produkciu plastov rásť o 5%, tak máme o 50 rokov veľký problém, pretože budeme mať vo svojich oceánoch až 1584,19 megaton plastového odpadu a to je len malý zlomok z celkového plastového odpadu, ktorý sa bude nachádzať na našej planéte Zemi.

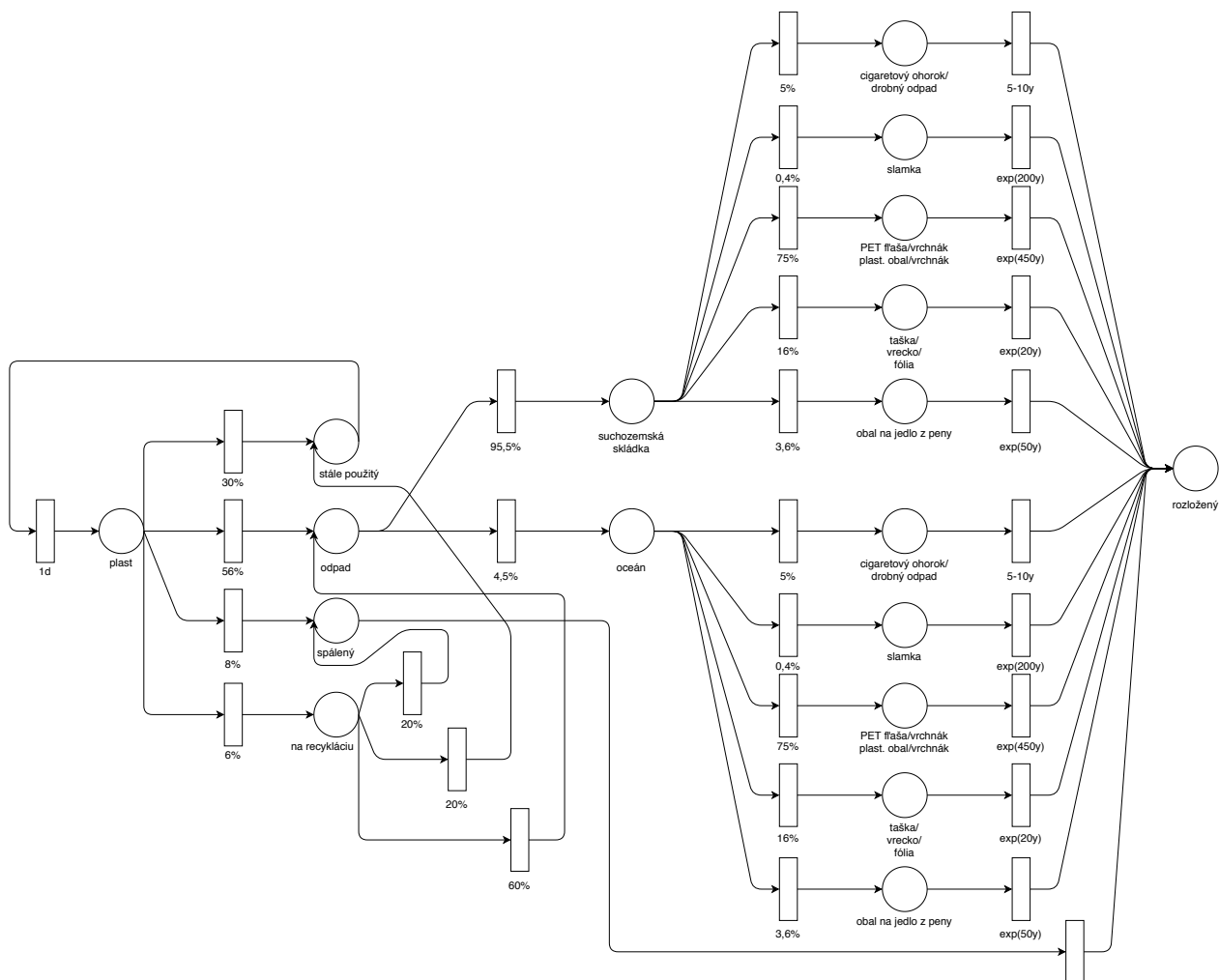
6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z výsledku experimentu 1 (5.1.1) vyplýva, že navrhnutý model je validný a vie verne nasimulovať vývoj množstva plastového odpadu vo svetových oceánoch. Z výsledkov experimentov 2 (5.1.2) a 3 (5.1.3) môžeme odpozorovať, že na to aby sme minimalizovali množstvo plastového odpadu, ktorý skončí v našich oceánoch za najbližších 50 rokov, bude nutné hlavne medziročne znížiť produkciu plastov a takisto zefektívniť ich recykláciu. Z výsledku experimentu 4 (5.1.4) je jasné, že je čas konať a je potrebné okamžite znížiť množstvo produkovaneho plastového odpadu.

Literatúra

- [1] Fighting for Trash Free Seas. [online], [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/plastics-in-the-ocean/>
- [2] Plastic Waste. [online], 11 2013, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://epthinktank.eu/2013/11/07/plastic-waste/>
- [3] Chow, L.: 10 Most Common Types of Beach Litter Are All Plastic. [online], 7 2018, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.ecowatch.com/beach-litter-plastics-ocean-conservancy-2581760475.html>
- [4] Feldman, S.: GNU Make. [online], 5 2016, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/make/>
- [5] Geyer, R.; Jambeck, J. R.; Law, K. L.: Production, use, and fate of all plastics ever made. [online], 7 2017, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
- [6] Grenčík, R.; Hubininák, R.: Dokumentácia k projektu z IMS 2019/2020. [online], 12 2019, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://github.com/garry980318/IMS/blob/master/doc/documentation.pdf>
- [7] Grenčík, R.; Hubininák, R.: IMS projekt 2019/2020. [online], 12 2019, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://github.com/garry980318/IMS>
- [8] Guern, C. L.: WHEN THE MERMAIDS CRY: THE GREAT PLASTIC TIDE. [online], 11 2019, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://plastic-pollution.org/>
- [9] PARKER, L.: A whopping 91[online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/06/plastic-planet-waste-pollution-trash-crisis/>
- [10] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace. [online], 10 2019, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [11] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 10 2018, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>
- [12] Ritchie, H.; Roser, M.: Plastic Pollution. [online], 9 2018, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [13] Senet, S.: Plastic production on the rise worldwide but slowing in Europe. [online], 6 2019, [online 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/while-global-plastic-production-is-increasing-worldwide-it-is-slowin-down-in-europe/>

A Petriho sieť



Obr. 1: Petriho sieť