

Modelování vodohospodářství – znečištění oceánů

Úvod

Plasty – tak by se dal jedním slovem shrnout jeden z největších problémů lidstva. Plasty jsou všude, a postupně zamořují planetu – od nejvyšších vrcholů hor, až po nejhlubší oceány. A lidem začíná být jasné, že je to poměrně velký problém. Protože plastům trvá miliony let, než se rozloží na mikroskopické částičky. A ty už nezmizí nikdy. Plasty začínají projevovat svůj neblahý vliv v jednom z nejzranitelnějších zákoutí Země – v oceánu.

Cílem této práce je získat představu o znečištění oceánů plasty, a vliv tohoto znečištění na některé druhy zvířat – mořské želvy, velryby, kosatky a delfíny. V práci jsou také porovnány důsledky lidských kroků v této oblasti – jaký vliv by mělo snižování množství plastů uniknutých do oceánu, jaký vliv by mělo čištění oceánů, atp.

V dnešní době je těžké získat ucelené a aktuální informace o tomto tématu. Spousta článků, bohužel i v odborných časopisech, často obsahuje zastaralé a třikrát upravená data a proto je při studiu této problematiky třeba hledat souvislosti a původ jednotlivých informací. Tato práce je souhrnem těch nejdůležitějších dat v této oblasti a umožňuje vždy dopočítat data aktuální. Případnému zájemci tak může ušetřit i několik hodin vyhledávání informací.

Autoři:

Tomáš Oplatek, xoplat01

Monika Rosinská, xrosin00

zdroje: National Geographic Documents, stránky organizací na ochranu zvířat, a další (viz kapitola Zdroje)

Podmínky experimentování s modelem:

Nejdůležitější bylo ověřit validitu modelu produkce plastu, neboť na něm stojí všechny ostatní modely a je důležitou proměnnou ve všech provedených experimentech. Validitu modelu jsme ověřovali pomocí provedení experimentu, kdy jsme nastavili jako počátek simulace rok 2010 (poměrně starý, ale přesto přesný údaj o produkci plastu, který pochází z doby, kdy bylo zvyšování produkce plastu už poměrně ustálené) – tedy v počátečním momentu simulace bylo vyprodukováno 270 milionů tun plastu. Poté jsme provedli simulaci zvyšování produkce plastu až do roku 2018 (odtud pochází poslední ověřený údaj o produkci plastu).

Výsledky byly následující:

```
V roce 2010 bude vyprodukováno 270.39 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2011 bude vyprodukováno 279.583 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2012 bude vyprodukováno 289.089 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2013 bude vyprodukováno 298.918 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2014 bude vyprodukováno 309.081 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2015 bude vyprodukováno 319.59 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2016 bude vyprodukováno 330.456 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2017 bude vyprodukováno 341.692 miliónů metrických tun plastu.  
V roce 2018 bude vyprodukováno 353.309 miliónů metrických tun plastu.
```

Hodnota, která byla získána simulací, se liší o 6 milionů tun, což je v tomto měřítku hodnota relativně zanedbatelná.

Validace modelu množství plastů v oceánech je poměrně obtížná, neboť poslední důvěryhodný údaj o množství plastu uniknutém do oceánu je z roku 2010, a zároveň první odhad o množství plastu v oceánu je až z roku 2016. Není tedy téměř možné jakkoli ověřit validitu modelu s použitím výhradně faktů – přičemž i známé údaje jsou pouhým odhadem odborníků.

Stojí ale za zmínku, že výsledek simulace o množství plastu v oceánu v roce 2050 se shoduje s předpovědí autorů práce The New Plastic Economy z Ellen MacArthur Foundation (z roku 2016).^[2]

Ostatní modely – tedy modely vlivu plastového odpadu na vybraná zvířata – jsou modely pouze doprovodné, aby pomohly čtenáři získat alespoň nějaký náhled na vliv znečištění na mořská zvířata. Jejich validita se také ověřuje poměrně náročně, neboť informací je velmi málo, a povětšinou jsou kusé.

Podarilo se nám ale získat údaje z několika různých let, a provedli jsme několik nezávislých výpočtů – a získali jsme vždy téměř stejné výsledky pro určitý rok (například přepočítání z uvedených hodnot na rok 2020 v závislosti na znečištění). Jelikož se jednalo o informace časově vzdálené (například rok 1971, 1980 a 1997), a výsledky pro aktuální rok se lišily jen velmi málo, troufáme si tvrdit, že daný model odpovídá realitě a je tedy validní.

Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Je nutné brát v potaz, že veškeré údaje o znečištění moří, úmrtí zvířat, populaci zvířat apod. jsou jen nejlepším odhadem odborníků a nelze získat zcela přesné údaje.

V celé práci je používána jednotka metrická tuna (dále jen jako tuna), která odpovídá hmotnosti 1 000 kg.

Produkce plastu

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty celosvětové produkce plastu v jednotlivých letech^[1]:

Rok	Produkce plastu (řád: miliony tun)	Přírůstek oproti minulému roku
1989	100	nelze vypočítat
2002	200	nelze vypočítat
2008	245	nelze vypočítat
2009	250	2%
2010	270	8%
2011	279	3,4%
2012	288	3,2%
2013	299	3,8%
2014	311	4%
2015	322	3,5%
2016	335	4%
2017	348	3,9%
2018	359	3,2%

Přírůstek oproti předchozímu roku byl dopočítán a zaokrouhlen na 1 desetinné místo. Jelikož ani údaje o produkci nejsou zcela přesné, není nutné dbát na naprostou přesnost přírůstku.

Pro účely modelování byl z dostupných dat vypočítán průměrný roční přírůstek plastové produkce: 3,9%.

Poté lze dopočítat množství plastu vyprodukovaného v letech 2019 a 2020:

2019: $359 + 359 \times 0,039 \approx 373$ milionů tun plastu

2020: $373 + 373 \times 0,039 \approx 388$ milionů tun plastu

Únik plastu do oceánu

V roce 2010 uniklo do oceánu 4,8 – 12,7 milionů tun plastového odpadu. Ve vědeckých kruzích se běžně provádí výpočty s hodnotou 8 milionů tun, proto je v této práci používána také tato hodnota.

Jelikož v roce 2010 bylo vyprodukováno 270 milionů tun plastu^[1] a 8 milionů tun plastu uniklo do oceánu^[6], lze vypočítat, kolik procent vyprodukovaného plastu ročně unikne do oceánu:

$$\frac{8}{270} \times 100 = 2,962 \text{ periodických} \approx 3\% \text{ vyprodukovaného plastu putuje do oceánu}$$

Množství plastu v oceánu

V roce 2016 bylo v oceánu (odhadem) 150 milionů tun plastu^[7]. Kolik plastu je v oceánech v roce 2020 lze vypočítat následovně:

Rok	Vyprodukovaný plast (miliony tun)	Plast uniklý do oceánu (miliony tun)
2017	348	$348 \times 0,03 = 10,44$
2018	359	$359 \times 0,03 = 10,77$
2019	373	$373 \times 0,03 = 11,19$
2020	388	$388 \times 0,03 = 11,63$

celkem:

$150 + 10,44 + 10,77 + 11,19 + 11,63 \approx 194$ milionů tun

Mořské želvy

Ročně je nalezeno více než 1 000 mrtvých želv, které zemřely kvůli plastovému znečištění.^{[3][4]} Odborníci se však shodují, že toto číslo bude ve skutečnosti mnohem vyšší a že se jedná o silné podhodnocení situace.

Mládě želvy (cca do 5 let) pozře plast s pravděpodobností 54%, adolescent (cca 6 – 20 let) pozře plast s pravděpodobností 23% a dospělý jedinec pozře plast s pravděpodobností 16%.^[36] Přitom pokud želva pozře jediný kus plastu, zemře s 22% pravděpodobností.^{[4][CSIRO][USC]}

V roce 2011 bylo odhadnuto, že je na světě 6 461 000 mořských želv (používá se průměr z dolní hranice 1 067 000 a horní hranice 9 361 000 želv).^{[10][11]} Poměr samic vůči samcům je 3:1.^[11]

Želvy jsou ohroženy zejména kvůli pomalému rozmnožování. Želva je plodná až v 19 letech a vajíčka snáší zhruba 30 let.^[13] Želva ročně snese 65 – 180 vajíček do každého hnízda, ročně buduje 2 – 8 hnízd.^[10] 20% vajíček se nevylíhne^[17] a ze zbylých přežije jen 1 želva z 1 000^[10]. Želvy nesnášejí vajíčka každý rok, ale jen jednou za 2 – 6 let.^[31]

Žijí přibližně 60 let.^[13]

Mořští savci

Ročně zemře odhadem 100 000 mořských savců v důsledku znečištění.^[5] Největší vliv má toto znečištění na delfíny, velryby, tuleně a lachtany.

Pokusili jsme se modelovat životní cyklus těchto živočichů, ovšem kvůli nedostatku dat jsme byli nuceni od podrobného modelu upustit, a místo celého životního cyklu savců je modelován jen vliv plastového znečištění na tyto živočichy.

Ačkoli není počet zástupců daného druhu podstatný, v práci a samotných experimentech jsou uváděny pro lepší představu o situaci:

Delfínů je odhadem 7 093 000 kusů.^[21]

Kosatek je odhadem 50 000 kusů.^[22]

Velryb je odhadem 500 000 kusů.^[24]

Lachtanů a tuleňů je několik milionů kusů a jejich populace nejsou zmapovány. Znečištění nemá na jejich populaci pozorovatelný vliv (zemře jich sice více než delfínů, ale je jich mnohonásobně více), proto jsme se rozhodli je z modelování vypustit, stejně jako jiné méně zasažené druhy.

Úmrtí z důvodu znečištění:

V roce 1997 bylo pozorováno pozření plastu jednotlivými druhy kytovců a jejich uváznutí v sítích nebo plovoucích pásech plastového odpadu^[33]:

	pozření plastu	uváznutí (sítě/plast)
delfíni	14	2
velryby	11	10
kosatky	2	-

Jelikož je podobných informací poměrně málo, je třeba pracovat s tímto údajem, jež je nejlépe použitelný. Přesné údaje o množství plastu v roce 1997 nejsou, ale lze je přibližně určit z následujících informací:

- od roku 1980 se znečištění oceánů zvýšilo $10\times$ ^[34] – tento údaj pochází z roku 2019, kdy bylo v oceánu 182,37 milionů tun plastu
=> v roce 1980 bylo v oceánu odhadem 18,237 milionů tun plastu
- pomocí údajů o produkci plastu v posledních letech a jeho úniku do oceánu lze alespoň přibližně vypočítat, kolik plastu mohlo být v roce 1997 v oceánech (ať už ve směru od roku 1980, nebo od roku 2016 zpět)
⇒ v roce 1997 bylo v oceánu odhadem 30 milionů tun plastu

Nyní můžeme vypočítat, kolik kytovců pozře plast nebo se zamotá do sítě v daném roce (respektive přepočítáním na miliony tun plastového odpadu). Například pokud v roce pozřelo plast 14 delfínů, vypočítáme, kolik delfínů pozře plast na každý milion tun plastového odpadu v oceánech:

$14 \text{ delfínů} / 30 \text{ milionů tun plastu} = 0,47 \text{ delfína pozře plast na 1 milion tun plastu}$

Tímto postupem jsou získány následující hodnoty:

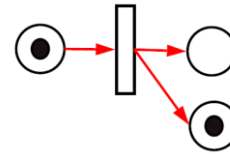
- ročně pozře plast 0,47 delfínů na milion tun plastového odpadu (tj. v roce 2020 to odpovídá 91 delfínům, kteří pozrou plast – $0,47 \times 194,23 = 91$)
- ročně se zamotá do sítě nebo odpadu 0,07 delfínů na milion tun plastového odpadu (v roce 2020 je to 14 delfínů)
- ročně pozře plast 0,37 velryb na milion tun plastového odpadu (v roce 2020 je to 72 velryb)
- ročně se zamotá do sítě nebo odpadu 0,34 velryb na milion tun plastového odpadu (v roce 2020 je to 66 velryb)
- ročně pozře plast 0,07 kosatek na milion tun plastového odpadu (v roce 2020 je to 14 kosatek)

Kytovci při pozření jednoho kusu plastu umřou s pravděpodobností 22%.^[35]

Použité technologie

Na projekt byly využity Petriho sítě (prezentace slide 123/332). Petriho síť je matematická reprezentace diskrétních distribuovaných systémů – jedná se o orientovaný graf. Skládá se z:

- míst P – kružnice
- přechodů T – obdélníky
- incidencečních relací F – šipky
- váhových funkcí W – ohodnocení hran



přičemž přechod je proveditelný, jestliže:

- ve vstupních místech je dostatečný počet značek, které jsou požadovány hranami (ve vstupních místech čeká dostatek procesů)
- ve výstupních místech je dostatečná kapacita volná pro umístění výstupních značek (výstupní místa mají dostatečně velkou kapacitu)

Při přechodu se do vstupního místa přidá tolik značek, jaká je cena výstupního přechodu. Přechody mohou mít prioritu, mohou mít nastaveny pravděpodobnost přechodu, nebo mohou mít uvedeny čas, jaký přechod mezi stavy zabere.

V práci byly pro modelování využity petriho sítě, neboť jsou vhodné pro práci s nedeterminismem, který se v našich modelech vyskytuje poměrně často (pravděpodobnost pozření plastu zvířetem, pravděpodobnost smrti při pozření, atd.).

Použité metody a technologie

Jelikož je samotný program poměrně jednoduchý, nebylo nutné použít žádné speciální technologie (nebylo nutné například synchronizovat procesy nebo řešit vybírání z fronty). Stačilo využít možností, které nabízí jazyk C++, kterým je program implementován.

Na generování pravděpodobností bylo využito principu následujícího:

Bylo vygenerováno náhodné číslo x a následně je provedena operace $x \% 100$, díky čemuž bylo získáno číslo od 0 do 100. Tímto číslem lze poté reprezentovat pravděpodobnost uvedenou v procentech (například nastane-li přechod s pravděpodobností 22%, nastane v případě, kdy je hodnota čísla x menší nebo rovna hodnotě 22).

Koncepce – modelářská témata

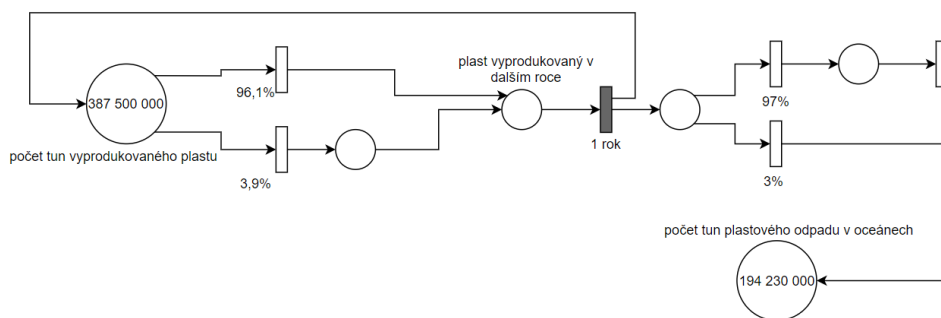
Jednotlivé části modelu jsou nezávislé a simulaci lze provádět pro každou část modelu zvlášť. Jedinou výjimkou je vývoj množství plastu v oceánech, který přímo ovlivňuje všechny ostatní modely.

Plastové znečištění oceánů

Následující Petriho síť zobrazuje přírůstek plastového znečištění v oceánech. Počítá s počátečním rokem 2020, kdy se vyprodukuje 387,5 milionů tun plastu a v oceánu je odhadem 194,23 milionů tun plastového odpadu.

Tento model počítá s nárůstem produkce plastu o 3,9% ročně a s únikem 3% vyprodukovaného plastu do oceánu. Pomocí změny těchto dvou hodnot je simulován vývoj plastového znečištění za různých podmínek.

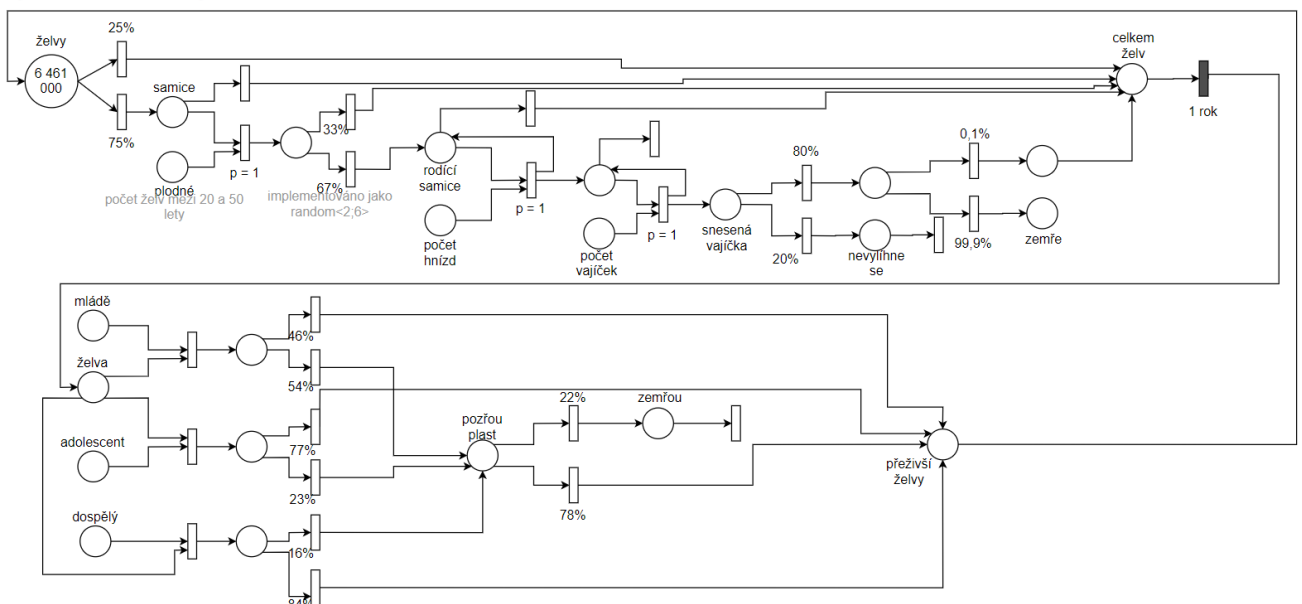
Cyklus přibývání plastového odpadu v oceánech



Cyklus želv

U želv bylo díky velmi podrobným informacím možné implementovat celý životní cyklus. Je to možné i díky tomu, že želvy se stávají obětí predátorů málo často, nebo jen ve velmi nízkém věku (zde jsou ale tato úmrtí započítána do informace, že se jen jedno mládě z tisíce dožije jednoho roku). Některá procenta v Petriho síti jsou nahrazena náhodně vygenerovanou hodnotou, aby model lépe odpovídal realitě – v tom případě je to v modelu uvedeno. Rok, kterému počátek modelu odpovídá, je rok 2020.

Cyklus života mořských želv



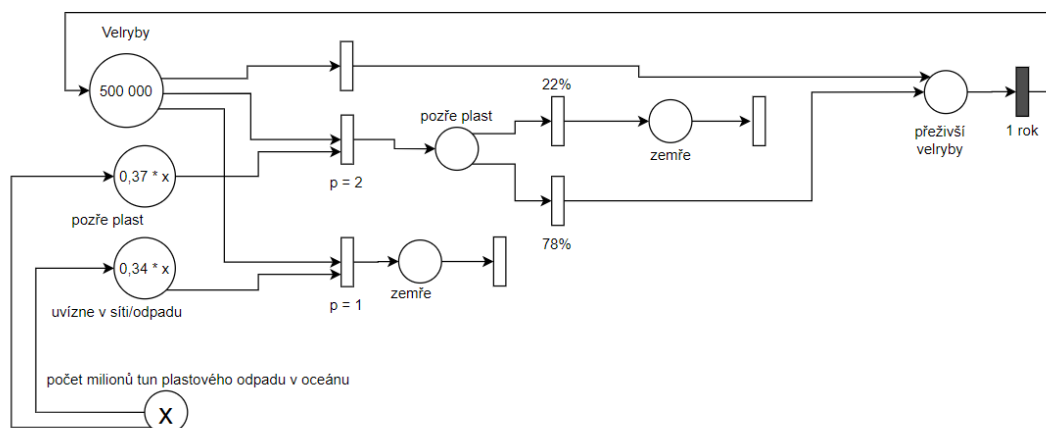
Cyklus kytovců

Jak již bylo zmíněno, ohledně kytovců nelze dohledat podrobné informace. Byly sice nalezeny notné informace ohledně jejich rozmnožování, délce života a podobně, chyběly ale informace o úmrtí na nemoci, usmrcení predátorem a podobné. Jelikož chyběly poměrně důležité části modelu, nebylo možné jej považovat za validní. Když jsme se jej ze zvědavosti pokusili implementovat, vykazoval chybné chování, a proto jsme se rozhodli pro jednodušší model, který zkoumá jen a pouze vliv plastů na tato zvířata.

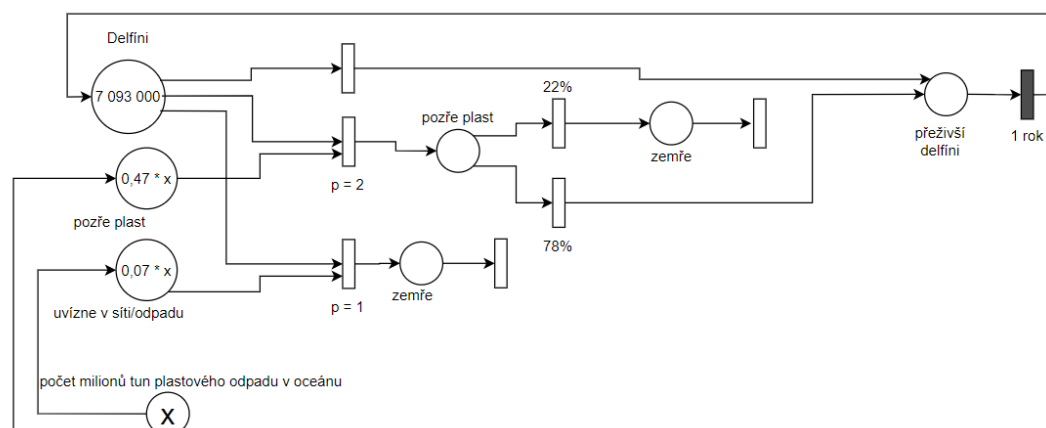
Na správnost modelu tato skutečnost nebude mít vliv – pokud by vliv lidí na tyto živočichy byl nulový, jejich populace by byla ustálena na určitém počtu bez větších výchylek. Jelikož zde modelujeme jen vliv plastů na tyto živočichy (ne celkový vliv lidské činnosti), není tedy nutné brát v potaz například počet ulovených delfínů nebo počet delfínů zraněných lodí. Tyto informace by se samozřejmě promítly do celkového množství živočichů, ale na smrti způsobené plasty vliv nemají. A právě počet zvířat, které zemřely kvůli znečištění oceánů, je to, o co se tato práce zajímá.

Následující Petriho síť znázorňuje roční cykly velryb, delfínů a kosatek. Počítají s počátečním rokem 2020.

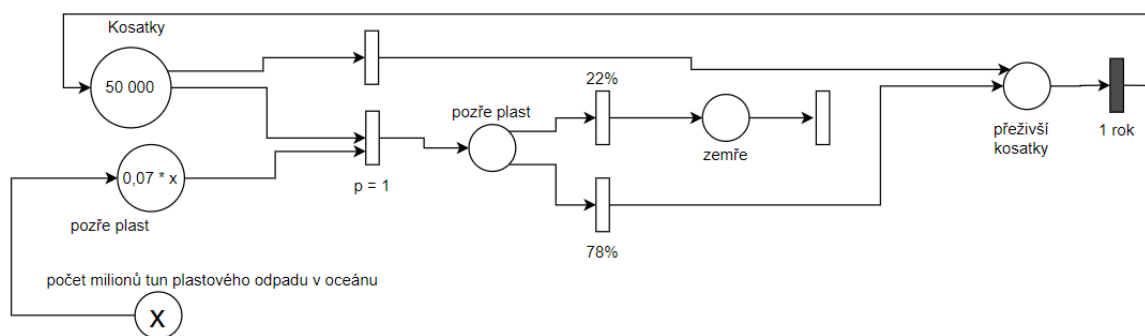
Cyklus života velryb



Cyklus života delfínů



Cyklus života kosatek



Koncepce – implementační témata

Program po spuštění zahájí přípravu k simulaci výroby plastu, jeho únik do oceánu, a vliv na různé živočišné druhy žijící v oceánu. Nejdříve vygeneruje informaci o tom, kolik odpadu bude v který rok vyprodukováno, a to dle několika různých parametrů. Tato informace je poté předávána dalším částem programu. Poté je spuštěna samotná simulace, která spočívá v tom, že jsou vytvořeny nějaké počáteční stavy jednotlivých druhů zvířat, a postupně je simulován vývoj počtu zvířat s postupem času. Simulace probíhá pro každý další rok (pokud chce uživatel získat statistiky pro rok 2050, musí se nejdříve vypočítat všechny předešlé kroky). Po simulaci každého roku jsou informace o tomto roce vypsány do souboru output.csv, kde jsou tato data uložena ve formátu CSV.

Průběh samotného programu probíhá přibližně takto:
generování aktuálních hodnot odpadu a populací zvířat
otevření souboru
while *aktuální rok < zadaný rok:*
 přepočítání populací zvířat
 výpis dat
zavření souboru

Architektura simulačního modelu/simulátoru

Zajímavou částí implementace je část kódu pro simulaci cyklu želv. Ta je obsažena ve třídě `turtle_simulation` (`turtle_simulation.cpp` a `turtle_simulation.h`). Pravděpodobnost, že želva pozře plast, je závislá na věku želvy. Z toho důvodu je nutné hlídat i stáří jednotlivých želv. V projektu je tedy navíc třída `turtle` (`turtle.cpp` a `turtle.h`), ve které jsou uloženy informace o počtu želv v určitém věku.

Na počátku simulace je však nutné znát jejich počet v počátečním stavu, včetně jejich věkového rozložení. Získání této informace probíhá následujícím způsobem: Je vytvořen 1 000 000 ve věku 1 roku, a následně je simulováno stárnutí těchto želv (až do 120 let věku), včetně samotné simulace pozření plastů (ale nikoli rozmnožování). Díky tomuto je zjištěno přibližné věkové rozložení želv. Toto rozložení je pak přepočítáno na 6 414 000 želv (odhadovaný počet želv v roce 2020).

Poté může začít samotná simulace – je vygenerována nová generace želv – počet nově narozených želv je dán aktuálním počtem plodných želv, přičemž je pro každou želvu vygenerován náhodný počet hnízd a počet vajíček v daném hnízdě (v odpovídajícím rozmezí). Následně želvy zestárnou o rok a poté každá želva s určitou pravděpodobností pozře plast. Pokud želva plast pozřela, tak zemře s pravděpodobností 22%. Zde končí simulace jednoho roku cyklu, a následuje simulace roku dalšího.

Rozdělení modelů

Jednotlivé modely jsou rozděleny do souborů následujícím způsobem:

Plastové znečištění oceánů – třída `garbage` v souborech `garbage.cpp` a `garbage.h`

Cyklus želv – třídy `turtle` a `turtle_simulation` ze souborů `turtle.cpp/h` a `turtle_simulation.cpp/h`

Cyklus velryb – třída `whale_simulation` obsažená v `whale_simulation.cpp/h`

Cyklus delfínů – třída `dolphin_simulation` obsažená v `dolphin_simulation.cpp/h`

Cyklus kosatek – třída `killer_whale_simulation` obsažená v `killer_whale_simulation.cpp/h`

Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentování je získat představu o vývoji znečištění oceánu plasty a vlivu tohoto znečištění na některá zvířata. Dále je pomocí experimentů ukázáno, jaký vliv by mělo uklízení oceánů, omezení unikání plastů do oceánů a kombinace těchto aspektů.

Postup experimentování

Jednotlivé experimenty jsou prováděny postupně, a jejich výsledky jsou porovnány. U každého experimentu bylo provedeno několik běhů simulace, a výsledek jednoho z běhů byl použit v dokumentaci.

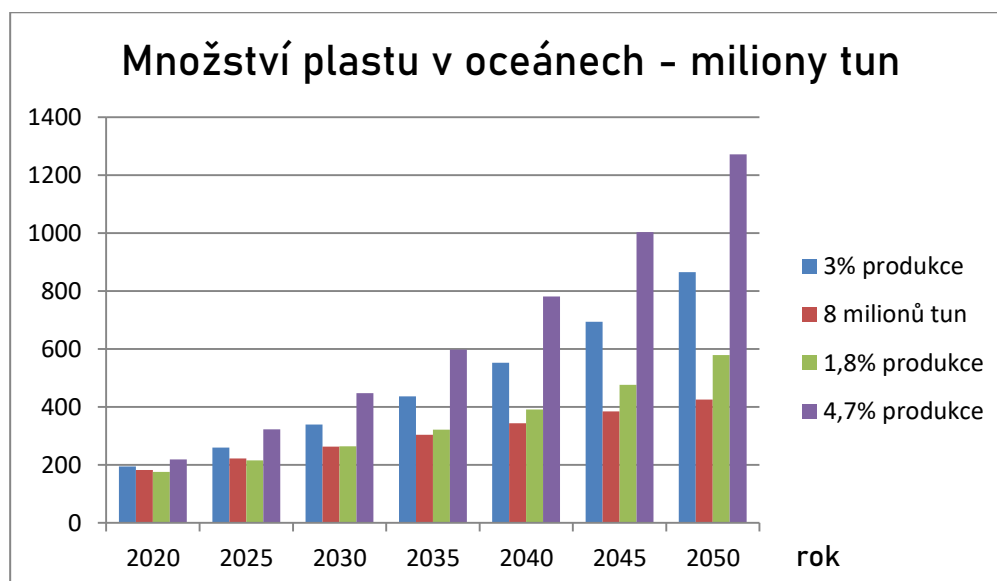
Simulace množství odpadu v oceánu

Dle studie z roku 2014^[6] uniklo do oceánů v roce 2010 4,8 – 12,7 milionů tun plastového odpadu. Naprosto běžně se užívá střední hodnota – 8 milionů tun. Většina dalších studií, věnující se plastovému odpadu v oceánech, tedy počítá s informací, že do oceánu každý rok unikne 8 milionů tun plastového odpadu.

Pokud ale vezmeme v úvahu fakt, že produkce plastu se za posledních 10 let zvýšila o 38%, a přitom byly podniknuty minimální kroky proti unikání plastů do oceánu (které unikají především v Asii^[7]), je nesmysl, aby do oceánu unikalo stále stejné množství plastu.

Abychom lépe získali představu o tom, jak rozdílných odhadů dosáhneme, provedli jsme následující experimenty (vstupní hodnota produkce 388 milionů tun, v oceánu 194,23 milionů tun):

- produkce plastu se ročně zvýší o 3,9%, do oceánu uniknou 3% produkovaného plastu (počítá se se střední hodnotou odhadu úniku plastů v roce 2010)
- každý rok do oceánu unikne 8 milionů tun plastového odpadu
- produkce plastu se ročně zvýší o 3,9%, do oceánu uniknou 1,8% produkovaného plastu (počítá se s optimistickým odhadem úniku plastů v roce 2010)
- produkce plastu se ročně zvýší o 3,9%, do oceánu uniknou 4,7% produkovaného plastu (počítá se s pesimistickým odhadem úniku plastů v roce 2010)



Z výsledků je patrné, že studie, které počítají s únikem 8 milionů tun plastu, jsou v dlouhodobém horizontu stále velmi optimistické a pravděpodobně daleko od reality. Simulace, která počítala s únikem pouhých 1,8% plastové produkce do oceánu, už v roce 2035 převýšila odhady těchto studií. Z tohoto důvodu je v této práci použita hodnota 3% vyprodukovaného plastu. S tímto přístupem jsme dosáhli stejné předpovědi jako studie od Ellen MacArthur Foundation^[2] (tj. 850 – 950 milionů tun plastového znečištění v oceánech).

Simulace znečištění oceánů a dopad na vybraná zvířata

Cílem tohoto experimentu je ukázat, jaký bude stav oceánů v roce 2080, pokud bude unikání plastů do oceánu pokračovat současným tempem a nebudou podniknuty žádné kroky pro zmírnění znečištění.

Experiment se vstupními hodnotami:

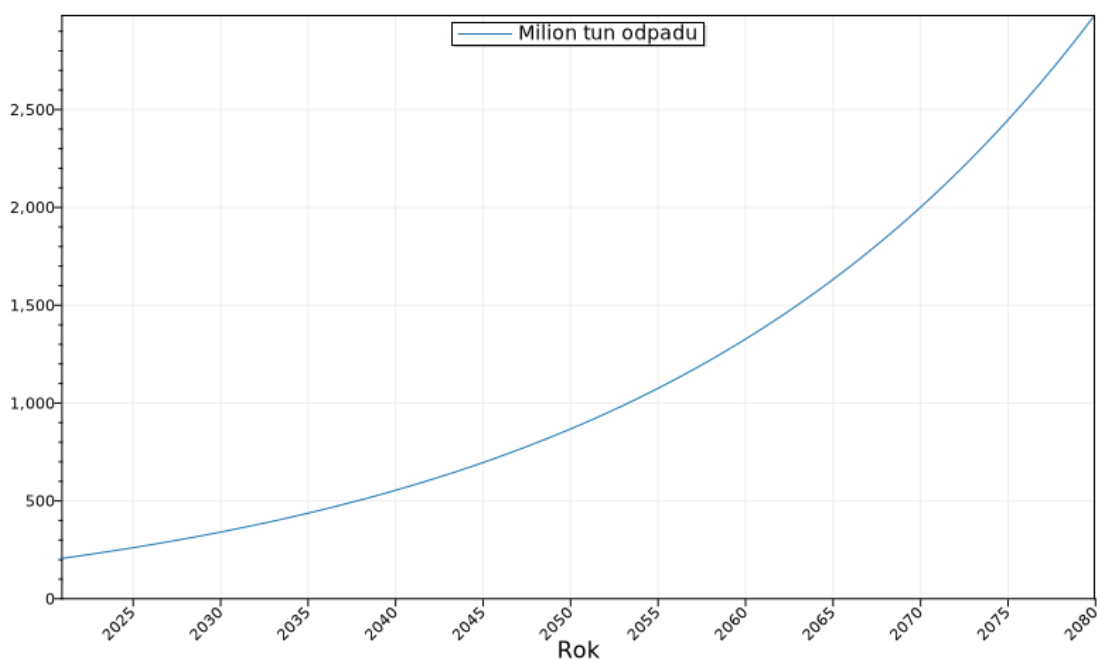
- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3,9%

Výsledky experimentu:

Následující graf zobrazuje množství plastového odpadu v oceánech. Hodnoty jsou uvedeny v milionech tun.

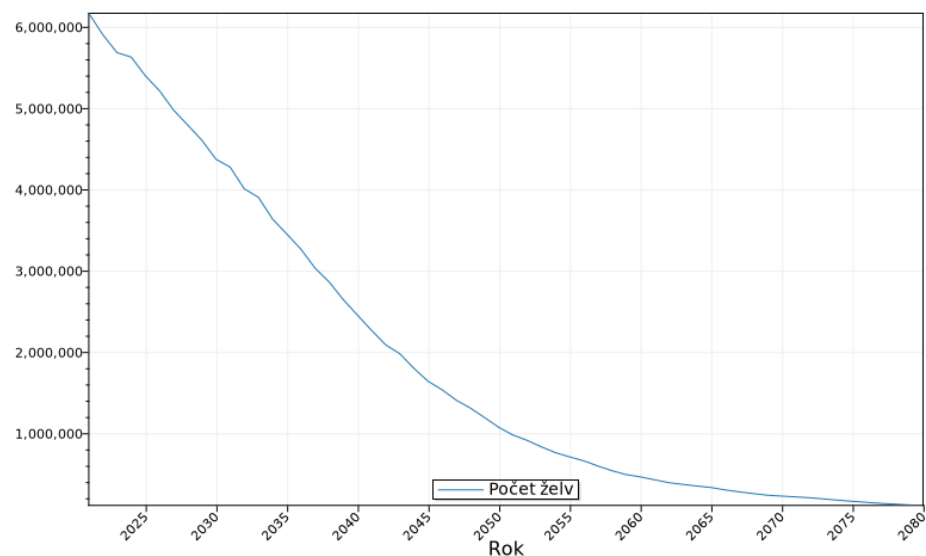
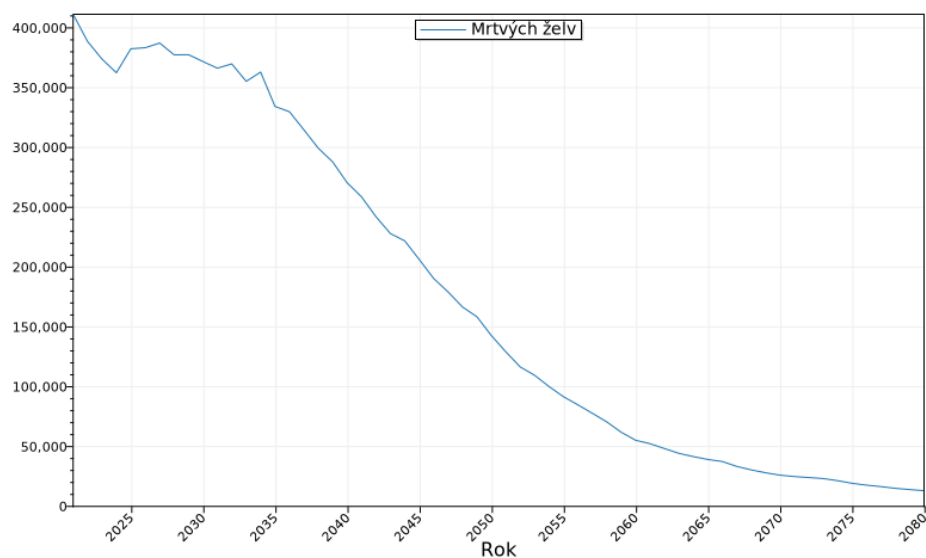
Na grafu lze vypočítat, že v roce 2050 bude v oceánu zhruba 900 milionů tun plastu, během následujících 10 let by v oceánech bylo přes 1 300 milionů tun plastu, a v roce 2080 už bychom se dostali na neuvěřitelné číslo 3 miliardy tun. Pro představu – dle studie od Ellen MacArthur Foundation^[2] už v roce 2050 bude v oceánu více plastu než ryb (na tuny).

I když se do situace, která by dle našich předpovědí mohla nastat v roce 2080, pravděpodobně nikdy nedostaneme, je na tomto grafu vidět, jak rychle znečištění oceánů stoupá, a že se stav oceánů velmi rychle stane kritickým.

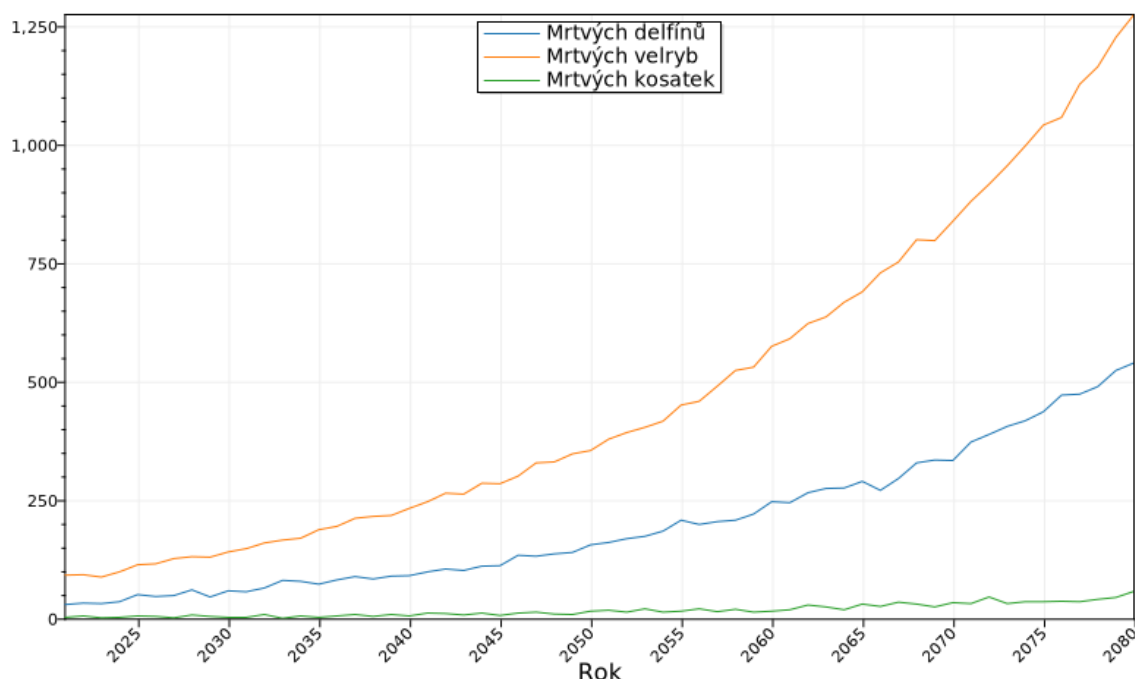


Jen na následky plastového znečištění zemře každý rok velké množství želv a několik kusů. Ačkoli se z grafů může zdát, že i tak v oceánech zůstane dostatek zástupců těchto druhů, je potřeba myslet, že tito živočichové umírají i na jiné následky než je pozření plastu či zapletení se do volně plovoucích sítí či velkých pásů odpadků. Například ročně zemře až 300 000 delfínů na následky zranění lodí či loveckým náčiním.

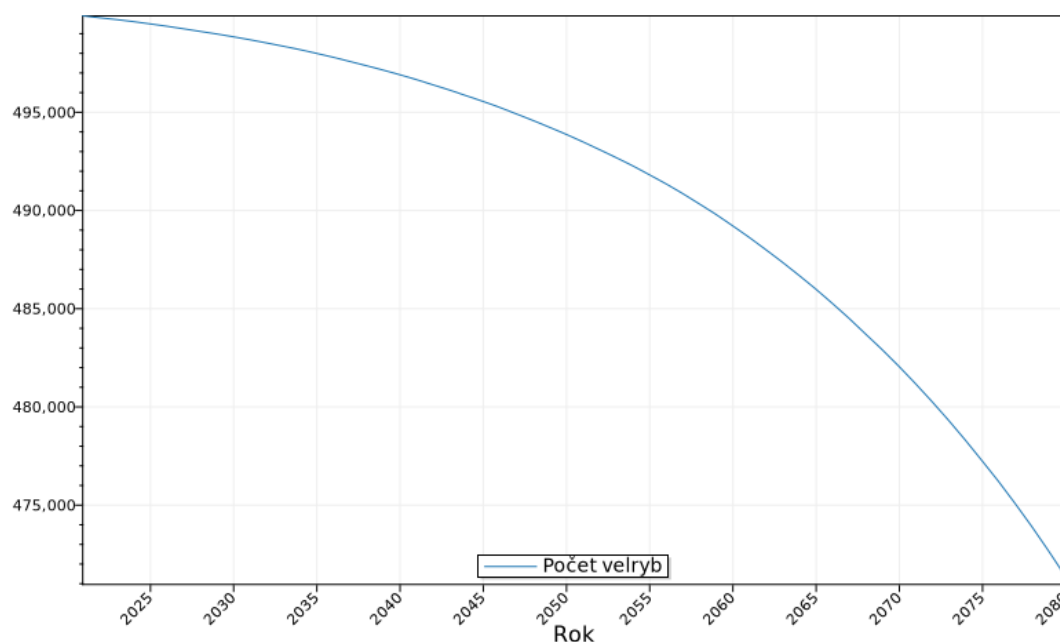
Následující graf, zobrazující počet želv, které zemřely kvůli plastovému znečištění, může působit poněkud optimisticky, neboť počet mrtvých želv klesá. Je třeba však tento graf porovnat s grafem následujícím, který zobrazuje želví populaci. V roce 2050 klesne populace želv téměř na 1/6 – 1 128 015 želv. A to zejména z toho důvodu, že mladé želvy jsou poměrně náchylné na pozření plastu, a přitom je šance na úmrtí kvůli jeho pozření poměrně vysoká. Málokterá želva tak dosáhne plodného věku.

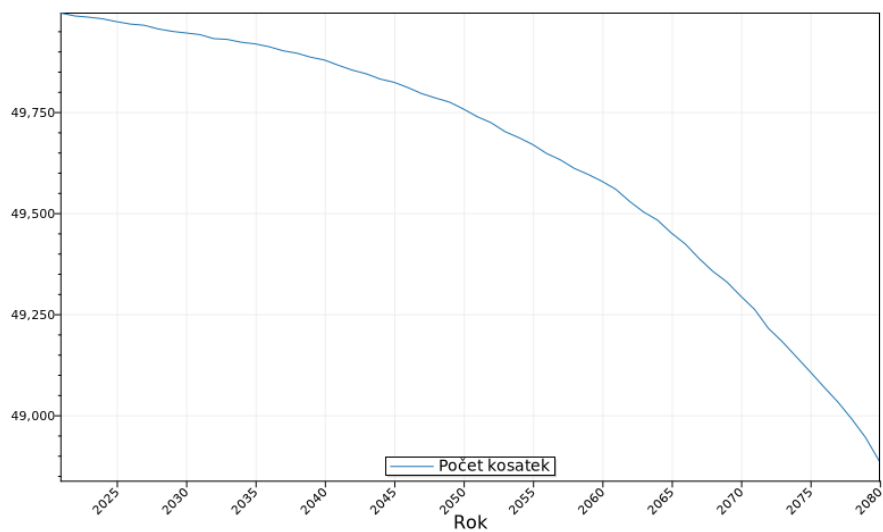
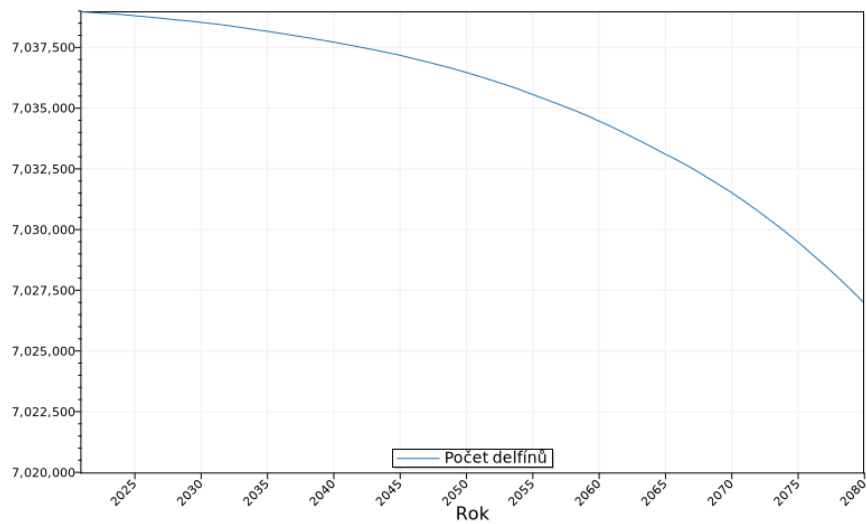


Na následujícím grafu je vyobrazen počet jednotlivých kytovců, kteří zemřeli z důvodu plastového znečištění – pozření plastu či zapletení. Jelikož nejsou plasty zasaženi do takové míry jako želvy, počet úmrtí postupně stoupá. Z grafů je patrné, že nejvíce jsou ohroženy velryby.



V roce 2050 zemře jen z důvodu znečištění 300 velryb, populace tedy klesne za 30 let o asi 6 000 velryb. Podobná situace nastává také u delfínů. Je třeba myslet na to, že tyto tvorové jsou také často zraněny lodí či podobným náčiním, což mnohdy také zaviní jejich smrt, takže populace sama o sobě klesá rychleji. Kosatky jsou znečištěním ohroženy méně než předchozí dva druhy, a to nejspíše z toho důvodu, že loví spíše větší živočichy (tuleni, tučňáci), díky tomu nedochází k pozření plastu tak často.





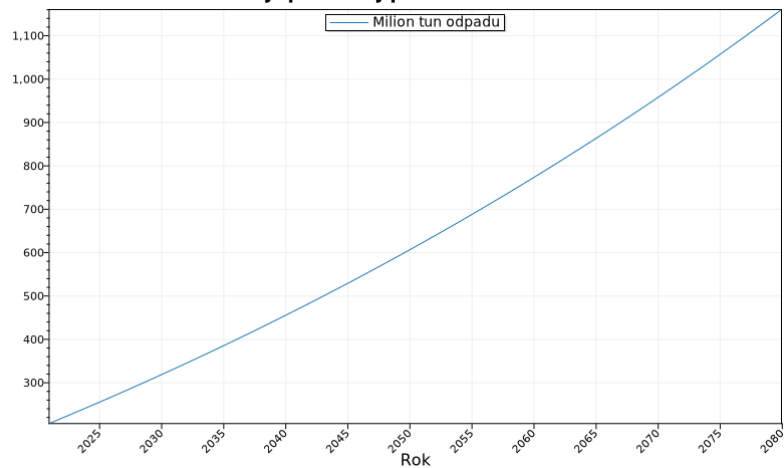
Experiment: snížení produkce plastu na 1%

Následující experiment nám poskytl informace o tom, jak by se změnil vývoj znečištění oceánů, pokud by růst produkce plastu klesl ze současných 3,9% na pouhé 1%.

Experiment se vstupními hodnotami:

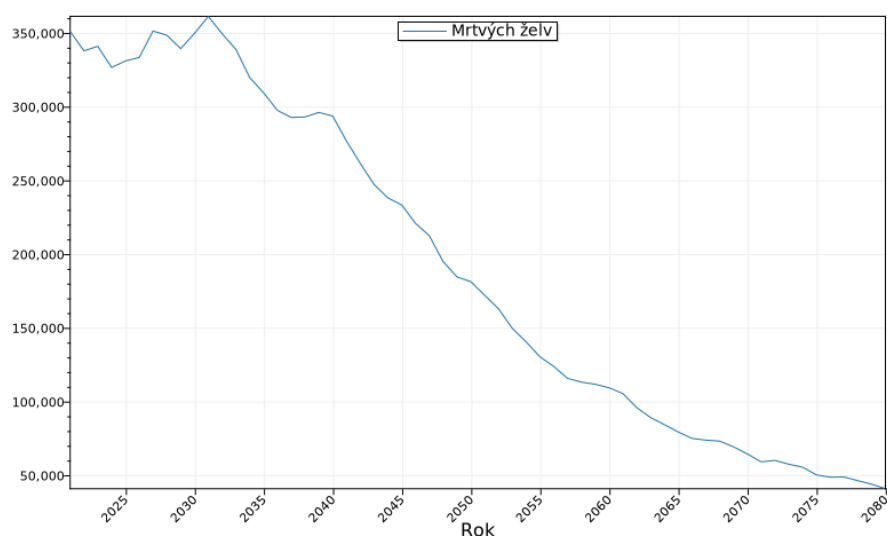
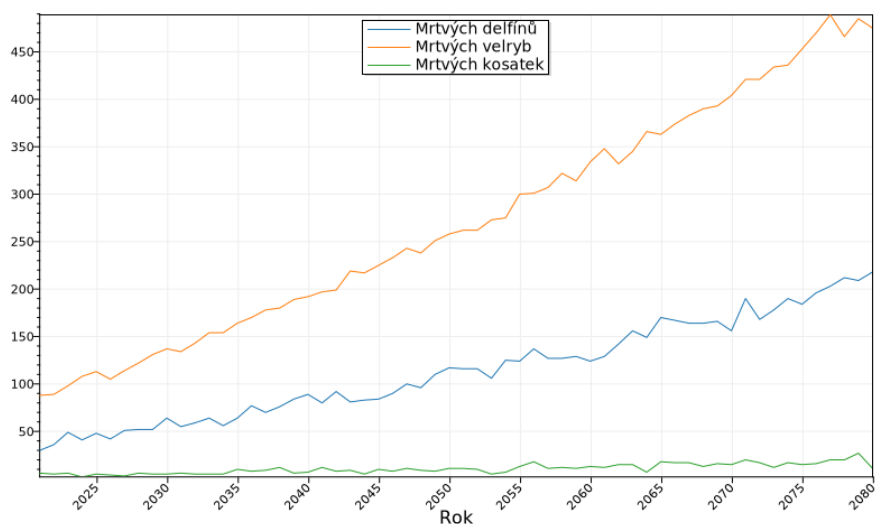
- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 1%

Nárůst plastového znečištění by poté vypadal následovně:



Na grafu je krásně vidět, že v roce 2050 by bylo v oceánech „pouhých“ 600 milionů tun plastu – oproti předchozímu experimentu, kdy v roce 2050 bylo v oceánu přes 900 milionů tun plastu je to snížení znečištění o 1/3.

Na následujících grafech je vidět příznivý vliv také na smrt želv a kytovců z důvodu znečištění:



Z výsledků experimentu je patrné, že omezení produkce, a tím i zmenšením množství plastu uniknutého do oceánu by výrazně pomohlo zamezit velkému znečištění oceánu a zemřelo by na následky znečištění i méně zvířat.

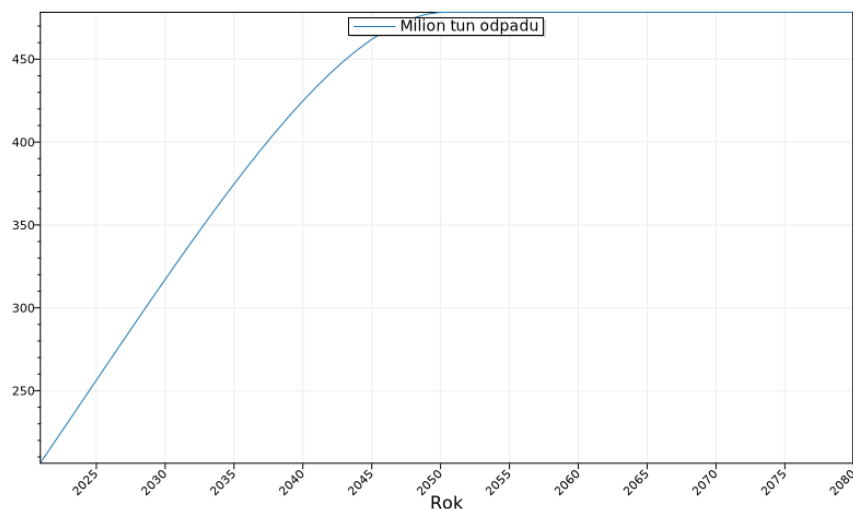
Experiment: snižování úniku plastů do oceánu

Cílem tohoto experimentu bylo ukázat, jak omezení unikání plastů do oceánu ovlivní jeho znečištění. Každý rok uniklo do oceánu o 0,1% méně (pokud tedy v roce 2020 unikne do oceánu 3% produkce plastu, v roce 2021 unikne do oceánu 2,9% produkce a v roce 2022 2,8% produkce).

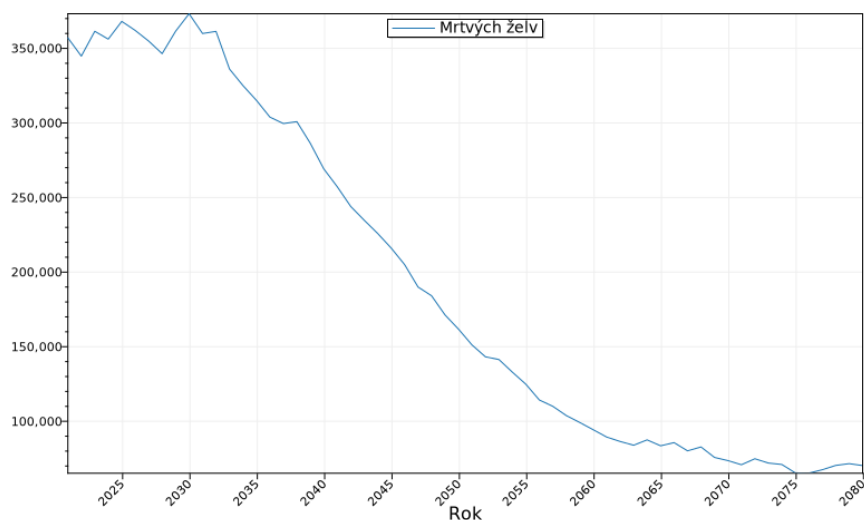
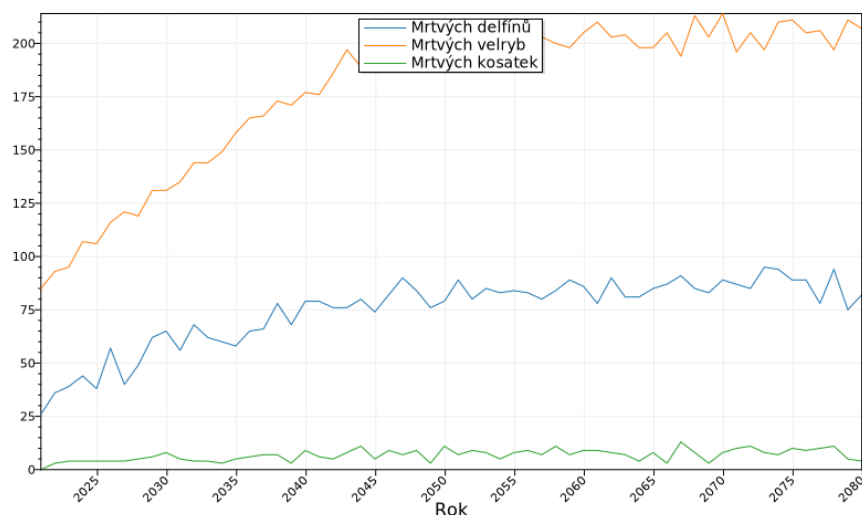
Experiment se vstupními hodnotami:

- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3.9%

Na následujícím grafu je vidět, že zmenšením úniku do oceánu z původního úniku o pouhé 0,1% (pro představu – v roce 2020 činí rozdíl mezi 3% a 2,9% uniknutého plastu „pouhých“ 20 milionů tun), dosáhneme velkého zlepšení – před rokem 2050 přestane plast do oceánu unikat a ustálí se zhruba na hodnotě 500 milionů tun.



Následující graf zobrazuje počet úmrtí kytovců kvůli znečištění:



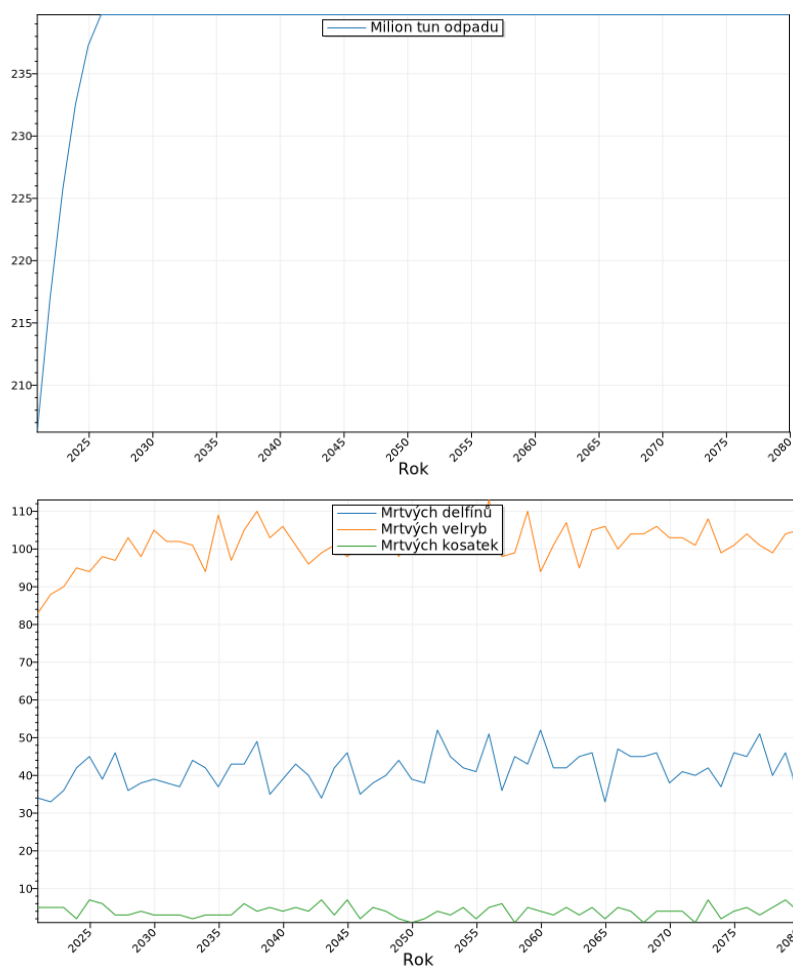
Experiment: snižování úniku plastů do oceánu 2

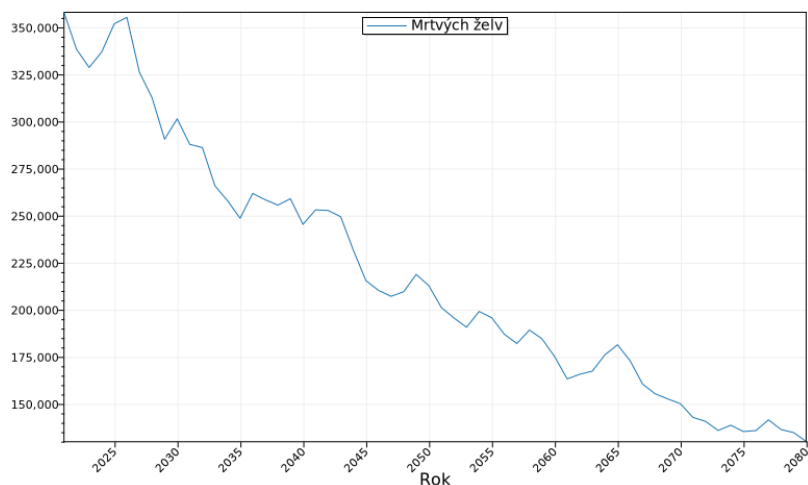
Cílem tohoto experimentu bylo ukázat, jak omezení unikání plastů do oceánu ovlivní jeho znečištění. Každý rok uniklo do oceánu o 0,5% méně (pokud tedy v roce 2020 unikne do oceánu 3% produkce plastu, v roce 2021 unikne do oceánu 2,5% produkce a v roce 2022 2,5% produkce).

Experiment se vstupními hodnotami:

- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3.9%

Z následujícího grafu vyplívá, že pokud bychom rychle omezovali unikání plastů do oceánu, přestane do oceánu přibývat plast již v budoucích 10 letech. Plastu by tak v oceánu bylo „jen“ 250 milionů tun. V porovnání s aktuálním trendem je to opravdu úžasné číslo.





I když je tento experiment nereálný, neboť takto rychle nedokáže lidstvo unikání zabránit, je vhodný pro porovnání s předchozím experimentem. Je jasné patrné, že rychlé a různé kroky situaci velmi ovlivní.

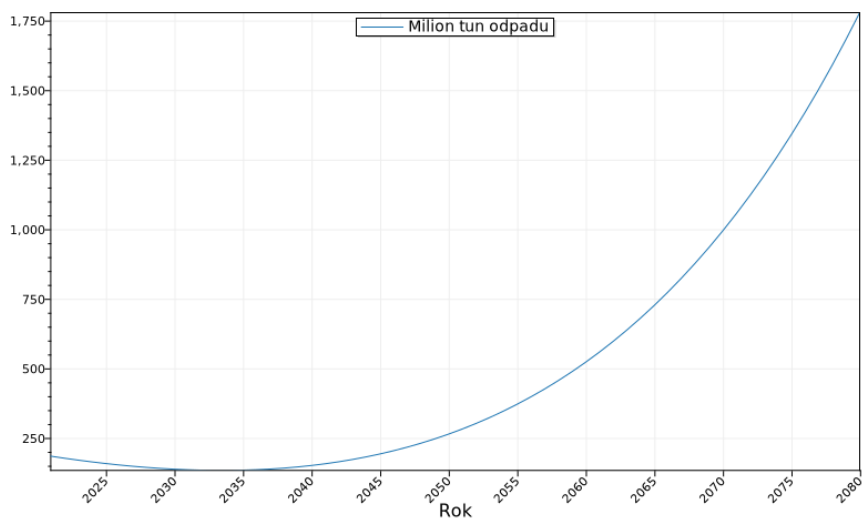
Experiment: čištění oceánů

Tento experiment má ukázat, jaký vliv bude mít, pokud budeme oceány čistit (bez omezení unikání odpadu do oceánu) – konkrétně každý rok z oceánu vytáhneme 20 milionů tun plastu.

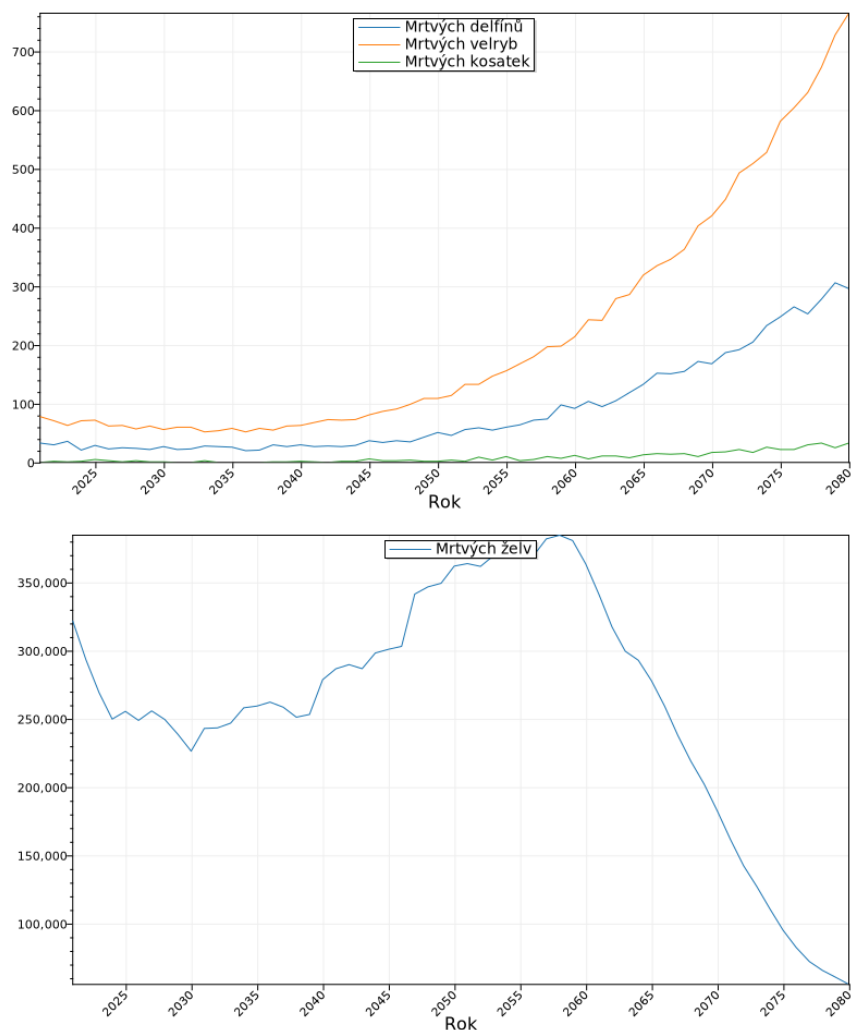
Experiment se vstupními hodnotami:

- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3.9%
- čištění: 20 milionů tun

V následujícím grafu si můžete všimnout, že touto rychlostí vyčistíme oceány do roku 2035 – to je poměrně brzy. Pokud však nezabráníme dalšímu unikání plastu do oceánu, v roce 2050 už bude v oceánu více jak 250 milionů tun plastů. A v následujících letech bude znečištění jen stoupat.



Podobně jako znečištění se bude chovat i úmrtí zvířat – také se začne rapidně zvedat.



Experiment: čištění oceánů

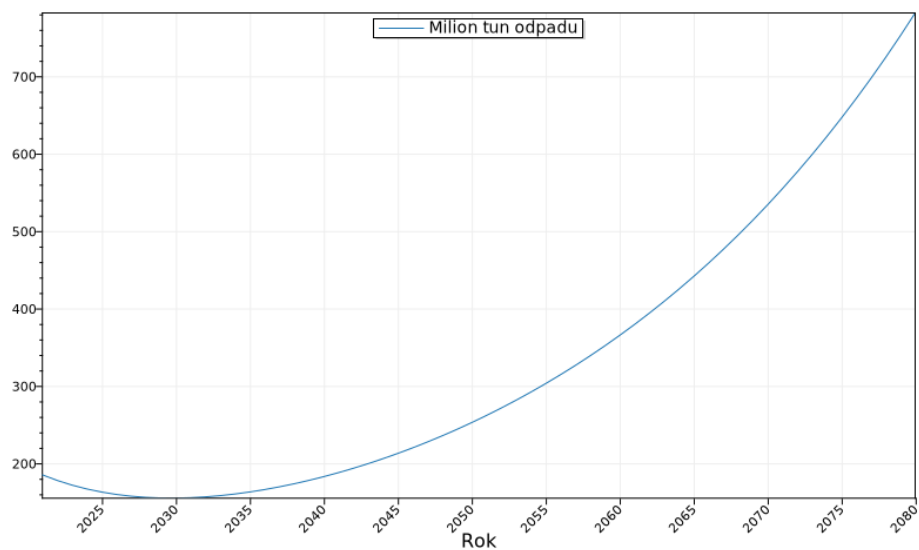
Tento experiment má ukázat, jaký vliv bude mít, pokud budeme oceány čistit (bez omezení unikání odpadu do oceánu) – konkrétně každý rok z oceánu vytáhneme 10% plastového znečištění. Simulujeme tím situaci, že čím více platů v oceánu je, tím více jej dokážeme zachytit (je častější).

Experiment se vstupními hodnotami:

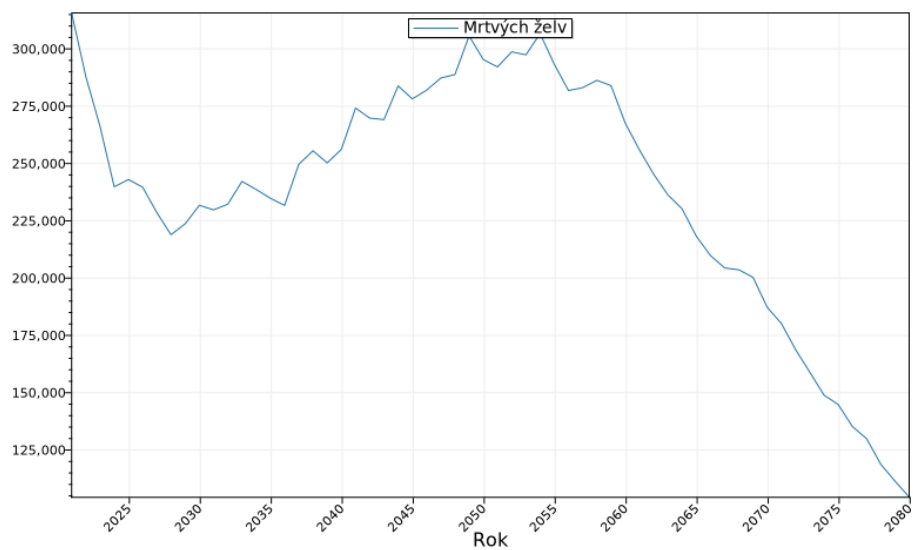
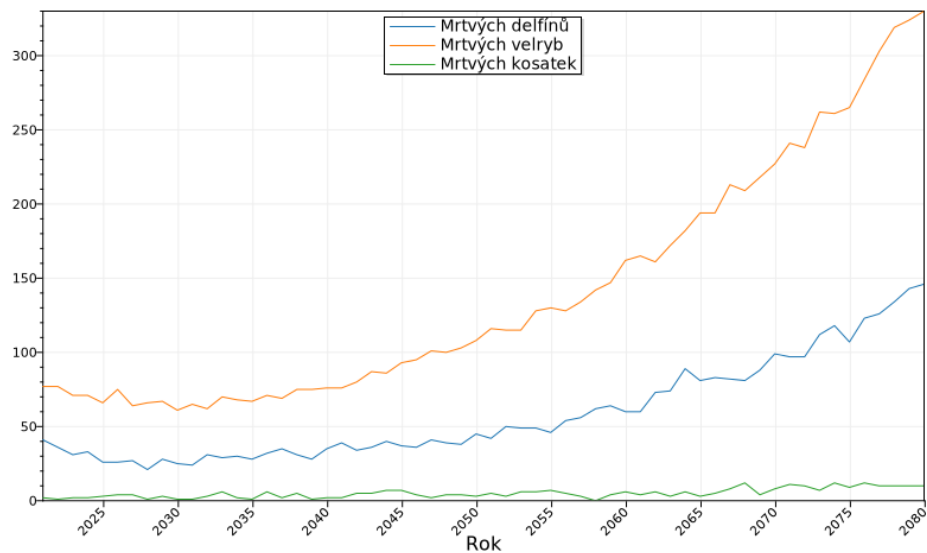
- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3.9%
- čištění: 10% znečištění

Z grafu jasně vyplývá, že situace by byla mnohem horší než v případě, že bychom dokázali vylovit 10% odpadu, než pokud bychom dokázali každý rok vylovit 20 milionů tun. Oceán bychom sice vyčistili už v roce 2030, dále by však do oceánu

přibývalo více a více plastu, a v roce 2050 bychom se opět dostali na hodnotu 250 milionů tun.



Opět pro porovnání grafy úmrtní zvířat v důsledku znečištění:



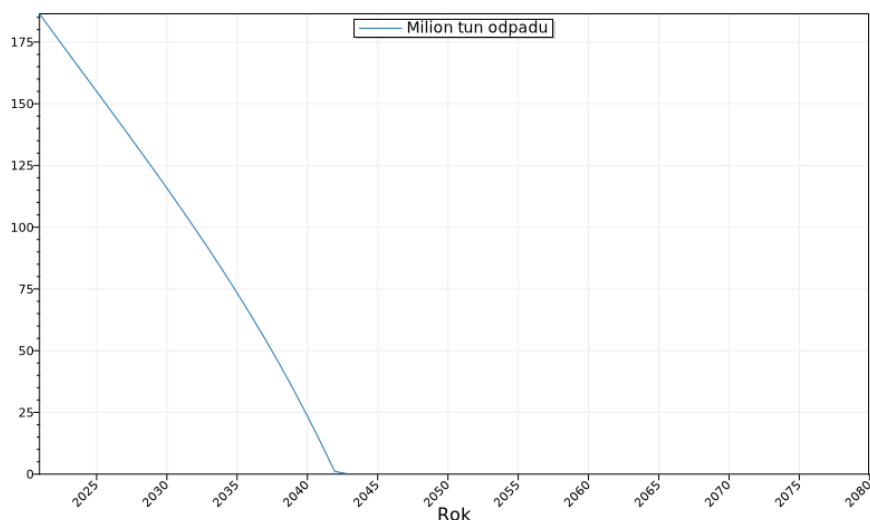
Experiment: omezení unikání plastu do oceánu a současně čištění oceánu

Tímto experimentem bychom chtěli ukázat, jaký vliv by mohlo mít čištění oceánu současně s omezením unikání plastů do oceánu. Každý rok vyčistíme z oceánu 20 milionů tun plastu, a každý rok unikne do oceánu o 0,1% méně produkce (pokud tedy v roce 2020 unikne do oceánu 3% produkce plastu, v roce 2021 unikne do oceánu 2,9% produkce a v roce 2022 2,8% produkce).

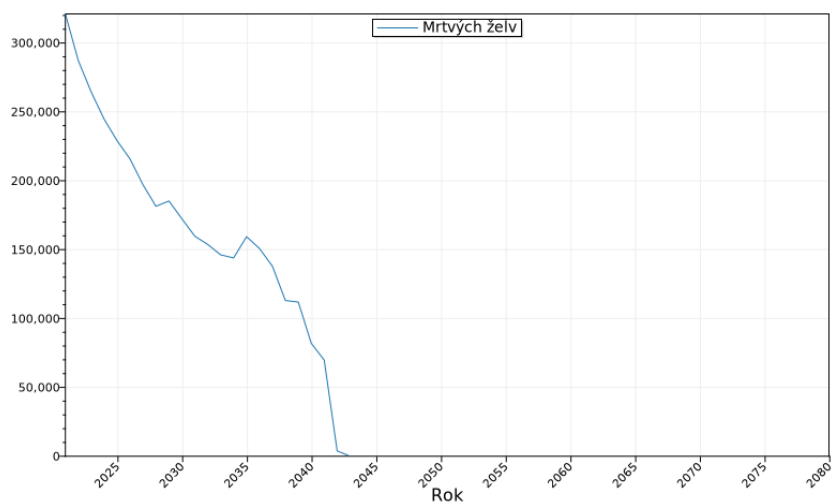
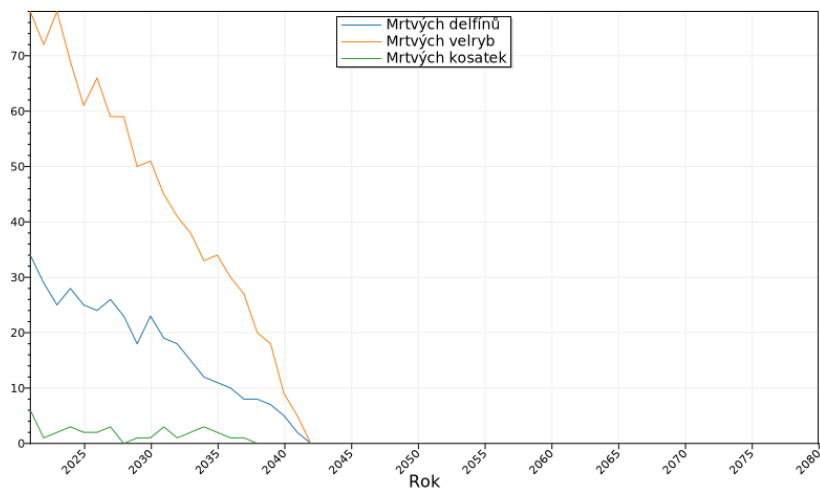
Experiment se vstupními hodnotami:

- rok: 2020
- produkce plastu: 388 milionů tun
- znečištění oceánu: 194,23 milionů tun
- únik do oceánu: 3%
- zvýšení produkce: 3.9%
- čištění: 20 milionů tun

Na grafu je vidět že množství plastu v oceánu by poměrně rychle klesalo a v horizontu 30 let bychom jej dokázali vyčistit. Je nutné mít na paměti, že mikroplastů ve vodě se nikdy nezbavíme, a že nevyzdvihneme z moře naprosto veškerý odpad. Takto by však šlo znečištění oceánu naprosto minimalizovat.



Z grafů je patrné, že mořští živočichové by poměrně brzy přestali umírat z důvodu znečištění, což je pravděpodobně nepříjemná smrt (mnohdy udušení či smrt hladu).



Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z výsledků experimentů vyplývá, že situace je v stávající situaci neudržitelná, a jistě by vedla ke katastrofě – život v oceánu je poměrně křehký, a mnohdy jsou jednotliví živočichové na sobě závislí. Pokud lidstvo zamoří moře a oceány, které produkují až 50% kyslíku, pohlcují námi produkováný oxid uhličitý, a jsou zdrojem potravy pro značnou část lidstva, bude to mít dalekosáhlé důsledky.

Pokud porovnáme experimenty, kdy byly oceány čištěny, nebo byl omezován únik odpadu do oceánu, jasně z toho vyplývá, že samotné čištění oceánů není řešení. Pokud nadále bude unikat více a více plastu, oceány se nikdy nepodaří vyčistit – přirozeně. Zmenšování produkce sice únik plastů do oceánu omezí, ale nezastaví jej, takže se také nejedná o ideální řešení.

Lepším řešením je zamezení úniku plastů do oceánu – i když jen postupné. Ale i tak zůstane v oceánu velké množství odpadu. Plast se rozpadá velmi pomalu, ale nikdy zcela nezmizí. A nikdo nyní nedokáže říct, jaký vliv mohou mít mikroplasty na živé organismy – včetně nás.

Nejoptimálnějším řešením je postupné zamezení unikání odpadu do oceánu a jeho postupné čištění. Pokud si lidé uvědomí vážnost situace a včas podniknou tyto potřebné kroky, mohou tím zachránit osud celé planety. Nelze předpokládat, že skutečně do roku 2050 zcela zamezíme unikání plastů do oceánu nebo vyčistíme všechny oceány – ostatně není na to technika. Ale malými krůčky by se to postupně podařit mohlo.

Zdroje

- [1] Garside, M. Global plastic production 1950-2018 | Statista. Statista - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. Copyright © Statista 2020. 23. 11. 2020 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- [2] Ellen MacArthur Foundation. The New Plastic Economy. World Economic Forum. Leden 2016. Dostupné z: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf
- [3] UNEP – United Nations Environment Programme [online]. 23. 5. 2018 [cit. 28. 11. 2020] Dostupné z: <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/fatal-attraction-turtles-and-plastic>
- [4] Plastic pollution is killing sea turtles: Here's how – WWF-Australia – Wildlife & Environmental Conservation Organisation [online]. Copyright © Brent Stirton 9. 10. 2018 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.wwf.org.au/news/blogs/plastic-pollution-is-killing-sea-turtles-heres-how>
- [5] Plastic in our oceans is killing marine mammals – WWF-Australia – Wildlife & Environmental Conservation Organisation [online]. Copyright © WWF Australia 2018 11. 10. 2018 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.wwf.org.au/news/blogs/plastic-in-our-oceans-is-killing-marine-mammals#gs.mmhi8h>
- [6] Hardesty, Britta Denise a Wilcox, Chris. Eight million tonnes of plastic are going into the ocean each year. [online]. Copyright © 2010. 12. 2. 2015 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://theconversation.com/eight-million-tonnes-of-plastic-are-going-into-the-ocean-each-year-37521>
- [7] Ellen MacArthur Foundation. The New Plastic Economy. World Economic Forum. Leden 2016. Dostupné z: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf
- [10] Sea Turtle Conservancy. Information About Sea Turtles: Frequently Asked Questions. [online]. Copyright © 1996 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://conserveturtles.org/information-sea-turtles-frequently-asked-questions/>
- [11] Wallace, Bryan P. SWOT – The State Of The World's Sea Turtles [online]. 17. 5. 2020 [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.seaturtlestatus.org/articles/2020/2/27/faqs-about-sea-turtles-2020>
- [13] All About Sea Turtles – Longevity & Causes of Death | SeaWorld Parks & Entertainment. Animals, Careers, and Educational Programs [online]. Copyright © 2020 [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z: <https://seaworld.org/animals/all-about/sea-turtles/longevity/>
- [17] Gass, Scott. The Survival of the Sea Turtle – YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2020 Google LLC [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=t-KmQ6pGxg4&ab_channel=TED-Ed
- [21] Harrington, John. How Many Dolphins Are Left in the World – 24/7 Wall St.. – Insightful Analysis and Commentary for U.S. and Global Equity Investors [online]. 25. 7. 2019 [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://24wallst.com/special-report/2019/07/25/how-many-dolphins-are-left-in-the-world/>
- [22] Killer Whale | NOAA Fisheries – National Oceanic And Atmospheric Administration, U. S. Department Of Commerce Of Commerce. Fisheries [online]. [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.fisheries.noaa.gov/species/killer-whale>

[24] Golder, Rony (B.Sc Fishers & Marine Science) a Barakat, Abdo. How many whales are left in the world? - Quora. Quora - A place to share knowledge and better understand the world [online]. 21. 5. 2019 [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-many-whales-are-left-in-the-world>

[31] How many sea turtles are left? | Olive Ridley Project. [online]. Copyright © Susie Gibson. [cit. 02.12.2020]. Dostupné z: <https://oliveridleyproject.org/uqaqs/how-many-sea-turtles-are-left>

[33] Mark Peter Simmonds, "Cetaceans and Marine Debris: The Great Unknown", Journal of Marine Sciences, vol. 2012, Article ID 684279, 8 pages, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/684279> [online] [cit. 5. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/jmb/2012/684279/>

[34] Aggarwal M. Marine plastic pollution has increased tenfold since 1980, says biodiversity report. Mongabay-India - India's environmental science and conservation news [online]. Copyright © 2020 Copyright Mongabay [9. 5. 2019] [cit. 5. 12. 2020]. Dostupné z: <https://india.mongabay.com/2019/05/marine-plastic-pollution-has-increased-tenfold-since-1980-says-biodiversity-report/>

[35] Henn C. [online]. [červenec 2020] [cit. 6. 12. 2020] Dostupné z: <https://www.onegreenplanet.org/animalsandnature/marine-animals-are-dying-because-of-our-plastic-trash/>

[36] Martinko K. Sea Turtles Can Die From Eating Just One Piece of Plastic. Treehugger | Sustainability for All [online]. [11. 10. 2018] [cit. 10. 12. 2020] Dostupné z: <https://www.treehugger.com/sea-turtles-can-die-eating-just-one-piece-plastic-4853703>