

IMS

Matěj Vrba, Ondřej Bahounek

November 2023

1 Úvod

20. dubna 2010 v Mexickém zálivu došlo k havárii ropné plošiny Deepwater horizon, při které zemřelo 11 lidí a do oceánu se vylilo 3 miliony barelů ropy. Ropná skvrna takového rozsahu lze považovat za jednu z největších ekologických katastrof v moderní historii. Cílem této práce je vytvořit model šíření ropy v moři a prozkoumat možnosti, které se naskytovali při boji s následky havárie.

1.1 Zdroje faktů

Kvůli rozdílech v číslech o havárii od různých entit, jako ropná společnost a orgány U.S.A jsem se rozhodl brát většinu faktických hodnot z práce [1]. O které se domníváme že by měla obsahovat objektivní data.

1.2 Validita modelu

Ověření validity našeho modelu proběhlo porovnáním výsledků šíření olejové skvrny naším modelem a skutečnými mapami šíření ropy po havárii ropné plošiny Deepwater horizon a dalších ropných havárií. Protože se výsledky téměř totožné můžeme model prohlásit za validní.

2 Rozbor tématu a použitých technologií

Při havárii ropné plošiny Deepwater horizon v roce 2010 do oceánu uniklo skoro 800 milionů litrů ropy. Ropa pokryla až na 1600 km pobřeží. [1]

V naší práci jsme se chtěli zaměřit na to jaký vliv by na zvládnutí katastrofy mohl mít brzký zásah v řádu hodin prostředky jako plovoucí přehradky a sběračky ropy. Jako jednu z nejpodstatnějších metrik jsem brali schopnost nedovolit ropě doplavat až na pobřeží, kde způsobuje největší ekologické následky.

2.1 Použité technologie

Pro realizaci projektu jsme se rozhodli použít programovací jazyk C++. Z použitých knihoven jsme použili standardní knihovnu jazyka C++ a knihovnu SFML, která byla použita pro vizualizaci výsledků modelu.

2.2 Mapové data

Data o simulaci jsme se rozhodli načítat ze 2 textur. Obě textury jsou ve formátu PNG o stejných rozměrech a 1 pixel odpovídá jedné buňce. Jedna z map obsahuje data o tom, kde je pobřeží, druhá směr mořských proudů, která jde vidět na obrázku 1.

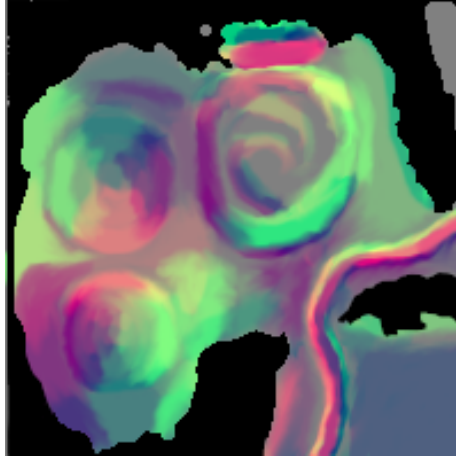


Figure 1: Mapa proudů

3 Koncepce

Model šíření ropy v oceánu byl vytvořen jako celulární automat. Ačkoliv na ropu v oceánu působí mimo jiné i vertikální vlivy jako vypařování a vertikální difúze, tak pro jejich nepodstatnost oproti ostatním vlivům a fakt že ropa se drží na povrchu byla zvolena 2D verze celulárního automatu. Vhodnost 2D celulárního automatu pro šíření ropy demonstruje například práce [4].

Pro náš model byla inspirací práce [4], která pro modelování šíření ropy bere 3 faktory:

- Horizontální rozptyl, který má za následek šíření ropy do 8 směrů. Pokaždé z buňky s větší koncentrací do buňky s nižší koncentrací. Reprezentace koncentrace/množství ropy v jedné buňce byla inspirována celulárním automatem pro modelování šíření emisí ve vzduchu [3]. Kde koncentrace v buňce je velké celé číslo M .

Koncentrace v buňce v čase $t+1$ $M_{i,j}^{t+1}$, kde i a j jsou souřadnice buňky se spočítá:

$$M_{i,j}^{t+1} = M_{i,j}^t + m[(M_{i-1,j}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i+1,j}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i,j-1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i,j+1}^t - M_{i,j}^t)] + md[(M_{i+1,j+1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i+1,j-1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i-1,j+1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i-1,j-1}^t - M_{i,j}^t)]$$

m je koeficient rozptylu ropy ve vodě ve čtyřech hlavních směrech a d je korekční koeficient oblého úhlu.

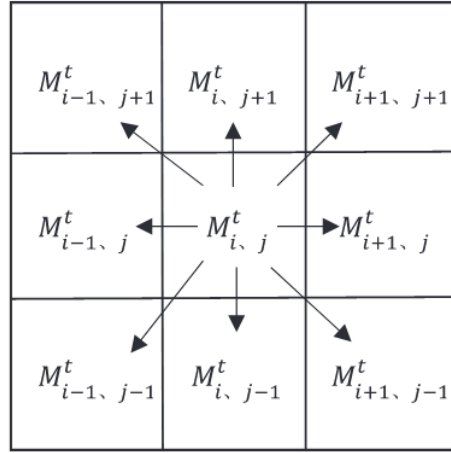


Figure 2: Rozptyl ropy

- Mořské proudy, mořské proudy jsme se rozhodli narozdíl od [4] modelovat ve čtyřech hlavní směrech. Kde každá buňka distribuuje svoji koncentraci ropy do dvou směrů: $w_{i,j}^i M_{i,j}^t$ v ose i a $w_{i,j}^j M_{i,j}^t$ v ose j, kde $w_{i,j}^i$ koeficient síly šíření na ose i na souřadnicích i,j. Pokud je koeficient kladný tak se ropa šíří v kladném směru, pokud záporný tak ve směru záporném.
- Mořský vánek/vítr, vítr jsme se rozhodli do našeho modelu nezahrnovat z dvou důvodů. Za prvé má menší vliv na šíření než zbylé faktory. Druhý, důležitější důvod je nepraktičnost jejich modelování. Ačkoliv by se pro jejich modelování dal použít stejný model jako pro proudy, tak větry jsou povahově velmi proměnlivé a tudíž se nedá pro náš model sehnat důvěryhodný model povětří.

3.0.1 Mořské proudy v oblasti Mexického zálivu

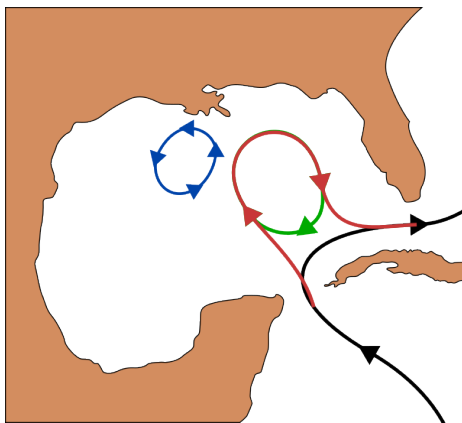


Figure 3: Vývyn mořských proudů v mexickém zálivu

Na obrázku 3 jde vidět, jak se mění mořské proudy v Mexickém zálivu. Červeně je znázorněné, jak se mořský proud vlivem setrvačnosti vychýlí od černě znázorněného průběhu. Jakmile se proud dostatečně protáhne, tak se odtrhne (znázorněné zeleně) a vznikne anticyklona, která se "odtrhne" a pokračuje směrem na západ. Tento proces je podobný procesu tvorby meandrů. V průběhu tvorby anticyklony také vzniká cyklona (znázorněná modře).

Kvůli časové náročnosti na implementaci a menšímu vlivu na situaci v blízkosti jsme se rozhodli toto nesimulovat.

4 Experimenty

Experimenty jsme se snažili co nejvíc navázat na reálná data. Měnili jsme parametry pro šíření ropy difuzí a proudy dokud se naše výsledky neshodovaly s reálnými daty. Tak jsem získali důvěryhodný model. Porovnáváním našeho modelu a reálného událostí jsme dospěli k závěru že jeden časový krok našeho modelu je zhruba 8 hodin v reálného času. V experimentech sme pracovali s plovoucími zábranami, uvažovali jsme že zábrana udrží 100 % ropy na jedné své straně. Ve skutečnosti se účinnost zábran blíží 100 % pouze na klidném moři, ve vyšších vlnách jejich účinnost klesá.

4.1 Vizualizace experimentů

Experimenty jsou vizualizovány jako mřížka buněk, kde jas černé barvy udává obsah ropy v buňce. Pro realističtější zobrazení kontaminace byla využita logaritmická stupnice následovně: $b = 255 - (\ln(M_{i,j}^t + 1) / \ln(M + 1) * 255)$ M je maximální možná koncentrace $RGB_{i,j} = (b, b, b)$

4.2 Simulace bez zásahu

Výsledkem simulace je scénář, který se nejvíce podobá skutečnosti. Ve kterém se ohromné množství ropy šířilo v Mexickém zálivu a vylilo se přes tisíce kilometrů pobřeží USA.



Figure 4: Den 100 simulace

4.3 Roztažení zábran na sever od úniku

V prvním experimentu jsme se rozhodli simulovat vliv roztažení zábran na sever od úniku. Simulovali jsme roztažení 100km zábran každý den počínaje 1. dnem po začátku úniku a končící 5. den. Tento případ vyžaduje, aby byly plovoucí zábrany připraveny a dostatek lodí a personálu v dostatečné blízkosti aby byl možný rychlý zásah, ale naše simulace ukazuje, že takový zásah by byl schopen ochránit většinu pobřeží spojených států a předejít ekologickým a ekonomickým dopadům, které by sebou neslo vyplavení ropy na pobřeží.



Figure 5: Den 100 simulace 1. experimentu

4.4 Snížení množství uniklé ropy

V tomto experimentu jsme se rozhodli simulovat případ, kdy plovoucí zábrany nejsou dostupné, nebo je nelze z jiného důvodu použít a situace by se řešila snížením množství unikající ropy například odčerpáváním ropy a znečištěné vody z hladiny v blízkosti zdroje.

Toto jsme se rozhodli simulovat snížením unikající ropy v modelu na 1% od 10 dne po začátku.



Figure 6: Den 100 simulace 2. experimentu

Z obrázku jde vidět, že ani odčerpávání takhle nereálně velkého množství ropy nemělo velký vliv na délku znečištěného pobřeží, ale mělo to vliv na úroveň

znečištění pobřeží v blízkosti zdroje.

Největší výhodou této varianty je snížení celkového množství uniklé ropy do oceánu, ne omezení znečištění přilehlých pobřeží.

4.5 Ropný rozptylovač

V tomhle experimentu jsme zkoumali efekt ropného rozptylovače. Ropný rozptylovač (oil dispersant) je látka, která má schopnost rozkládat oleje na jednotlivé kapičky. Tyhle kapičky se následně uvolňují z mořského povrchu a klesají do moře, kde jsou více náchilné na to aby byli zpracovány mořskými bakteriemi. Simulovali jsme scénář kdy se každých pět dní použil rozptylovač na plochu 100 km^2 a od 15 dne na plochu 200 km^2 . Předpokládali jsme rozptylovač který rozloží 50 % ropy na hladině. [2]



Figure 7: Den 100 simulace 3. experimentu

Z simulace je vidět že množství ropy na hladině se znatelně snížilo. Nicméně ropu se v většině pouze přesunula do hlubších vod kde narušuje jiné ekosystémy než na hladině.

5 Závěr

Na našem modelu jsme ukázali, že včasný zásah pomocí plovoucích zábran by mohl výrazně omezit ekologické a ekonomické dopady spojené se znečištěním pobřeží ropou. Účinnost této metody je ovšem závislá na rychlé reakci, který může být negativně ovlivněn finanční incentivou soukromých společností nezveřejňovat informace o podobných událostech.

References

- [1] Mace G Barron. “Ecological impacts of the Deepwater Horizon oil spill: implications for immunotoxicity”. In: *Toxicologic pathology* 40.2 (2012), pp. 315–320.
- [2] Robyn N Conmy et al. “Characterizing dispersion effectiveness at varying salinities”. In: *International Oil Spill Conference*. Vol. 2021. 1. 2021, p. 1141274.
- [3] Giorgio Guariso and Vittorio Maniezzo. “Air quality simulation through cellular automata”. In: *Environmental Software* 7.3 (1992), pp. 131–141.
- [4] Lin Liu et al. “Simulating and Predicting Offshore Oil Spills by Using Cellular Automata”. In: *Journal of Marine Science and Technology* 30.3 (2022), pp. 203–216.