

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta informačních technologií



MODELOVÁNÍ A SIMULACE  
2022/2023

Projekt

**7. Šíření emisí v atmosféře**

Dominik Pop (xpopdo00)

Adam Hos (xhosad00)

Brno, 5. prosince 2022

## Obsah

Návod na použití.....	3
Úvod .....	4
Rozbor tématu a použitých technologií .....	4
Koncepce .....	4
Testování .....	6
Závěr .....	10
Zdroje .....	11

# Návod na použití

## I. Překlad

Program se přeloží pomocí Makefile, který spustí překladač g++.

## II. Závislosti

Jsou využity knihovny OpenGL, utility toolkit GLUT pro OpenGL a standartní C++ knihovny.

## III. Použití

Je možné spustit jednu z Makefile run konfigurací run1-run6 nebo přes spustitelný soubor s následujícími argumenty.

```
OPTIONS
-g      use GUI, requires X11 to function (VUT merlin.fit.vutbr.cz Usage -> connect from Unix machine via ssh with argument -Y
        [ssh -Y xlogin00@merlin.fit.vutbr.cz])
-l      start logging info to stdout (implicitly enabled if run without GUI)
-w      select wind preset [0-4]
-c      select gass concentration from gass generator
-t      set if gass generator should continually generate gass [1] OR one time explosion [0] (concentration will be set only once)
-p      the wind will change direction after 200s to a set preset
-m      set the maximum time counter (off by default)
-h      print help
```

Obrázek 1: Pomocná funkce zobrazující parametry programu

Pro spuštění GUI je potřeba X11 grafické prostředí. Je součástí většiny Unix systémů. Pokud není (např. merlin.fit.vutbr.cz) lze se z jiného Unix zařízení připojit pomocí ssh s argumentem -Y povolující X11 přesměrování (rychlost takového spuštění bude ale poměrně malá). Při zpuštění GUI je možné vytvořit novou nehodu kliknutím do mapy.

# Úvod

Znečištění ovzduší je čím dál víc probíraným tématem, a to z mnoha různých důvodů, jako např. přírodní katastrofy, válka, uhlíková stopa, chemické havárie. Tento projekt tedy řeší implementaci celulárního automatu [3] zabývajícího se simulací šíření škodlivých látek v atmosféře. V našem konkrétním případě se jedná o simulaci neplánovaného uvolnění škodlivé látky z bodového zdroje, jako je třeba továrna na chemické produkty, do ovzduší na území velikostně porovnatelného se statutárním městem Přerovem (58,45 km<sup>2</sup>). Automat simuluje šíření látky na základě různých parametrů, s tím že se jedná o časově krátkou simulaci (řády minut). Z této simulace lze pak získat různé statistiky, jako například celková plocha zasažená škodlivinou nebo koncentrace škodliviny v ovzduší. Smyslem je tedy demonstrovat rozsah a vážnost šíření škodliviny za různých podmínek. Tyto informace lze využít například k tvoření evakuačních plánů při nehodě míry.

## I. Autoři a zdroje

Autoři projektu jsou studenti VUT FIT, 3-BIT, Adam Hos a Dominik Pop. Mezi hlavní zdroje projektu patří dvě vypracované akademické práce. První zdroj je diplomová práce zaměřená na rozptylové studie, jejíž autorem je Jan Dvořáček [1]. Tato práce sloužila k seznámení s tématem a základními pojmy. Druhým zdrojem je projekt studentů čínské akademie systémového inženýrství [2], zabývající se tvorbou celulárního automatu, který jako v našem případě simuluje šíření škodlivých látek při havárii, ale ve větším rozsahu, kdy simulují i dopad na populaci a nejlepší možnou únikovou cestu před toxickou látkou.

## Rozbor tématu a použitých technologií

Škodliviny mohou vznikat na základě různých událostí. Takovou událostí může být přírodní katastrofa, jaderná katastrofa, únik látek z různých továren nebo například i výbuch a hoření dané továrny. Náš celulární automat se zaměřuje na poslední dvě zmíněné situace. Máme nějaké epicentrum, buňku, ve které se stala nějaká nehoda. Může se jednat o náhlý únik z komínu, nebo výbuch a hoření skladiště. Podle toho, jaká situace nastala se liší průběh simulace. Pokud by se jednalo o únik, pak sledujeme putování mraku látky napříč naší mapou a koukáme se na jeho postupný rozklad do okolí. V druhé situaci bychom sledovali vlečku proudící z epicentra. Obě situace sledujeme v rámci stovek sekund. Rychlost šíření je velice závislá na rychlosti a směru větru, který v naší simulaci je po celou dobu konstantní. Ojedinelým případem v našem řešení je zadání parametru „p“, kdy se směr větru změní po určitém časovém intervalu. Dále šíření probíhá pomocí difuze.

## I. Popis použitých postupů

Simulace je založena na celulárních automatech. Ty jsou pro dané téma vhodné, protože dokáží dobře odsimulovat šíření a pomocí vybarvování buněk je možné dobře znázornit koncentraci látky v daném místě.

## II. Popis použitých technologií

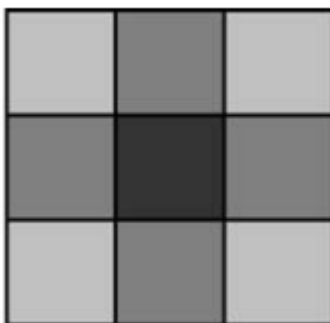
K implementaci byl použit jazyk C++, ke grafickému zobrazení simulace knihovna Glut ([https://www.opengl.org/resources/libraries/glut/glut\\_downloads.php](https://www.opengl.org/resources/libraries/glut/glut_downloads.php)).

## Koncepce

Celulární automat pracuje s buňkami, které se navzájem ovlivňují na základě zvoleného okolí. Pro každou buňku se vypočítá její stav pomocí přechodové funkce (1), která využívá různých parametrů vhodných k danému tématu. Celková plocha buněk nám pak reprezentuje nějaké území z reálného prostředí a jedna buňka simuluje kus daného území a proces, který se v něm odehrává. Všechny tyto součásti, které využívá náš celulární automat jsou popsány níže.

## I. Algoritmus nejbližších sousedů

Byl zvolen Moorův algoritmus nejbližších sousedů, který reprezentuje okolí zkoumané buňky jako 8mici sousedních buněk.



Obrázek 2: Moorovo sousedství

## II. Stavy buňky

Stav buňky je vyjádřen pomocí koncentrace dané škodlivé látky v dané buňce. Jednotkou této hodnoty je tedy  $\text{mg}/\text{m}^3$ . V počátečním stavu je koncentrace všech buněk nulová. Při havárii považujeme za epicentrum jednu buňku na pozici  $[i, j]$ . Tato buňka může svou počáteční koncentraci mít buď:

1. Konstantní – jedná se tedy o generátor (výbuch emitující škodlivinu do vzduchu konstantně)
2. Jednotkovou – jedná se tedy o generátor pouze pro jednu iteraci (náhodné uvolnění škodliviny na základě pochybení)

## III. Přechodová funkce

$${}^{t+\Delta t}C_{i,j} = f({}^tC_{i,j}, \Delta {}^tC_{neighbor}, {}^tK_{direction}, {}^tV_{direction}, {}^tk, \Delta t) \quad (1)$$

Přechodová funkce buňky závisí na mnoha parametrech:

- Koncentrace buňky v čase  $t$  –  ${}^tC_{ij}$  [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
- Gradient koncentrace mezi centrální buňkou a okolím v čase  $t$  –  $\Delta {}^tC_{soused}$  [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
- Difusní koeficient –  $K_{soused/roh}$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- Rychlost větru v daném směru –  $V_{směr}$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- Rozkladový koeficient –  $s$   $k$  [ $\text{mg}/\text{s}$ ]
- Změna v čase – konstantně 1 s

Přenosová funkce pro naše účely může být tedy vyjádřena takto:

$$\begin{aligned}
 {}^{t+\Delta t}C_{i,j} = & {}^tC_{i,j} + \alpha {}^tK_{soused} [({}^tC_{i-1,j} - {}^tC_{i,j}) + ({}^tC_{i+1,j} - {}^tC_{i,j}) + ({}^tC_{i,j-1} - {}^tC_{i,j}) + \\
 & ({}^tC_{i,j+1} - {}^tC_{i,j})] \cdot \Delta t + \beta {}^tK_{roh} [({}^tC_{i-1,j-1} - {}^tC_{i,j}) + ({}^tC_{i+1,j+1} - {}^tC_{i,j}) + \\
 & ({}^tC_{i+1,j-1} - {}^tC_{i,j}) + ({}^tC_{i-1,j+1} - {}^tC_{i,j})] \cdot \Delta t + \frac{1}{r} [{}^tV_w \cdot ({}^tC_{i-1,j} - {}^tC_{i,j}) + {}^tV_e \cdot \\
 & ({}^tC_{i+1,j} - {}^tC_{i,j}) + {}^tV_s \cdot ({}^tC_{i,j-1} - {}^tC_{i,j}) + {}^tV_n \cdot ({}^tC_{i,j+1} - {}^tC_{i,j})] \cdot \Delta t + \\
 & \frac{1}{r} [{}^tV_{ne} \cdot ({}^tC_{i+1,j+1} - {}^tC_{i,j}) + {}^tV_{se} \cdot ({}^tC_{i-1,j+1} - {}^tC_{i,j}) + {}^tV_{nw} \cdot ({}^tC_{i-1,j+1} - \\
 & {}^tC_{i,j}) + {}^tV_{sw} \cdot ({}^tC_{i-1,j-1} - {}^tC_{i,j})] \cdot \Delta t - {}^tk \cdot {}^tC_{i,j} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Pro naši simulaci o rychlosti větru říkáme, že je konstantní po celou dobu simulace. Máme dva druhy difusních koeficientů. Koeficient pro přímé sousedy a koeficient pro sousedy rohové, který je menší, protože sousední buňky spolu sdílí více hrany a měli by si tedy předávat více látky při difuzi. Hodnotu pro rohové sousedy jsme dosadili pomocí testování, hodnotu sousedních na základě různých simulací používajících celulární automaty.

#### IV. Čas a prostor

Změna v čase je v projektu reprezentována pomocí jedné iterace cyklu. Kdy tato jedna iterace představuje 1 s v reálném čase.

Celkový prostor je reprezentován pomocí simulačního okna, kdy obsah tohoto okna odpovídá 64 km<sup>2</sup>, tedy délka jedné strany okna odpovídá 8 km. Celkový počet buněk v daném okně je 40000, tedy v jednom řádku je 200 buněk. Buňka má obsah 1600 m<sup>2</sup>, tudíž délka jedné strany buňky je 40 m.

Hodnoty reprezentující čas a prostor:

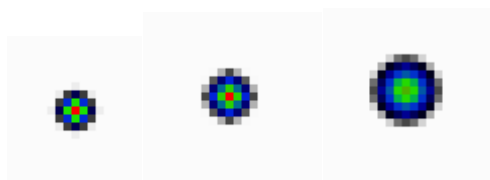
- Čas – t [s]
- Délka hrany okna – a [km]
- Počet buněk v řádku – M
- Délka hrany buňky – h = (a \* 1000) / M [m]

## Testování

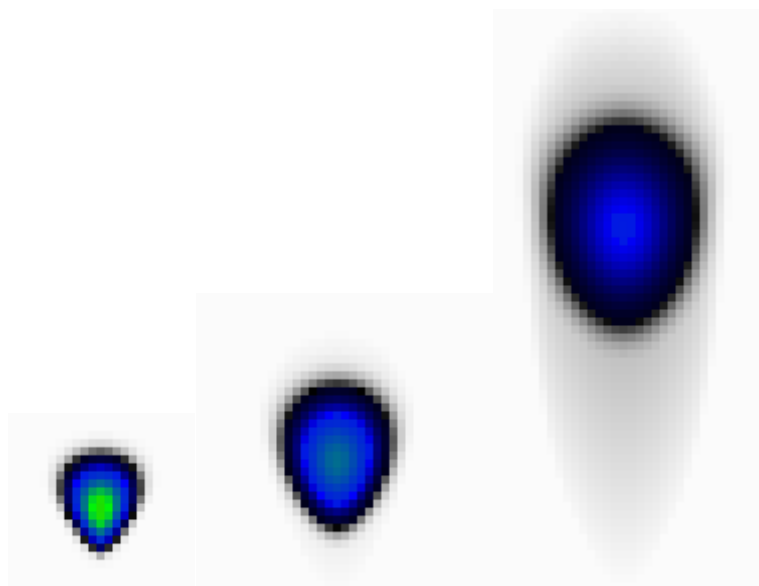
Probíhali dva druhy testů. S vypnutým a zapnutým generátorem.

#### I. Vypnutý generátor

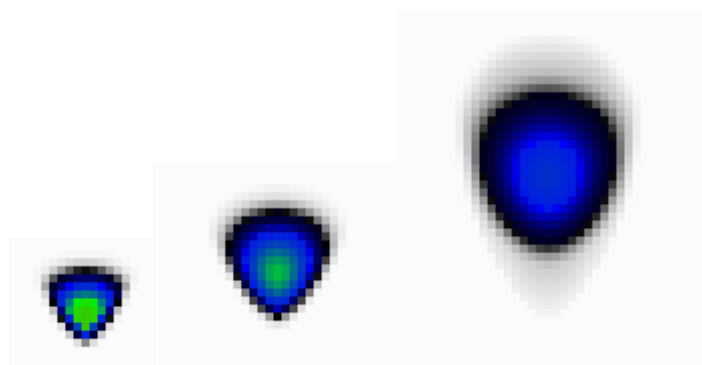
Pokud je generátor látek vypnutý, znamená to pro nás nějaký krátkodobý únik látky. V našem případě říkáme, že se v intervalu 1 sekundy uvolnila látka v koncentraci 300000 mg/m<sup>3</sup>. V rámci simulace byl tedy vypuštěn oblak, který se buď držel na jediném místě v případě bezvětří anebo se postupně rozpínal putoval po mapě na základě síly větru. Koncentrace klesá ať už kvůli difuzi, která se snaží o rovnoměrné rozložení koncentrace mezi buňky, tak i díky rozkladovému koeficientu, který jsme nastavili na velice malou hodnotu na základě testování. Počet buněk zasažených látkou rostl s pohybujícím se mrakem. To jsme se rozhodli ukázat na 3 rychlostech větru: bezvětří, silný vítr z jihu, slabý vítr z jihu. Výsledky pro dané měření lze najít v grafu.



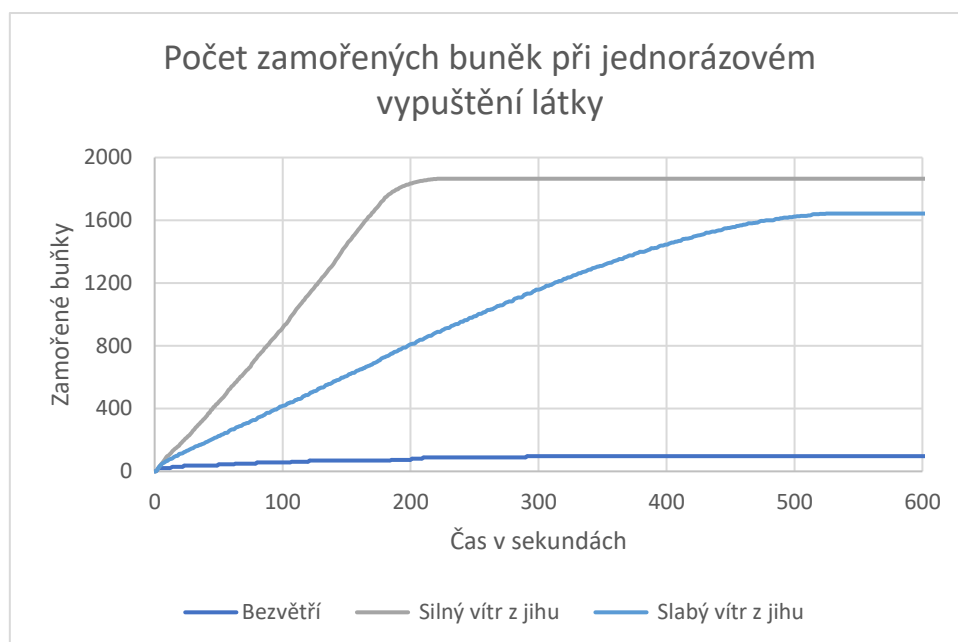
Obrázek 3: Simulace pro mrak při bezvětrí



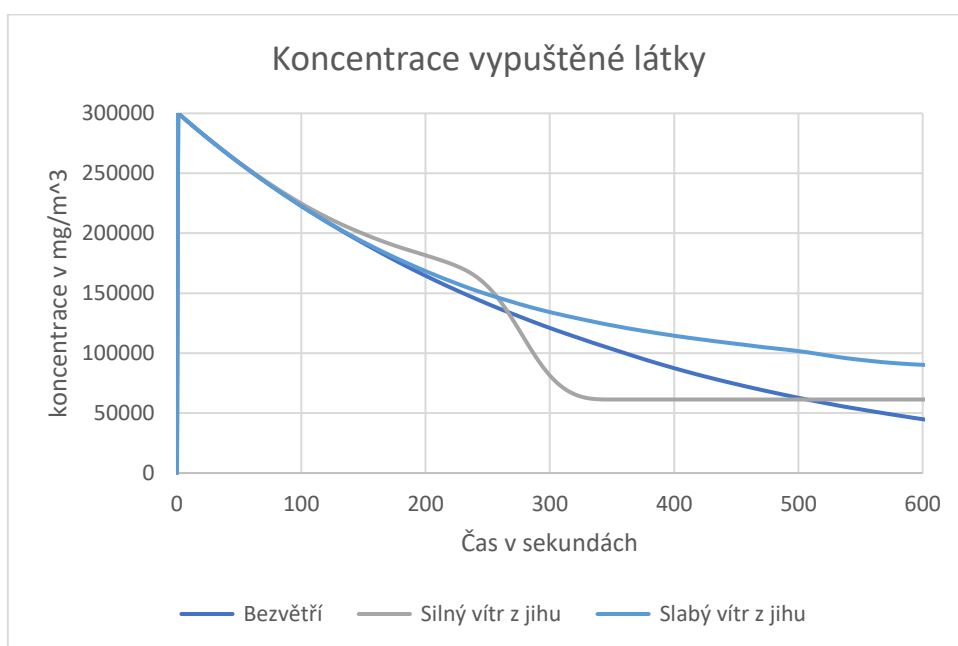
Obrázek 4: Simulace pro mrak pro silný vítr z jihu



Obrázek 5: Simulace pro mrak pro slabý vítr z jihu



Obrázek 6: Graf zobrazující počet zamořených buněk



Obrázek 7: Graf zobrazující koncentraci látky

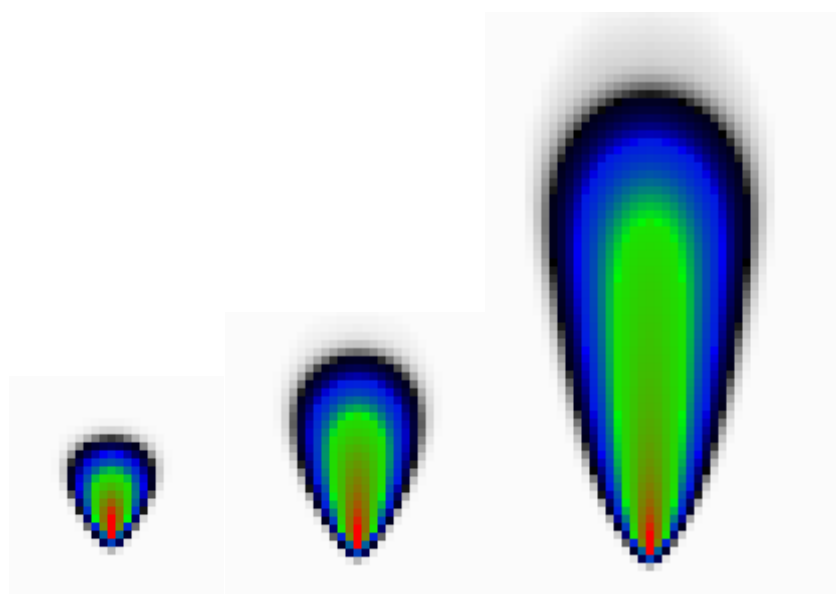
## II. Zapnutý generátor

Pokud je generátor látky zapnutý znamená to pro nás výbuch daného zařízení. Generátor tedy látku produkuje neustále po celou dobu simulace. V našem případě produkuje látku v koncentraci  $300000 \text{ mg/m}^3$  za 1 sekundu. V rámci simulace se to tedy projeví tak, že se z místa výbuchu šíří oblak emitované látky. Šíření je opět velmi závislé na síle vzduchu. V případě bezvětrí se látka šíří pouze pomocí difuze. V opačném případě se k difuzi přičítá.

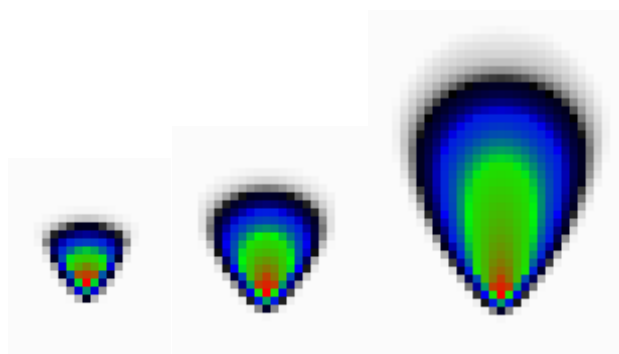




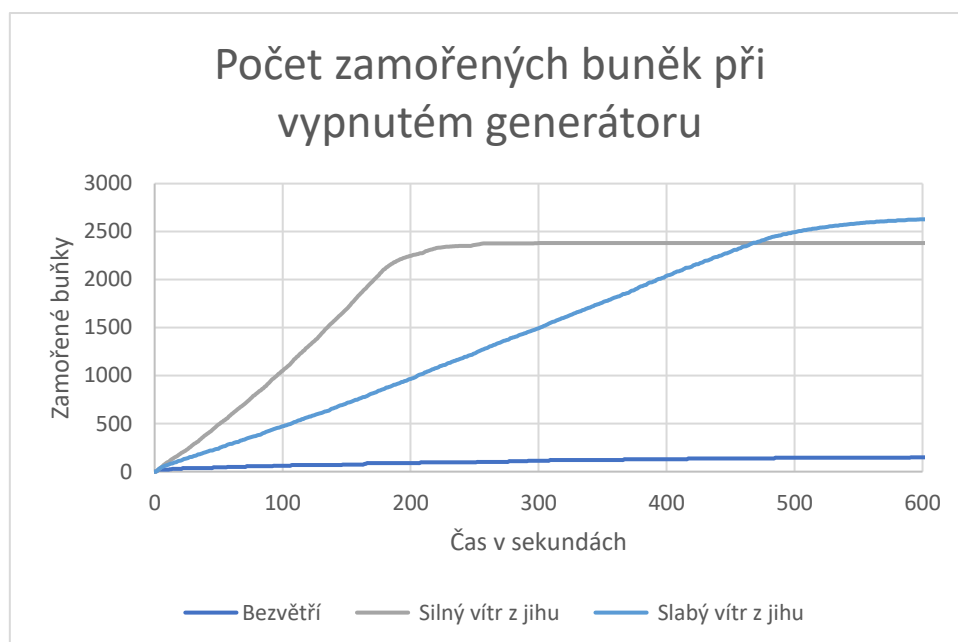
Obrázek 8: Simulace vlečky při bezvětrí



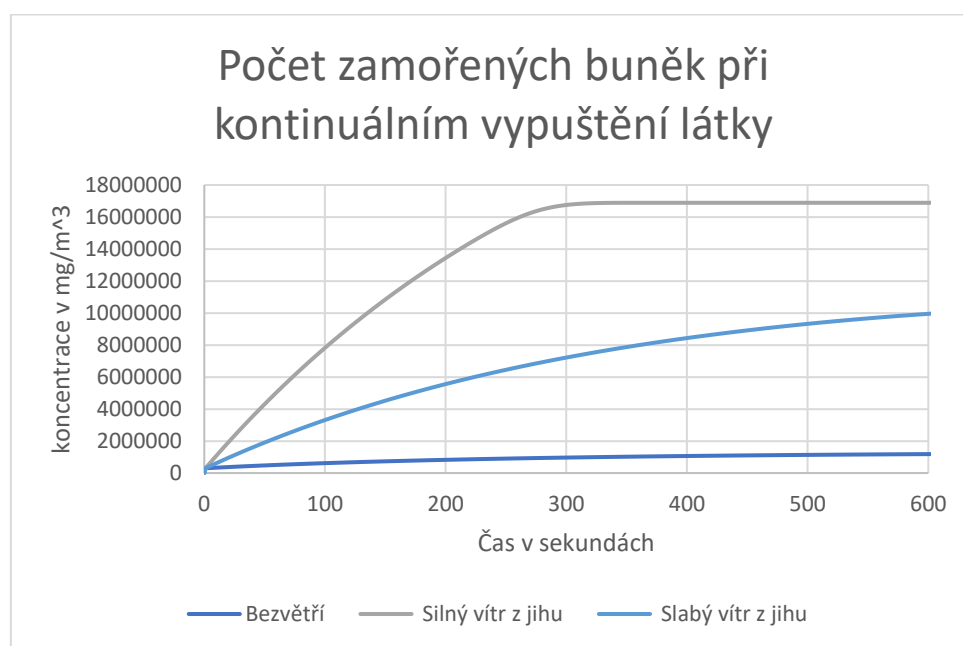
Obrázek 9: Simulace vlečky při silném větru z jihu



Obrázek 10: Simulace vlečky při slabém větru z jihu



Obrázek 11: Graf zobrazující počet zamořených buněk



Obrázek 12: Graf zobrazující koncentraci látky

## Závěr

Studii provedenou na našem modelu šíření škodlivého plynu ve vzduchu jsme potvrdili očekávané výsledky ze studií [1] a [2]. Bylo zjištěno, jak se škodlivina šíří při různých závažnostech nehody a větrných podmínkách. Výstupem modelu je jeho stav v daném čase od počátku simulaci. Z experimentů lze vyvodit, že po množství uvolněné látky je rychlost větru nejdůležitějším faktorem pro rozsah poznamenaných buněk. V případě většího množství uvolněné látky je riziko tělesné újmy místních obyvatel kvůli rychlému šíření plynu skoro jisté a měly by se vybudovat ochranné plány pro takovéto situace.

## Zdroje

- [1] DVOŘÁČEK, Jan. *ROZPTYLOVÉ STUDIE PRO LOGISTICKÉ MODELÝ* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-12-03].  
Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=174709](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174709). Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [2] CAO, Huan, Tian LI, Shuxia LI a Tijun FAN. *An integrated emergency response model for toxic gas release accidents based on cellular automata* [online]. Shanghai, 2016 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://sci-hub.se/10.1007/s10479-016-2125-4>. East China University of Science and Technology.
- [3] Peringer Petr a Hrubý Martin. *Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně* [online]. Brno [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: [https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/496048/mod\\_resource/content/1/IMS.pdf](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/496048/mod_resource/content/1/IMS.pdf).