

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Dokumentácia

Projekt č. 3 do predmetu *Modelování a simulace*

Výhledy epidemie Covidu a vliv očkování
2021/2022

12. decembra 2021

Jakub Mlky (xmlkvy00)
Adam Múdry (xmudry01)

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori	2
1.2	Zdroje	2
1.3	Validita modelu	2
2	Rozbor tématu a použitých metód/technológií	3
2.1	Použité technológie a metódy	3
2.1.1	Náhodná prechádzka	3
2.1.2	Algoritmus najbližších susedov	3
2.1.3	Generovanie mapy	4
3	Koncepcia	5
4	Spustenie	6
4.1	Preklad	6
4.2	Použitie	6
5	Experimenty	7
5.1	Experiment 1	7
5.2	Experiment 2	10
6	Záver	13
7	Bibliografia	14

1 Úvod

V tejto práci skúmame vplyv očkovania a ďalší vývoj pandemickej situácie. Pýtame sa otázku: „*Ako sa bude pandémia vyvíjať, ak by bolo zaočkovaných malé percento obyvateľstva? Ako, ak bude zaočkovaná väčšina populácie?*” S využitím celulárnych automatov simulujeme strety ľudí pri rôznych úrovniach sociálneho dištancovania (volené pomocou *veľkosti mapy* a *počtu ľudí*) podľa modelu šírenia COVID-19 mestských zónach. Pri šírení COVID-19 počas týchto stretov pozorujeme resistanciu spoločnosti pri rôznych úrovniach zaočkovanosti. Experimentami sa snažíme potvrdiť, že zaočkovanosť 70% až 85% bude stačiť k návratu do normálu, teda minimálne šírenie nákazy pri žiadnom sociálnom dištancovaní v preočkovanej spoločnosti. [2]

1.1 Autori

Na projekte pracovali študenti Jakub Mlíky a Adam Múdry z Fakulty informačných technológií na univerzite Vysoké učení technické v Brne.

1.2 Zdroje

Informácie pre tento projekt boli získané zo zdrojov zaoberajúcich sa vírusom SARS-CoV-2 spôsobujúci ochorenie COVID-19 a vplyvu vakcinácie na jeho šírenie v obyvateľstve. Tými sú vedecké články a štatistiky vývoju pandémie zbierané z oficiálnych zdrojov jednotlivých krajín. [3] [1]

1.3 Validita modelu

Skúmali sme realitu vplyvu očkovania na šírenie COVID-19 na dátach pre Taliansko 30.12.2020 (0% zaočkovanosti), Slovensko 26.9.2021 (40% zaočkovanosti) a Portugalsko 30.8.2021 (75% zaočkovanosti). Požiadavky na presnosť boli kladené na vytvorenie kolektívnej imunity, vývoji percenta infikovaných, vývoji počtu úmrtí a pomer, ktorom sa redukujú pri rôznej zaočkovanosti. Vychádzali sme so zdrojov pre určenie pravdepodobnosti nákazlivosti očkovaných a neočkovaných [3] [4], štatistiky vývoja pandémie popri očkovaní. [1] [2]

2 Rozbor tématu a použitých metod/technológií

Existencia vírusu SARS-CoV-2, ktorý spôsobuje ochorenie COVID-19, bola objavená v decembri roku 2019 v meste Wuhan v Číne a od 11. marca 2020 tento vírus spôsobuje celosvetovú pandémiu, ktorá ešte stále prebieha v moment písania tejto práce.

Vírus sa medzi ľuďmi prenáša kvapôčkovou infekciou, preto chránenie si dýchacích ciest je jednou z efektívnych metód ochrany, ako aj samozrejme časté si umývanie rúk a nedotýkanie si tváre pred ich umytím. Osobná hygiena je určite veľké plus, avšak doterajšia najefektívnejšia metóda na ochranu pred týmto ochorením je očkovanie vakcínou. Vakcíny stimulujú imunitný systém človeka bez toho, aby ho ohrozili reálnou nákazou a imunitný systém vytvára protilátky, ktoré mu pomáhajú jednoduchšie identifikovať vírus a reagovať na prípadnú nákazu omnoho rýchlejšie, robiac človeka imúnnym. [4]

Existuje viacero druhov vakcín, ktoré sú schválené Európskou liekovou agentúrou (EMA), avšak v našej práci sa všeobecne zaoberáme len dvojdávkovými vakcínami, pretože majú najvyššiu efektivitu a berieme do úvahy len plne zaočkované osoby. [5]

Efektivita dvojdávkových vakcín od spoločností Pfizer/Biontech a Moderna sa hýbe okolo 90%, ak sú podané so správnym časovým odstupom. Zaočkovaní ľudia majú menšiu pravdepodobnosť na nákazu vírusom a v prípade nakazenia menšiu pravdepodobnosť na hospitalizáciu (ťažký priebeh) a prenos vírusu ďalej. [3]

2.1 Použité technológie a metódy

Na realizáciu tohto projektu sme použili programovací jazyk C++, jeho open-source prekladač GCC (g++) a knižnicu GLUT na vizualizáciu simulácie.

Ako základ výpočetného modelu sme použili celulárny automat. Vieme ním relatívne jednoducho simulovať ľudí na ploche o určitej veľkosti, ich pohyb, stretávanie sa a prenos infekcie z človeka na človeka.

2.1.1 Náhodná prechádzka

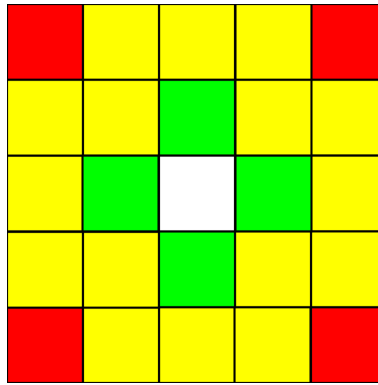
Bunky v našom celulárnom automate sa hýbu pomocou procesu náhodnej prechádzky, čo im umožňuje stretávať sa a narážať do seba, prenášajúc tak chorobu medzi sebou. Náhodná prechádzka imituje pohyb reálnych ľudí. Tíky simulácie sú rozdelené na deň a noc (v základnej simulácii v pomere 3:2) pričom bunky sa hýbu iba počas dňa a na noc svoj pohyb pozastavujú.

2.1.2 Algoritmus najbližších susedov

Kompromis medzi Von Neumanovým a Moorovým algoritmom. Odvođený vzorec na rátanie pravdepodobnosti vsplanutia pre maximálnu vzdialenosť susedov 2:

$$4x_0 + 16x_1^2 + 4x_2^3$$

Znázornený je na Obr. 1. Pomocou tohto algoritmu simulujeme pravdepodobnosť nákazy bunky od svojich susedov.

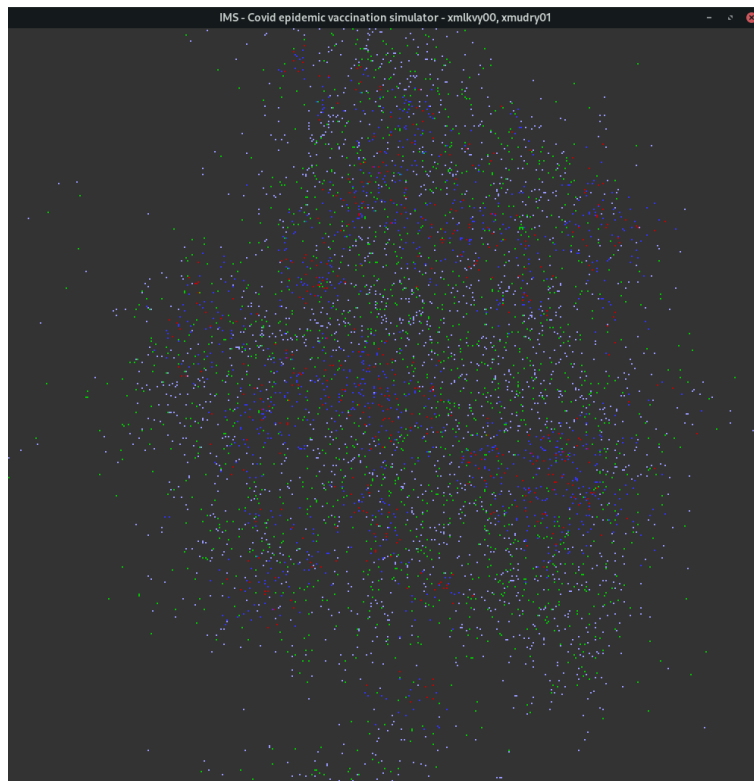


Obr. 1: Zobrazenie rádov buniek ovplyvňujúce pravdepodobnosť nákazy, kde najväčší rád bunke pridáva najmenšiu pravdepodobnosť.

Biela - aktuálna bunka, *zelená* - bunky (x_0) 1. rádu,
žltá - bunky (x_1) 2. rádu, *červená* - bunky (x_2) 3. rádu

2.1.3 Generovanie mapy

Pre generovanie *populácie* a jej zastúpenia *očkovaných* a *infikovaných* vyžívame Perlinov šum ktorý dotvára rozdiely v hustote zaludnenia. Vytvarovanie do zhlukov vzniká genrovaním 2D poľa náhodných desatiných čísel, ktoré vyhladzujeme pomocou Perlinovho šumu [7]. Ďalej rozhodujeme či sa náhodne vybraná bunka nachádza vo vygenerovanom vzore, ak áno tak je aktívna.

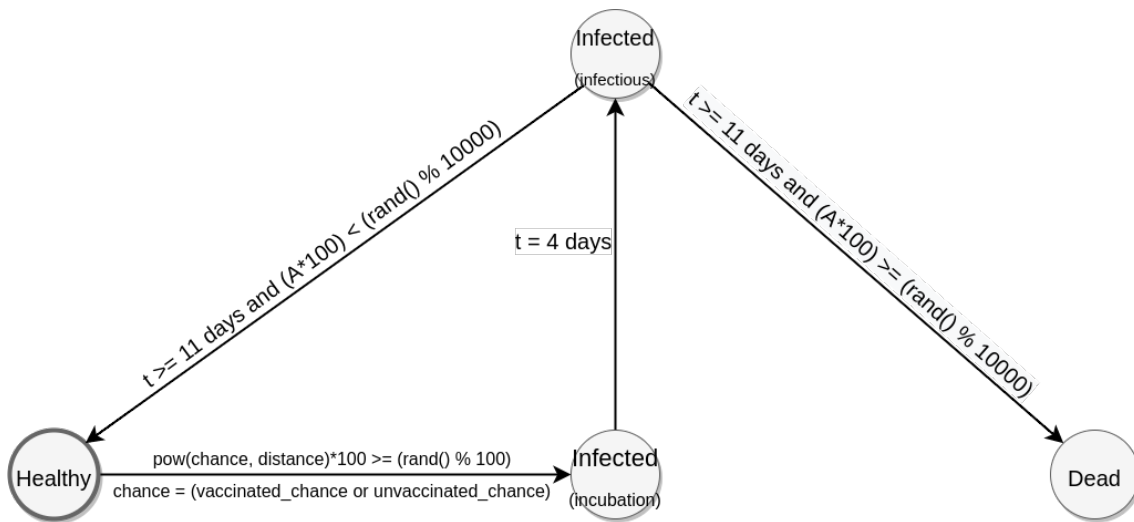


Obr. 2: Znázornenie vygenerovanej mapy

3 Koncepcia

2D pole obsahuje reprezentáciu prázdneho miesta a vygenerovaný počet ľudí, ktorý sa delia na *percento zaočkovaných*, *percento nezaočkovaných* a *percento infikovaných*. Rozmiestnenie ľudí na mape je ohraničené vytvorenou textúrou pomocou perlinovho šumu na vyjadrenie tolerancie v rozdieloch pri sociálnom d'istancovaní. Každých 60% krokov simulácie jedného dňa sa ľudia hýbu do o jednu bunku náhodným smerom pre simulovanie stretávania sa a zmeny prostredia, v ktorom sa človek nachádza. Ak sú ľudia v dostatočnej blízkosti konkrétnej osoby, pre každú jednu infikovanú osobu v blízkosti sa vyhodnocuje šanca nakazenia podľa nášho algoritmom najbližších susedov. Stavy jednej osoby popisuje náš model[6]:

- **Healthy** - stav, v ktorom sa môže osoba infikovať na základe od vzdialenosti a prítomnosti viacerých infikovaných. Rozlišujeme šancu nakazenia zvlášť podľa typu osoby a to zaočkovaný a nezaočkovaný.
- **Infected (incubation)** - stav, v ktorom nakazená osoba čaká na uplynutie času predstavujúci priemernú inkubačnú dobu.
- **Infected (infectious)** - stav, v ktorom je osoba nákazlivá pre svoje okolie. Po 11 dňoch vyhodnocujeme šancu či sa daná osoba vylieči (teda prejde späť do stavu Healthy) alebo umrie. Rozhoduje o tom atribút A, ktorý je nastavený na hodnotu 1,9% (celosvetová úmrtnosť na COVID-19)
- **Dead** - stav, v ktorom sa osoba považuje za mŕtvu. V tomto stave nič neprenáša a ani ináč neinteraguje s modelom.



4 Spustenie

Úlohou tohto projektu bolo naprogramovať program (*ims*), ktorý simuluje prírodné a ekologické katastrofy, v našom prípade lesné požiare.

Zoznam odovzdaných súborov:

```
1 src/main.cpp src/map.cpp src/cell.cpp src/etc.cpp
2 Makefile
3 dokumentacia.pdf
4 README.md
```

4.1 Preklad

Program sa prekladá pomocou nástroja **make** spusteného v koreni priečinku:

```
1 make

alebo

1 make build
```

Pre vytvorenie ladiacej verzie programu použite príkaz:

```
1 make build-debug
```

Makefile spúšťa program **g++** s nasledujúcimi parametrami:

```
1 --std=c++17 -Wall -Wpedantic [-O3|-g]
```

a linkuje vytvorené objektové súbory na knižnice pomocou:

```
1 -lglut -lGLU -lGL
```

Vytvára sa spustiteľný súbor **ims** na koreni priečinku.

4.2 Použitie

Príkaz na spustenie (GUI verzia):

```
1 make run ARGS="argumenty"
```

alebo priamo cez vygenerovaný spustiteľný súbor:

```
1 ./ims [-h|--help] [-g|--gui] [-l|--log] [...]
```

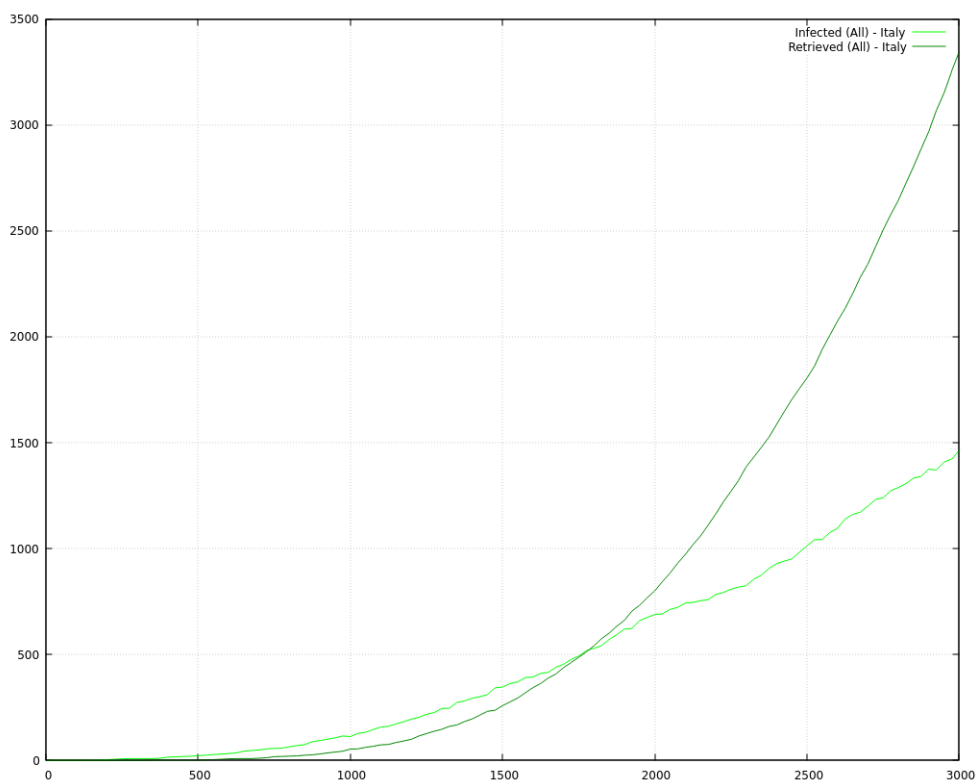
```
1 Príznaky a argumenty:
2   -h, --help           Ukáže pomocnú hlášku
3   -g, --gui            Spustí aplikáciu v GUI móde
4   -l, --log            Zapnutie zapisovania do log súboru output.txt
5   -m <i>, --map-size <i> Nastavenie veľkosti mapy
6   -p <i>, --population <i> Nastavenie počtu populácie
7   -v <f>, --vaccinated <f> Nastavenie percenta vakcinovaných ľudí
8   -i <f>, --infected <f>  Nastavenie percenta infikovaných ľudí
9   -d <i>, --day <i>       Nastavenie dĺžky dňa v tiku simulácie
10  -s <i>, --sleep <i>     Nastavenie dĺžky noci v tiku simulácie
11  -z <i>, --seed <i>      Nastavenie vstupu pre generátor náhodných čísiel
```

Pred použitím programu musí existovať jeho spustiteľný súbor.

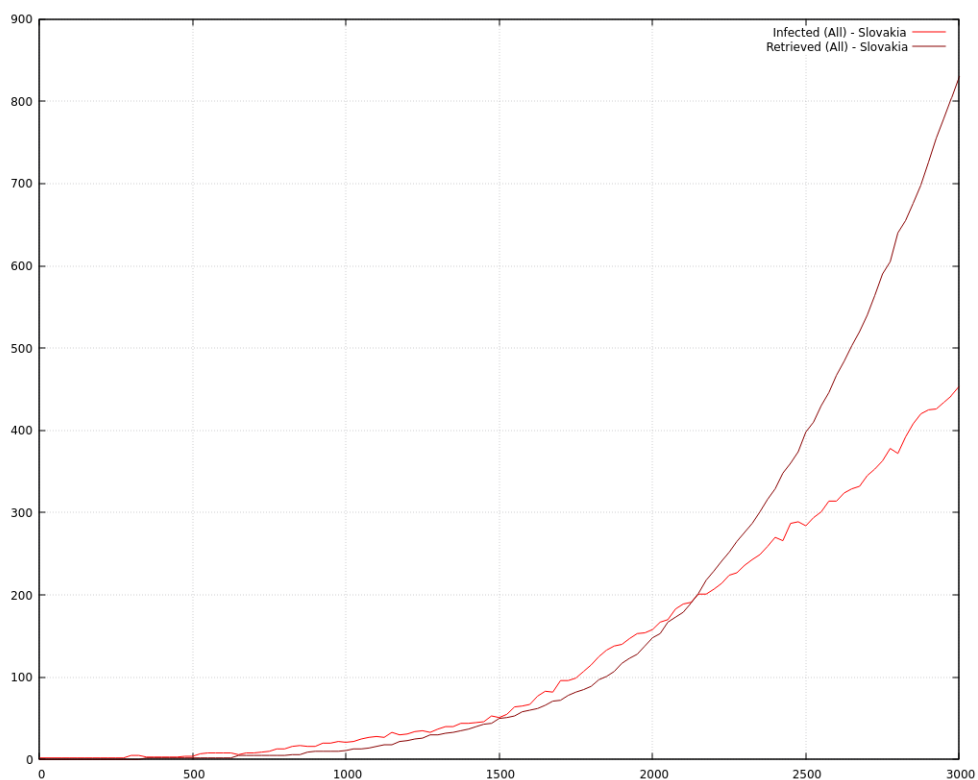
5 Experimenty

Experimentovali sme s rôznymi nastaveniami našej simulácie kvôli dosiahnutiu výsledku, ktorý najbližšie simuluje realitu. V našich experimentoch sme si zvolili 25 tikov ako 1 deň, pričom 10 z nich je noc kedy sa bunky nehýbu (pomer 3:2). Vstup pre generátor náhodných čísiel, na ktorom závisí generovanie mapy a buniek, bol číslo 30. Týmto sme mohli sledovať vývin simulácie pre rôzne hodnoty zaočkovanosti na rovnakej mape a výsledky tak porovnať.

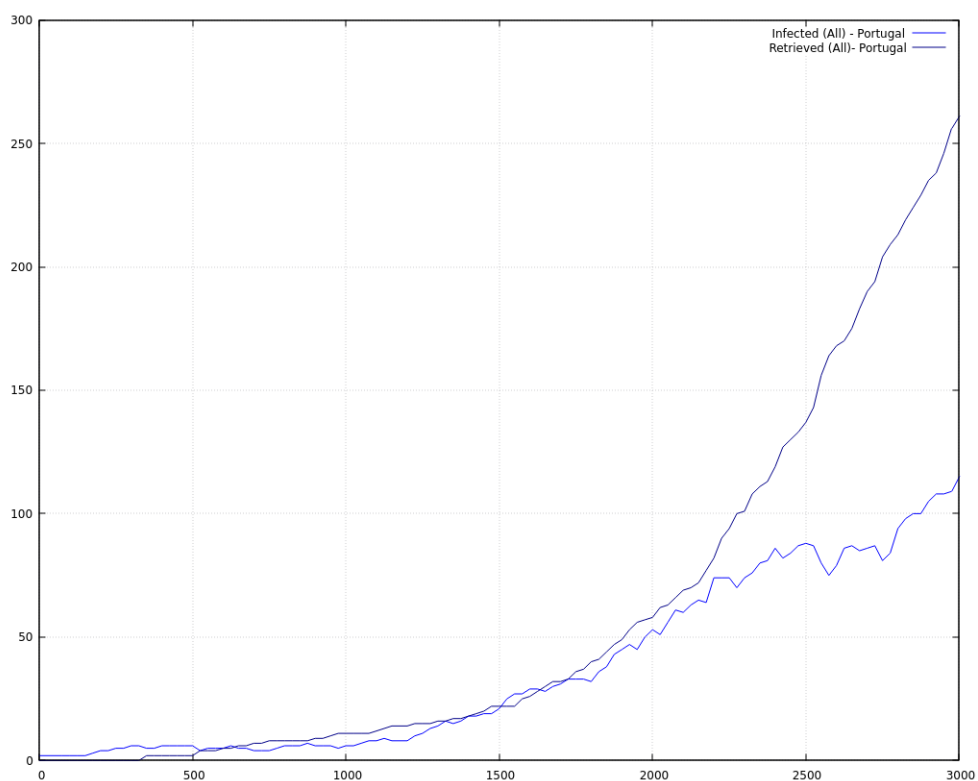
5.1 Experiment 1



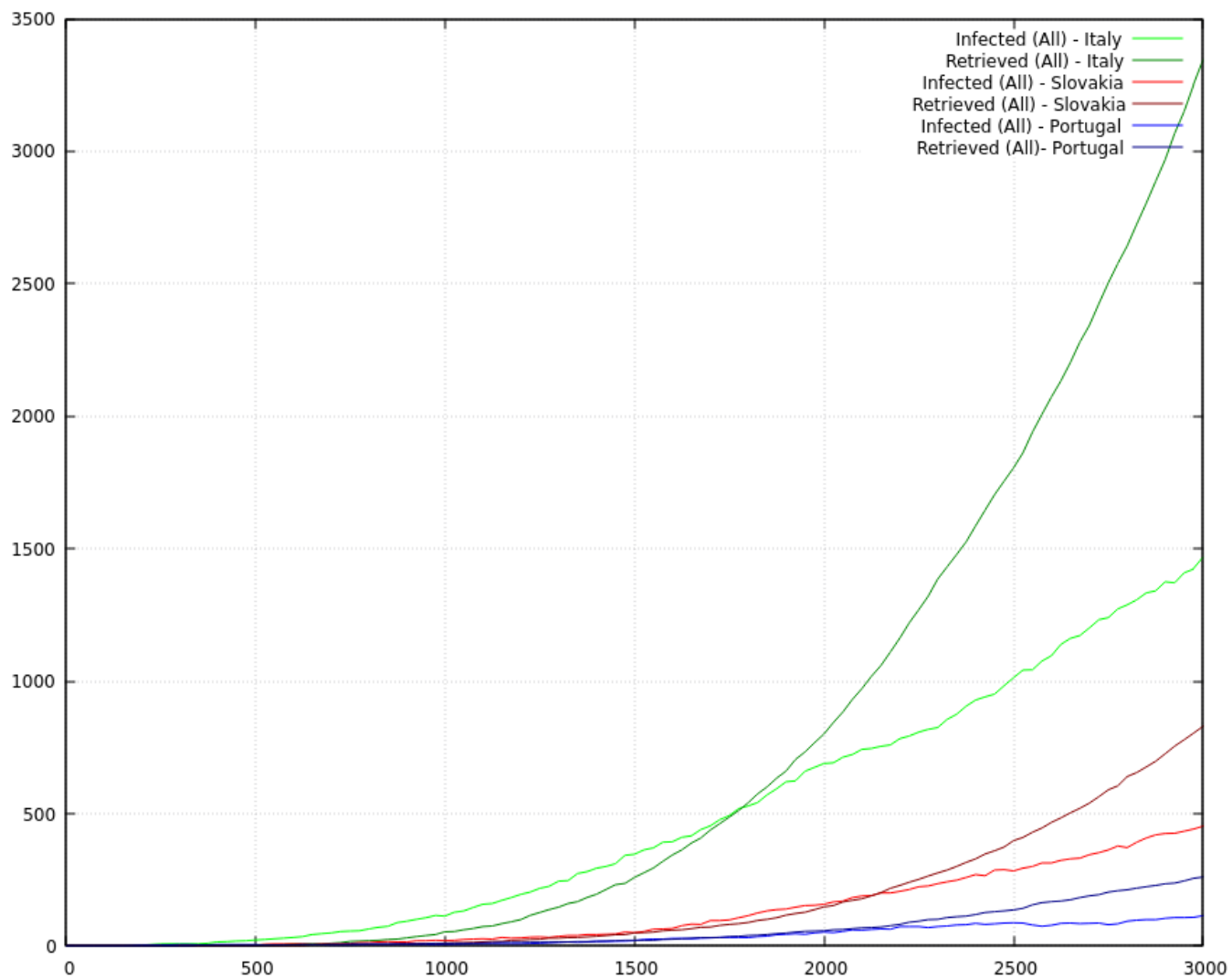
Obr. 3: Zaočkovanosť 0% - Simulácia situácie v Taliansku (30.12.2020)
Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 218,69
Pomer infikovaných a vyliečených



Obr. 4: Zaočkovanosť 40% - Simulácia situácie na Slovensku (26.9.2021)
 Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 203,14
 Pomer infikovaných a vyliečených

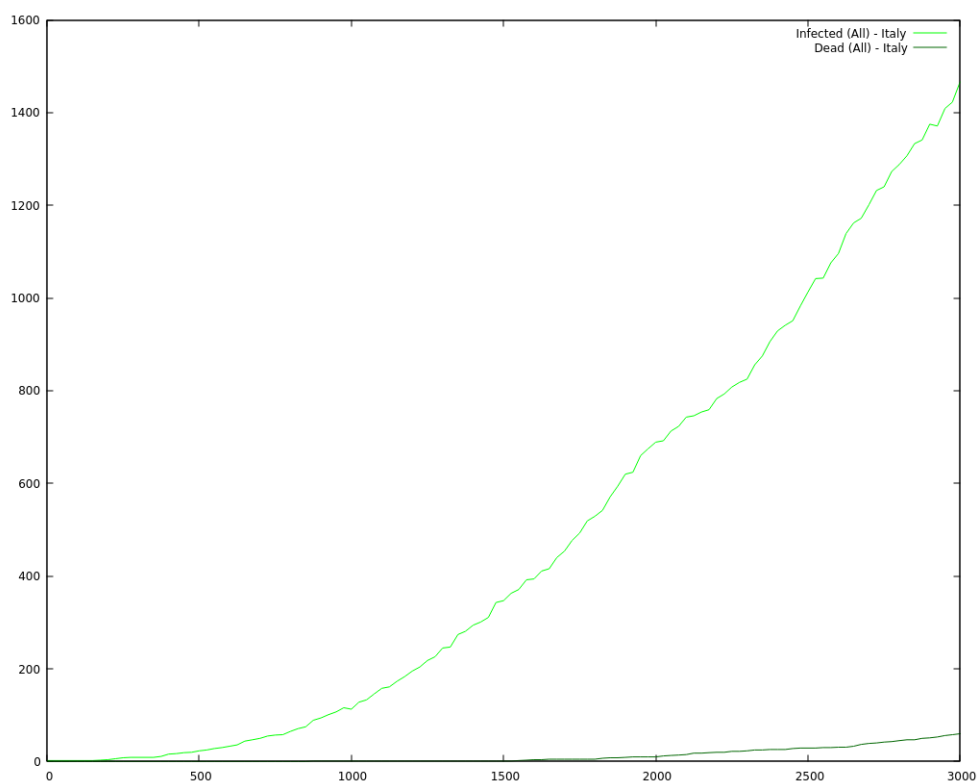


Obr. 5: Zaočkovanosť 75% - Simulácia situácie v Portugalsku (30.8.2021)
 Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 217,39
 Pomer infikovaných a vyliečených

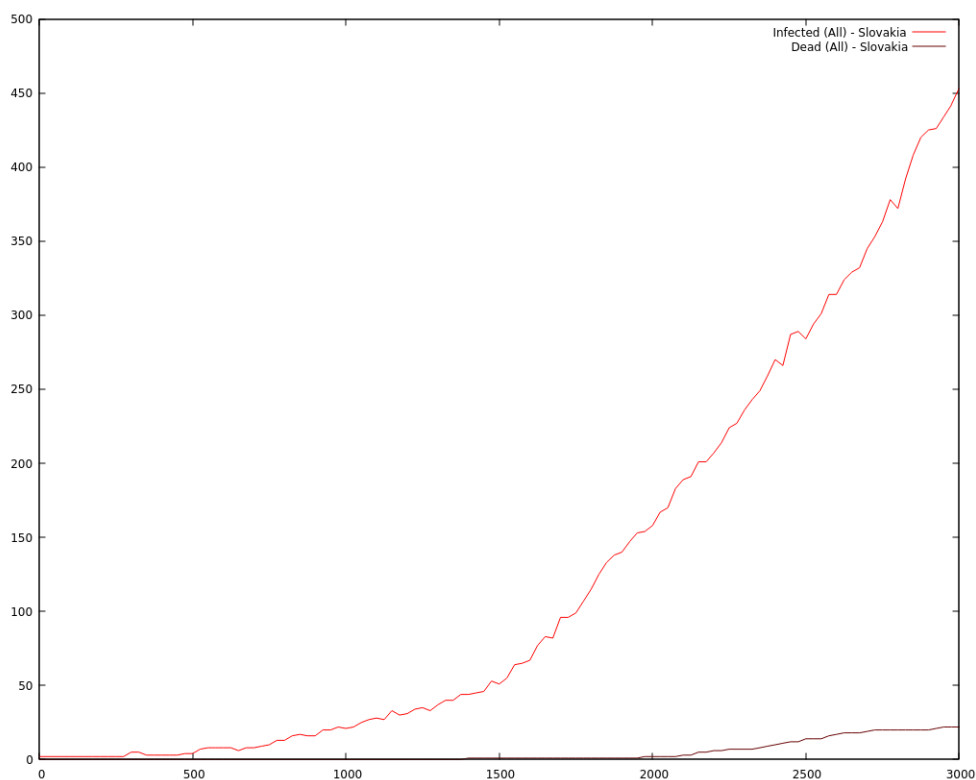


Obr. 6: Porovnanie predošlých troch grafov (0%, 40% a 75% zaočkovanosť)
Pomer infikovaných a vyliečených

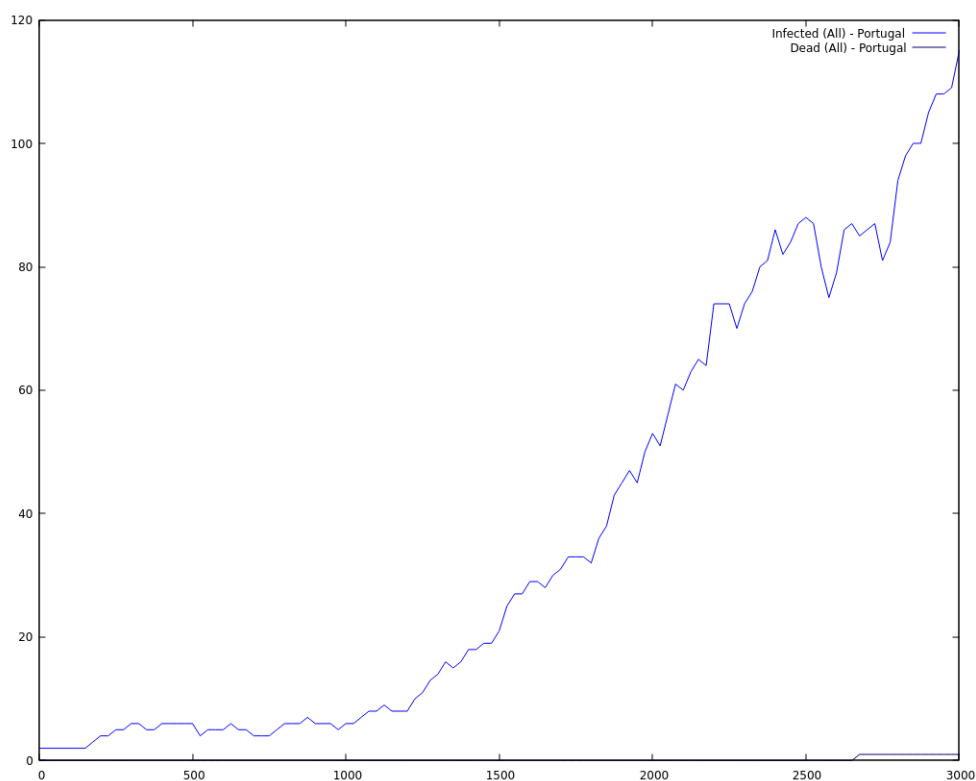
5.2 Experiment 2



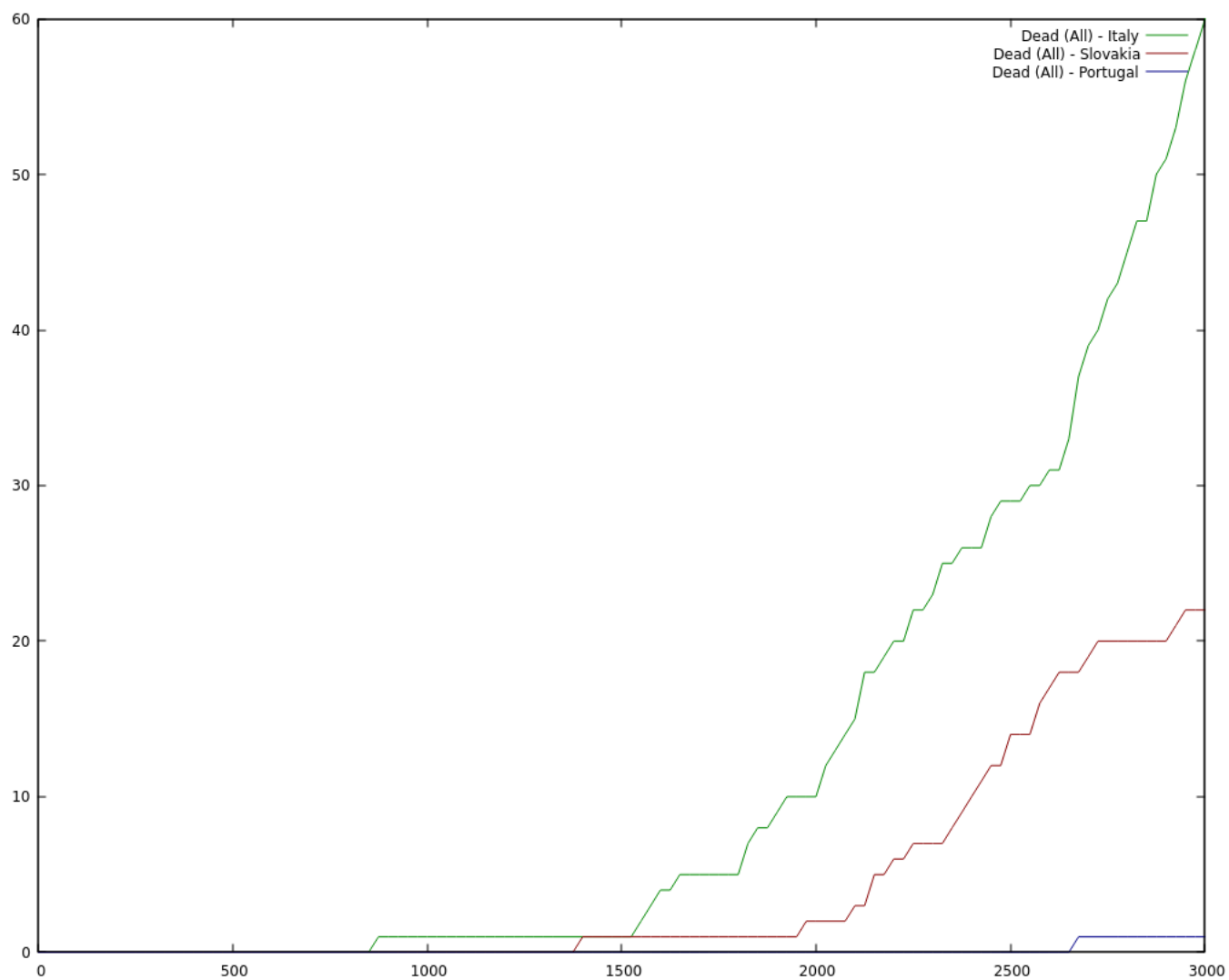
Obr. 7: Zaočkovanosť 0% - Simulácia situácie v Taliansku (30.12.2020)
Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 218,69
Pomer infikovaných a mŕtvych



Obr. 8: Zaočkovanosť 40% - Simulácia situácie na Slovensku (26.9.2021)
 Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 203,14
 Pomer infikovaných a mŕtvych



Obr. 9: Zaočkovanosť 75% - Simulácia situácie v Portugalsku (30.8.2021)
 Počet infikovaných na milión (7-dňový priemer): 217,39
 Pomer infikovaných a mŕtvych



Obr. 10: Porovnanie predošlých troch grafov (0%, 40% a 75% zaočkovanosť)
Pomer mŕtvych medzi krajinami

6 Záver

Vykonalí sme dva experimenty, kde sme v prvom sledovali pomery nakazených, vyliečených a vplyv rozdielnej úrovne zaočkovanosti, pričom v druhom experimente sme sledovali pomery nakazených, mŕtvych a vplyv rozdielnej úrovne zaočkovanosti.

Z výsledkov našich simulácií vyplýva, že väčšia preočkovanosť obyvateľstva pozitívne vplýva na šírenie vírusu a úmrtnosť obyvateľstva oproti malej alebo žiadnej zaočkovanosti, kde sa vírus šíri rýchlejšie a ľudia umierajú vo väčšom pomere. Naša simulácia sa v tomto smere podobá realite.

7 Bibliografia

Literatúra

- [1] Our World in Data. [online], [vid. 2021-12-09].
URL <https://ourworldindata.org>
- [2] Bloomberg: Vaccine Tracker. [online], [vid. 2021-12-05].
URL <https://www.bloomberg.com/graphics/covid-vaccine-tracker-global-distribution>
- [3] Centers for Disease Control and Prevention: Comparative Effectiveness of Moderna, Pfizer-BioNTech, and Janssen (Johnson & Johnson) Vaccines in Preventing COVID-19 Hospitalizations Among Adults Without Immunocompromising Conditions. [online], [vid. 2021-12-07].
URL <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/70/wr/mm7038e1.htm>
- [4] Centers for Disease Control and Prevention: Understanding How COVID-19 Vaccines Work. [online], [vid. 2021-12-07].
URL <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/vaccines/different-vaccines/how-they-work.html>
- [5] European Medicines Agency: COVID-19 vaccines: authorised. [online], [vid. 2021-12-07].
URL <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory/overview/public-health-threats/coronavirus-disease-covid-19/treatments-vaccines/vaccines-covid-19/covid-19-vaccines-authorised>
- [6] PERINGER, P.: Modelování a simulace. [online], [vid. 2021-12-08].
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [7] Touti, R.: Perlin Noise: A Procedural Generation Algorithm. [online], [vid. 2021-12-05].
URL <https://rtouti.github.io/graphics/perlin-noise-algorithm>