

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Dokumentácia k projektu z predmetu IMS

Téma č.1

Epidemiologické modely pomocou celulárnych automatov

7. decembra 2020

Daniel Paul (xpauld00)
Peter Koprda (xkoprd00)

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori a zdroje	2
1.2	Overenie validity	2
2	Rozbor témy a použitých technológií	3
2.1	Použité postupy	3
2.2	Použité technológie	3
3	Koncepcia	4
4	Architektúra simulačného modelu	5
4.1	Spúšťanie simulačného modelu	5
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	6
5.1	Postup experimentovania	6
5.2	Experiment 1	7
5.3	Experiment 2	8
5.4	Experiment 3	9
5.5	Experiment 4	10
5.6	Závery experimentov	11
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	11

1 Úvod

Ako by sa vyvíjala epidemiologická situácia v meste, ak by sa testovalo antigénovými testami a nesprísňovali sa opatrenia? Celoplošné testovanie na Slovensku pomohlo na chvíľku zvrátiť priebeh epidemickej situácie a počet prípadov začal klesať. V tomto výskume sa chceme pozrieť, aký by malo dopad testovanie v lokálnej sfére, ak by sa nezačali sprísňovať opatrenia.

1.1 Autori a zdroje

Tento projekt vypracovali študenti Fakulty informačných technológií Vysokého učenia technického v Brne - Daniel Paul a Peter Koprda.

Zdroje informácií potrebné k vypracovaniu tohto projektu, boli získané z vedeckých článkov [3] [7] [1] zaoberajúcimi sa šírením koronavírusu SARS-CoV-2, ktoré spôsobuje respiračné ochorenie COVID-19.

1.2 Overenie validity

Skúmaná bola realita v priebehu ochorenia COVID-19 za stavu opatrení v septembri 2020 na Slovensku - nepovinné rúška v exteriéri, otvorené reštaurácie, fitness centrá... Požiadavky na presnosť boli kladené na počet ľudí, ktorí ochorenie COVID-19 zatiaľ neprekonali, na počet ľudí, ktorí sú aktuálne nakazení, na počet ľudí, ktorí sa zotavili z ochorenia COVID-19 a na počet ľudí, ktorí na toto ochorenie zomreli. Vďaka týmto požiadavkám sme mohli vo výsledkoch získať porovnateľné hodnoty pre jednotlivé dni. Pri väčšine parametrov modelu sme vychádzali zo zdrojov. Pravdepodobnosť stretnutia infikovanej osoby bola skúmaná v článku [5]. Efektivita antigénových testov a dĺžka ochorenia (14 dní) bola preberaná v článku [1]. Dĺžka karantény bola určená, na základe nariadení vlády SR. Pravdepodobnosť, že človek pôjde na testovanie sme získali zo štatistiky primátora mesta Trnava [4]. Pravdepodobnosť nakazenia pri priamom styku s infikovanou osobou bola pri viacerých zdrojoch rozdielna, hlavne z hľadiska časovej prítomnosti pri infikovanej osobe, čo sa nám potvrdilo v článku [6]. Aby sme vedeli určiť pravdepodobnosť nakazenia, museli sme vychádzať z hypotézy, že bežný človek trávi toľko času s nakazeným, aby sa dali použiť údaje z článkov [3] a [7]. Štatistiku ohľadom úmrtnosti sme čerpali zo zdroja [2].

2 Rozbor témy a použitých technológií

Závažný akútny respiračný syndróm koronavírusu 2 (SARS-CoV-2) je vysoko prenosný koronavírus, ktorý sa šíri po celom svete a spôsobuje epidémiu. SARS-CoV-2 je vírus, ktorý spôsobuje ochorenie COVID-19 a môže sa prenášať medzi ľuďmi prostredníctvom respiračných kvapôčok vylučovaných infikovanými pacientmi pri kašľaní, kýchaní, rozprávaní, spievaní ba dokonca dýchaní. Niektoré z týchto kvapôčok môžu osoby v blízkosti infikovaného priamo vdýchnuť. Osoby, ktoré sú vzdialené od infikovaných osôb viac ako 2 metre sa nemôžu nakaziť týmto ochorením [3] [6].

Antigénové testy sa bežne používajú pri diagnostike respiračných patogénov vrátane vírusu SARS-CoV-2. Tento typ testov je založený na stanovení bielkoviny, ktorá sa nachádza v obale vírusu. Na rozdiel od RT-PCR testov, ktoré sa takisto používajú na testovanie prítomnosti vírusu SARS-CoV-2, u ktorých sa výsledok dá zistiť po niekoľkých hodinách, výsledok z antigénového testu je možné získať do 15 minút. Tieto antigénové testy síce nemajú takú presnosť [1] ako majú RT-PCR testy, ale na druhej strane sa s nimi dá otestovať rýchlejšie väčší počet obyvateľov. Po pozitívnom výsledku má občan za úlohu zostať v izolácii od ostatných občanov - v karanténe, kde čaká 14 dní na zotavenie sa z choroby.

2.1 Použité postupy

Programovací jazyk C++ sme použili preto, lebo obsahuje knižnicu OpenGL, ktorá je vhodná na vizualizáciu celúrných automatov, ďalej sme ho použili z dôvodu, že je rýchly, prenositeľný a objektovo orientovaný.

2.2 Použité technológie

Na implementáciu projektu sme sa rozhodli použiť nasledujúce technológie:

- jazyk C++ <http://www.cplusplus.com/>
- knižnicu OpenGL <https://www.opengl.org/>
- prekladač g++ <https://www.cprogramming.com/g++.html>

3 Konceptcia

Mriežka obsahuje prázdne miesta a ľudí v danom stave. Ľudia sa teda nachádzajú v bunkách mriežky a každý krok simulácie sa majú možnosť pohnúť do jedného zo štyroch smerov - hore, doprava, doľava, dole. Ak sa v bunke do ktorej smeru sa chce človek pohnúť nachádza "prázdne miesto", v danom kroku simulácie sa tam človek posunie. Ak sa v danej bunke nachádza človek so stavom nastáva k interakcií a človek zostáva v tej bunke v ktorej sa nachádzal predtým. Táto interakcia môže reprezentovať aj nakazenie v prípade, že sa stretol doteraz nenakazený človek s infikovaným. Stavy a ich zmeny popisuje náš konceptuálny model ([8] slajd 48). Stavy ľudí:

- modrý štvorec (*susceptible*) ozn. S - množina ľudí náchylných na chorobu
- červený štvorec (*infected*) ozn. I - množina infikovaných ľudí
- zelený štvorec (*recovered*) ozn. R - množina ľudí, ktorí prekonali ochorenie
- fialový štvorec (*dead*) ozn. D - množina ľudí, ktorí podľahli ochoreniu a zomreli
- žltý štvorec (*quarantined*) ozn. Q - množina ľudí, ktorí sa rozhodli ísť na testovanie a mali pozitívny výsledok testu na COVID-19 - išli do karantény

α - šanca, že sa človek náchylný na chorobu stretne s infikovaným

β - šanca, že infikovaný človek nakazí človeka náchylného na chorobu a tým pádom sa tento človek stane infikovaným

Z toho vyplýva, že $\alpha * \beta$ je šanca na nakazenie.

γ - šanca, že infikovaný človek zomrie

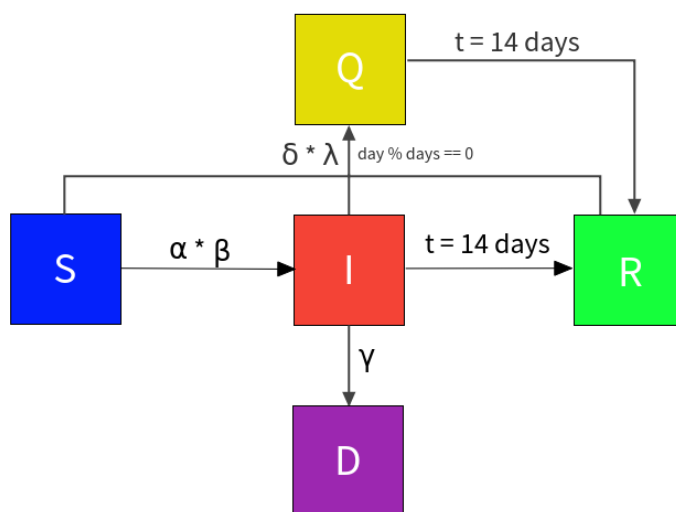
$t = 14 \text{ days}$ reprezentuje počet krokov v simulácii za ktoré sa z infikovaného človeka/človeka v karanténe stane človek zotavený z choroby

$\text{day \% days} == 0$ reprezentuje deň testovania. Day je aktuálny krok simulácie a days je n-tý deň, kedy sa má testovanie vykonať

δ - šanca, že človek pôjde na testovanie

λ - šanca, že antigénový test odhalí infikovaného človeka

Z toho vyplýva, že $\delta * \lambda$ je šanca, že antigénový test odhalí infikovaného človeka, ktorý pôjde na testovanie a tým pádom pôjde do karantény.



Obr. 1: Konceptuálny model

4 Architektúra simulačného modelu

Program obsahuje 2 triedy *cell* a *grid*. Trieda *cell* reprezentuje jednu bunku - človeka/prázdne miesto - v mriežke (*grid*) a uchováva informácie o bunke ako je jej stav a dĺžka trvania procesu na zmenu do iného stavu. Trieda *grid* reprezentuje mriežku buniek a uchováva informáciu o jej šírke. Obsahuje taktiež metódy na naplnenie tejto mriežky požadovaným počtom buniek daného typu a na aktualizovanie mriežky po vykonaní kroku simulácie. Metóda *updateGrid* aplikuje všetky pravidlá potrebné na aktualizáciu mriežky a vykonanie kroku v simulácii (vykonanie pohybu, šanca nakazenia, vyliečenie, šanca vykonania testu a vstúpenia do karantény, šanca úmrtia...).

4.1 Spúšťanie simulačného modelu

Program je potrebné pred spustením preložiť príkazom *make*. Príkazom *make run* sa program spustí s predpripravenými nastaveniami a odsimuluje 3 predpripravené experimenty. Program sa dá spustiť ak príkazom *./bin/main* s nasledujúcimi argumentami:

- *-p < intvalue >* - veľkosť populácie (počet ľudí, ktorí žijú v meste napr. 80000). [potrebný]
- *-i < floatvalue >* - percento ľudí, ktorí sú infikovaní. [potrebný]
- *-c < intvalue >* - veľkosť mesta (*<600>* – *> 600*600 = 360000*). Pozn: veľkosť mesta/veľkosť populácie = hustota populácie [potrebný]
- *-d < intvalue >* - počet dní po ktorých sa periodicky vykoná testovanie. (ak je hodnota -1, testovanie sa nevykonáva) [potrebný]
- *-t < intvalue >* - počet dní, ktoré simulácia beží. [potrebný]
- *-g, -graphic* - umožní OPENGGL grafický mód (pre použitie na Merlinovi sa treba pripojiť na Merlina pomocou *'ssh -X xloginXX@merlin.fit.vutbr.cz'* na umožnenie externej obrazovky)
- *-q, -quick* - umožní rýchlejší priebeh simulácie.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov je zistiť, koľko ľudí by sa nakazilo a koľko ľudí by zomrelo, keby sa vykonávalo antigénové testovanie a keby sa nevykonávalo antigénové testovanie vôbec. Každý experiment je určený počtom obyvateľov na danom území a percentom infikovaných ľudí. Podstatou experimentov je ukázať, či má zmysel antigénové testovanie antigénovými testami.

5.1 Postup experimentovania

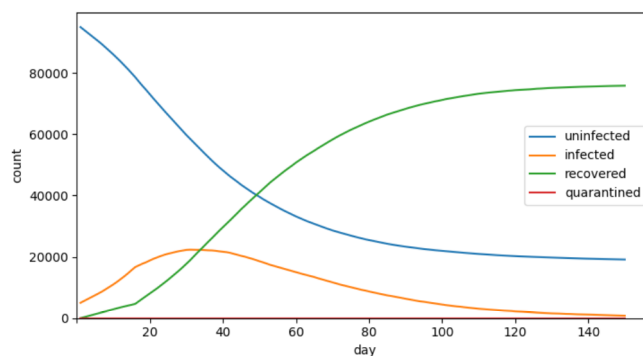
Každý experiment spočíval v spustení dvoch prípadov simulácie so zvolenými hodnotami. Údaje potrebné na experimenty sme ukladali do súboru vo formáte csv, ktoré boli následne vizualizované pomocou grafu pre účely tejto práce. Následne sme z výsledkov experimentov urobili záver.

Z každého experimentovania sme získali údaje o počte ľudí, ktorí sú:

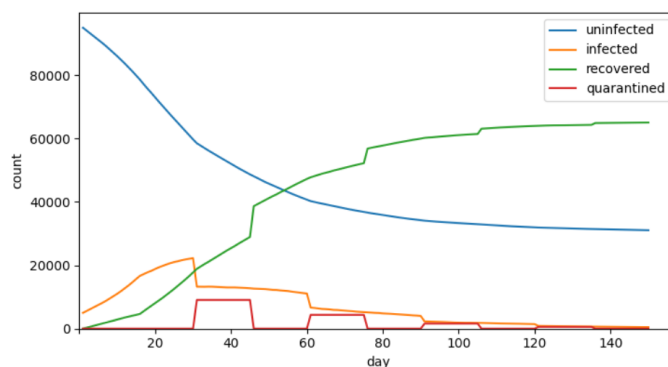
- neinfikovaní (uninfected)
- infikovaní (infected)
- vyliečení (recovered)
- v karanténe (quarantined)
- mŕtvi (deaths)

5.2 Experiment 1

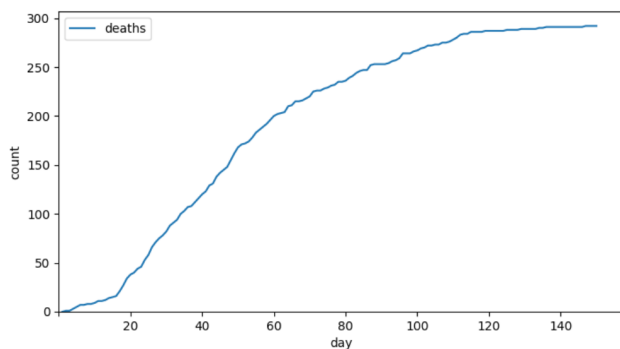
V tomto experimente sme si nastavili počet obyvateľov na 100000 a počet pozitívnych prípadov na začiatku experimentu na 5%, pretože sme chceli zistiť, ako sa bude nákaza šíriť pri vysokej hustote obyvateľstva a pri vyššom počte pozitívnych prípadov. V prvom prípade sme nevykonávali antigénové testovanie a v druhom prípade sme vykonávali antigénové testovanie každých 30 dní. Z grafov 2 a 3 vyplýva, že pri antigénovom testovaní, ktoré sa vykonáva každých 30 dní, sa nakazí približne o 30% menej ľudí. Z grafov 4 a 5 vyplýva, že s testovaním zomrie približne o 25% menej.



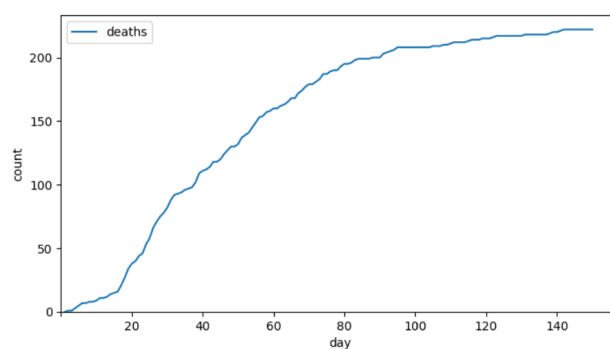
Obr. 2: Bez testovania



Obr. 3: Testovanie každých 30 dní



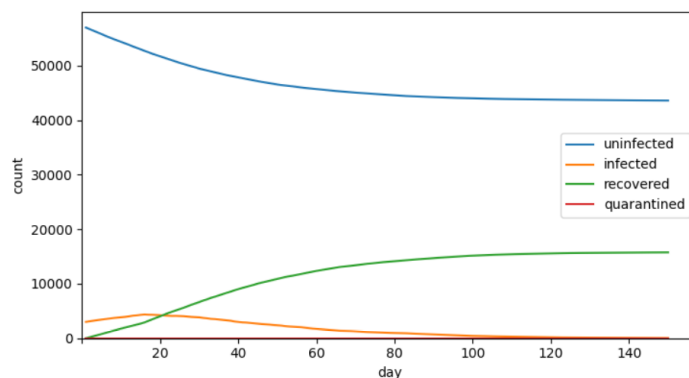
Obr. 4: Bez testovania



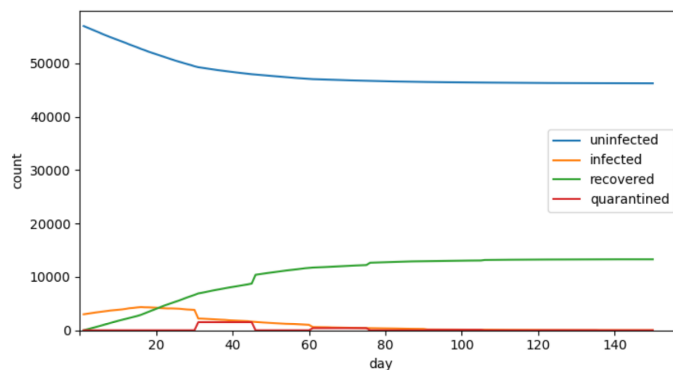
Obr. 5: Testovanie každých 30 dní

5.3 Experiment 2

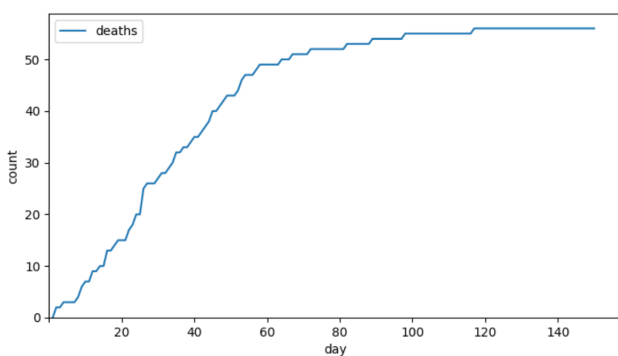
V druhom experimente sme si nastavili opäť počet pozitívnych prípadov nákazy na 5% a počet obyvateľov znížili na 60000, pretože chceme zistiť ako sa bude nákaza správať v podmienkach s nižšou hustotou obyvateľstva. V prvom prípade sme nevykonávali antigénové testovanie v druhom sme ho vykonávali každých 30 dní. Z grafov 6 a 7 vyplýva, že pri antigénovom testovaní na koronavírus každých 30 dní sa vírus šíril zanedbateľne pomalšie (nakazil o 3% menej obyvateľov), ale z grafov 8 a 9 vidíme, že v prípade antigénového testovania zomrelo o 20% menej ľudí.



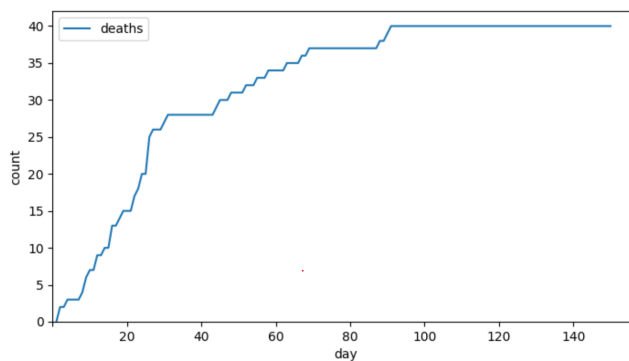
Obr. 6: Bez testovania



Obr. 7: Testovanie každých 30 dní



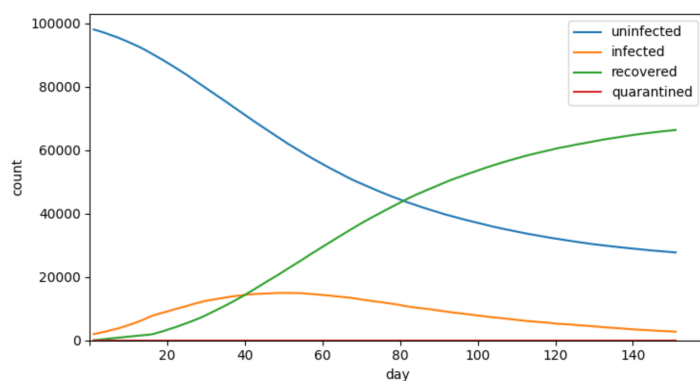
Obr. 8: Bez testovania



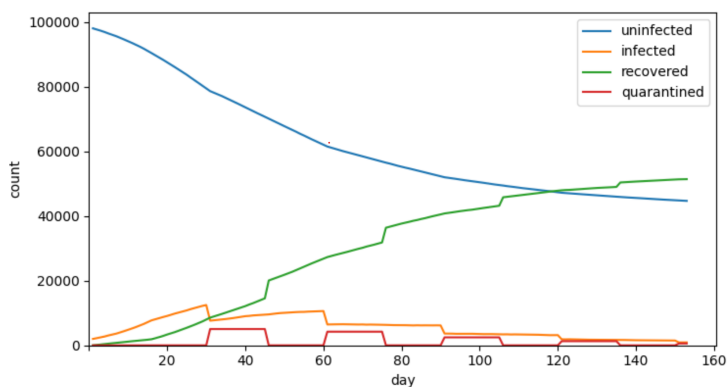
Obr. 9: Testovanie každých 30 dní

5.4 Experiment 3

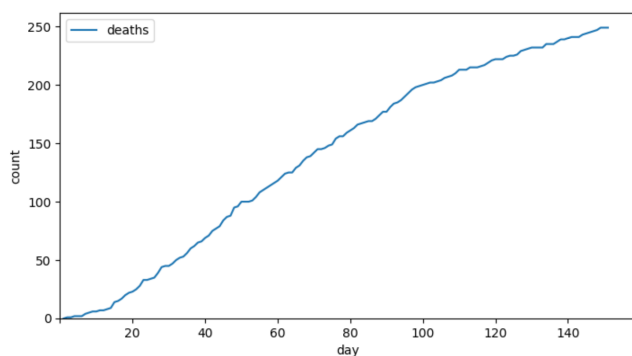
V treťom experimente sme nastavili počet obyvateľov na 100000 a počet pozitívnych prípadov na 2%, pretože sme chceli zistiť, ako sa bude vyvíjať šírenie nákazy s nižším počtom infikovaných obyvateľov a taktiež ako bude na tento prípad vplývať testovanie. V jednom prípade sme nevykonávali antigénové testovanie a v prípade druhom sme antigénové testovanie vykonali každých 30 dní. Z grafov 10 a 11 je zrejmé, že počet nakazených v druhom prípade je približne o 40% menej. Z grafov 12 a 13 vyplýva, že počet úmrtí, keď sa vykonáva testovanie každých 14 dní, je nižší približne o 45%.



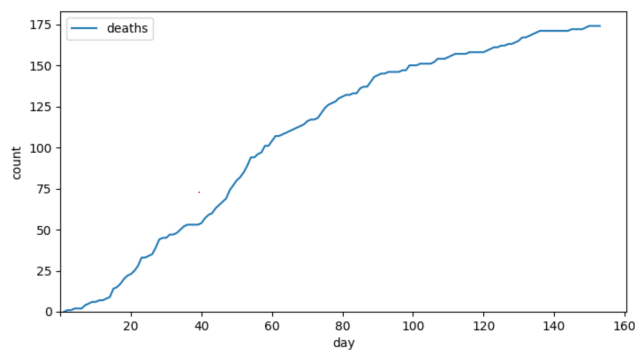
Obr. 10: Bez testovania



Obr. 11: Testovanie každých 30 dní



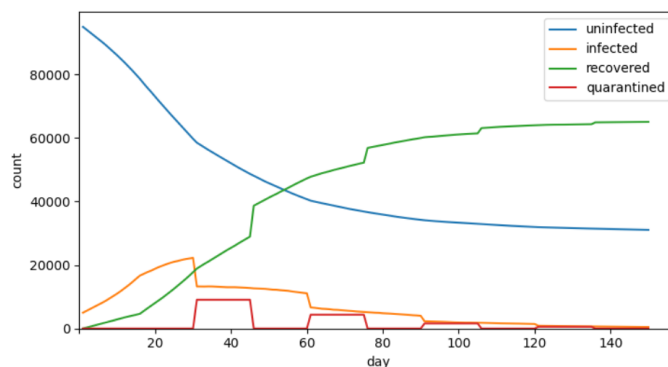
Obr. 12: Bez testovania



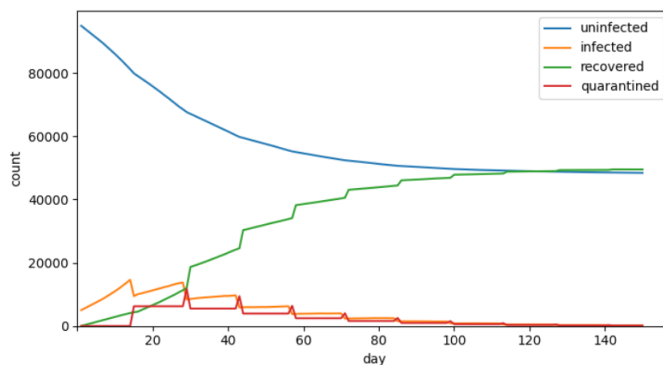
Obr. 13: Testovanie každých 30 dní

5.5 Experiment 4

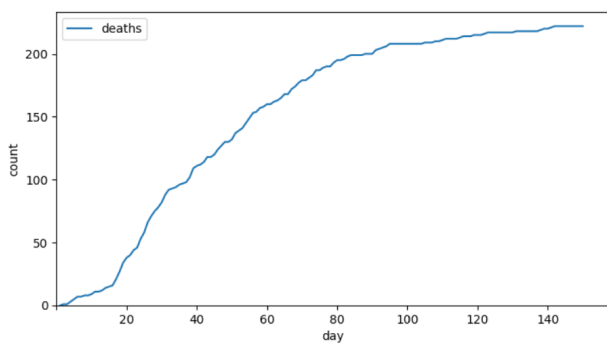
Vo štvrtom experimente sme nastavili počet pozitívnych prípadov nákazy na 5%, počet obyvateľov na 100000 a v jednom z prípadov sme nastavili antigénové testovanie každých 14 dní, v druhom každých 30 dní pretože chceme zistiť ako sa bude správať nákaza pri častejšom pretestovaní obyvateľstva. Ak porovnáme grafy 15 a 14 vidíme, že má častejšie antigénové testovanie za následok približne o 17% nižšiu infikovanosť obyvateľstva, rýchlejší ústup vírusu a z porovnania v grafoch 16 a 17 vidíme, že častejšie testovanie má taktiež za následok o 50% nižšiu úmrtnosť obyvateľov.



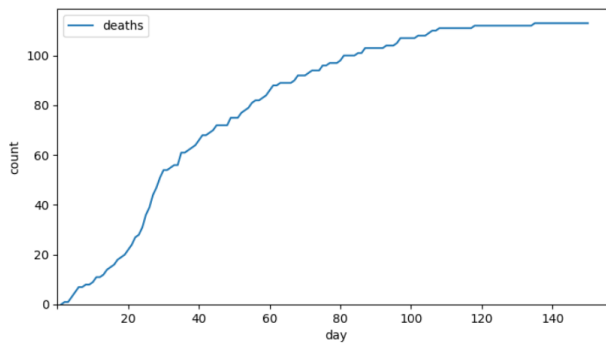
Obr. 14: Testovanie každých 30 dní



Obr. 15: Testovanie každých 14 dní



Obr. 16: Testovanie každých 30 dní



Obr. 17: Testovanie každých 14 dní

5.6 Závěry experimentov

Boli vykonané 4 experimenty, z toho v každom experimente boli vykonané 2 spustenia simulácie na zistenie počtu ľudí, ktorí sa nakazili ochorením COVID-19, počtu ľudí, ktorí sa vyliečili z ochorenia a počtu ľudí, ktorí podľahli tomuto ochoreniu, ak sa vykonávalo a ak sa nevykonávalo antigénové testovanie. Experimentálne preverovanie situácie s nižšou hustotou obyvateľstva už neprinesie rozdielne výsledky, pretože sa vírus šíril zanedbateľne pomalšie pri antigénovom testovaní, ako bez neho.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z výsledkov experimentov vyplýva, že čím je väčšia hustota obyvateľstva, tým má antigénové testovanie väčší dopad na úmrtnosť a šírenie vírusu. Ak je hustota obyvateľstva malá, antigénové testovanie nie je veľmi efektívne z hľadiska zníženia dĺžky priebehu šírenia vírusu, ale zabráni väčšiemu počtu úmrtí. Z experimentov sme taktiež zistili, že na účinnosť antigénového testovania nemá vplyv počiatočný počet infikovaných prípadov, má však vplyv na počet mŕtvych.

V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý je schopný simulovať šírenie nákazy v podmienkach založených na hustote obyvateľstva, percentuálnom počte nakazených a pravidelnom intervale antigénového testovania. Validita bola overená zdrojmi uvedenými v sekcii 1.2.

Literatúra

- [1] Interim Guidance for Antigen Testing for SARS-CoV-2. [vid. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/lab/resources/antigen-tests-guidelines.html>
- [2] Koronavírus na Slovensku v číslach. [online], [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://korona.gov.sk/koronavirus-na-slovensku-v-cislach/>
- [3] BOUCHNITA, A.; JEBRANE, A.: A hybrid multi-scale model of COVID-19 transmission dynamics to assess the potential of non-pharmaceutical interventions. [online], [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20054460v1.full.pdf>
- [4] BROČKA, P.: Facebook. [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/brockatt/posts/2712895062256713>
- [5] GALOVIČ, M.: How likely are you to meet someone with Coronavirus? [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/how-likely-are-you-to-meet-someone-with-coronavirus-4522d39487b7>
- [6] GODOY, M.: Coronavirus FAQ: What's The Deal With The '15 Minute Rule'? [online], [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.npr.org/sections/goatsandsoda/2020/10/09/922385856/coronavirus-faq-whats-the-deal-with-the-15-minute-rule?t=1607111985146>
- [7] MAMO, D. K.: Model the transmission dynamics of COVID-19 propagation with public health intervention. *Results in Applied Mathematics*, ročník 7, 2020: str. 100123, ISSN 2590-0374. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590037420300339>
- [8] PERINGER, P.: Modelování a simulace. [online], [vid. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>