

Simulačná štúdia

### **3. Výhledy epidemie Covidu a vliv očkování**

IMS – Modelování a simulace

## Obsah

1	Úvod.....	3
1.1	Autori a zdroje.....	3
1.2	Overenie validity .....	3
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií .....	4
2.1	Použité postupy .....	4
3	Koncepcia .....	5
4	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh .....	6
4.1	Použitie simulačného programu .....	6
4.2	Experiment 1.....	6
4.3	Experiment 2.....	7
4.4	Experiment 3.....	9
4.5	Experiment 4.....	10
5	Zhrnutie simulačných experimentov a záver .....	11
6	Zdroje .....	11

# 1 Úvod

Táto práca sa snaží pomocou série experimentov dokázať priaznivý vplyv očkovania na vývoj Covid-19 pandémie.

Zmyslom experimentu je demonštrovať vývoj Covid-19 pandémie za podmienok prístupného očkovania pred jej vypuknutím pre lepšiu viditeľnosť účinku vakcinácie.

Aby výsledky experimentov neboli skreslené, na ich porovnanie sa používajú dáta zo začiatku pandémie. Tieto dáta sú pre experimenty kľúčové, keďže v danej dobe neboli nariadené takmer žiadne opatrenia, ktoré by taktiež mohli prispieť k pozitívnemu vývoju pandémie.

Počas experimentov sa využíva epidemiologický model[1, p7] SIR.

## 1.1 Autori a zdroje

Autormi práce sú študenti VUT FIT v Brne, Jakub Vaňo a Zuzana Hrkľová.

K napísaniu tejto práce a realizovaniu experimentov boli využívané zdroje z kurzu Modelování a simulace vyučovanom na VUT FIT v Brne[1].

Ako zdroj informácií k epidemiologickému modelu SIR, použitému v rámci zahrnutých experimentov, bola využitá publikácia[2] zo zbierky *Elsevier Public Health Emergency Collection* dostupná v Národnej knižnici medicíny Spojených Štátov.

K validácii daného modelu[1, p37] boli využité dáta o vývoji pandémie čerpané zo stránky[3], ktorej dôveryhodnosť sme overili porovnaním údajov s údajmi uvedenými na stránke[4].

Údaje o vplyve očkovania na ľudský organizmus boli vytiahnuté zo štúdie[5] UCL (University College London) uvedenej v citáciách.

## 1.2 Overenie validity

Overenie validity modelu prebiehalo porovnávaním simulačných výsledkov z vývojom epidemickej situácie v Českej Republike za obdobie 3.3.2020 - 2.4.2020 kedy bola ešte len v svojich počiatkoch. Na základe ich podobností sme daný model prehlásili za validný.

## 2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Rozhodli sme sa implementovať model SIR(susceptible-infected-recovered)[2], ktorý sa používa pri simulovaní epidémií. Vďaka tomuto modelu je možné predpovedať vývoj epidémie a predpokladať ako sa situácia vyvinie. SIR model používa tri základné diferenciálne rovnice. Tento model vynecháva zložitosti spojené s šírením vírusu v reálnom čase, a to spôsobom, ktorý je užitočný kvantitatívne aj kvalitatívne. Teda pomocou troch základných derivačných funkcií popisuje vývoj týchto troch skupín populácie:

1. **Susceptible individuals,  $S(t)$**  – Teda ľudia, ktorí nie sú nakazení, ale môžu sa nakaziť. Ľudia v tejto skupine sa môžu nakaziť ale môžu aj ostať nenakazení.
2. **Infected individuals,  $I(t)$**  – Teda ľudia, ktorí sú nakazený vírusom a vedia ho preniesť na ľudí bez nákazy. Infikovní môžu ostať infikovaní alebo sú z tejto skupiny odstránení po uzdravení.
3. **Removed individuals,  $R(t)$**  – Teda ľudia, ktorí prekonali vírus a sú považovaní za imúnnych.

Ďalej sa predpokladá že časová doba simulácie[1, p8] bude dostatočne krátka, aby narodenia/úmrť v populácii nehrali rolu.

Na základe týchto predpokladov a konceptov, sa miera zmeny týchto troch skupín riadi takýmto systémom:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -aS(t)I(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = aS(t)I(t) - bI(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = bI(t)$$

Kde „a“ a „b“ sú reálne čísla, sú to parametre rýchlosti prenosu vírusu a rýchlosti uzdravenia sa z vírusu.

### 2.1 Použité postupy

Ako implementačný jazyk uvedeného modelu bolo použité C++. C++ ponúka možnosť využívania tried. Veríme, že využitie tried v našej implementácii prispelo k jednoduchšiemu pochopiteľnému a prehľadnejšiemu zdrojovému kódu.

Na preklad a spustenie programu sa využíva Makefile.

### 3 Koncepcia

Táto práca sa zaoberá skúmaním potencionálneho dopadu očkovania na vývoj epidémie Covid-19 v Českej Republike v časovom intervale od 3.3.2020 do 2.4.2020 (31 dní). Výber časového intervalu ovplyvnilo vedomie, že v danom časovom rozmedzí neboli nariadené obmedzenia ako zákaz vychádzania, nosenie rúšok/respirátorov, či dodržiavanie rozostupov, ktoré by mohli výsledky experimentov skresľovať.

Výber takéhoto časového intervalu nám teda umožnil porovnať reálnu situáciu kedy sa vírus voľne šíril so simulovanou situáciou kde sa vírus voľne šíri no určitá časť populácie je proti vírusu zaočkovaná a je možné pozorovať vplyv očkovania na šírenie vírusu.

Spomínané konštanty (***a*** a ***b***) a vzorce sme upravili tak, aby odpovedali šíreniu vírusu Covid-19. Konštantu ***a***(rýchlosť prenosu) má hodnotu 0,267 a hodnota konštanty ***b***(rýchlosť uzdravenia) je 1/54. Pre zaočkovaných ľudí je parameter ***a*** upravený na hodnotu ***a*\*0.813** [5], ktorý reprezentuje zvýšenie imunity.

Počiatočný počet infikovaných bol v simulácii nastavený na 5 ľudí (počet infikovaných v ČR zo dňa 3.3.2020) a počet celkovej populácie je zhodný s počtom obyvateľov Českej Republiky[6] (10 700 000).

## 4 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou experimentov bola validácia epidemiologického modelu SIR a následné sledovanie vplyvu očkovania s rôznym percentom zaočkovanej populácie a teda aj dokázanie priaznivého vplyvu očkovania proti vírusu Covid-19. Simulované boli situácie 0%, 50%, 80% a 100% zaočkovanosti celkovej populácie ČR.

### 4.1 Použitie simulačného programu

**make** – preloženie programu

**make run** – spustenie programu s 0% zaočkovanosťou

**make vacc50** – spustenie programu s 50% zaočkovanosťou

**make vacc80** – spustenie programu s 80% zaočkovanosťou

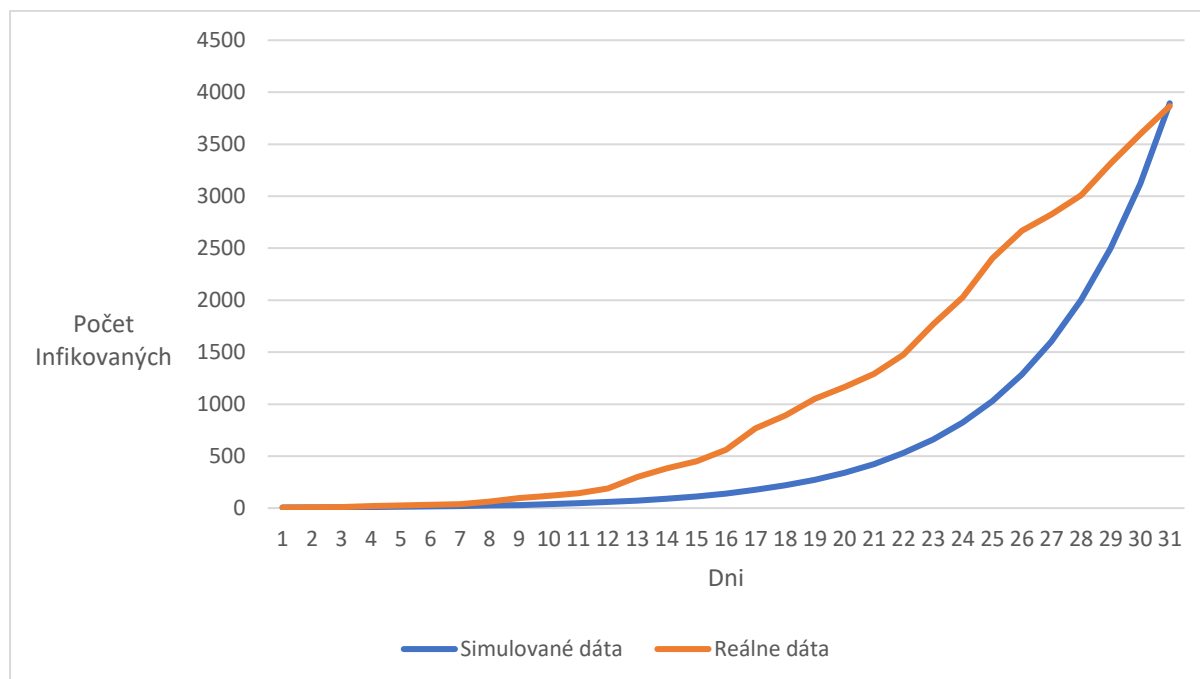
**make vacc100** – spustenie programu s 100% zaočkovanosťou

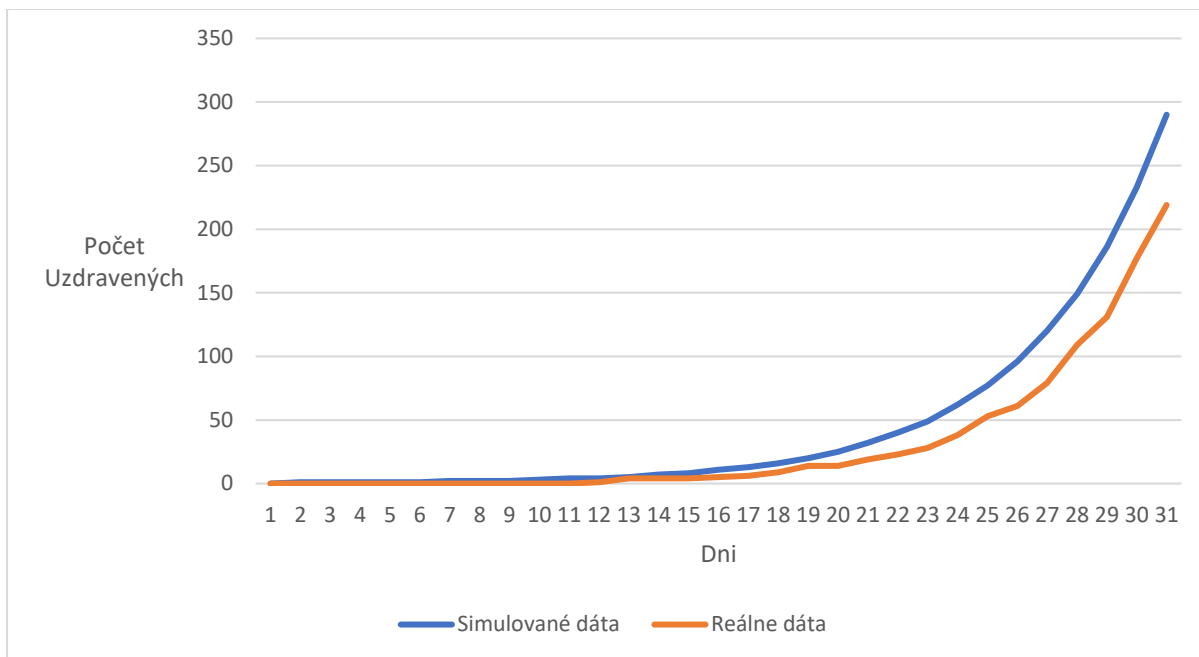
**make clean** – odstránenie súborov vytvorených pri preložení programu

Pri spustení jednotlivých simulácií sa vytvorí súbor `output.csv` kam sa uložia výsledky simulácie.

### 4.2 Experiment 1

Prvý experiment slúžil na validáciu modelu. Model bol pustený s 0% zastúpením očkovaných po dobu 31 dní a následne porovnávaný s grafom nárastu infikovaných v Českej Republike v časovom rozmedzí 3.3.2020 - 2.4.2020 (31 dní). Menšie odchýlky v grafoch boli spôsobené jednoduchosťou modelu SIR. Na základe ich podobností sme prehlásili model za validný.





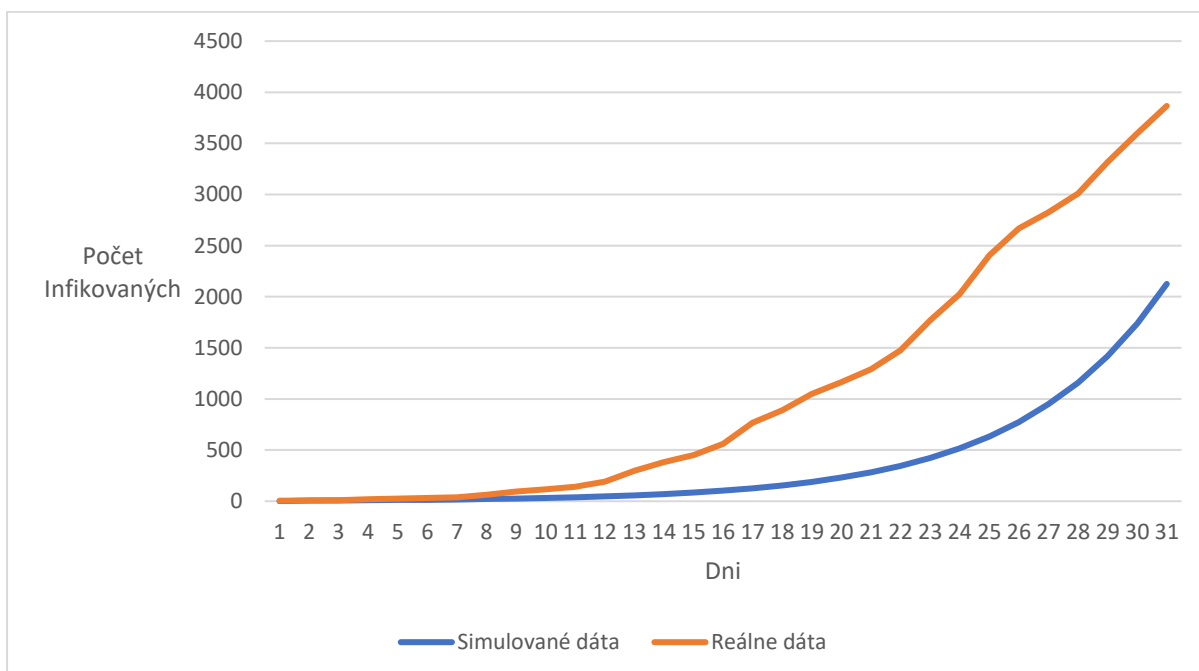
### 4.3 Experiment 2

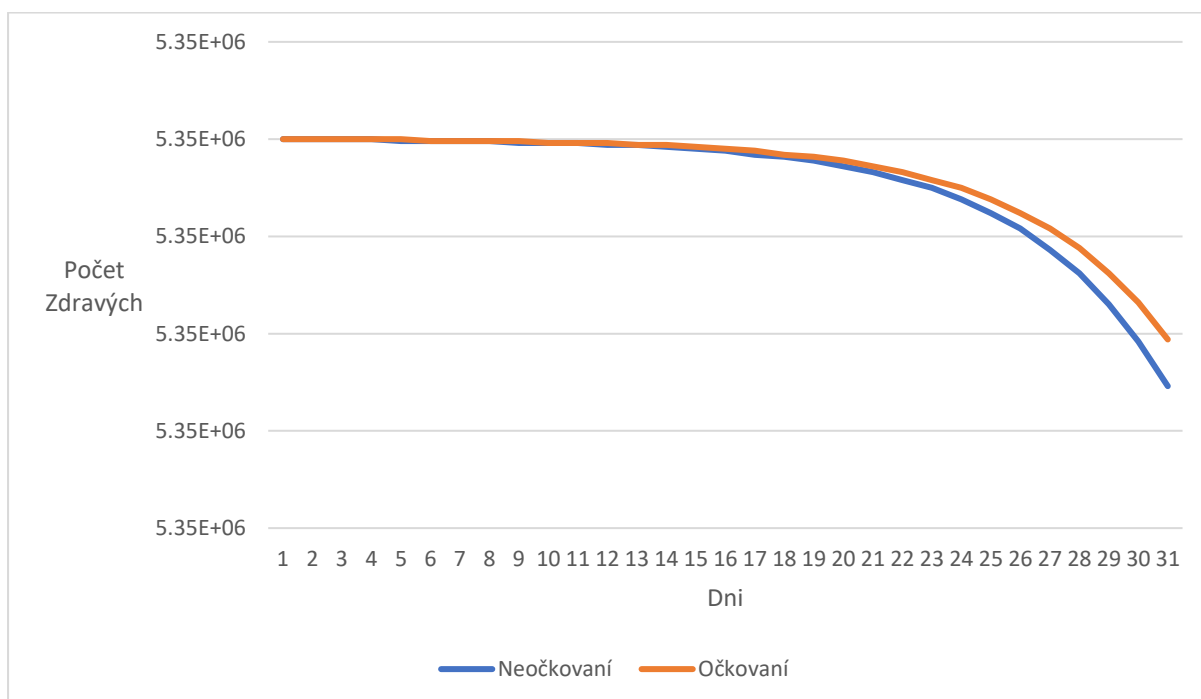
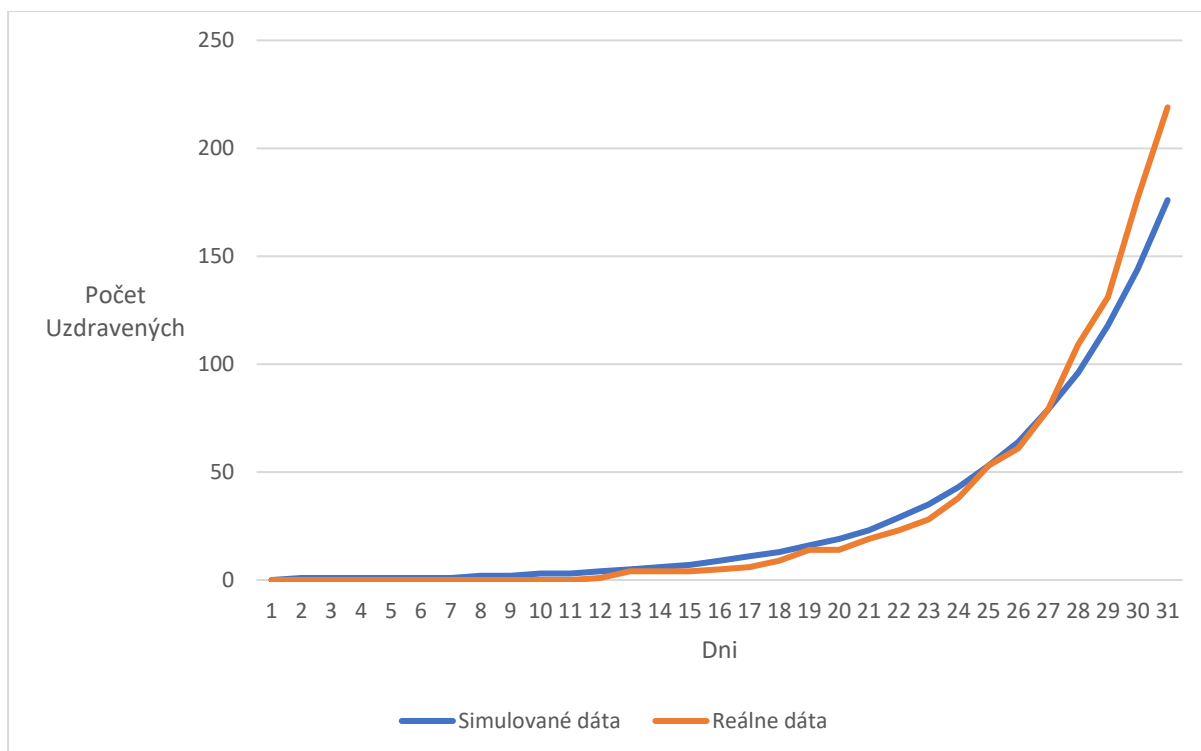
Počas tohto experimentu bol model spúšťaný tak, aby simuloval 50% zaočkovanosť v Českej Republike v rovnakom časovom rozmedzí ako prvý experiment.

Na prvom grafe môžeme pozorovať ako simulovaný počet infikovaných klesol takmer o polovicu oproti predchádzajúcemu experimentu.

V druhom grafe možno vidieť ako počet simulovaných uzdravených klesol pod krivku reálnych uzdravených čo bolo spôsobené nižším počtom simulovaných infikovaných a teda bolo aj menej ľudí s potrebou liečiť sa.

V treťom grafe možno vidieť porovnanie simulovaných zdravého zaočkovaného percenta populácie a zdravého nezaočkovaného percenta populácie. Graf naplnil očakávania a potvrdil, že počet nezaočkovaných ľudí klesá rýchlejšie ako počet zaočkovaných, ktorí vďaka vakcíne získali voči Covid-19 lepšiu imunitu.

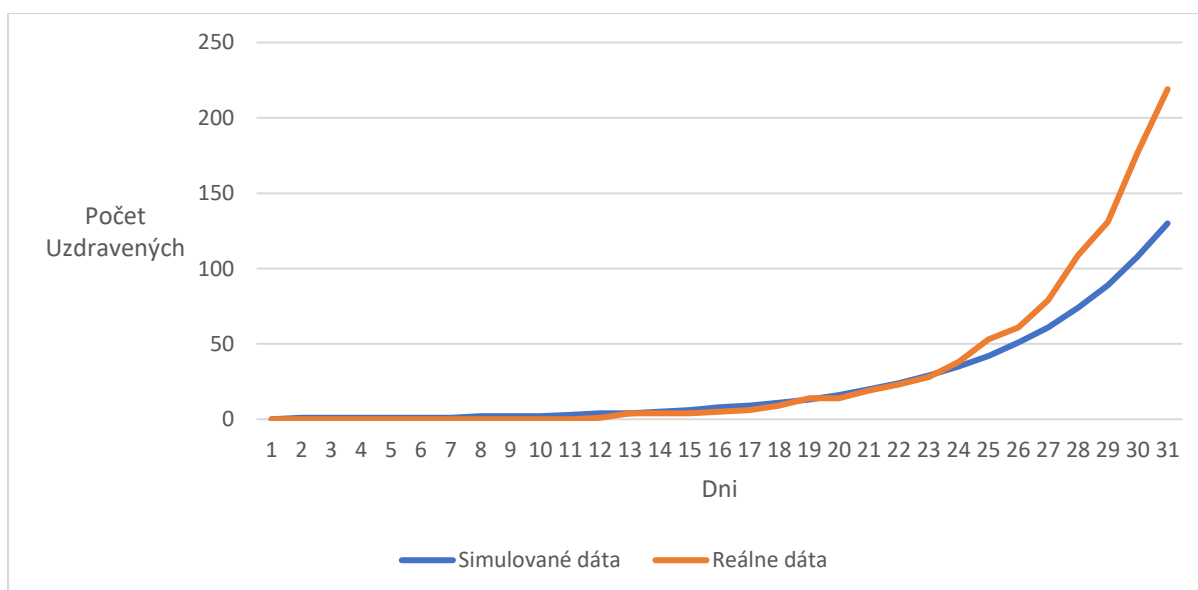
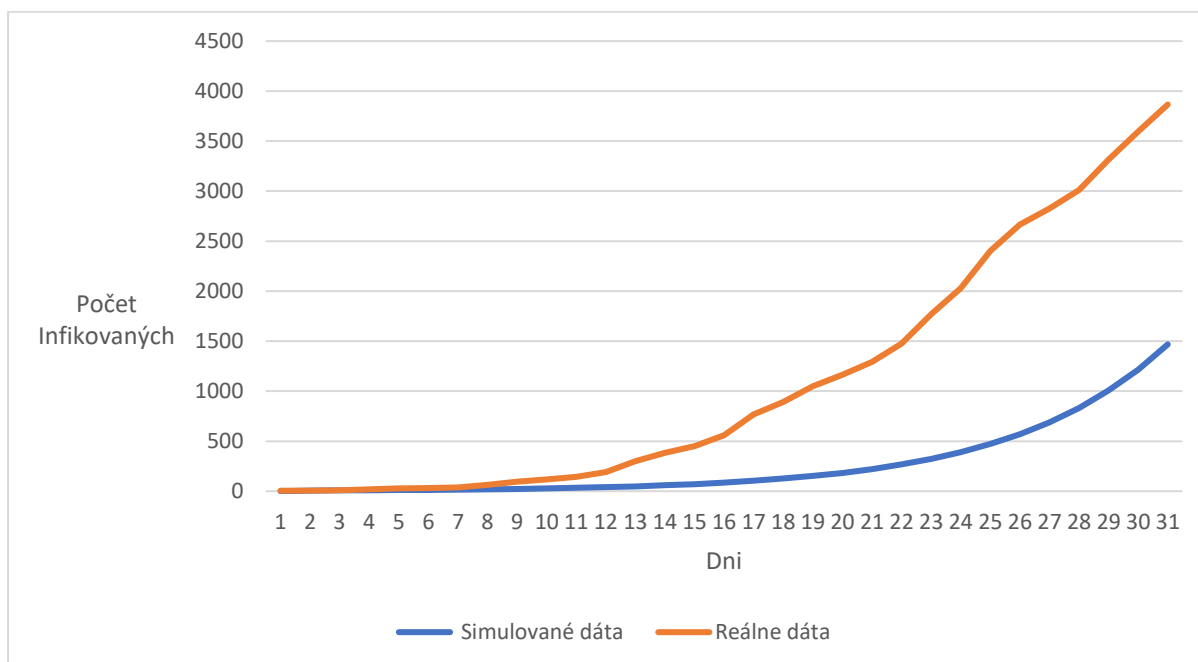






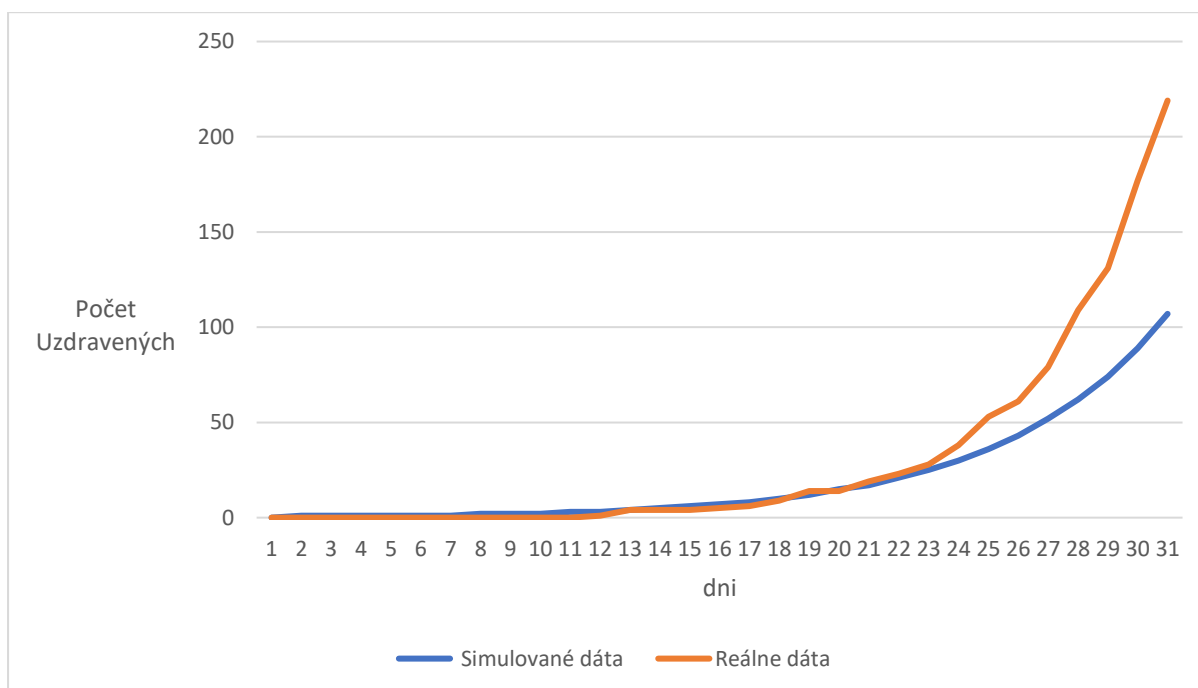
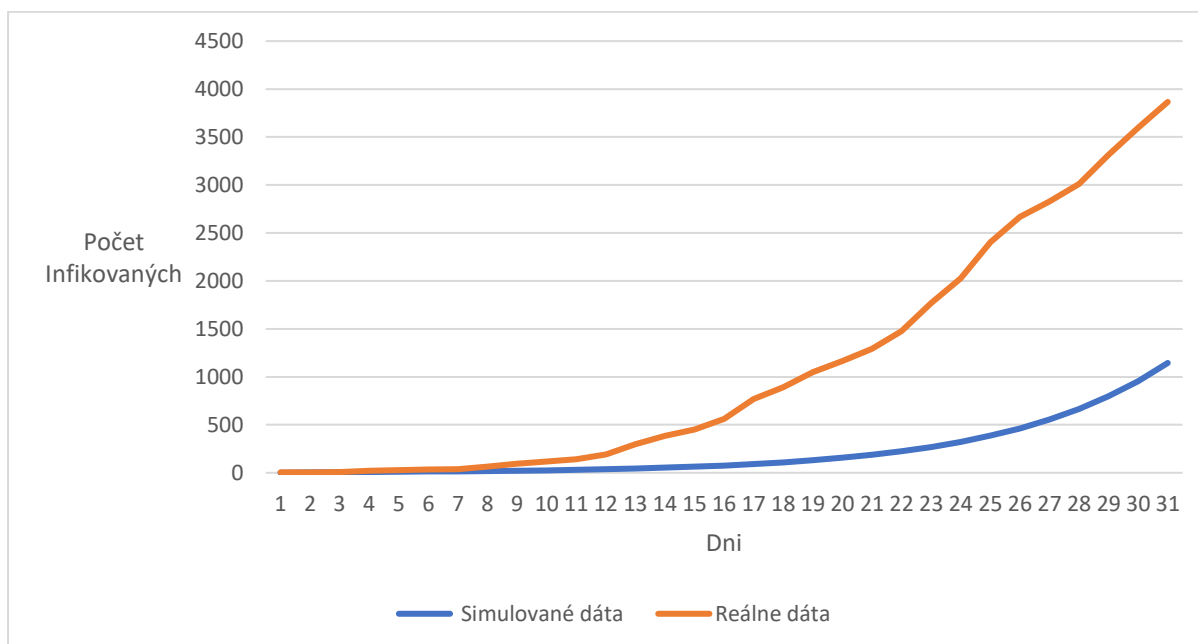
#### 4.4 Experiment 3

Počas tohto experimentu bol model spúšťaný tak, aby simuloval 80% zaočkovanosť.



## 4.5 Experiment 4

Počas tohto experimentu bol model spúšťaný tak, aby simuloval 100% zaočkovanosť.



## 5 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Prvý experiment dokázal validitu modelu. Pomocou druhého experimentu sa podarilo preukázať, že pri 50% zaočkovaní populácie by sa nakazilo o 45% menej obyvateľov. Tretí experiment dokázal pokles nakazených o 62% pri zaočkovaní 80% celkovej populácie ČR. Štvrtý experiment vykazuje 70% pokles nakazených pri simulácii zaočkovania 100% populácie.

Na základe experimentov sa nám podarilo dokázať validitu epidemického SIR modelu.

Pomocou modelu sa nám neskôr podarilo dokázať stanovenú hypotézu, že očkovanie hrá vysokú rolu pri šírení vírusu Covid-19.

## 6 Zdroje

- [1] Petr Peringer a Martin Hrubý. "Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně". V: (20. září 2021) [vid. 12-12-2021].  
URL: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] Cooper I., Mondal A., Antonopoulos C.G. A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities. Chaos, Solitons & Fractals. 2020;139(110057)  
doi: 10.1016/j.chaos.2020.110057. [vid. 12-12-2021]
- [3] Covid statistika url: <https://www.idnes.cz/koronavirus/statistiky> [vid. 12-12-2021]
- [4] Covid statistika url: <https://news.google.com/covid19/map?hl=sk&mid=%2Fm%2F01mjQ&gl=SK&ceid=SK%3Ask&state=1> [vid. 12-12-2021]
- [5] The Wellcome Centre for Human Neuroimaging, UCL Queen Square Institute of Neurology, London, UK, Long-term forecasting of the COVID-19 epidemic  
url: [https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/covid-19/forecasting/forecasting\\_091121.pdf](https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/covid-19/forecasting/forecasting_091121.pdf)  
[vid. 12-12-2021]
- [6] Počet obyvateľov ČR, url: [https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo\\_lide](https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide) [vid. 12-12-2021]