

Vplyv očkovania na epidémiu COVID

Peter Vaňo, xvanop01

Jakub Duda, xdudaj02

12.12.2021, Vysoké učení v Brně, Fakulta Informačních Technologí

1 Úvod

V tejto práci je riešená implementácia simulátoru epidémie COVID-19, vzhľadom na zaočkovanosť populácie. Na základe modelu a simulačných experimentov, budú ukázané na vplyvy očkovania na rôznych vzorkách populácie. Pre vytvorenie modelu^[1] - slide 7 bolo potrebné naštudovať rôzne štatistiky vývoja aktuálneho vývoja epidémie ako aj štúdie sledujúce vývoj na zaočkovaných a nezaočkovaných skupinách.

1.1 Zdroje informácií

Pre náš projekt sme využívali už spracované zdroje odborníkmi zverejnené na štátnych stránkach a v situačných správach *World Health Organization* (WHO). Niektoré parametre ovplyvňujúce vývoj epidémie, ktoré sme na týchto stránkach nenašli, sme hľadali na iných stránkach, kde sme si potom overili, či nie sú v rozpore s realitou a už overenými faktami a či majú približne očakávané hodnoty na základe našich vlastných odhadov.

1.2 Validita modelu^[1] – slide 37

Validitu nášho modelu sme experimentálne overovali na predchádzajúcich vlnách a ich výsledkoch, s parametrami, ktoré sme získali a s informáciami, ktoré boli známe pred samotnou vlnou. Výsledky nášho modelu sme nakoniec porovnávali s reálnymi štatistikami na konci vlny.

2 Rozbor témy

Na základe naštudovaných štatistík sme ako podstatné údaje o epidémii identifikovali nasledovné:

Zo situačných správ WHO^[2] – zníženie rizika zaočkovaného človeka na nakazenie 43%, zníženie rizika zaočkovaného človeka na ťažký priebeh 85%, zníženie rizika zaočkovaného človeka na smrť 96%. Riziká sme spriemerovali zo štúdií uvedených v týždennej epidemiologickej správe z 19. až 30. novembra 2021 pre skupiny zaočkované 2 dávkami (ukončené očkovanie)

Zo stránok Ministerstva zdravotníctva ČR^[3] a ^[4] (MZČR) – kapacita nemocníc 29669, ťažký priebeh celkovo 4,8% nakazených, celkovo 1,5% prípadov končí smrťou, 60% zaočkovanosť populácie.

Z BOZP.cz^[5] – efektivita respirátoru FFP2 je 95%. Síce podľa platných nariadení sa má nosiť respirátor FFP3, no niektorí ľudia ho nosia zle nasadený, alebo stále používajú iba rúška. Preto sme sa rozhodli používať triedu FFP2.

Zo Seznam zprávy^[6] – Reprodukčné čísla sa drží väčšinu času medzi 0,5 a 1,2, počas vlny však môže vyskočiť aj na vyššie čísla (12.3.2021 malo hodnotu 3,0). Reprodukčné číslo znamená, koľko ďalších ľudí v priemere nakazí jeden infikovaný.

Zo stránok Českého štatistického úradu^[7] – Priemerne sa v Českej republike narodí 302 detí každý deň. Tieto deti v určitom veku dospejú do štádia, že sa začnú pohybovať medzi ostatnou

populáciou a tak sa stanú relevantné pre šírenie vírusu. Preto sme sa rozhodli nezanedbať tento vplyv.

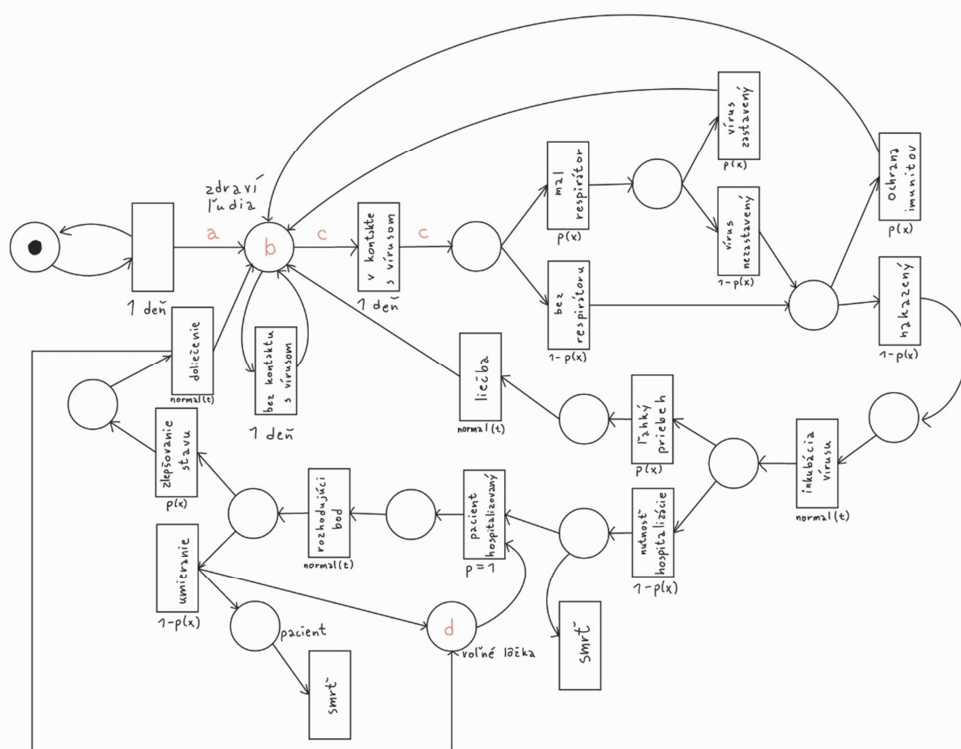
2.1 Použité postupy

Modelovaním^{[1] slide 8} sme vytvorili model, ktorý je inšpirovaný Petriho sieťami^{[1] slide 123}. Pri modelovaní sme používali postupy uvedené pri modeli Petriho sietí z prezentácií kurzu IMS^[1] na VUT FIT. Rozdiel je v používaní dynamických pravdepodobností a obmedzením počtu prechodov za čas. Vzniknutý model reprezentuje diskretný systém^{[1] slide 32}. Simulačný model^{[1] slide 44} sme vytvorili pomocou jazyka C++. Zvolený jazyk má výhodu v prenositeľnosti a v možnosti používania objektového programovania, ktorým vieme jednoduchšie vyrobiť simulačný model z modelu abstraktného. Zároveň však aj nenarazíme na príliš zložité a zbytočne ťažkopádne veci.

2.2 Popis pôvodu použitých metód a technológií

V projekte boli použité štandardné a nami vytvorené triedy a funkcie jazyka C++, podľa štandardu C++11. Nami vytvorené súčasti sú len popisanie abstraktného modelu, ktoré sú pre neho špecifické. Nevytvárali sme nič, čo by už vytvorené bolo. Pre preklad aplikácie sme použili GNU make^[8] a pre ich dokumentovanie Doxygen^[9].

3 Koncept modelu



obr. 1 – Vizualizácia modelu

Pri vytváraní nášho konceptu sme sa zamýšľali, ktoré aspekty reality ako takej ovplyvňujú vývoj epidémie a ktoré aspekty epidémie sú závislé, respektíve sa menia, na základe zaočkovanosti populácie. Z tohto rozboru nám vyplynuli faktory, ktoré bolo potrebné namodelovať. Vývoj pandémie, sa deje síce v spojitom čase^{[1] slide 22}, no štatistiky sa aktualizujú raz za deň (MZČR), alebo raz za týždeň (WHO) a tak sme sa rozhodli pre diskretný model^{[1] slide 32}. Keď sa zdravý človek stretne s nakazeným, môžu ho pred chorobou ochrániť vonkajšie (symbolizované v našom

modeli respirátorom) a vnútorné vplyvy (symbolizované v našom modeli imunitou). Aj napriek existencii iných vplyvov v týchto skupinách, v našom modeli sa nachádza len jedna reprezentácia pre obe skupiny, za ktorú si však je možné dosadiť spriemerované parametre celej skupiny a tak na validitu modelu to má malý, až zanedbateľný vplyv. Ak sa osoba nakazila, nastáva čas, kedy je vírus v inkubačnom štádiu. Takéhoto človeka označujeme ako infikovaného, ale nie infekčného, keďže ešte vírus neprenáša. Pre získanie doby trvania tejto fázy sme použili normálne rozdelenie^{[1] slide 93} so stredom v priemernej dobe inkubácie vírusu. Po skončení inkubácie sa náhodne rozhodne, či bude mať nakazený ľahký, alebo ťažký priebeh (a teda či bude potrebovať aj hospitalizáciu). V tomto momente sa stáva pacient už aj infekčným a môže nakaziť ďalších ľudí. Túto skutočnosť náš model implementuje zapracovaním reprodukčného čísla, ktoré sa náhodne vyberie rovnomerným rozdelením^{[1] slide 89} každý deň a na základe ktorého sa vypočíta nový počet ľudí, ktorý prišli do kontaktu s vírusom. Ak mal nakazený ľahký priebeh, čaká ho liečba, ktorej doba sa zas vyberie normálnym rozdelením. V prípade ťažkého priebehu choroby, sa pacient pokúsi byť hospitalizovaný, ak však je kapacita nemocníc naplnená, tak mu nie je poskytnutá potrebná starostlivosť a pacient umiera. Ak však kapacita voľná je, pacient je hospitalizovaný a začne mu plynúť čas (vybratý normálnym rozdelením) do rozhodujúceho bodu. Keď sa do neho dostane, rozhodne sa či pacient sa vyzdravie (stav sa mu začne zlepšovať), alebo či umrie. Ak sa mu stav zlepšuje, po niekoľkých dňoch (vybraté normálnym rozdelením) je prepustený zdravý z nemocnice.

3.1 Popis konceptuálneho modelu

Model (obr. 1) sa skladá z 3 častí. Prvá je správanie zdravej populácie, kde sa nachádza generátor novej populácie (deti, ktoré dospejú do veku, kedy sa začnú pohybovať medzi zvyškom populácie). Výstupom generátoru je *a*, pričom toto číslo je náhodne vybrané nanovo každý deň (náhodným rozdelením). Miesto s písmenom *b* reprezentuje zdravých ľudí, kde sa na začiatku simulácie^{[1] slide 8} doplní odpovedajúci počet procesov^{[1] slide 121}. Práve jedenkrát za deň sa vykoná prechod^{[1] slide 124} s písmenom *c*, zvyšný ľudia prejdú prechodom „bez kontaktu s vírusom“. Všetci, čo sa dostali do kontaktu s vírusom, sa dostávajú do druhej časti, kde sa postupne prechádza rôznymi pravdepodobnosťami, či je daný jedinec ochránený pred vírusom, alebo sa stane nakazeným. V tretej časti sa sledujú nakazení. Najprv sa rozhodne o priebehu ich choroby, pričom sa buď liečia sami, alebo sa pokúsia byť hospitalizovaní. Hospitalizácia je modelovaná ako obslužná linka^{[1] slide 146} s kapacitou *d*. Ak pacient potrebuje ísť do nemocnice, ale kapacita je vyčerpaná, pacient umiera. Počas liečby v nemocnici je rozhodujúci bod, ktorý určí, či pacient prežije, alebo umrie (uvoľní sa zasa 1 kapacita obslužnej linky). Ak prežije, pacient sa ešte určitú dobu lieči, potom uvoľní 1 kapacitu a vráti sa medzi zdravých ľudí. Takto vyliečený človek je určitú dobu imúnny a nemôže sa znova nakaziť.

3.2 Forma konceptuálneho modelu

Model je vizualizovaný pomocou Petriho siete (obr. 1), pričom má špeciálny prechod „v kontakte s vírusom“, ktorý sa vykoná práve raz každý deň. Pravdepodobnosti sú označované ako $p(x)$ a $1-p(x)$, keďže nikde sa nerozhoduje medzi 3 prechodmi. Časy sú vždy celé dni určené staticky, alebo vybraté pomocou normálneho rozdelenia.

4 Architektúra simulačného modelu

Náš simulačný model, sme vytvorili z 3 hlavných častí. Základom je súbor *main.cpp*, ktorý riadi celú simuláciu a stará sa o réžiu programu. Obsahuje slučku, ktorá reprezentuje simulačný krok a nastavuje hranice reprodukčného čísla vírusu.

Zdravý ľudia a ľudia, čo prišli do styku s vírusom, sú implementovaný druhou časťou, ktorá je v súboroch *src/Stats.cpp(h)* . Tam sa nachádza trieda *Stats* , ktorá si pamätá zároveň aj všetky podstatné parametre simulácie, ako aj aktuálne štatistické hodnoty. Pre sledovanie nakazených a ich stavu v modeli, využíva táto trieda triedu *Positive_human* .

Treťou a zároveň poslednou časťou sú súbory *src/Positive_human.cpp(h)* . Tieto súbory implementujú vyššie spomínanú triedu *Positive_human* , ktorej inštancie reprezentujú už nakazených ľudí.

V tomto odseku bude vysvetlený postup programu. Na začiatku dňa sa spracujú imúnny ľudia a zistí sa , kto je ešte ako dlho imúnny. Ak nebolo definované parametrom, koľko ľudí nosí masku, vypočíta sa percento pre nový deň. Následne sa vypočíta na základe reprodukčného čísla počet ľudí, ktorý prišli do kontaktu s vírusom. Tento počet sa okreše o tých, ktorých ochránil respirátor, alebo ich imunitný systém. Tieto pravdepodobnosti sú rôzne pre zaočkovaných a nezaočkovaných. Podľa nového čísla nakazených sa vytvoria nové prípady, ktoré sú reprezentované triedou *Positive_human* . Následne sa posúdi stav pacienta pomocou funkcie *Positive_human::next_day(unsigned int*)* . Táto funkcia zmení stav inštancie triedy podľa časti konceptuálneho modelu pre nakazených. Týmto sa deň skončí a na *std::cout* sa vytlačia nové štatistiky.

Pre zistenie vplyvu očkovanie, nie je potrebné zisťovať kedy a aká nová vlna príde, ale ako veľmi pomáha očkovanie pri tých istých profiloch vln. Preto sme sa rozhodli simulovať statické vlny pomocou zmeny reprodukčného čísla počas násobkov dní. Tento proces implementujeme pomocou porovnávania zvyškov po delení s nulou v simulačnej slučke v *main.cpp* .

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného

Prvá a druhá časť konceptuálneho modelu (správanie zdravej populácie a tých, čo sa stretli s vírusom) je mapovaná do triedy *Stats* , ktorá sa stará o zapamätanie stavu modelu a o jeho zmenu počas simulácie. Taktiež spravuje inštancie triedy *Positive_human* , ktorá si pamätá stav poslednej časti modelu (nakazení ľudia) a riadi ju.

4.2 Spustenie simulácie

Program je potrebné najprv preložiť pomocou *make* alebo *make all* . Toto vytvorí spustiteľnú aplikáciu pre príkazový riadok, ktorú je možné následne spustiť pomocou *make run [ARGS='[PARAMETER ARGUMENT]']*, pričom *ARGS* je nepovinné, ak sa nepoužívajú parametre a *[PARAMETER ARGUMENT]* je postupnosť prepínačov a hodnôt, ak sú vyžadované. Zoznam všetkých prepínačov je možné získať spustením programu *make run ARGS='-h'* . Toto napíše pomocnú správu, kde sú vymenované aj s krátkym popisom. Ďalšie možnosti príkazu *make* sú napísané v súbore *README* .

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Našimi experimentami chceme vyhodnotiť vplyv zaočkovanosti populácie na vývoj pandémie COVIDu, avšak našim cieľom nie je predpovedať samotný vývoj pandémie. Preto v našich experimentoch porovnávame zakaždým spriemerované simulácie, kde sa v parametroch líši len percento zaočkovanosti populácie. V grafoch sa nachádza krivka *immune*, ktorá znázorňuje len ľudí, ktorý nadobudli imunitu prekonaním COVIDu (nie očkovaním).

5.1 Postup experimentovania

V každom experimente sme spustili simuláciu s tými istými parametrami niekoľko krát. Následne sme výsledky spriemerovali a vyhodnocovali. Pracujeme s preto s desatinnými číslami, od čoho sme sa odosobnili, aj keď to je trochu morbidné (1,3 človeka a podobne).

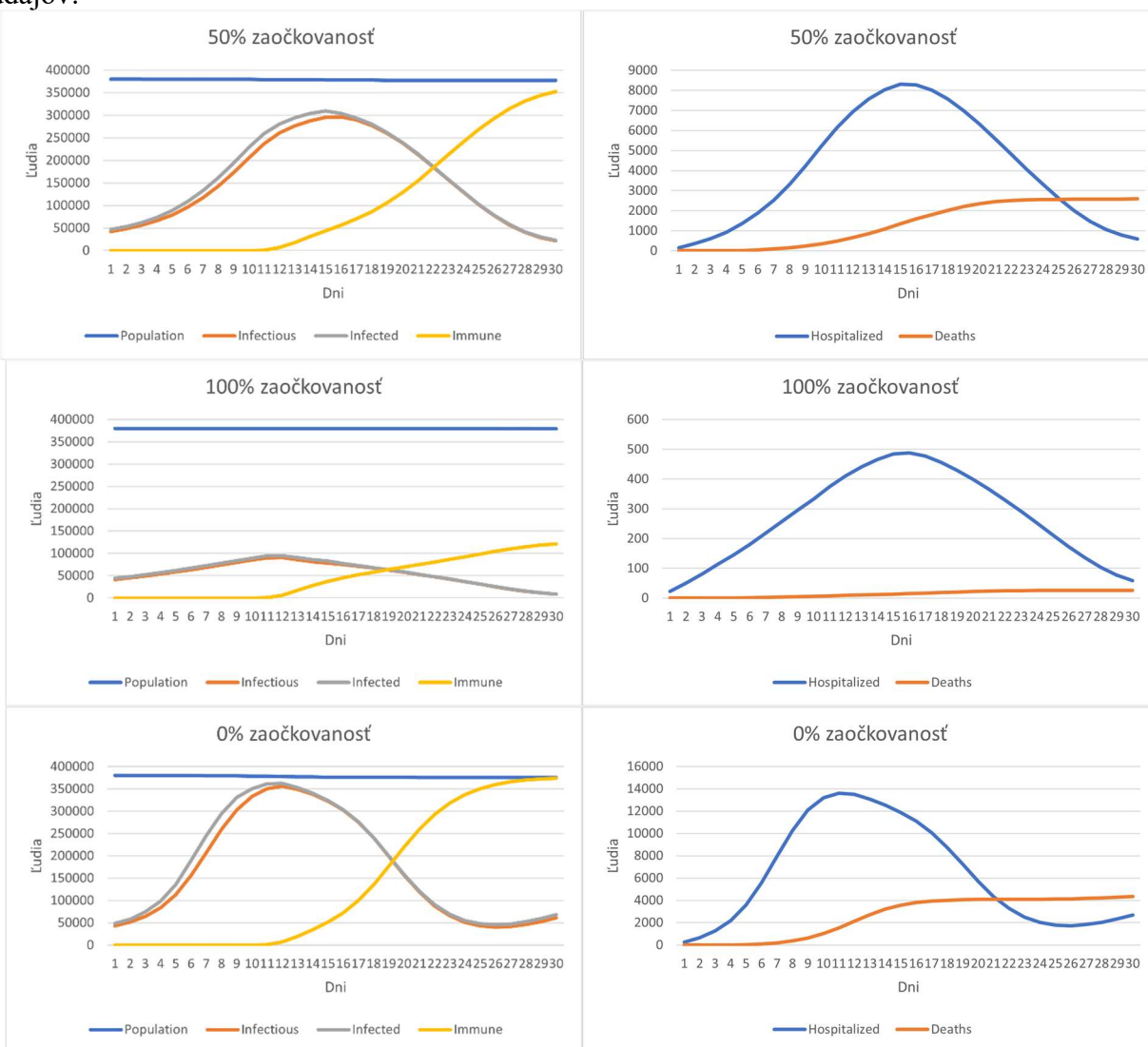
5.2 Experimenty

5.2.1 Experiment 1

V prvom experimente sme spúšťali simulácie pre 3 stupne zaočkovanosti (0%, 50% a 100%). Dĺžka simulácie bola 30 dní a simulovali sme mesto o veľkosti Brna, s kapacitou nemocníc rovnou celej ČR. Počiatočný počet nakazených bol rovný 10% populácie. Pre každý stupeň sme simuláciu pustili 50x a výsledky sme spriemerovali. Program sme spustili nasledovným príkazom:

```
make run ARGS='-d 30 -p 380000 -i 38000 -n 0 -v [0 | 0.5 | 1]'
```

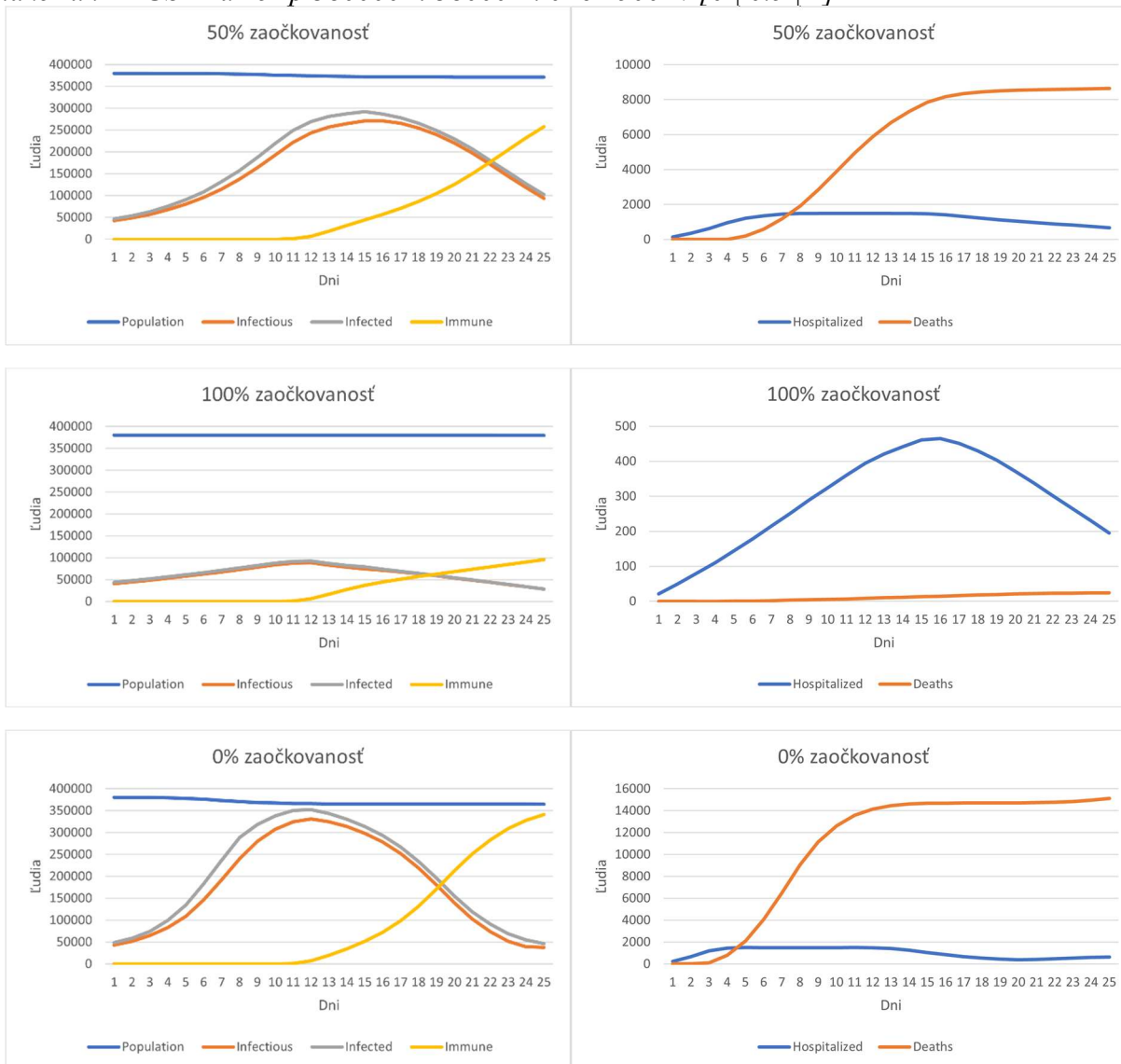
Spriemerované tabuľky sú medzi prílohami – Tabuľka 1, Tabuľka 2, Tabuľka 3. Grafy týchto údajov:



Ako môžeme vidieť nezaočkovaná populácia robí omnoho strmšiu a vyššiu vlnu. Taktiež sa zaočkovanosť ukázala na počte smrť. Na druhej strane, medzi populáciou sa vyvinula omnoho lepšia imunita.

5.2.2 Experiment 2

V tomto experimente sme skúmali vplyv zaočkovanosti v malom meste, pri menšej kapacite zdravotníckych zariadení. Čas simulácie bol 25 dní, simulácie spadali znova pod 3 kategórie zaočkovanosti (0%, 50% a 100%). Simulácia každej kategórie bola pustená 50-krát. Spriemerované hodnoty sú v tabulkách 4, 5 a 6. Simulácie boli spúšťané nasledovným príkazom: *make run ARGS='-d 25 -p 380000 -i 38000 -n 0 -c 1500 -v [0 | 0.5 | 1]'*

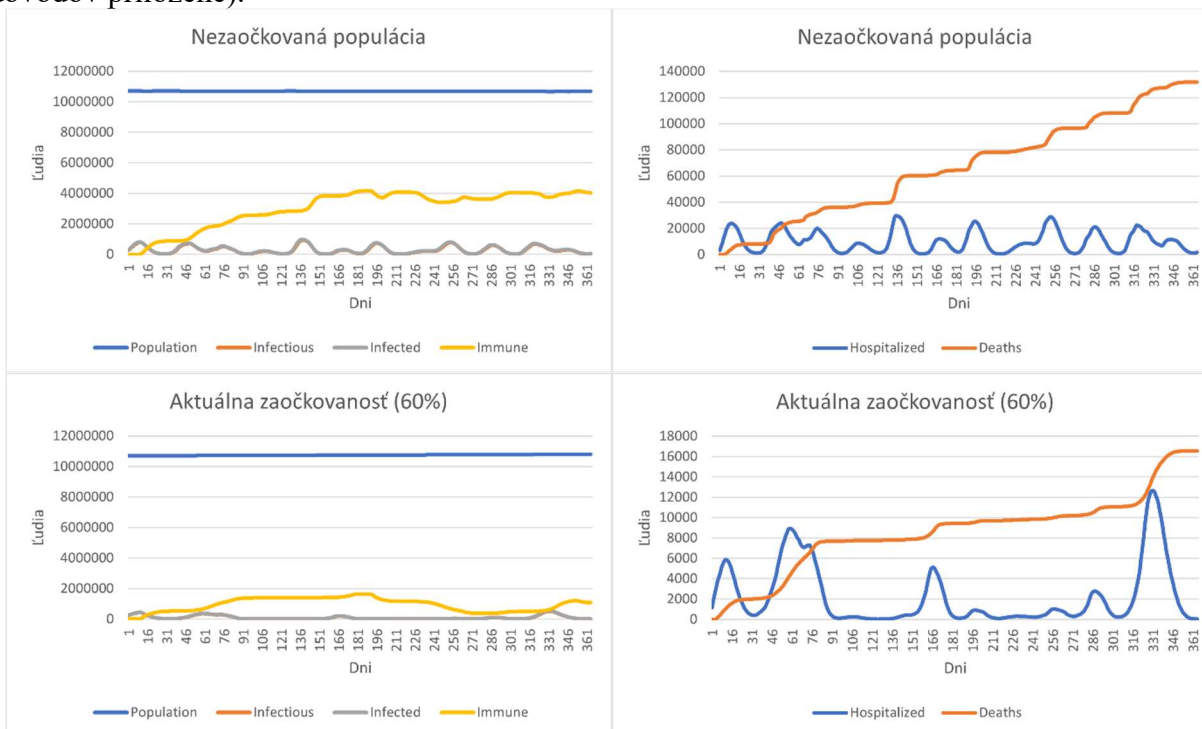


Ako môžeme vidieť, táto simulácia ukázala riziko nedostatočnej kapacity nemocníc. Toto sme mohli vidieť niektorých v krajinách počas prvej vlny. Veľa ľudí umrelo, lebo im nebola poskytnutá zdravotná pomoc. Už 50% zaočkovanosť však znížila počet mŕtvych, tým že rozťahla

vlnu viacej do šírky a tým aj znížila námahu na zdravotnícke zariadenia. Na tomto príklade pekne vidno význam čo i len 50% zaočkovanosť populácie.

5.2.3 Experiment 3

V tomto experimente sa zaoberáme fiktívnym vývojom z aktuálnej situácie v ČR. Budeme porovnávať vývoj bez očkovania (0%) a s aktuálnym stavom očkovania (60%). Obidva scenáre sme simulovali 4-krát a následne sme spriemerovali hodnoty (tabuľky nie sú z veľkostných dôvodov priložené).



V tomto experimente sme simulovali obdobie jedného roka so zmenou reprodukčného čísla. Zaočkovanosť 60% pomohla v tomto prípade za rok znížiť počet úmrtí skoro na 1/10. Niektoré vlny dokonca ani nenastali vďaka nej.

5.3 Záver experimentov

Boli spravené 2 experimenty na populácii mesta o veľkosti Brna s rôznym pomerom zaočkovanej populácie a 1 experiment na populácii ČR s aktuálnymi štatistikami o ochorení COVID-19. Tieto experimenty mali očakávaný výsledok, ktorý sme mohli vidieť aj vo svete. Toto podporuje validitu nášho modelu – počas experimentovania sme nenarazili na žiadnu chybu. Z experimentov vieme odvodiť vplyv očkovania na vývoj epidémie COVIDu. Ešte stále by sme vedeli zvyšovať presnosť zisteného vplyvu púšťaním simulácie s ďalšími parametrami.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Simulačnými experimentami bola dokázaná validita modelu zisťujúceho vplyv očkovania. Pri správnom nastavení parametrov programu, bolo možné simulovať historický priebeh reálnej pandémie, no keďže tá je ovplyvnená zodpovednosťou ľudí, je ťažké tieto parametre vopred

odhadnúť pre simuláciu vývoja epidémie ako takej. Ak sa to však podarí systém sa správa analogicky k realite.

Vďaka simulačným experimentom sme mohli vidieť, že očkovanie naozaj zachraňuje životy a preto by sme sa ho nemali báť. Pomáhame tým nie len sebe, ale aj zachraňujeme druhých, keďže nemocnice nie sú preplnené.

V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý dokáže simulovať časť epidémie COVID-19 na vybranej vzorke obyvateľstva a zmenu vývoja pri zmene niektorých parametrov simulácie. Nástroj vychádza zo známych údajov o víruse a z historických a nových štatistík. Implementovaný je v jazyku C++ za použitia jeho štandardných knihoovní.

7 Zdroje a reference

- [1] *Modelování a simulace: přednášky* [online]. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta informačních technologií, 2021 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf&cid=14664>
- [2] World Health Organization: Situation reports. *WHO* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>
- [3] COVID-19. *Onemocnění aktuálně* [online]. Ministerstvo zdravotnictví České republiky [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://onemocneni-aktualne.mzcr.cz/covid-19>
- [4] COVID-19: Kapacity lůžkové péče. *Onemocnění aktuálně* [online]. Ministerstvo zdravotnictví České republiky [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://onemocneni-aktualne.mzcr.cz/kapacity-luzkove-pece>
- [5] Rozdíly mezi respirátory s filtrační třídou ochrany FFP1, FFP2 a FFP3. *BOZP.cz* [online]. 13.11.2020 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/respiratory-filtracni-tridy-ffp/>
- [6] Jaký je vývoj reprodukčního čísla R. *Seznam zprávy* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/reprodukcni-cislo-r-145111>
- [7] Aktuální populační vývoj v kostce. *Český Statistický Úřad* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/aktualni-populacni-vyvoj-v-kostce>
- [8] *GNU make* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/make/manual/make.html>
- [9] *Doxygen* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.doxygen.nl/index.html>

8 Prílohy

8.1 Tabuľka 1 – Experiment 1 – 50% zaočkovanosť

Day	Population	Infectious	Infected	Hospitalized	Immune	Deaths
0	380000	42322,96	46671,84	143,68	0	0
1	380000	48570,44	53272	352,74	0	0
2	380000	56293,92	61848,58	606,08	0	0,02
3	379999	66098,88	73502,38	928,8	0	1,36
4	379989,2	79149,48	89052,78	1353,4	0	11,34
5	379959,2	96053,86	108795,8	1881,5	0	41,5
6	379907,7	117188,4	132928,9	2531,54	0	92,94
7	379844,4	142907,2	161948,1	3320,58	0,02	156,26
8	379761,7	172481,2	193975,3	4224,32	1,36	239,04
9	379657,4	205415,3	229124,8	5211,64	62,06	343,04
10	379520,3	236927,5	259158,6	6154,24	1040,88	479,84
11	379349,7	261038,2	280987,4	6945,46	6656,58	650,34
12	379145,4	276351,7	294615,1	7566,86	18286,34	854,76
13	378912,3	287646,3	304076,6	8023,94	31194,08	1087,7
14	378661,8	295748,2	309312	8302,54	43575,56	1338,2
15	378415,7	296478,2	304101,6	8279,74	56120,3	1584,4
16	378190,1	290021,8	294187	8014,56	69965,3	1809,94
17	377983	277727,3	280268,7	7567,16	86135,02	2017,14
18	377801,9	260552,4	262183,7	6993,1	105410,8	2198,42
19	377654,4	238968,9	240140,8	6317,88	128194,9	2345,86
20	377553,1	213669,2	214716,2	5589,82	154357,5	2447,5
21	377497,2	185762,3	186696,8	4828,38	182970,8	2503,46
22	377467,3	156966,5	157817,7	4060,7	212371,6	2533,48
23	377449,4	128659,2	129429,6	3327,08	241169,6	2550,96
24	377439,3	101771,8	102553,1	2630,22	268528,1	2561
25	377432,3	77295,74	78137,94	2001,4	293526,6	2568,16
26	377427,1	56578,18	57569,14	1470,16	314944,7	2573,5
27	377422,5	40631,84	41689,72	1059,8	331718,8	2578,22
28	377418,8	29272,32	30340,18	773,08	343967,8	2582,46
29	377414,9	21681,48	22829,38	582,54	352524	2586,14

8.2 Tabuľka 2 – Experiment 1 – 100% zaočkovanosť

0	380000	41208,46	44447,26	22,78	0	0
1	379999,9	45118,64	47875,46	50,4	0	0
2	379999,7	49337,94	52234,9	80,98	0	0
3	379999,7	53690	56764,78	113,68	0	0,04
4	379999,5	58366,62	61680,22	145,64	0	0,24
5	379998,4	63341	66857,08	180,82	0	1,12

6	379997,4	68671,7	72455,1	218,68	0	2,16
7	379996,1	74100,14	77906,48	257,32	0	3,32
8	379994,8	79543,38	83292,18	294,98	1,22	4,66
9	379993,8	85063,44	88991,22	333,5	59,32	5,82
10	379992,3	90043,56	94268,12	373,54	995,32	7,38
11	379991	90709,62	94865,5	410,4	6304,96	8,86
12	379989,4	86137,38	90440,74	441,04	16986,9	10,5
13	379988,3	81193,52	85515,24	465,34	28061,4	11,9
14	379986,9	78027,68	82412,32	483,86	37431,78	13,3
15	379985,2	74802,64	77469,6	488,1	45188,2	14,98
16	379983,3	71097,34	72858,28	477	51885,12	16,58
17	379981,5	66961,08	68202,38	456,7	57979,8	18,3
18	379979,8	62436,5	63279,5	429,46	63786,88	20,36
19	379977,8	57587,34	58158,18	399,04	69446,02	22,24
20	379977	52609,86	53122,32	366,08	75044,18	23,32
21	379975,8	47455,94	47912,58	329,74	80713,02	24,28
22	379975,2	42103,3	42492,42	292,18	86493,48	24,88
23	379975	36565,78	36911,26	252,18	92378,8	25,46
24	379974,6	30881,96	31180,18	211,8	98345,66	25,62
25	379974,6	25114,9	25382,32	171,82	104342,4	25,8
26	379974,4	19666,68	19908,06	135,7	109978,4	25,9
27	379974,5	15032,9	15255,24	103,38	114765,3	26,1
28	379974,4	11340,28	11549,66	77,4	118589	26,32
29	379974,2	8536,38	8730,78	58,62	121501,7	26,44

8.3 Tabuľka 3 – Experiment 1 – 0% zaočkovanosť

Day	Population	Infectious	Infected	Hospitalized	Immune	Deaths
0	380000	43304,54	48619,88	254,94	0	0
1	379999,9	51715,02	58227,58	656,22	0	0
2	379999,8	64483,86	74353,98	1273,42	0	0,14
3	379996,7	83748,16	98913,16	2194,46	0	3,36
4	379976,5	112997,5	135866	3579,7	0	23,48
5	379915,3	155903,9	189368,5	5576,62	0	84,78
6	379801,2	207743,6	245567,1	7957,78	0	198,62
7	379627,6	259304,8	294313,9	10266,66	0	372,24
8	379367,6	302913,3	330778,3	12113,16	1,52	632,08
9	378985,3	333158	350819,8	13198,12	65,16	1014,32
10	378468,4	350861,9	361638,1	13599,44	1097,12	1530,92
11	377860,1	356000,6	362686,5	13499,06	6996,16	2139,38
12	377271,1	349331,4	353034,5	13079,62	19547,32	2728,4
13	376781,2	337641,9	340280	12532,68	34682,04	3218,24
14	376426,9	322549,9	324160,6	11886,76	51658,36	3572,26

15	376200,3	302564	303503,3	11095,02	72527,18	3798,66
16	376066,6	275334	275954,5	10067,78	100061,7	3932,22
17	375989,2	239923,8	240432,2	8753,96	135543	4009,5
18	375943,8	198834,8	199541,3	7241,78	176864,1	4054,82
19	375918,5	156800,7	158063,8	5713,56	219761,8	4080,26
20	375906,2	118731,5	120543	4347,84	259478,9	4092,78
21	375901	88191,64	90793,92	3267,92	292729,9	4097,86
22	375898	65753,38	68694,52	2500,76	318547,8	4100,66
23	375892,9	51322,76	55214,46	2022,26	337516,4	4105,62
24	375880,5	43413,42	47898,76	1782,72	350867	4118,34
25	375858,1	40629,74	45713,24	1731,78	360006,1	4140,82
26	375824,6	41800,42	47488,48	1829,64	366043,7	4174,46
27	375780,3	46133,18	52545,74	2039,68	369890,1	4218,76
28	375723,6	52931	59994,58	2338,46	372259,9	4275,38
29	375656,6	61049,46	68304,9	2681,28	373750,4	4342,52

8.4 Tabuľka 4 – Experiment 2 – 50% zaočkovanosť

Day	Population	Infectious	Infected	Hospitalized	Immune	Deaths
0	380000	42399,32	46814,48	147,46	0	0
1	380000,1	48652,82	53326,52	355,76	0	0
2	380000	56925,42	63062,64	631,84	0	0,1
3	379987,7	67440,44	75369,42	966,18	0	12,24
4	379803,5	80307,82	90438,4	1216,96	0	196,54
5	379407,7	95867,58	108778,2	1362,38	0	592,38
6	378826,2	114977,5	131526,2	1456,04	0	1173,5
7	378070,3	137119,2	156549,5	1490,06	0	1929,4
8	377151,3	163567	187615,7	1500	1,44	2848,54
9	376109	192712,4	219354,3	1500	62,98	3891,14
10	375057,2	221431	248748,6	1500	1056,76	4942,84
11	374102,9	243607,5	269681,5	1500	6672,66	5897,22
12	373302,5	256707,5	280927,9	1500	18345,42	6697,5
13	372665,3	264951,5	287159,3	1492,7	31420,74	7334,48
14	372142,6	270930,1	291910,8	1461,8	44125,56	7857,28
15	371827,3	270937,6	286630,4	1405,28	56940,74	8172,8
16	371646,1	265247,7	278134,7	1320,36	70731,2	8353,9
17	371551,3	254550,8	265757,3	1220,92	86372,98	8448,84
18	371497,3	239415,5	249504,1	1125,9	104536,6	8503,1
19	371461,9	220188,1	229679,2	1037,28	125683,1	8538,44
20	371432,1	197300,6	206559,2	959,26	149942,5	8568,2
21	371408,1	171632,5	180697	889,18	176638,8	8592,22
22	371389,2	144743,6	153717,8	822,12	204381	8610,76
23	371373,7	118185,5	127094,5	751,54	231675,6	8626,16

24	371361,7	93165,42	102051,5	677,02	257388,9	8638,3
----	----------	----------	----------	--------	----------	--------

8.5 Tabuľka 5 – Experiment 2 – 100% zaočkovanosť

0	380000	41077,1	44175,08	21,72	0	0
1	379999,7	44908,9	47624,84	49,46	0	0
2	379999,5	48976,64	51735,98	79,64	0	0
3	379999,5	53224,4	56250,8	110,08	0	0,04
4	379999,1	57776,46	60994,7	144,8	0	0,26
5	379998,3	62575,3	65945,86	178,04	0	0,92
6	379997,3	67750,36	71437,2	214,28	0	2,02
7	379996,2	73068,2	76793,82	250,94	0	3,16
8	379995,2	78372,72	82041,38	289,06	1,26	4,34
9	379994	83659,42	87398,9	324,54	58,52	5,42
10	379992,4	88092,42	91839,6	360,62	987,76	6,9
11	379990,6	88272,38	92143,9	394,2	6257,16	8,56
12	379988,9	83317,12	87334,48	420,72	16874,22	10,14
13	379987,6	78042,46	82081,36	441,68	27874,56	11,54
14	379986,1	74639,36	78812,28	460,86	37154,54	12,88
15	379984,5	71275,44	73802,74	464,54	44806,68	14,56
16	379983,1	67426,64	68979,8	451,66	51377,46	16,06
17	379981,2	63157,34	64223,86	429,4	57340,54	18
18	379979,4	58567,06	59280,34	403,42	63007,14	19,66
19	379977,3	53741,42	54234,56	371,42	68519,22	21,36
20	379976,1	48816,82	49261,82	337,98	73947,9	22,62
21	379975,4	43836,86	44212,26	302,04	79343,88	23,14
22	379975	38775,64	39109,02	266,2	84746,3	23,42
23	379975	33572,68	33864,48	231,4	90224,2	23,68
24	379974,9	28242,92	28503,92	194,66	95784	23,84

8.6 Tabuľka 6 – Experiment 2 – 0% zaočkovanosť

Day	Population	Infectious	Infected	Hospitalized	Immune	Deaths
0	380000	43273,26	48565,94	248,4	0	0
1	379999,8	52114,28	59056,46	665,24	0	0
2	379912	64787,06	74757,52	1192,54	0	87,94
3	379222,8	82905,4	99659,98	1439,1	0	777,1
4	377892,1	109132,7	134761,6	1497,9	0	2107,92
5	375934,1	146133,5	183021,7	1500	0	4065,9
6	373526,4	191601,5	236608	1500	0	6473,5
7	370946,7	240361,6	288602,8	1500	0,04	9053,26
8	368859,1	279860,5	318658,5	1500	1,78	11141
9	367399,2	307349,4	337824	1500	65,5	12601,06
10	366421,3	324951,5	350877,2	1499,94	1092,9	13578,96

11	365846,2	330766,4	352193	1488,16	6995,6	14154,32
12	365535,3	325024	343459,2	1401,84	19627,82	14465,18
13	365394,2	313410	329901	1246,76	34844,48	14606,26
14	365336,6	298084,6	313396,1	1040,84	51757,28	14663,64
15	365316,5	278228,5	293068,7	839,54	72198,08	14683,88
16	365304,6	252116,6	266806,9	662,42	98483,7	14695,8
17	365295,2	218940,1	233825,5	528,34	131936,6	14705,48
18	365287,8	180117,3	195339	444,86	171424	14712,64
19	365283,3	139454,8	154662,2	398,84	212887,1	14717,18
20	365265	103002,2	119291,4	411,22	251183,9	14735,4
21	365229,8	73635,3	90672,64	467	283435,8	14770,78
22	365172,5	51823,68	69416,68	545,98	308951,8	14827,88
23	365048,9	39431,32	55047,44	594,94	327986,9	14951,4
24	364886,3	38288,03	46846,32	636,58	341456,8	15114,12