



IMS projekt 2020

Téma č. 3: Epidemiologické modely – mikro-úroveň

Obsah

1. Úvod.....	- 2 -
1.1 Autori a zdroje	- 2 -
1.2 Validita modelu.....	- 2 -
2. Rozbor tém a použitých metód/technológií.....	- 3 -
2.1 Použité postupy	- 4 -
2.2 Pôvod použitých metód/technológií	- 4 -
3. Konceptia modelu.....	- 5 -
3.1 Forma konceptuálneho modelu	- 5 -
4. Architektúra simulačného modelu.....	- 8 -
4.1 Mapovanie abstraktného do simulačného modelu.....	- 9 -
4.2 Spustenie simulačného modelu	- 9 -
5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	- 10 -
5.1 Postup experimentovania	- 10 -
5.2 Dokumentácia experimentov	- 10 -
5.2.1 Experiment č. 1.....	- 11 -
5.2.2 Experiment č. 2.....	- 11 -
5.2.3 Experiment č. 3.....	- 12 -
5.2.4 Experiment č. 4.....	- 12 -
5.2.5 Experiment č. 5.....	- 13 -
5.3 Závery experimentov	- 13 -
6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver.....	- 14 -
7. Zdroje	- 15 -

1. Úvod

Tento projekt sa zaoberá modelovaním³ [sl. 8] a simuláciou³ [sl. 8] možného šírenia vzduchom vírusu SARS-CoV-2 (COVID-19) v školskom prostredí pod dobu 1-30 dní. Pomocou tohto modelu³ [sl. 7] je možné sledovať niekoľko aspektov, ktoré ovplyvňujú šírenie tohto vírusu. Takýmito aspektami môže byť napríklad vplyv nosenia rúšok, vetrania miestnosti, či počet hodín, počas ktorých sa subjekty nachádzajú v jednej miestnosti. Cieľom je nájsť vhodný spôsob zavedenia opatrení, ktoré by šíreniu vírusu mohli zabrániť – resp. ho obmedziť. Takýto model je pre spoločnosť prínosný predovšetkým z dôvodu, že nie je možné takéto experimenty v reálnom svete uskutočňovať.

1.1 Autori a zdroje

Autormi projektu sú študenti VUT FIT - Daniel Kamenický a Ondrej Kondek. Pri získavaní potrebných znalostí a tvorbe abstraktného modelu bol projekt konzultovaný s odborníčkou MUDr. Andreou Černianskou MPH., ktorá je krajský odborník pre Banskobystrický kraj spoločnosti primárnej pediatrie slovenskej lekárskej spoločnosti. Pre získanie základného konceptu modelu – pravdepodobnosť výpočtu infekcie podľa rôznych parametrov je využitá štúdia z článku: „Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments“¹

1.2 Validita modelu

Pre overovanie validity³ [sl. 37] modelu slúžili predovšetkým konzultácie s odborníkom z praxe. Okrem toho, boli využité taktiež výsledky simulačných experimentov³ [sl. 9], ktoré boli porovnané s reálnymi prípadmi, s ktorými sa odborník stretol, alebo sú verejne dostupné.

2. Rozbor tém a použitých metód/technológií

Použité dáta v modeli sú fixné priemerné hodnoty daných parametrov. Zdrojom týchto hodnôt je oficiálny vedecký článok¹. Na základe tohto článku je vytvorený model pre výpočet pravdepodobnosti, že sa subjekt nakazí za predpokladu, že je v miestnosti x nakazených. Súčasne model pracuje s premennými parametrami – počiatočný stav počtu nakazených, počet hodín strávených v miestnosti, druh ventilácie a typ rúška.

Všetky nasledujúce hodnoty vychádzajú z vyššie spomínaného článku¹:

Model uvažuje miestnosť (triedu v škole) o rozmeroch 60 m² a výškou 3 m (v značne väčších priestoroch by nasledujúce priemerné hodnoty nemuseli platiť).

Množstvo vzduchu, ktorý človek vdýchne do priestoru za minútu je približne 0.06 cm³ v pokojnom stave (žiak sedí, počúva - nerozpráva) a 0.6 cm³ v prípade, že človek rozpráva (učiteľ vykladá učivo). Model uvažuje pomer 1:10 – dýchanie : rozprávanie (predpokladá, že, sa žiaci aktívne zapájajú do hodiny). Priemerne človek vdýchne 10 l vzduchu za minútu. Model počíta ďalej s tým, že doba, ktorú vírus prežije v ovzduší je 1.7h. Priemer jednej častice aerosolu (kvapalná zmes plynu - ovzdušia) je 5 um. Objem vírusových častíc u nakazeného pacienta je 5x10⁸ mL. Pri 50% pravdepodobnosti, že konkrétna častica spôsobí nakazenie je nutné vdýchnuť 316 takýchto častíc vírusu, aby sa subjekt nakazil.

Doba, za ktorú sa nakazený subjekt vylieči je individuálna, ale pohybuje sa v rozmedzí 8-15 dní. Subjekt, ktorý sa raz vyliečil už nemôže byť znova nakazený (v rámci 30 dní to nie je možné).

Možné hodnoty, ktoré nadobúdajú premenné parametre:

Počiatočný stav – počet nakazených: <1,33> [osôb]

Počet hodín strávených v miestnosti za deň – <1,9> [hodín]

Typ ventilácie (koeficient vyjadrujúci ako rýchlo cirkuluje vzduch v miestnosti)

- 1.) neodvetraná miestnosť a zavreté okná – 0.35 (35% ovzdušia precirkuluje za h)
- 2.) aktívne ventilovanie s vonkajším ovzduším – 2
- 3.) vonkajšie prostredie

Efektivita rúšok (koeficient vyjadrujúci filtráciu vdýchnutého vzduchu)

- 1.) bez rúška - 0
- 2.) látkové rúško – 70%
- 3.) respirátor triedy FFP3/N95 – 95%

2.1 Použité postupy

K implementácii modelu bol využitý programovací jazyk C a C++⁴. Pri implementácii vizualizácie zohrala dôležitú úlohu knižnica ncurses.h. Táto knižnica umožňuje jednoduchú, avšak dostatočne jasnú vizualizáciu priamo v termináli. Jazyky C a C++ sú ideálne pre tvorbu modelu, nakoľko poskytujú všetky potrebné rozhrania k implementácii. Taktiež je takýto program prenositeľný, a tak je dostupný pre širokú vrstvu užívateľov – nezávislé od OS.

2.2 Pôvod použitých metód/technológií

Pri implementácii projektu boli využité štandardné knižnice jazyku C a C++⁴. Pri preklade zdrojových súborov je využitý nástroj Make⁵.

Základný model pre výpočet pravdepodobnosti, že sa subjekt nakazí za určitý počet hodín, ktorý strávi s nakazenou osobou v jednej miestnosti bol prebraný z vedeckého článku¹. Tento model taktiež zohľadňuje všetky parametre spomínané v sekcii [2.](#) s výnimkou nasledujúcich: doba, za ktorú sa nakazený vylieči a doba, ktorú nakazený strávi mimo triedy. Tieto informácie boli prebrané a konzultované s odborníkom.

Prebraný model bol použitý ako základ pre finálny model, ktorý sleduje nakazenie vírusom v rámci viacerých dní s použitými parametrami opísanými v sekcii [2.](#) Z tohto dôvodu bola nutná vlastná modifikácia, pôvodného modelu. Modifikácia vychádza z dát, ktoré boli získané pozorovaním šírenia infekcie v reálnom svete.²

3. Konceptcia modelu

Táto sekcia opisuje návrh konceptuálneho (abstraktného) modelu. Pôvodný návrh bol formulovaný do celulárneho automatu. Pri následnej štúdii sa zistilo, že vzdialenosť jednotlivých buniek (žiakov) je pre náš model irelevantná, a teda sa pristúpilo k návrhu vlastného modelu. Vlastný model bol navrhnutý na základe štúdií a je vyjadrený súhrnom niekoľkých rovníc.

Pri vytváraní modelu je potrebné vybrať podstatné informácie, ktoré sú dôležité pre samotnú podstatu modelu. Model reprezentuje triedu 32 žiakov a učiteľa. Model dokáže spracovávať dve rôzne variácie prístupu šírenia vírusu. Prvá variácia berie do úvahy závažnosť nakazeného žiaka v triede a pri nakazení žiak opúšťa triedu (priblíženie k realite). Druhá variácia nakazeného žiaka ponecháva v triede, tu prevažuje podstata skúmania šírenia vírusu nad realitou.

Model si uchováva informácie o žiakovi, ktoré sú potrebné k následnej simulácii. O každom žiakovi sa uchováva, či je nakazený/vyliečený, počet dní od nakazenia, doba za ktorú sa jeho imunitný systém vysporiada s vírusom (individuálne) a či sa lieči doma (dôležité len pre prvú variáciu modelu).

Ďalej model uchováva informácie o veľkosti miestnosti, výške miestnosti, efektívite využívaných rúšok, efektívite ventilácie využívanej v miestnosti a nakazenia učiteľa (učiteľ rozpráva behom hodiny viac ako žiak). Pomocou uchovaných dát model umožňuje uskutočniť simuláciu, viac popísané v kapitole [3.1](#). Po dokončení simulácie sú dáta zapísané do tabuľky štatistík všetkých 30 dní.

3.1 Forma konceptuálneho modelu

Model sa skladá z niekoľkých na sebe nadväzujúcich rovníc, ktorých zdrojom je vyššie spomínaný vedecký článok¹.

Konštanty: (názvy boli ponechané z pôvodného článku¹, aby pri preklade nevznikli možné nedorozumenia)

- #RNA for 50 % infection probability (D50) = 316
- deposition probability = 0,5
- emission breathing = 0,06 cm³
- emission speaking = 0,6 cm³
- speaking / breathing ratio = 0,1
- respiratory rate = 10 l/min
- respiratory fluid RNA conc = 500000000 cm³
- mean wet aerosol diameter = 5 um
- infectious episode = 2 počet dní
- virus lifetime in aerosol = 1,7 h
- room area = 60 m²
- room height = 3 m

Infection probability

$$1 - 10^{\frac{\log(0,5)}{RNA \text{ for } 50\% \text{ infection probability}}}$$

Po dosadení:

$$1 - 10^{\frac{\log(0,5)}{316}} = 0,0022 \text{ [/RNA]}$$

RNA content in aerosol

$$\frac{\text{respiratory fluid RNA conc} \cdot \pi}{6} \cdot \left(\frac{\text{mean wet aerosol diameter}}{10000} \right)^3$$

Po dosadení:

$$\frac{500000000 \cdot \pi}{6} \cdot \left(\frac{5}{10000} \right)^3 = 0,0327$$

Aerosol emission

$$(\text{emission breathing} \cdot (1 - \text{seapking or breathing ration}) + \text{emission speaking} \cdot \text{speaking or breathing ration}) \cdot 1000 \cdot r_{\text{respiratory rate}} \cdot 60$$

Po dosadení:

$$(0,06 \cdot (1 - 0,1) + 0,6 \cdot 0,1) \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 60 = 68400 \text{ [/h]}$$

Aerosol conc

$$\frac{\text{aerosol emission}}{\text{room area} \cdot \text{room height} \cdot 1000}$$

Po dosadení:

$$\frac{68400}{60 \cdot 3 \cdot 1000} = 0,38 \text{ [/l]}$$

RNA cont. aerosol conc

$$\text{aerosol conc} \cdot \text{RNA content in aerosol}$$

Po dosadení:

$$0,38 \cdot 0,0327 = 0,0124 \text{ [/l]}$$

RNA dosis

$$\text{respiratory rate} \cdot 60 \cdot \text{RNA cont. aerosol conc} \cdot \text{deposition probability}$$

Po dosadení:

$$10 \cdot 60 \cdot 0,0124 \cdot 0,5 = 3,7306 \text{ [/h]}$$

Pravdepodobnosť infekcie jednotlivca

$$(1 - (1 - \text{infection probability})^D) * 100$$

a

$$D = \frac{\text{RNA dosis}}{\text{room ventilation} + \frac{1}{\text{virus lifetime}}} * (1 - \text{mask efficiency}) * \text{hours in room}$$

Pričom:

room ventilation, mask efficiency, hours in room sú premennými, ktoré pri spustení simulácie musia byť explicitne udané.

Napríklad experiment č. 1 ([5.2.1](#)):

$$(1 - (1 - 0,0022 \text{ [/RNA]})^{\frac{3,7306 \text{ [/h]}}{0,35 \text{ [/h]} + \frac{1}{1,7 \text{ [/h]}}} * (1 - 0) * 6 \text{ [/h]}}) * 100 = 5,12 \%$$

4. Architektúra simulačného modelu

Pred spustením simulačného modelu je potrebné vybrať parametre simulácie. Po zvolení všetkých parametrov je zahájená simulácia. Vizualizáciu simulácie je možno preskočiť a tak hneď zobrazíť výsledky vo forme tabuľky. Vizualizácia zobrazuje triedu žiakov v laviciach a farba určuje, či je osoba nakazená (červená), uzdravená (modrá) alebo zdravá (zelená). Po skončení simulácie je vypísaná tabuľka so štatistikou jednotlivých dní z hľadiska počtu nakazených, zdravých a uzdravených.

Na nasledujúcom pseudo kóde - algoritme je znázornená simulácia šírenia vírusu triedou.

While *deň nie je posledný* **do**

```
|   for žiak/učiteľ do  
|   |   if žiak/učiteľ je nakazený do  
|   |   |   počet nakazených + 1  
|   |   end  
|   end  
|   for žiaka/učiteľa do  
|   |   if žiak/učiteľ nie je nakazený do  
|   |   |   if pravdepodobnosť nakazenia krát počet nakazených >  
|   |   |   náhodné číslo z intervalu <0, 100> do  
|   |   |   |   žiak/učiteľ je nakazený  
|   |   |   end  
|   |   else  
|   |   |   žiak/učiteľ počet dní od nakazenia + 1  
|   |   end  
|   |   if žiak/učiteľ dní od nakazenia sa rovná dní do uzdravenia do  
|   |   |   žiak/učiteľ je uzdravený a nie je nakaziteľný  
|   |   end  
|   end  
|   ďalší deň  
end
```

4.1 Mapovanie abstraktného do simulačného modelu

Všetky fakty, ktoré sú zohľadnené v modeli, sú vyjadrené rovnicami (3.1) a implementované ako funkcie, ktoré v parametroch berú hodnoty premenných. Konštanty (3.1) sú definované ako makrá v module `formula.h`. Počiatočný stav a vstupné parametre, ktoré špecifikujú konkrétny simulačný experiment sú predávané v štruktúre `Input_params`.

Získané parametre zo štruktúry `Input_params` definujú hodnoty dôležité pre výpočet pravdepodobnosti nakazení. Celý model prebieha v jednom while cykle a jedna iterácia cyklu simuluje jeden deň. Trieda je uložená do poľa štruktúr typu `Person` a uchováva u dane osoby informáciu, či je nakazený, uzdravený, ako dlho je nakazený, koľko dní chýba do jeho uzdravenia a či sa jedná o učiteľa. Informácia o počte dní do uzdravenia je generovaná pre každú osobu osobitne pri inicializácii. Každá osoba má inú imunitu, a tak sa musí líšiť doba vyliečenia. Každému žiakovi/učiteľovi je pridelená doba v intervale 8-15 dní, ktorá reprezentuje počet dní do uzdravenia. Táto doba je generovaná pomocou náhodného generátoru riadiaceho sa rovnomerným rozložením. Všetky údaje o daných dňoch sa ukladajú do poľa štruktúr typu `Statistics`. Každý index poľa určuje jeden deň a na danom indexe uchováva počet nakazených, počet zdravých a počet uzdravených.

4.2 Spustenie simulačného modelu

Simuláciu je možné spustiť zadaním príkazu „make run“ alebo sledom príkazov „make; ./simulation“. Po zadaní nasleduje sled ponúk:

1. Menu pre vybrané počtu nakazených v triede (1-33)
2. Menu pre nastavenie, či žiaci odchádzajú z triedy pri nakazení
3. Menu pre nastavenie vyučujúcich hodín za deň
4. Menu pre nastavenie efektivity ventilácie danej miestnosti
5. Menu pre nastavenie ochrany dýchacích ciest žiakov a učiteľa

Potom je spustená samotná simulácia. Klávesa „enter“ slúži pre potvrdenie, „escape“ pre vypnutie a „s“ pro preskočenie vizualizácie simulácie.

5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Experimenty boli vykonané s cieľom sledovať a zistiť, aký vplyv na šírenie vírusu má: nosenie rúšok, ventilácia vnútorných priestorov, vonkajšie prostredie, počet hodín, ktoré subjekty strávia s nakazenými. Experimenty sledujú priebeh šírenia po dobu 30 dní v školských triedach. Model neuvažuje situáciu, že sa subjekt nakazí mimo triedy.

5.1 Postup experimentovania

Každý experiment sleduje rôzne vplyvy na šírenie vírusu. Najprv je určený počiatočný stav prostredia a následne aký vplyv bude experiment sledovať. Každý experiment spočíva v spustení simulácii s danými parametrami, vyhodnotenie validity výsledkov na základe konzultácie s odborníkom a vyhodnotenie – resp. zhrnutie výsledkov.

Postup:

1. Zadanie vstupných parametrov pre daný experiment
2. Spustenie simulácie
3. Sledovanie vizualizácie
4. Kontrola výsledkov pomocou tabuľky s priebehom šírenia vírusu
5. Vyhodnotenie výsledkov a záver

5.2 Dokumentácia experimentov

Pri nasledujúcich experimentoch je uvažovaný rovnaký počiatočný stav: 32 žiakov, 1 učiteľ, 1 zo žiakov je nakazený, nakazený žiak/učiteľ. Žiaci a učiteľ sa nachádzajú v jednej triede niekoľko hodín denne (dané experimentom). Nakazený subjekt odchádza do domácej karantény po dobu 8-15 dní a do triedy sa vracia, keď je vyliečený. Nakazený učiteľ je nahradený zdravým učiteľom.

5.2.1 Experiment č. 1

Experiment sleduje šírenie vírusu za predpokladu, že žiaci ani učiteľ nemajú rúška a sú v uzavretej miestnosti bez vetrania po dobu 30 dní 6 hodín denne. Tento experiment je dôležitý pre následné porovnávanie, ktorým bude špecifikovaný vplyv jednotlivých opatrení. Výsledky experimentu:

DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED	DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED
01.	32	01	00	16.	01	06	26
02.	28	05	00	17.	01	04	28
03.	14	19	00	18.	01	01	31
04.	00	33	00	19.	01	00	32
05.	00	33	00	20.	01	00	32
06.	01	32	00	21.	01	00	32
07.	01	32	00	22.	01	00	32
08.	01	32	00	23.	01	00	32
09.	01	32	00	24.	01	00	32
10.	01	31	01	25.	01	00	32
11.	01	27	05	26.	01	00	32
12.	01	22	10	27.	01	00	32
13.	01	13	19	28.	01	00	32
14.	01	09	23	29.	01	00	32
15.	01	08	24	30.	01	00	32

Tabuľka 1 – experiment 1

Z výsledku experimentu je zrejmé, že ak nebudú zavedené pri šírení nákazy žiadne opatrenia, tak sa všetky subjekty v triede nakazia priemerne za 4 dni.

5.2.2 Experiment č. 2

Tento experiment poukazuje na vplyv nosenia rúšok v triede. Tak ako pri experimente č. 1 ([5.2.1](#)), žiaci a učiteľ sa nachádzajú v miestnosti bez vetrania 30 dní 6 hodín denne. Tentokrát všetci nosia látkové rúška.

Výsledky experimentu:

DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED	DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED
01.	32	01	00	16.	04	13	16
02.	30	03	00	17.	04	10	19
03.	24	09	00	18.	04	05	24
04.	20	13	00	19.	04	03	26
05.	12	21	00	20.	04	00	29
06.	06	27	00	21.	04	00	29
07.	06	27	00	22.	04	00	29
08.	06	27	00	23.	04	00	29
09.	04	29	00	24.	04	00	29
10.	04	29	00	25.	04	00	29
11.	04	26	03	26.	04	00	29
12.	04	23	06	27.	04	00	29
13.	04	23	06	28.	04	00	29
14.	04	19	10	29.	04	00	29
15.	04	15	14	30.	04	00	29

Tabuľka 2 – experiment 2

Pri porovnaní výsledkov experimentu č. 1 ([5.2.1](#)) a č. 2, je možné vidieť ako sa prejaví nosenie obyčajných rúšok v triede. Je možno vidieť, že sa tentokrát celá trieda nenakazila, hoci je šírenie stále pomerne vysoké. Jednoznačne však možno povedať, že nosenie rúšok má vplyv na šírenie vírusu.

5.2.3 Experiment č. 3

Experiment tentokrát sleduje vplyv vetrania na šírenie vírusu. Žiaci sa nachádzajú v triede, ktorá má vetrací systém, ktorý mení vzduch s vonkajším okolím. Do školy chodia žiaci 30 dní na 6 hodín denne. Rúška v tomto prípade žiaci ani učiteľ nemajú.

DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED	DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED
01.	32	01	00	16.	03	14	16
02.	32	01	00	17.	03	09	21
03.	28	05	00	18.	03	06	24
04.	25	08	00	19.	03	04	26
05.	15	18	00	20.	03	04	26
06.	16	17	00	21.	03	00	30
07.	08	25	00	22.	03	00	30
08.	03	30	00	23.	03	00	30
09.	03	30	00	24.	03	00	30
10.	03	30	00	25.	03	00	30
11.	03	29	01	26.	03	00	30
12.	03	28	02	27.	03	00	30
13.	03	27	03	28.	03	00	30
14.	03	23	07	29.	03	00	30
15.	03	20	10	30.	03	00	30

Tabuľka 3 – experiment 3

Pri porovnaní výsledkov experimentu č. 2 ([5.2.2](#)) a č. 3, je zrejmé, že vplyv nosenia látkových rúšok je veľmi podobný tomu, ako keby bola použitá ventilácia tried. Z experimentu je možné usúdiť, že šírenie vírusu je veľmi rýchle, avšak v porovnaní s experimentom č. 1 ([5.2.1](#)) je šírenie spomalené.

5.2.4 Experiment č. 4

Tento experiment je kombináciou experimentov č. 2 a 3, ktorého cieľom je zistiť aký vplyv má použitie rúšok a súčasne ventilačného systému. Pri tomto experimente je znova sledovaný priebeh počas 6 hodín 30 dní.

DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED	DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED
01.	32	01	00	16.	25	04	04
02.	30	03	00	17.	25	01	07
03.	28	05	00	18.	25	00	08
04.	25	08	00	19.	25	00	08
05.	25	08	00	20.	25	00	08
06.	25	08	00	21.	25	00	08
07.	25	08	00	22.	25	00	08
08.	25	08	00	23.	25	00	08
09.	25	08	00	24.	25	00	08
10.	25	08	00	25.	25	00	08
11.	25	07	01	26.	25	00	08
12.	25	07	01	27.	25	00	08
13.	25	06	02	28.	25	00	08
14.	25	06	02	29.	25	00	08
15.	25	05	03	30.	25	00	08

Tabuľka 4 – experiment 4

Ak by boli zavedené obe opatrenia: nosenie rúšok a použitie ventilácie v triedach, tak by podľa experimentu bolo výsledkom rapidne zníženie šírenia vírusu. Na základe faktu, že model nepočíta s tým, že sa žiaci môžu nakaziť mimo triedy, by sa nákaza nerozšírila medzi všetkých žiakov.

5.2.5 Experiment č. 5

Experiment skúma reálnejšiu možnosť pre školy ako je experiment č. 3 ([5.2.3](#)) a 4 ([5.2.4](#)) nakoľko zavedenie ventilácie by bola nákladná alternatíva. Experiment č. 5 teda počíta s nasledujúcimi parametrami: 30 dní – 3 hodiny denne. Žiaci a učiteľ nosia látkové rúška.

DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED	DAY	HEALTHY	INFECTED	RECOVERED
01.	32	01	00	16.	18	11	04
02.	32	01	00	17.	18	10	05
03.	32	01	00	18.	18	08	07
04.	31	02	00	19.	18	05	10
05.	29	04	00	20.	18	03	12
06.	26	07	00	21.	18	03	12
07.	24	09	00	22.	18	02	13
08.	23	10	00	23.	18	01	14
09.	22	11	00	24.	18	00	15
10.	21	12	00	25.	18	00	15
11.	20	13	00	26.	18	00	15
12.	19	13	01	27.	18	00	15
13.	19	13	01	28.	18	00	15
14.	18	13	02	29.	18	00	15
15.	18	12	03	30.	18	00	15

Tabuľka 5 – experiment 5

Na základe výsledkov tohto experimentu je viditeľné, že znížením počtom hodín zo 6 na 3, je schopné znížiť riziko nákazy na podobnú úroveň ako pri experimente č. 4 ([5.2.4](#)).

5.3 Závery experimentov

Celkovo bolo uskutočnených viac ako 10 experimentov s rôznymi parametrami. Vyššie zdokumentovaných je 5, pričom cieľom bolo sledovať vplyv rôznych opatrení, ktoré môže napr. vláda určiť.

Na základe daných vyššie zdokumentovaných záver je možné odvodiť, že aj najmenšie opatrenie môže viesť k zníženiu šíreniu vírusu. Vďaka týmto experimentom je možné predpovedať efektivitu opatrení a zvážiť rôzne možnosti, pričom je možno získať rovnaký efekt: napr. zakúpenie ventilácie a súčasné používanie rúšok (6 hodín denne) má rovnaký efekt ako lacnejšia varianta - používanie rúšok a skrátenie výučby na 3 hodiny.

Počas týchto experimentov bola objavená a následne odstránená chyba týkajúca sa učiteľa – ak sa nakazil učiteľ a prešiel na domácu karanténu, tak boli žiaci v triede bez učiteľa. Na základe tejto skutočnosti bol problém vyriešený tak, že namiesto nakazeného prichádza supľujúci zdravý učiteľ.

6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Pomocou simulačných experimentov bola potvrdená validita modelu, nakoľko boli výsledky potvrdené odborníkom – na základe jeho skúseností a znalostí. Nanešťastie nie je validitu modelu určiť na základe porovnania výsledkov experimentov s reálnymi meraniami, nakoľko takéto merania nie je možné uskutočniť kvôli bezpečnosti a súčasne sa nedajú vylúčiť vonkajšie vplyvy.

Z výsledkov experimentov vyplýva, že každé opatrenie má viditeľný vplyv na šírenie vírusu Sars-CoV-2. Experimenty ukazujú rôzne možnosti, ktorými je ovplyvnené toto šírenie – resp. ako efektívne sa mu dá obmedzovať. Na základe výsledkov je teda možné navrhnúť rôzne riešenia s ohľadom na faktory ako napr. financie. Na základe experimentu č. 4 ([5.2.4](#)) je ale taktiež možné nájsť aj takmer ideálne zavedenie opatrení, pri ktorom sa zastaví šírenie nákazy. V rámci projektu bol vytvorený nástroj implementovaný v jazyku C++, ktorý umožňuje simulovať a skúmať situácie, ktoré nie sú možné skúmať v realite. Dôvodom je, že model neráta s vonkajšími vplyvmi – sleduje priebeh šírenia nákazy v uzavretej spoločnosti – to znamená, že subjekt sa môže nakaziť len od osoby prítomnej v triede. Model taktiež skúma výlučne šírenie vírusu vzduchom. Napriek tomu tento nástroj vychádza z reálnych dát a je nápomocný pri odhadovaní resp. zostavovaní opatrení, ktoré by nákaze mohli predchádzať – obmedziť jej šírenie.

Tento nástroj umožňuje pri spustení zadať niekoľko podmienok, počiatočný stav a na základe nich prebieha simulačný experiment. Výstupom experimentu je vizuálny priebeh šírenia nákazy a štatistiky vo forme tabuľky.

7. Zdroje

1. LELIEVELD, J. & HELLEIS, F. & BORRMANN, S. & CHENG, Y. & DREWNICK, F. & HAUG, G. & KLIMACH, T. & SCIARE, J. & SU, H. & PÖSCHL, U. Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. [online] 2020, **17**(21), 8114 [cit. 3.12.2020]. DOI: 10.1101/2020.09.22.20199489. Taktiež dostupné z: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.09.22.20199489v3#p-5>
2. MARFIN, Catherine. How long does it take to recover from the coronavirus? *MedicalXpress*. [online] 16.4.2020, [cit. 3.12.2020]. Dostupné z: <https://medicalxpress.com/news/2020-04-recover-coronavirus.html>
3. PERINGER, P. & HRUBÝ, M. Modelování a simulace. *Text k prednáškám kurzu Modelování a simulace na VUT FIT v Brně*. [online] 4.9.2019 [cit. 3.12. 2020]. Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS.pdf&cid=13998>
4. Cplusplus.com. cplusplus.com – C++ Resources Network. [online] ©2000-2020 cplusplus.com [cit. 3.12. 2020] Dostupné z: <http://www.cplusplus.com>
5. GNU Make. GNU Operating System. [online] © 2007 Free Software Foundation, Inc. [cit. 3.12.2020] Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/make/?fbclid=IwAR0tC290Pe3qKPXcPTIZ65IlvLb50gAmLU8CFKiv1MF9sOuXmOfSid0SZM>