



IMS – Semestrální projekt

Boris Burkalo (xburka00)

Jan Klusáček (xklusa14)

Téma č. 3: Epidemiologické modely – mikro-úroveň

Obsah

1 Úvod.....	3
1.1 Autoři a zdroje.....	3
1.2 Ověření validity modelu.....	3
2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií.....	3
2.1 Popis použitých postupů.....	4
2.2 Popis původu použitých technologií.....	4
3 Koncepce – modelářská témata.....	4
3.1 Formy konceptuálního modelu.....	4
3.2 Koncepce - implementační témata.....	5
4 Architektura simulačního modelu.....	6
4.1 Mapování abstraktního modelu.....	6
4.2 Spuštění simulačního modelu.....	6
5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh.....	8
5.1 Naznačení postupu experimentování.....	8
5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů.....	8
5.3 Závěry experimentů.....	14
6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr.....	14
7 Literatura.....	15

1 Úvod

Simulace [9] řeší problém pravděpodobnosti nakažení při různých rychlostech ventilace v uzavřených prostorech. Podle vybraného článku jsme se rozhodli ověřit výsledky jejich matematických výpočtů, zda jsou validní, jelikož jejich přesnost nám připadala sporná. Zároveň jsme se rozhodli náš model [9] rozšířit o možnost simulace pravděpodobnosti nakažení při různých rychlostech ventilace a experimentovat s tím, jestli jsou běžně prodejné ventilační jednotky schopny pracovat tak, aby se zajistila pravděpodobnost nákazy menší než 1%.

1.1 Autoři a zdroje

Autory projektu jsou studenti Boris Burkalo a Jan Klusáček z VUT, Fakulty Informačních Technologií v Brně.

K vypracování projektu bylo použito několik zdrojů. Jedním z nich jsou znalosti a poznatky z materiálů k předmětu Modelování a simulace na VUT FIT. Jako hlavní zdroj však byl využit vědecký článek [1]. K podpoření a ověření, zda jsou informace pravdivé pak sloužily články [2] a [3]. Dále jsme použili rovnici ze zdroje [4], abychom dostali výsledky ve stejném formátu jako ověřovaná studie.

1.2 Ověření validity modelu

V rámci ověření validity jsme pouze podnikli kroky, ve kterých jsme ověřovali používané rovnice a srovnávali jsme je s ostatními vědeckými články, které jsme na dané téma našli. Jak už bylo zmíněno v sekci výše, posloužili k tomu články [2] a [3].

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Celý model je postaven na Wells-Rileyho rovnici, díky které je možné vypočítat pravděpodobnost nakažení v uzavřených prostorech na základě rychlosti ventilace, kterou je daný prostor vybaven. Wells-Rileyho rovnice počítá s dvěma fakty. Prvním je, že kapénky se jednotně šíří v prostoru. A `count_infected = true`; druhým je, že rovnice zanedbává míru infekčnosti patogenu.

V rámci studie autoři vychází z několika dalších nepopiratelných faktů, kterými jsou výsledky několika různých studií, popřípadě jejich vlastní studie na dané téma. V první části byla ustanovena veličina q stanovující rychlost kvantové generace. Tato veličina je však zpětně kalkulovaná z ostatních studií ohledně vybrané nemoci a pro COVID-19 ještě v době studie nebyla stanovena. Výzkumníci ji tedy na základě statistik a výpočtů stanovili na hodnotu v intervalu od 14 do 48 h^{-1} . Ostatní fakta do výzkumu už byla přenesena z různých předešlých výzkumů. Náš model se zaměřuje na popis vnitřních prostorů při běžných klidových aktivitách a tak byla ustanovena jednotka p na hodnotu 0.3 m^3/h na základě [5] a jedná se o průchod vzduchu plicemi náchylného člověka. Další potřebné veličiny se týkají toho, jak efektivní je filtrace vzduchu při nošení běžných roušek. Kvůli správné validaci zkoumané studie jsme přebírali stejné hodnoty jako studie [1] (60% podle [6] a tedy 50% respektive k zohlednění úniku vzduchu podle [7]).

2.1 Popis použitých postupů

Pro vytvoření naší simulace jsme použili programovací jazyk C++. Jelikož naším cílem je overení správnosti výsledků ze zadané studie [1], vystačili jsme si s použitím několika standardních knihoven. Díky tomu je simulace velmi dobře přenositelná na jiné platformy a není zapotřebí instalovat další knihovny nebo nástroje.

2.2 Popis původu použitých technologií

V projektu byl dodržen standard C++11. Využité knihovny jsou pouze standardní knihovny jazyka C++. Jediná speciálnější volba byla, že pro parsování argumentů byla použita knihovna. Jako překladový systém jsme zvolili GNU Make 4.2.1.

3 Koncepce – modelářská témata

Při převádění reality na model se omezujeme pouze na podstatné věci pro výpočet pravděpodobnosti šíření nákazy. Jedná se tedy o počet nakažených v místnosti, objem místnosti, rychlost kvantové reprodukce, objem vzduchu, který osoba běžně vydýchá za hodinu, dobu strávenou v prostoru a rychlost ventilace dané místnosti. Při zohlednění nošení roušek dále počítáme s jejich efektivitou.

Jelikož je hodnota rychlosti kvantové reprodukce jen odhadována intervalem, počítáme vždy nejnižší a nejvyšší hodnotu z daného intervalu. Mimo ověření studie si však uživatel může zadat svoje vlastní hodnoty, přičemž může modifikovat skoro všechny proměnné v rovnici.

V rámci studie jsou také zmíněné proměnné $k_{deposition}$ a $k_{filtration}$. Obě proměnné jsou však na základě jiných provedených studií zanedbány, jelikož by na výpočty neměly žádný vliv.

3.1 Formy konceptuálního modelu

Model je založen na Wells-Rileyho rovnici:

$$P = \frac{C}{S} = 1 - e^{-Iqpt/Q}$$

Rovnice 1: Standardní Wells-Rileyho rovnice

V této rovnici potom P označuje pravděpodobnost nákazy. C značí celkový počet lidí, u kterých se vyskytne nákaza, S je počet lidí, kteří jsou náchylní k nákaze. I je počet lidí, kteří jsou nakaženi (avšak v rámci ověřování studie je vždy za I dosazena 1). p značí objem vzduchu, který projde plícemi náchylné osoby (v rámci studie se počítá s číslem $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ [5], které se vztahuje k běžnému člověku při klidových vnitřních aktivitách). Q značí intenzitu větrání v uzavřeném prostoru v m^3/h . q značí rychlost kvantové reprodukce (volně přeloženo z *quantum generation rate*) v h^{-1} . A t je čas v hodinách. Proměnná q se nachází v rozpětí $14\text{--}48 \text{ h}^{-1}$.

Model založený na tomto vědeckém článku také zohledňuje nošení roušek a následná modifikovaná rovnice vypadá:

$$P = \frac{C}{S} = 1 - e^{-Iqpt * (1-n_I) * (1-n_S)/Q}$$

Rovnice 2: Wells-Rileyho rovnice s rouškami

V této rovnici se již vyskytují předem vysvětlené proměnné, jsou však přidány proměnné n_I a n_S . n_I značí účinnost filtrace obyčejné lékařské roušky, která je podle [6] 60% a při zohlednění úniku vzduchu může být 50% [7]. n_S potom značí účinnost filtrace při dýchání a ta je též 50%.

Výsledky se ve studii nachází ve formě ACPH - obměna vzduchu v prostoru za hodinu. Bylo tedy nutné ještě použít upravený vzorec Wells-Rileyho rovnice a rovnici pro výpočet ACPH z [4].

$$Q = \frac{-I * q * p * t}{\ln(1 - P)}$$

Rovnice 3: Wells-Rileyho rovnice pro výpočet nutné rychlosti ventilace

$$Q = \frac{-I * q * p * t * (1 - n_I) * (1 - n_S) / Q}{\ln(1 - P)}$$

Rovnice 4: Wells-Rileyho rovnice pro výpočet nutné rychlosti ventilace s rouškami

U obou rovnic se stále jedná o ty samé proměnné.

$$ACPH = \frac{Q}{V}$$

Rovnice 5: Rovnice pro výpočet ACPH

Kde Q je stále rychlost ventilace v m^3/h a V označuje objem prostoru m^3 .

V modelu také dáváme uživateli možnost, kde si může vypočítat, kolik lidí se nakazí za určitých podmínek. K tomu slouží následující dvě rovnice:

$$N = S * (1 - e^{-Iqpt/Q})$$

Rovnice 6: Rovnice pro výpočet počtu nakažených

$$N = S * (1 - e^{-Iqpt * (1-n_I) * (1-n_S)/Q})$$

Rovnice 7: Rovnice pro výpočet počtu nakažených s rouškami

3.2 Koncepce - implementační témata

Forma spuštění programu a jeho výsledek je závislý na typu a počtu argumentů, které jsou programu předány. Zásadní je však spuštění modelu způsobem, který ukáže výpočty, které jsou provedeny na základě informací získaných ze studie a tím je ověřit. V případě, že je tedy program spuštěn s tímto argumentem, tak si program vezme napevno uložená data, použije příslušné rovnice ztvárněné funkcemi a vygeneruje do tabulky příslušné výsledky. V případě ostatních argumentů uživatel může zadat specifická data a sám si tedy zobrazit, jaký je výsledek pro dané prostředí.

4 Architektura simulačního modelu

Při spuštění simulace je nejdříve rozhodnuto o jaký typ simulace se jedná. Je na výběr z několika možností. Může dojít k simulaci situací, které se nachází ve studii. Zároveň je na výběr simulace, která vypočítá (v procentech) jak moc velká pravděpodobnost nákazy se vyskytuje za proměnný počet nakažených a za různého výkonu ventilace. Nadále je možné také vypočítat potřebný výkon ventilace pro zadanou procentuelní pravděpodobnost nákazy. A v neposlední řadě je také možnost vypočítat, kolik lidí se za určitých podmínek nakazí.

Při spuštění ověření studie je pro hodnoty 2%, 1.5%, 1%, 0.5% a 0.01% zavolána funkce na výpočet nutného výkonu ventilace. Hodnoty jsou zároveň vypočteny pro situaci, kdy na sobě osoby mají i nemají roušky a jsou dodány ve dvou různých tabulkách. Jelikož má veličina q rozpětí hodnot 14-48 h^{-1} , tak počítáme výsledky vždy pro krajní hodnoty, stejně jak tomu bylo ve studii.

Při simulaci, která zjistí jaká je pravděpodobnost nákazy, se použije příslušná funkce, do které se dosadí buď standartní parametry a nebo parametry zadané uživatelem. Stejně tomu je tak u ostatních možností.

4.1 Mapování abstraktního modelu

Jednotlivé rovnice jsou zastoupeny funkcemi. Funkce *ideal_ventilation* zastupuje rovnice 3 a 4. Funkce *wells_riley* potom vykonává výpočet rovnic 1 a 2. Funkce *ach* počítá rovnici 5 a funkce *cnt_infected* zastupuje rovnici 6 a 7.

4.2 Spuštění simulačního modelu

Před spuštěním je nutno projekt přeložit pomocí příkazu *make*. Po přeložení už stačí pouze spustit program *make run ARGS="[argumenty_programu]"*.

V rámci argumentů programu je možné předat programu následující argumenty. Jako první argument však musí být jeden z: *--normal*, *--percentage*, *--infected-count* nebo *--study-results*

Implementační detail - tabulka je dlouhá 70 až 81 znaků, bylo by tedy dobré nastavit si terminál tak, aby byla vidět celá tabulka bez zalomení.

--normal

Vypočítá pravděpodobnost nákazy na základě výchozích hodnot, nebo předaných argumentů. Tento argument má následující nepovinné podargumenty, v případě, že argumenty nejsou zadány, jsou doplněny výchozí hodnoty.

-i *NUMBER* - udává počet infikovaných

-Q *NUMBER* - udává průtok vzduchu

-q *NUMBER* - udává rychlost kvantové reprodukce (měl by být v intervalu 14-48 h^{-1})

-t *NUMBER* - udává čas jak dlouho se budou osoby v prostorách nacházet

-m - přepínač, který udává, zda byly použity roušky

--ventilation-rate

Vypočítá potřebný průtok vzduchu tak, aby byla splněna pravděpodobnost nakažení zadána v podargumentu *p*. Tento argument má následující nepovinné podargumenty, v případě, že argumenty nejsou zadány, jsou doplněny výchozí hodnoty.

- i *NUMBER* - udává počet infikovaných
- q *NUMBER* - udává rychlost kvantové reprodukce (měl by být v intervalu 14-48 h⁻¹)
- t *NUMBER* - udává čas jak dlouho se budou osoby v prostorách nacházet
- p *NUMBER* - udává kolik procent má být pravděpodobnost nákazy
- m - přepínač, který udává, zda byly použity roušky

--infected-count

Vypočítá počet nakažených za určitou dobu. Tento argument má následující nepovinné podargumenty, v případě, že argumenty nejsou zadány, jsou doplněny výchozí hodnoty.

- i *NUMBER* - udává počet už infikovaných
- q *NUMBER* - udává rychlost kvantové reprodukce (měl by být v intervalu 14-48 h⁻¹)
- t *NUMBER* - udává čas jak dlouho se budou osoby v prostorách nacházet
- s *NUMBER* - udává kolik lidí v místnosti je náchylných k nákaze
- m - přepínač, který udává, zda byly použity roušky

--study-results

Vypočítá situace udané ve studii. Tento argument nemá žádné další podargumenty.

--help

Ukáže nápovědu.

Výchozí hodnoty pro podargumenty

- i 1
- Q 100
- q 14
- t 0.25
- s 4
- p 0.1

Příklady spuštění

make run ARGS="--normal -i 1 -Q 1310 -q 14 -t 8 -m"

`make run ARGS="--infected-count -s 5 -i 1 -Q 665 -q 14 -t 8"`

`make run ARGS="--ventilation-rate -i 1 -q 48 -t 3 -p 1 -m"`

`make run ARGS="--study-results"`

`make run ARGS="--help"`

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Podstatou našich experimentů je zjištění, jestli výsledky v dané studii [1] jsou správné. Mimo jiné ale zjišťujeme, jaká musí být rychlost ventilace zadané místnosti v závislosti na počtu nakažených lidí a objemu dané místnosti, aby pravděpodobnost nakažení spadala pod 1%. A také zjišťujeme kolik lidí se nakazí, popřípadě jaká je pravděpodobnost při různých zadaných výkonech ventilace.

5.1 Naznačení postupu experimentování

Jelikož některé postupy, které autoři ověřované studie podnikli byly ze začátku nejasné, museli jsme poskytnout několik experimentálních kroků v rámci implementace modelu, abychom zajistili korektnost našich výsledků. Nejdříve jsme si sestavili jednoduchý program, který sloužil k výpočtu příkladů se zadanými hodnotami, tyto hodnoty jsme poté porovnávali s ručně vypočítanými hodnotami, popřípadě s hodnotami, které jsou zaznamenány jako "správné" ve výsledcích studie. Nadále jsme museli zjistit, jak se autoři studie dobrali výsledků v tabulce 3 (tabulka ze studie [1]). Tímto postupným, experimentováním jsme začali dostávat korespondující výsledky se studií.

5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

Jelikož ověření studie bylo relativně přímočaré a nemuselo dojít k většímu experimentování při procesu toho, abychom dostali korektní výsledky v souladu se studií, tak jsme provedli pouze pár experimentů a spíš jsme testovali. Výsledky je možné vidět v tabulkách 2 a 3, která poskytuje stejné informace jako tabulka 1 od autorů studie [1].

Infection probability	Scenario	Bus	Classroom		Aircraft cabin		Office	
	Volume (m ³)	75	348		100		150	
	Exposure time (h)	0.5	2.0		4.0		8.0	
	ACH (h ⁻¹)							
	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
2.0%	0.33	1.30	0.28	1.15	2.00	8.00	2.70	10.00
1.5%	0.48	1.80	0.40	1.70	3.00	11.00	3.30	14.00
1.0%	0.70	2.80	0.60	2.40	4.00	16.00	6.00	20.00
0.5%	1.40	5.60	1.20	4.80	9.00	33.00	10.00	43.00
0.1%	7.00	27.00	5.50	20.00	35.00	160.00	50.00	200.00
2.0%	1.20	4.80	1.00	4.00	7.00	30.00	10.00	36.00
1.5%	1.60	6.40	1.40	5.00	9.00	38.00	12.00	53.00
1.0%	2.40	9.60	2.00	7.00	15.00	55.00	18.00	80.00
0.5%	4.80	19.00	3.50	15.00	29.00	110.00	33.00	133.00
0.1%	24.00	93.00	20.00	71.00	125.00	550.00	200.00	666.00

*The ACHs in red text indicate that the ventilation rates could be achieved with a normal ventilation system or natural ventilation for the corresponding scenarios.

Tabulka 1: originální tabulka ze studie [1]


```
./model --study-results
```

Without Masks					
environment	bus	classroom	aircraft cabin	office	
volume	75	348	100	150	
exposure time	0.5	2.0	4.0	8.0	
Air Change Rate					
[2.0%]	q = 14	1.385953	1.194787	8.315717	11.087623
[1.5%]	q = 14	1.852631	1.597096	11.115788	14.821051
[1.0%]	q = 14	2.785977	2.401704	16.715859	22.287812
[0.5%]	q = 14	5.585988	4.815507	33.515930	44.687906
[0.1%]	q = 14	27.985998	24.125860	167.915986	223.887981
[2.0%]	q = 48	4.751838	4.096412	28.511030	38.014707
[1.5%]	q = 48	6.351879	5.475758	38.111275	50.815033
[1.0%]	q = 48	9.551920	8.234413	57.311518	76.415357
[0.5%]	q = 48	19.151960	16.510310	114.911759	153.215679
[0.1%]	q = 48	95.951992	82.717234	575.711952	767.615936

Tabulka 2: Experiment studie bez roušek

With Masks					
environment	bus	classroom	aircraft cabin	office	
volume	75	348	100	150	
exposure time	0.5	2.0	4.0	8.0	
Air Change Rate					
[2.0%]	q = 14	0.346488	0.298697	2.078929	2.771906
[1.5%]	q = 14	0.463158	0.399274	2.778947	3.705263
[1.0%]	q = 14	0.696494	0.600426	4.178965	5.571953
[0.5%]	q = 14	1.396497	1.203877	8.378982	11.171977
[0.1%]	q = 14	6.996499	6.031465	41.978996	55.971995
[2.0%]	q = 48	1.187960	1.024103	7.127758	9.503677
[1.5%]	q = 48	1.587970	1.368939	9.527819	12.703758
[1.0%]	q = 48	2.387980	2.058603	14.327879	19.103839
[0.5%]	q = 48	4.787990	4.127578	28.727940	38.303920
[0.1%]	q = 48	23.987998	20.679309	143.927988	191.903984

Tabulka 3: Experiment s rouškami

1. Experiment

Jako první jsme se rozhodli experimentovat na nějaké lehce dostupné venitlační jednotce a to konkrétně HR200WK z [8]. Jedná se o relativně běžnou jednotku, která zajišťuje průtok až 220 m³/h. Experiment (stejně jako všechny následující) je proveden na standartní pracovní dobu 8h, přičemž se bude v místnosti nacházet jeden nakažený člověk.

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 220
Quantum generation rate per infector (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|   masks|   prob|
|-----|
|       1|    0.30|   220.00|   14.00|    8.00|    off| 14.164%|
|-----|
Probability of infection is: 14.1636%

```

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 220
Quantum generation rate per infector (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|   masks|   prob|
|-----|
|       1|    0.30|   220.00|   48.00|    8.00|    off| 40.764%|
|-----|
Probability of infection is: 40.7637%

```

Tabulka 4 a 5: 1. experiment s $q = 14$ a $q = 48$ bez roušek

Při těchto podmínkách, je tedy pravděpodobnost nákazy až 14.16% pro q rovno 14. Byly by tedy potřebné aspoň 3 tyto jednotky pro to, aby klesla pravděpodobnost pod 5% a aby pravděpodobnost klesla pod 1%, bylo by za potřebí 16 těchto jednotek pro případ bez roušek. Také můžeme vidět, že při q rovno 48, jsou výsledky velice alarmující.

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 220
Quantum generation rate per infector (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|   masks|   prob|
|-----|
|       1|    0.30|   220.00|   14.00|    8.00|    on| 3.746%|
|-----|
Probability of infection is: 3.74621%

```

Tabulka 6: 1. experiment s $q = 14$ s rouškami

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 220
Quantum generation rate per infector (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|    masks|    prob|
|-----|
|        1|    0.30|   220.00|   48.00|    8.00|     on|  12.270%|
|-----|
Probability of infection is: 12.2702%

```

Tabulka 7: 1. experiment s $q = 48$ s rouškami

V případě nasazení roušek, se situace drasticky změní. A pro q rovno 14ti dostáváme mnohem více uspokojující výsledky.

2. Experiment

Pro druhý experiment, jsme se rozhodli vzít už mnohem schopnější UVS z [8], která má výkon $665\text{m}^3/\text{h}$ a je tedy uzpůsobená na větrání větších vnitřních prostorů. Ani tato ventilační jednotka však nedosahuje uspokojujících výsledků.

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 665
Quantum generation rate per infector (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|    masks|    prob|
|-----|
|        1|    0.30|   665.00|   14.00|    8.00|     off|   4.927%|
|-----|
Probability of infection is: 4.92711%

```

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 665
Quantum generation rate per infector (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|    masks|    prob|
|-----|
|        1|    0.30|   665.00|   48.00|    8.00|     off|  15.906%|
|-----|
Probability of infection is: 15.9058%

```

Tabulka 8 a 9: 2. experiment bez roušek s $q = 14$ a $q = 48$

V případě použití této jednotky by pravděpodobnost nákazy byla 5% a 15.1% pro situaci, kdy nemají osoby roušky. Pokud si osoby v kanceláři nasadí běžné chirurgické roušky, drasticky se sníží pravděpodobnost nákazy, jak tomu můžeme vidět v tabulkách 10 a 11. V experimentech s rouškami už začínají pravděpodobnosti vypadat velice dobře a blížíme se k hranici 1%.

```
Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 665
Quantum generation rate per infector (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|        1|    0.30|   665.00|   14.00|    8.00|    on|  1.255%|
|-----|
Probability of infection is: 1.25521%
```

```
Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 665
Quantum generation rate per infector (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|        1|    0.30|   665.00|   48.00|    8.00|    on|  4.238%|
|-----|
Probability of infection is: 4.23839%
```

Tabulka 10 a 11: 2. experiment s rouškami pro $q = 14$ a $q = 48$

3. Experiment

V posledním experimentu jsme experimentovali s průmyslovou ventilací o velikém výkonu. Je to ventilace AM 1200 H z [8], která má výkon 1310 m³/h.

```
Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 1310
Quantum generation rate per infector (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|        1|    0.30|  1310.00|   14.00|    8.00|   off|  2.532%|
|-----|
Probability of infection is: 2.53227%
```

Tabulka 12: 3. experiment bez roušek s $q = 14$

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 1310
Quantum generation rate per infecter (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|      1|    0.30|  1310.00|   48.00|    8.00|   off|  8.418%|
|-----|
Probability of infection is: 8.41832%

```

Tabulka 13: 3. experiment bez roušek s $q = 48$

Z tabulek 12 a 13 můžeme vidět, že v případě q rovno 14, už se přibližujeme požadovanému výsledku. Při nasazení roušek se dostaneme při $q = 14$ pod 1% pravděpodobnosti nakažení jak můžeme vidět v tabulce 14. Pro dosažení 1% u $q = 48$ by však bylo zapotřebí dvou těchto jednotek a jednu menší o průtoku aspoň 246 m³/h.

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 1310
Quantum generation rate per infecter (q): 14
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|      1|    0.30|  1310.00|   14.00|    8.00|   on|  0.639%|
|-----|
Probability of infection is: 0.63917%

```

```

Calculating infection probability:
Number of infected (I): 1
Pulmonary rate (p): 0.3
Room ventilation rate (Q): 1310
Quantum generation rate per infecter (q): 48
Time in hours (t): 8
=====
| infected|      p|      Q|      q|    time|  masks|  prob|
|-----|
|      1|    0.30|  1310.00|   48.00|    8.00|   on|  2.174%|
|-----|
Probability of infection is: 2.17448%

```

Tabulka 14 a 15: 3. experiment s rouškami pro $q = 14$ a $q = 48$

5.3 Závěry experimentů

Celkově tedy byly provedeny 4 experimenty. 1. experiment sloužil k ověření validity výsledků studie [1]. Zbylé 3 experimenty sloužily ke zjištění, zda jsou na trhu ventilační jednotky, které by mohly snížit pravděpodobnost nákazy na 1%.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Závěr ověřování studie je takový, že z nějakého důvodu ve studii nekladli důraz na přesnost jejich výsledků a v důsledku toho výzkumníkům vychází jiná čísla než nám. Nám se tedy pomocí našeho matematického modelu podařilo zpřesnit výsledky.

V rámci experimentování s běžně dostupnými ventilacemi jsme došli k závěru stejnému jako výzkumníci ve studii. Momentálně je opravdu velice složité zajistit ve větších prostorech ventilaci dostatečnou na to, aby byla pravděpodobnost nákazy ostatních lidí menší než 1% a to i v případě nasazení roušek. Také jsme se přesvědčili o tom, že používání roušek je velice účinné, dokonce možná účinnější, než jsme předpokládali.

7 Literatura

- [1] Dai H.; Zhao B.: Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces. [online], 27. červenec 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/343415585_Association_of_the_infection_probability_of_COVID-19_with_ventilation_rates_in_confined_spaces
- [2] Noakes C. J.; Sleight A. P.: Applying the Wells-Riley equation to the risk of airborne infection in hospital environments: The importance of stochastic and proximity effects. [online], 17.-22. srpen 2008 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303547424_Applying_the_Wells-Riley_equation_to_the_risk_of_airborne_infection_in_hospital_environments_The_importance_of_stochastic_and_proximity_effects
- [3] Lowry A. J.: THE WELLS-RILEY EQUATION AND COVID-19: REDUCING RISK IN INDOOR ENVIRONMENTS. [online]. *Neznámé datum* [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.kw-engineering.com/reduce-risk-covid-19-indoor-air-conditioning-hvac-ventilation-buildings-wells-riley-equation/>
- [4] *Neznámý autor*: Air changes per hour. [online]. *Neznámé datum* [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_changes_per_hour
- [5] Duan X. etc.: Highlights of the Chinese Exposure Factors Handbook(Adults). [online]. Leden 2015 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/294645842_Highlights_of_the_Chinese_Exposure_Factors_HandbookAdults
- [6] Hui S. D.; Chow B. K.; Chu L.; Sussana S.; Lee N.; Gin T.; Chan M. T. V.: Exhaled Air Dispersion during Coughing with and without Wearing a Surgical or N95 Mask. [online]. 5. prosince 2012 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3516468/>
- [7] Davies A.; Thompson K.; Giri K.; Kafatos G.; Walker J.; Bennet A.: Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic?. [online]. 22. května 2013 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7108646/>
- [8] Rekuperační a ventilační jednotky. https://www.sorke.cz/vetraci-a-rekuperacni-jednotky/lokalni-rekuperace?gclid=CjwKCAiAwrf-BRA9EiwAUWwKXsNVz7_LuCLDgp1vy41hrI1DcMTdmkKFLPIBlj9q_Wy1ldPihizf5hoCttIQAvD_BwE
- [9] Peringer P.; Hrubý M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám z kurzu Modelování a simulace z VUT FIT . [online] 21. září 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>