

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta informačních technologií



Epidemiologické modely - mikroúroveň

Modelování a simulace
2020/2021

Martin Macháček (xmacha73)
Ondřej Studnička (xstudn00)

3. prosince 2020

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Spolupráce	2
1.2	Zdroje informací	2
1.3	Použité technologie	2
2	Fakta a průzkum	3
2.1	SARS-CoV-2	3
2.2	Statistiky divadla	3
2.3	Statistiky opatření	3
3	Hypotézy a modifikace	4
3.1	Covid-19	4
3.2	Místnosti a rozměry	4
3.3	Pohyb osob	4
4	Koncepce	4
5	Architektura a implementace	6
5.1	Překlad a spuštění programu	6
5.2	Implementace	6
6	Experimenty	9
7	Hodnocení a validace	13
8	Závěr	13
9	Zdroje	14

1 Úvod

Práce se věnuje epidemiologickému modelu na mikroúrovni. Zaměřuje se na aktuální epidemii nemoci Covid-19, kterou způsobuje vir SARS-CoV-2. Model je aplikován na Slovácké divadlo v Uherském Hradišti. Výsledkem práce je vytvoření abstraktního modelu[11][str. 40], jeho implementace, a v neposlední řadě validace, analýza a porovnávání výsledků experimentů vzhledem k vybraným opatřením.

Hlavní motivací pro vyhotovení práce byla osobní potřeba porovnat efektivitu různých opatření za účelem zpomalení šíření epidemie Covid-19.

1.1 Spolupráce

Na studii spolupracovali Martin Macháček a Ondřej Studnička z FIT VUT v Brně. Práce vznikla vznikla v rámci projektu do předmětu Modelování a simulace ve studijním ročníku 2020/2021 [link].

1.2 Zdroje informací

Hlavním zdrojem informací týkajících se epidemie a jejich modelů jsou odborné studie a věrohodné články dostupné na internetu (postupně zmiňovány níže). Za účelem zjištění podrobnějších informací o dodržovaných opatřeních bylo kontaktováno samotné Slovácké divadlo, to však nebylo schopné některá potřebná data poskytnout. K zajištění validity této práce je tedy vycházeno z veřejně dostupných informací o divadle, opatřeních a nemoci Covid-19. Autoři dále vycházejí z vlastních zkušeností, které získali při osobní návštěvě divadla (např. přestávka trvá 15 minut).

Validita taktéž vychází z věrohodnosti uvedených zdrojů. Pokud práce ve svém modelu využívá informaci, kterou nelze jednoznačně stanovit, bude na ni nahlíženo jako na hypotézu. Pokud model nějakou informaci zkresluje, tak bude předem stanoveno o jakou informaci se jedná, jak je s ní pracováno, případně jaké jsou důsledky její nepřesnosti.

1.3 Použité technologie

- C++
- Windows Subsystem for Linux
- Server Merlin

2 Fakta a průzkum

2.1 SARS-CoV-2

Vir SARS-CoV-2 má inkubační dobu 4-6 dní [2], nejvyšší riziko pro okolí představuje nakažený jedinec 1 den [14] před propuknutím symptomů. Díky kombinaci těchto faktorů můžeme zanedbat přenos z nově nakažených diváků na diváky zdravé.

2.2 Statistiky divadla

Práce využívá pro svůj model pouze hlavní scénu divadla a místnost před scénou. Kapacita scény činí **382 sedadel**, z toho **270** v přízemí a **112** na balkóně[4]. Průměrná návštěvnost hlavní scény Slovákého divadla v roce 2019 byla **299** diváků na jedno představení[5] (vypočteno z průměrné návštěvnosti jednotlivých představení hraných na hlavní scéně divadla).

Z evakuačního plánu budovy vyplývá, že prostor, kde se diváci mohou volně pohybovat (místnost před scénou) před/po představení a během přestávky, má plochu **533m²**[8]. Nejdelší představení divadla se hraje téměř **3 hodiny**[3], s tím, že každá přestávka trvá **15 minut**. Rozměry sedadla jsou přibližně **60cm** na šířku a **74cm** do hloubky [12].

2.3 Statistiky opatření

Riziko nákazy virem je ovlivňováno mnoha faktory[7][9], například venkovní/vnitřní prostory, zdravotní stav jedince, věk, ... Toto riziko lze snižovat různými způsoby - od četnější desinfekce rukou až po vládní restrikce[10]. Studie se zaměřuje pouze na základní opatření, a sice **dodržování rozestupů, rozesazení a nošení roušek**.

Podle výsledků studie z června 2020 [6] lze uvést, že pokud vedle sebe stojí dva lidé na vzdálenost **kratší než 1 metr** a jeden z nich je nakažen virem, pak pravděpodobnost infikování dosud nenakaženého člověka činí **12,8%**. V případě, že tito dva lidé od sebe stojí dále než 1 metr, tak se riziko přenosu infekce snižuje na **2,6%**. S každým dalším metrem pak toto procento klesá **na polovinu předchozí hodnoty**. Účinnost roušek je opět ovlivňována mnoha okolními vlivy, mezi které patří například materiál, tvar obličej, doba nošení, ... Z odborné studie víme, že chirurgická rouška dokáže snížit riziko nákazy **4,1x až 5,3x**[13].

3 Hypotézy a modifikace

3.1 Covid-19

Je potřeba zmínit, že kvůli aktuálnímu stavu nemoci Covid-19, a jejímu průběhu, nelze uvedené procentuální hodnoty v sekci 2.4 považovat za absolutní fakta. Do určité míry se totiž stále jedná o hypotetické informace, a to i přes fakt, že vychází z uznávaného zdroje.

3.2 Místnosti a rozměry

I přesto, že místnost, kde se lidé schází mimo hlavní scénu, není symetrická, tak v rámci práce s touto místností si ji model definuje jako čtverec.

Pro snazší interakci s hlavní scénou bylo nutné sjednotit počet sedadel v každé řadě a zároveň zachovat jejich celkový počet. Proto proběhla modifikace sedadel na balkonku a v přízemí na mřížku reprezentující obdelník. Pro jednodušší znázornění je potřeba také modifikovat rozměry sedaček na 50x50cm a mezery mezi jednotlivými řadami sedadel stanovit na 50cm. Bližší popis je uveden v sekci 4.

3.3 Pohyb osob

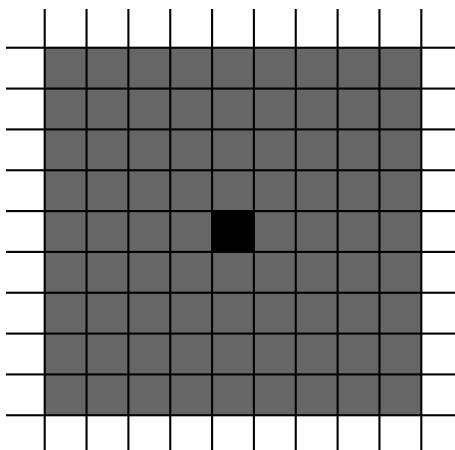
Jelikož v reálném světě nejde s absolutní jistotou definovat pohyb člověka v čekací místnosti, bude se tento pohyb popisovat využitím postupného generování dvojic pseudonáhodných hodnot.

4 Koncepce

Abstraktní model práce je založen na třech celulárních automatech[11][str. 289]. Jedná se o prostorový model, který je schopen vykazovat komplexní chování, operuje v diskrétním prostoru i čase[1]. V prvním celulárním automatu se odehrává šíření nemoci při pseudonáhodném pohybu a interakci lidí uvnitř čekací místnosti (probíhá zde počáteční čekání na představení a následné přestávky). Druhý a třetí celulární automat odpovídá souběžnému průběhu šíření uvnitř hlavní scény (balkon a přízemí).

Je nezbytné stanovit souvislost mezi jedním polem v celulárním automatu a reálnou vzdáleností. V případě tohoto modelu jedno pole CA odpovídá 50x50cm reálné plochy. Z uvedených dat a modifikací lze balkoněk potom definovat jako CA o rozměrech 14x16 a přízemí jako CA o rozměrech 30x18 (bere se v potaz i mezera mezi řadami). V případě čekací místnosti potom jde o CA s rozměry 46x46.

Každá buňka čekací místnosti může nabývat ve své podstatě dvou stavů - je zde člověk/ není zde člověk. Tito lidé jsou na sobě závislí, což znamená, že se mohou navzájem ovlivňovat. Každý člověk v modelu může nabývat jednoho ze dvou stavů, a sice nenakažen/nakažen. Aktivace tohoto stavu se odvíjí od procentuální šance v kombinaci s opatřeními a vzdáleností (počtu polí) od přenašeče. Lidé pro kontrolu okolních buněk v základu používají 9x9 Moore sousedství.



Obrázek 1: Moore sousedství 9x9

Jednotka časové množiny[11][str. 21] modelu odpovídá jedné minutě reálného času, s tím, že krok v tomto čase je 1 (rychlost simulace není nijak omezena). Čekání na začátek představení trvá 30 časových jednotek (dále jen ČJ), přestávka trvá 15 ČJ. Představení má předem stanovenou délku, a to 60, 120 nebo 180 ČJ. Po začátku představení se každých 60 ČJ představení přeruší, a aktivuje se přestávka. Lze tedy uvést, že:

- pokud má představení 180 ČJ, pak časová množina nabývá $T_d = \{0, 1, 2, \dots, 254\}$
- pokud se bude jednat o představení dlouhé 120 ČJ, pak $T_d = \{0, 1, 2, \dots, 179\}$
- pokud pouze 60 ČJ, pak $T_d = \{0, 1, 2, \dots, 104\}$.

V čekací místnosti se osoby pohybují způsobem popisovaným výše[3.3], konkrétně skrze generátor pseudonáhodných čísel z množiny $\{-1, 0, 1\}$. V průběhu představení tuto možnost pohybu ztrácí, neboť jsou fixně umístěny na sedadlech. Každé osobě je přiřazeno číslo sedadla skrze generátor pseudonáhodných čísel množiny $\{0, 1, 2, \dots, 381\}$. Na začátku se osoby pseudonáhodně rozgenerují do čekací místnosti, těsně před začátkem představení jsou pak přiřazeny do sedadel v místnosti hlavní scény (balkónek a přízemí). Při každé přestávce se osoby znovu rozgenerují do čekací místnosti, kde mají volnost pohybu, po konci přestávky se vrací zpátky na své původní sedadlo v místnosti hlavní scény.

Přenášení nemoci je počítáno na základě zjištěných procentuálních hodnot 2.4. Pokud člověk, který ještě není nakažen, přijde do kontaktu s přenašečem, aplikuje se na něj vypočtená šance pro nákazu. Pseudokód níže popisuje způsob výpočtu této šance.

```
sance = 12,8%
if vzdalenost od prenasece > 1
    sance = 2.6%
    if vzdalenost od prenasece > 3
        sance = sance / 2
if rousky
    sance = sance / efektivita rousky    // 4.1x - 5.3x
```

5 Architektura a implementace

5.1 Překlad a spuštění programu

Před spuštěním programu je potřeba nejprve provést jeho přeložení pomocí příkazu `make`. Příkazem `make run` s případnými argumenty se spustí samotná simulace.

Přepínač	Zkratka	Popis	Možné hodnoty	Výchozí
Roušky	-m	Nošení roušek	— ¹	OFF
Rozesazení	-sd	Volná místa mezi diváky	celé číslo 0 - 2	0
Rozestupy	-d	Ve volných prostorech ($\geq 1\text{m}$)	— ¹	OFF
Počet nakažených	-i	Před příchodem do divadla	celé číslo 1 - 10	1
Délka představení	-t	Délka představení (hod)	celé číslo 1 - 3	2
Experimental	-grid	Zobrazí CA pro každou ČJ	— ¹	OFF
Nápověda	-help	Zobrazí nápovědu	—	—

Tabulka 1: Přepínače

Příklad spuštění s argumenty: `make run args="-sd 2 -m -i 3"`

5.2 Implementace

Program využívá 3 hlavní třídy. Patří mezi ně: `Room`, `Field` a `Person`. Tyto třídy slouží jako šablona pro tvorbu konkrétních objektů. Hlavní třída `Room` představuje CA z koncepce výše, je implementován jako `vector<vector<Field>>`.

Jak už názvy napovídají, objekt třídy `Room` nese informace o konkrétním CA (v tomto případě čekací místnost, přízemí a balkon), objekt z `Person` nese informace o člověku, konkrétně jestli je nebo není nakažen, jestli je nebo není přenašeč a přiřazené číslo sedadla v sále. Objekt třídy `Field` nese své souřadnice a ukazatel na element vektoru `persons`.

Příprava k simulaci

Množina lidí, kteří budou působit v simulaci je reprezentována jako `vector<Person>` o výchozí velikosti 299 (průměrný počet). Ihned po inicializaci vektoru se prvním X lidem (určeno přepínačem -i nebo výchozí hodnotou 1) v tomto vektoru nastaví příznak `isSpreader` na hodnotu `true`, tedy označí tyto lidi jako přenašeče. Následně se přiřadí zasedací pořádek, a to skrze funkci `assignSeats`, která funguje na základě generování pseudonáhodného celého čísla v rozmezí 0 - 381 (použitá čísla už se nemohou vygenerovat znovu). Mezery mezi sedadly v případě -sd jsou implementovány funkcí `createAvailableSeats`.

Je potřeba zdůraznit fakt, že kapacita divadla (počet sedadel) není nekonečná. V případě, že počet dostupných sedadel nestačí počtu lidí, bude tento počet lidí snížen. Například přepínač "-sd 1" zajistí to, že se počet dostupných sedadel zredukuje na 191, neboť každé druhé sedadlo musí být volné, tudíž se počet lidí musí ve výchozím případě snížit na 191. Na tyto změny program upozorňuje ihned po spuštění.

¹Pro aktivaci stačí v argumentech zadat pouze zkratku přepínače

Po zasedacím pořádku se vytváří 3 instance třídy `Room`, přičemž jejich inicializace zároveň specifikuje i rozměry (uvedené v sekci 4). Tyto instance představují jednotlivé místnosti, ve kterých se bude simulace odehrávat - objekty `waitingRoom`, `balcony` a `ground`.

Těsně před začátkem simulace proběhne rozmístění osob do místnosti `waitingRoom` za pomoci funkce `assignPersonsRandomlyToRoom`. Ta generuje pomocí `do while` cyklu pro každou dosud neumístěnou osobu souřadnice v místnosti. Zároveň se stará o to, aby k jednomu poli směla být přiřazena pouze jedna osoba. Jelikož objekt třídy `Person` není vázaný na souřadnice a jednotlivá pole v místnostech ho referencují jako pouhý ukazatel, můžeme rovnou tyto lidi z vektoru `persons` rozmístit také do `balcony` a `ground`. Toto rozmístění funguje na základě výpočtu souřadnic v místnostech `balcony` a `ground` podle přiřazeného čísla sedadla na začátku programu, konkrétně ve funkci `assignPersonsToHall`. Níže je částečná ukázka implementace této funkce.

```
if (person.getSeat() < (balcony.getWidth() * balcony.getHeight())){
    int seatRow = (int)person.getSeat() / balcony.getWidth();
    int seatCol = person.getSeat() - seatRow * balcony.getWidth();

    balcony.setPersonAt(seatRow, seatCol, person);
}
```

Následná funkce `adjustGridToMatchLegSpace` modifikuje `balcony` a `ground` tak, aby vzdálenost mezi řadami sedaček více odpovídala skutečnosti.

Průběh simulace

Simulace časových okamžiků je v každé místnosti implementována skrze jednoduchý `while` cyklus. Klíčem k simulaci jednotlivých místností je funkce `executeBehavior`. Tato funkce implementuje chování lidí a přenos nemoci, je postupně volána v každé iteraci pro každé pole v CA. Samotné šíření nemoci je implementováno funkcí `tryToInfectForEachSpreaderAround`, která se volá nad každým objektem třídy `Field`, u něhož platí `this->person != NULL` (není prázdné).

Délka simulace, jak už popisuje koncepce, závisí na hodnotě počátečního parametru `-t`. Přepínač je implementován skrze jednoduchý cyklus `for`, kde hodnota přepínače určuje počet iterací. Pro každou iteraci tohoto cyklu se zavolá funkce `executeHallRoom` a `executeWaitingRoom` na dobu určenou v sekci 4, ve kterých se využívají výše zmiňované funkce pro šíření nemoci a chování lidí. Zároveň se zde načítá čas simulace do globální proměnné `int SIM_TIME`.

Výstup simulace

Výstup programu spočívá ve způsobu sdělení důležitých dat během simulace. Po spuštění programu je vypsán souhrn vstupních dat, které budou simulaci ovlivňovat (volitelné přepínače). Výchozí nastavení dále udává výstupní informace jako čtveřici hodnot pro každou jednotku času simulace, a to konkrétně ve tvaru:

```
Simulation time: X    Infected: Y    Susceptible: Z    Percentage: P %
```

kde `X` představuje aktuální jednotku času v simulaci, `Y` představuje počet nakažených v čase `X`. Hodnota `Z` představuje naopak počet lidí, kteří k času `X` ještě nakažení nejsou, a v neposlední řadě hodnota `P`, která udává procentuální nakaženost v simulaci v čase `X`. Při přechodu simulace do jiné místnosti se také vypíše krátká informace o této události.

[illegible]

8

6 Experimenty

Každý experiment se skládá vždy z 5 dílčích simulací a je spuštěn pomocí příkazu uvedeného v jeho záhlaví. Ukázky jsou zaměřeny pouze na poslední ČJ simulace. Procentuální hodnoty napříč experimenty můžou být na první pohled zavádějící, ovšem při srovnání hodnot **Infected: Y** lze lépe odvodit účinnost opatření. Vstupní počet nakažených se započítává do celkového výsledku. Když výsledný počet nakažených **Y** je 1, znamená to, že se nikdo nový nenakazil. Výsledek experimentu závisí na počtu simulací.

Experiment 1: Výchozí nastavení - bez opatření

make run

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	37	262	12.3746%
179	44	255	14.7157%
179	37	262	12.3746%
179	34	265	11.3712%
179	43	256	14.3813%

Tabulka 2: Experiment 1

Z výsledku simulací uvedených v tabulce 2 lze uvést, že průměrný počet nakažených na konci simulace je 39. Experiment 4 bude tento výsledek referencovat a bude na jeho základě porovnávat potencionální efektivitu opatření.

Experiment 2: Sezení ob sedadlo

```
make run args="-sd 1"
```

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	33	158	17.2775%
179	28	163	14.6597%
179	26	165	13.6126%
179	21	170	10.9948%
179	17	174	8.90052%

Tabulka 3: Experiment 2

```
make run args="-p 191"
```

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	22	169	11.5183%
179	26	165	13.6126%
179	25	166	13.089%
179	30	161	15.7068%
179	31	160	16.2304%

Tabulka 4: Experiment 2

Je nutno zdůraznit, že počet lidí se redukuje na 191, proto je potřeba porovnávat s experimenty se stejným počtem lidí. V tomto experimentu lze vidět výsledky simulací při 191 lidech s rozesazením ob jedno sedadlo a výsledky simulací při stejném počtu lidí bez rozesazení. Po srovnání průměrných výsledků počtu nakažených - 25 a 26,8 lze uvést, že účinnost rozesazení ob jedno sedadlo nemusí být tak velká, jak se předpokládá.

Experiment 3: Sezení ob 2 sedadla a rozestupy

make run args="-p 84"

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	9	75	10.7143%
179	14	70	16.6667%
179	12	72	14.2857%
179	15	69	17.8571%
179	8	76	9.52381%

Tabulka 5: Experiment 3.1

make run args="-sd 2 -p 84"

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	13	71	15.4762%
179	7	77	8.33333%
179	10	74	11.9048%
179	11	73	13.0952%
179	11	73	13.0952%

Tabulka 6: Experiment 3.2

make run args="-sd 2 -p 84 -d"

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	7	77	8.33333%
179	7	77	8.33333%
179	10	74	11.9048%
179	6	78	7.14286%
179	5	79	5.95238%

Tabulka 7: Experiment 3.3

Z porovnání průměrného počtu nakažených Y z výsledků výše, podobně jako u předchozího experimentu, lze vyčíst, že ani účinnost rozesazení ob 2 sedadla není zcela tak účinné. Pokud do statistiky zahrneme i rozestupy mezi lidmi v čekací místnosti (1 metr), pak tyto opatření dávají mnohem lepší výsledky.

Experiment 4: Roušky

```
make run args="-m"
```

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	9	290	3.01003%
179	14	285	4.68227%
179	11	288	3.67893%
179	18	281	6.02007%
179	10	289	3.34448%

Tabulka 8: Experiment 4

V experimentu 4 se vyskytuje stejný počet lidí jako v experimentu 1 (299), a lze tedy porovnávat jejich výsledky. Z výsledků porovnání je zcela zjevné, že účinnost roušek je opravdu vysoká, snižuje průměrně počet nakažených z 39 na pouhých 12,4.

Experiment 5: Kombinace více opatření

```
make run args="-m -d -sd 2"
```

Simulation time: X	Infected: Y	Susceptible: Z	Percentage: P
179	1	83	1.19048%
179	4	80	4.7619%
179	6	78	7.14286%
179	6	78	7.14286%
179	7	77	8.33333%

Tabulka 9: Experiment 5

Při kombinaci roušek, rozestupů a rozesazení ob 2 sedadla se jedná o nejlepší způsob zpomalení šíření nemoci. Počet nakažených po zprůměrování výsledků simulací tohoto experimentu je pouhých 4,8 (je nutno zmínit že počet lidí je omezen na 84 kvůli rozestupům a rozesazení).

7 Hodnocení a validace

Provedenými experimenty bylo ověřeno, že větší počet opatření vede nepochybně ke zpomalení šíření viru SARS-CoV-2, respektive nemoci Covid-19. Rozesazení ob jedno sedadlo se projevuje jako nejméně účinný způsob zpomalení šíření, přičemž rouška se naopak projevuje jako nejúčinnější. Sekce 3 uvedla hypotézy a modifikace existujících statistik, na kterých model této práce v určitých směrech zakládá. V rámci těchto hypotéz lze model považovat za validní, neboť vykazuje očekávané chování vzhledem ke stanoveným podmínkám, a zakládá na důvěryhodných studiích a faktických informacích o divadle.

8 Závěr

Tato práce se zaměřila na jednoduše dosažitelná opatření, tedy dodržování odstupů mezi lidmi, rozesazení diváků v sále a nošení roušek. Z experimentů lze jednoznačně vidět, že dodržování opatření má pozitivní vliv, i přes to, že některé opatření vykazují menší účinnost, než se na první pohled může zdát.

9 Zdroje

Odkazy

- [1] Josef Amemori. *Celulární automaty*. Bakalářská práce. Praha, 2014. URL: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130141492/?lang=cs>.
- [2] Jiří Burýšek. *Průvodce covid-19: Jak dlouho trvají příznaky, ztráta čichu a chuti - Seznam Zprávy*. Lis. 2020. URL: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/kdy-clovek-zacina-byt-infekcni-pruvodce-nakazou-covidem-19-127187>.
- [3] Slovácké Divadlo. *1+2=6*. URL: <https://www.slovackedivadlo.cz/inscenace/126-jeden-dve-je-sest>.
- [4] Slovácké Divadlo. *Informace o prodeji*. URL: <https://www.slovackedivadlo.cz/informace-o-prodeji>.
- [5] Slovácké Divadlo. *Rozbory hospodaření za rok 2019*. Břez. 2020. URL: https://www.slovackedivadlo.cz/sites/default/files/prilohy/rozbory_hospodareni_2019.pdf.
- [6] Derek K Chu et al. In: *Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis* (červ. 2020). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9). URL: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)31142-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)31142-9/fulltext).
- [7] Matouš Lázňovský. Zář. 2020. URL: https://www.idnes.cz/technet/veda/kalkulacka-rizika-nakazy-covid-19-interaktivne.A200906_145347_veda_mla.
- [8] Martina Lovecká. *Ochrana osob při vzniku požáru ve Slováckém divadle*. Bakalářská práce. Zlín, 2013. URL: <http://hdl.handle.net/10563/24879>.
- [9] nčs. Čvc 2020. URL: <https://www.novinky.cz/koronavirus/clanek/koho-zabiji-koronavirus-nejvic-oxford-zverejnil-dosud-nejvetsi-studii-rizikovych-faktoru-40330145>.
- [10] Nemocnice Pardubice. Ún. 2020. URL: <https://www.nempk.cz/jak-se-chronit-proti-koronaviru>.
- [11] Petr Peringer a Martin Hrubý. *Modelování a simulace*. Zář. 2019. URL: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=/course/IMS-IT/lectures/IMS.pdf&cid=13998>.
- [12] ProSTAR. Lis. 2020. URL: <https://prostar.cz/oferta/kresla-do-divadel-astra-i>.
- [13] Marianne van der Sande, Peter Teunis a Rob Sabel. *Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population*. Čvc 2008. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2440799/>.
- [14] PharmDr. Margit Slimáková. *COVID encyklopedie*. Říj. 2020. URL: <https://www.margit.cz/covid-encyklopedie/>.