

Modelování a simulace

Simulace šíření onemocnění Covid-19 ve
vnitřních prostorech supermarketů

Michal Rein (xreinm00), Ondřej Motyčka (xmotyc07)

06.12.2020

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Autoři a zdroje	3
1.2	Validita modelu	3
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	3
2.1	Použité postupy	4
2.2	Popis původu použitých metod/technologií	4
3	Koncepce modelu	5
3.1	Popis konceptuálního modelu	5
4	Architektura simulačního modelu	6
4.1	Mapování simulačního modelu	7
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Experimenty	8
5.2.1	Experiment 1	8
5.2.2	Experiment 2	9
5.2.3	Experiment 3	10
5.3	Závěry experimentů	10
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	11
7	Reference	11

1 Úvod

Smyslem a zadáním projektu je vytvoření epidemiologického modelu [1, p. 7] z pohledu mikro-úrovně. Toto téma zahrnuje široké množství aspektů, které lze zkoumat a simulovat [1, p. 8]. V této práci jsme se však rozhodli modelovat [1, p. 8] a zkoumat dopady protiepidemiologických opatření aplikovaných ve vnitřních prostorách budov, konkrétně v supermarketech, které jsou kritické pro fungování společnosti a představují jedno z největších zdrojů blízkého kontaktu mezi lidmi, a tudíž nejvnudnější prostředí pro šíření nákazy. Jako referenční virus jsme zvolili aktuálně nejdiskutovanějšího, a pravděpodobně veřejností nejznámějšího zástupce koronaviřů, SARS-CoV-2, způsobující onemocnění nazývané Covid-19. Především nás budou zajímat dopady opatření, jako jsou omezení počtu lidí připuštěných do vnitřních prostor a dopady nošení roušek, v závislosti na celkové rozloze supermarketu.

1.1 Autoři a zdroje

Na zpracování projektu se podíleli rovným dílem studenti VUT FIT Michal Rein a Ondřej Motyčka.

Náš model je přímo založen na práci [2]. Jako další zdroj dat jsme využili například i informace o frekvenci návštěvnosti supermarketu v našem okolí ze statistik od společnosti Google.

1.2 Validita modelu

Pro účely simulací [1, p. 33] jsme sestavili referenční supermarket o rozloze 900m^2 , dobou provozu prodejny od 7 hodiny ránní do 20 hodiny večerní a celkovou průměrnou návštěvností 4000 unikátních zákazníků denně, přičemž hodiny s největší návštěvností jsou kolem 11 hodin dopoledne a 16 hodiny odpolední. Výsledky simulací, a tedy validita [1, p. 37], pak byly porovnávány s výsledky v referenční literatuře.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Námi sledovaný referenční supermarket, nacházející se v Brně, má přibližně 1200m^2 a otevírací dobu od 7 hodiny ránní do 20 hodiny večerní. Na základě dat získaných v referenční literatuře a statistik od společnosti Google jsme sestrojili následnou průměrnou frekvenci návštěvnosti pro každý hodinový úsek otevírací doby: [2,9%, 5,3%, 7,7%, 10,4%, 8,4%, 8%, 11,3%, 11%, 12,7%, 9,6%, 6,5%, 4,4%, 1,8%]. Bohužel se nám nepodařilo nalézt přesné statistiky denní návštěvnosti pro náš konkrétní supermarket, na základě statistik jiného, konkurenčního řetězce, o průměrně dvojnásobně větší rozloze a návštěvnosti

kolem 11000 zákazníků denně, jsme dospěli k odhadu kolem 4000 možných návštěvníků za den pro námi pozorovaný obchod.

Podstatným problémem je také model pohybu zákazníků uvnitř prostor supermarketů. V naší referenční literatuře je tento model velmi složitý a pro lajky velmi těžko pochopitelný. Využili jsme proto pouze jedné klíčové složky, kterou je cíl/motivace/produkt, která ovlivňuje celkový směr, kterým se přibližně zákazník během svého pobytu v prostorech supermarketu vydá (postupně tedy dojde do náhodně vygenerovaného bodu). Model tedy nepracuje se složitými sociálními a psychickými vlivy, které ovlivňují pohyb.

Samotný zákazník pak může být infikovaný nebo zdravý, přičemž dle referenční literatury spadá člověk do skupiny potenciálně nakažených již po 20 sekundách přímého vystavení nákaze, ať již blízkou přítomností nakaženého (na 1 metr) nebo výskytem jedince v oblasti kontaminované nakaženým, který vykazuje příznaky nákazy v podobě kašle. Samotné příznaky se v průměru u nakažených projevují jednou za 15 sekund, přičemž vyloučené infikované kapénky se mohou vyskytovat v okolí až 2.5 metru po dobu 15 sekund od pozice nakaženého.

Problematika roušek je dalším zkoumanou veličinou, přičemž jejich nošení má smysl především v zachycení infikovaných kapének nakažených osob. Samotný virus však materiál běžných roušek nezastaví, předpokládáme tedy, že jestliže infikovaný disponuje rouškou, možná velikost kontaminované oblasti se sníží, avšak k vylučování viru do ovzduší však stále dochází.

2.1 Použité postupy

Pro vytvoření modelu byla využita knihovna SIMLIB pro programovací jazyk C++. K popisu modelu jako systému [1, p. 18] byly vytvořeny třídy, reprezentující entity z reálného světa, které mají ať již přímý, nebo nepřímý vliv na šíření nákazy. Knihovna SIMLIB poté poskytla nástroje k realizaci diskrétní simulace [1, p. 119] našeho modelu.

2.2 Popis původu použitých metod/technologií

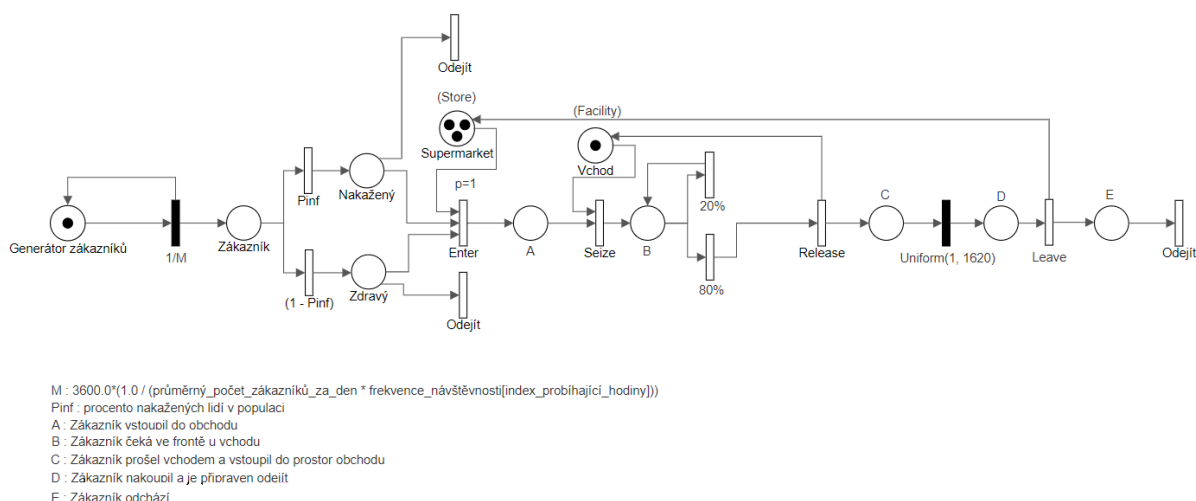
K realizaci projektu jsme využili standardní nástroje a knihovny programovacího jazyka C++, který vznikl již od počátku 80. let a umožnil nám využívat objektově orientovaný přístup k návrhu modelu. K překladu je využíván překladač g++ a nástroj GNU Make pro snadné a pohodlné řízení překladu.

Klíčová knihovna SIMLIB pro usnadnění vytváření modelů a simulací je pak volně dostupná zde¹.

3 Koncepce modelu

Tato práce se zabývá šířením epidemie na mikro úrovni. V našem případě se jedná o šíření v supermarket, na jehož ploše se volně pohybují zákazníci, kteří mohou být vystaveni nákaze.

Životní cyklus zákazníka



Obrázek A: Petriho síť modelující životní cyklus zákazníka

3.1 Popis konceptuálního modelu

Náš model se skládá z několika modelů, přičemž nejdůležitějším a největším z nich je model životního cyklu zákazníka, který je na obrázku A popsán pomocí Petriho sítě [1, p. 123]. Model zobrazuje cestu zákazníka od jeho příchodu až po jeho opuštění supermarketu. Na samotném počátku stojí generátor zákazníků, který dle konkrétní frekvence návštěvnosti pro danou hodinu upravuje svoje šance na vygenerování nového zákazníka, o což se pokouší každou jednotku simulačního času. Novému zákazníkovi je poté přidělen status nakaženého nebo zdravého jedince, a snaží se o vstup do budovy supermarketu. Právě kapacita supermarketu je jedna ze zkoumaných veličin, kterou se dá regulovat maximální počet zákazníků připuštěných do vnitřních prostor. Jestliže zákazníkovi není umožněn přístup, odchází a není tedy ani započítán do statistik. Po úspěšném

¹ <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

připuštění do budovy musí zákazník projít vchodem, který je modelován jako fronta [1, p. 31] (tato skutečnost počítá se situací, kdy se může jednat o ztísněný prostor, kam se více lidí nevleze). Podle pohybového modelu je zde 80% šance, že zákazník ihned opouští vchod a postupuje dále do útrob supermarketu. Každý zákazník může strávit nakupováním v průměru až 27 minut, poté je uchována míra vystavení infekci do statistik a zákazník odchází.

4 Architektura simulačního modelu

Před samotným spuštěním je potřeba program nejprve přeložit pomocí příkazu *make*. Samotné spuštění aplikace se provádí pomocí příkazu *make run*.

Při spuštění simulačního modelu se spustí simulace s přednastavenými hodnotami, které jsou definovány v hlavičkovém souboru *main.h*. Jednotka času simulace je interpretována jako jedna sekunda v reálném čase. K simulování příchodu zákazníků je definována třída *ZakaznikGenerator*, která na základě aktuálně probíhající hodiny s určitou frekvencí návštěvnosti generuje nový proces zákazníka. Pro každou osobu se předem určí její čas odchodu, který je periodicky kontrolován a po jehož překročení zákazník odchází.

Pro každého nového zákazníka je náhodně vygenerován tzv. objekt zájmu na nějaké souřadnici X a Y v rámci souřadnicového systému rozložení budovy, ke kterému se má proces tendenci pohybovat. Tento objekt zájmu je generován s pravděpodobností rovnoměrného rozložení [1, p. 89], je tedy dosaženo rovnoměrného pokrytí prostoru supermarketu. Samotný směr pohybu je vypočítán pro každou časovou jednotku simulace, přičemž je možné uskutečnit jeden z následujících pohybů: pohyb dopředu, dozadu, doleva, doprava a zůstat na místě. Největší pravděpodobnost pohybu daným směrem má vždy takový pohyb, který je nejbližší k objektu zájmu zákazníka. Stejná pravděpodobnost je však i na pokyn „stát“. Zákazníci se mohou pohybovat po celé ploše budovy, resp. po instancích třídy *Pole*. Jakmile je osoba umístěna na své místo, toto místo se stává obsazené a žádná další osoba na něj nemůže být přiřazena.

Podle procentuálního zastoupení infikovaných lidí v populaci má každý zákazník šanci stát se infikovaným a každých 15 sekund projevit příznaky nemoci ve formě kašle, přičemž kontaminuje všechna okolní pole v poloměru 2 metrů. Jestliže měl zákazník roušku, poloměr je redukován pouze na 1 metr. Takto kontaminovaná pole jsou označena a kontaminovaná zůstávají po dobu dalších 15 sekund. Zdraví zákazníci, kteří se v kontaminované oblasti nacházejí si čas strávený na těchto polích zaznamenávají. Stejně tak je instance třídy *Zakaznik* informována, jestliže se v jeho bezprostředním okolí nachází infikovaný jedinec. Celkový čas strávený v kontaminovaných oblastech, nebo v přítomnosti

infikovaných se při odchodu zaznamenává a na jeho základě je pak zákazník označen buď za potenciálně nakaženého, či bezrizikového.

4.1 Mapování simulačního modelu

Díky možnosti využít objektově-orientované paradigma, jsme namapovali entity modelu do následujících tříd:

- Zakaznik
 - Reprezentuje zákazníka vstupujícího do obchodu
 - Dědí vlastnosti třídy Process [1, p. 171] z knihovny SIMLIB
- Pole
 - Představuje plochu 1x1 metr
- Budova
 - Abstrakce budovy
 - Obsahuje rozložení složené z $X*Y$ instancí třídy Pole
- TimeCheck
 - Provádí kontrolu stavu jednotlivých instancí třídy Pole pro každou časovou jednotku simulace
 - Umožňuje také výpis stavu simulace a její vizuální interpretaci na standardní výstup
 - Dědí vlastnosti třídy Event [1, p. 169] z knihovny SIMLIB
- ZakaznikGenerator
 - Obsluhuje simulaci příchodu zákazníka do obchodu v závislosti na konkrétní frekvenci návštěvnosti v dané době
 - Dědí vlastnosti třídy Event z knihovny SIMLIB
- Statistiky
 - Slouží k uchování a výpisu statistik ve vhodném formátu pro výpis grafů pomocí knihoven gnuplot

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů [1, p. 8] bylo především ověřit validitu modelu, popřípadě změnit vstupní hodnoty, abychom se co nejvíce přibližovali reálným statistikám. Simulovalo se šíření nákazy ve vnitřních prostorech za různých okolností.

5.1 Postup experimentování

Pro každou sadu zkoumaných dat se simulace spouštěla přesně 10krát. Tato data se následně zprůměrovala a porovnávala mezi sebou. Hlavním výstupem experimentování pro nás byl poměr doby vystavení nákaze (minuty) a počtu

zákazníků, u kterých je toto číslo vyšší jak 20 sekund. Jestliže byl zákazník vystaven viru po delší dobu jak 20 sekund, zvedá se u něj pravděpodobnost nákazy, a tím pádem spadá do rizikové skupiny.

Postup experimentování lze popsat v několika bodech:

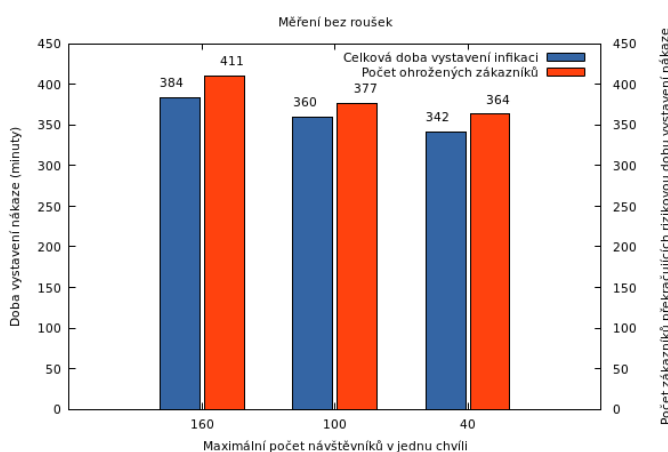
- Nastavení vstupních hodnot podle typu experimentu
- Spuštění simulace
- Vypsání výsledků experimentu do .dat souboru
- Vykreslení grafu, zhodnocení, simulace a závěr

5.2 Experimenty

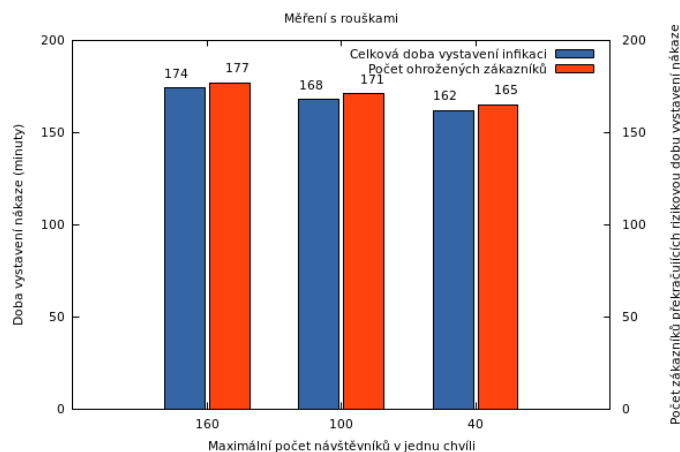
Při experimentování lze měnit velkou škálu vstupních hodnot, díky čemuž dokážeme pokrýt velké množství situací. Mimo jiné každý experiment obsahuje popis vstupních hodnot a ohodnocení výsledků. Každý z experimentů simuluje jeden průměrný pracovní den, přičemž provozní doba supermarketu je celkově 13 hodin.

5.2.1 Experiment 1

První experiment, viz. obrázky 1.1 a 1.2, zkoumá dopady nošení roušek ve vnitřních prostorách supermarketů. Tento experiment se prováděl na ploše 900 m² s průměrným výskytem nákazy v populaci 0.05 %. Osa X nám udává maximální počet zákazníků, který se může pohybovat uvnitř v jednu chvíli.



Obrázek 1.1: Experiment bez roušek

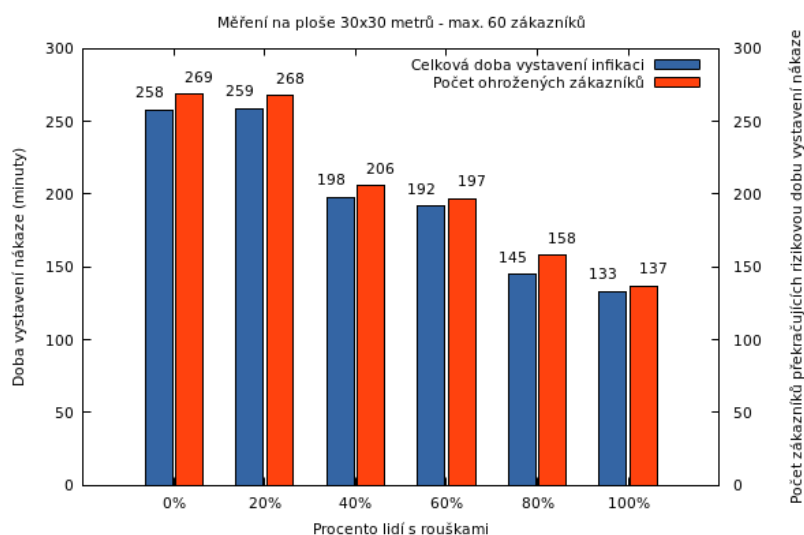


Obrázek 1.2: Experiment s rouškami

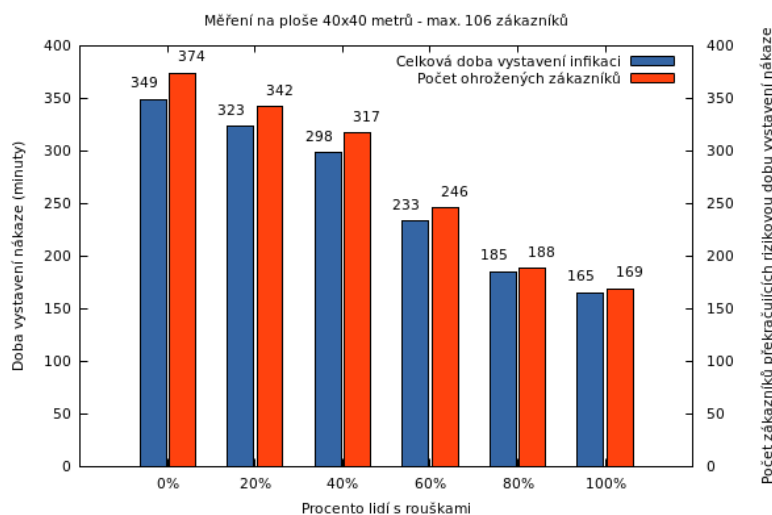
Z obrázků je viditelné, že zmenšením kapacity obchodů se zmenší počet ohrožených zákazníků. Jestliže k tomuto faktu přidáme i povinné nošení roušek, obrázek 1.2, sníží se toto číslo ještě výrazněji. Z tohoto experimentu je tedy patrné, že nošení roušek, a tím redukce úniku infikovaných kapének do ovzduší, je podstatně efektivnější, než samotné omezení počtu lidí ve vnitřních prostorách.

5.2.2 Experiment 2

Druhý experiment, viz. obrázky 2.1 a 2.2, zkoumá změnu rizika nákazy v závislosti na procentuálním poměru lidí, kteří nosí roušku. Tento experiment počítá s jedním zákazníkem na 15m² a s průměrným výskytem nákazy v populaci 0.05 %. Obrázek 2.1 předpokládá rozlohu vnitřních prostor 900 m², zatímco graf na obrázku 2.2 1600 m².



Obrázek 2.1: Experiment na ploše 900 m²

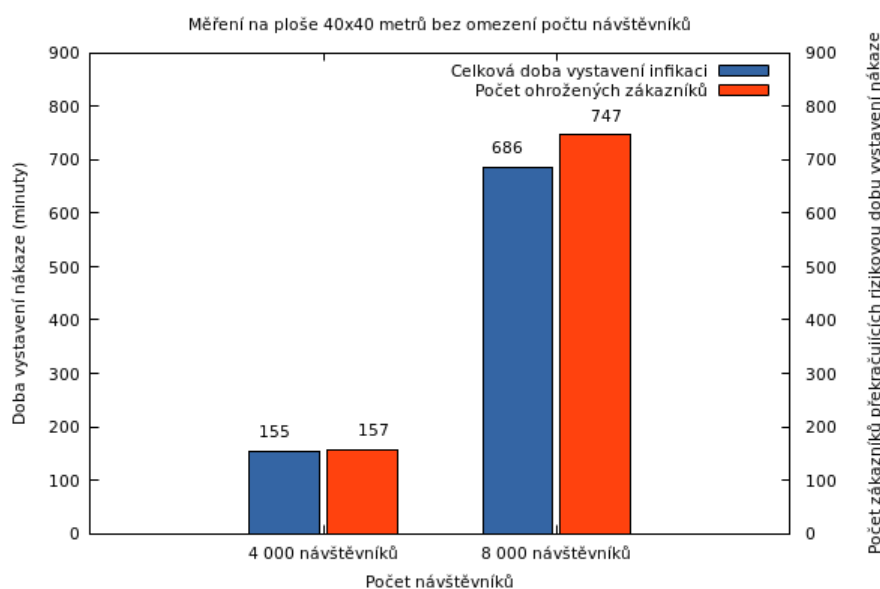


Obrázek 2.2: Experiment na ploše 1600 m²

Z obou grafů je zřejmé, že jestliže zvětšíme rozlohu supermarketu, zvýšíme tím počet ohrožených zákazníků. Roušky v tomto případě také zastávají velkou roli.

5.2.3 Experiment 3

Ve třetím experimentu, viz. obrázek 3, sledujeme změnu v celkové době vystavení nákaze, při dvou měřeních. Jedno měření probíhalo při 4000 zákazníků za den, bez jakýchkoliv omezení, pouze v rouškách. A druhé měření probíhalo při 8000 zákazníků za den, také bez omezení a v rouškách. Obě měření počítají s průměrným výskytem nákazy v populaci 0.05 %.



Obrázek 3: Experiment s různým počtem návštěvníků

Na obrázku 3 můžeme vidět drastický vzrůst naměřených hodnot. Toto měření podporuje výzkum, kde při větším počtu návštěvníků zároveň roste počet návštěvníků v rizikové skupině.

5.3 Závěry experimentů

Celkově bylo provedeno bezpočet experimentů, které poukázaly na různé chyby systému, které se nám podařilo postupně odstranit. Vzhledem k časové složitosti simulace, je velmi obtížné a časově náročné provádět simulace pro extrémní případy a utopistické scénáře.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Jak můžeme pozorovat z experimentů, výsledky simulací odpovídají hodnotám, které bychom za běžných podmínek předpokládali a dávají smysl jak z pohledu lajka, tak i referenční literatury, na které je tento model silně postaven. Obecně nás vcelku překvapil fakt, jak moc výrazný je dopad nošení roušek oproti omezení maximálního počtu osob, které smějí být v jeden okamžik přítomné ve vnitřních prostorách budovy. Je však jasně prokázáno, že případná zavedení protiepidemiologických opatření mají smysl a skutečně vedou ke snížení rizika nákazy uvnitř supermarketů.

7 Reference

- [1] P. Perigner a M. Hrubý, „Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně,“ 21 Zář 2020.
[Online]. Available:
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [2] Y. Xiao, M. Yang, Z. Zhu, H. Yang, L. Zhang a S. Ghader,
„Modeling indoor-level non-pharmaceutical interventions during the COVID-19 pandemic: a pedestrian dynamics-based microscopic simulation approach,“ 18 Červen 2020. [Online]. Available:
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2006/2006.10666.pdf>.