

IMS 2020
Dokumentace k projektu
Téma č. 2: Epidemiologické modely -
modely na makroúrovni
Tým: Lakad Matatag

06.12.2020

Zbyněk Lamačka (xlamac01)
Šimon Pomykal (xpomyk04)

Úvod

Cílem této studie je simulovat účinky omezení na vývoj epidemie v České republice. Pro tento případ jsme si vybrali použít omezení formulovaná “Protiepidemickým systémem” České republiky (dále jen PES).

Autoři

Autory tohoto projektu jsou Zbyněk Lamačka a Šimon Pomykal.

Ověření validity

Data pro náš model pochází ze dvou typů zdrojů. Prvním typem jsou data přesná, tato data pochází z ministerstev České republiky a jsou nezpochybnitelná (například počet studentů a věková skladba obyvatelstva). Druhým typem jsou data získaná experimentálně, tato data pochází z výzkumů, konkrétně se jedná o naše zdroje [8] a [9]. Z těchto výzkumů používáme počet kontaktů mezi lidmi.

Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Model je implementován v jazyce C++. Tento jazyk jsme vybrali z důvodu zjednodušení implementace oproti jazyku C.

Další použitou technologií je GNU Make, který používáme pro překlad a spuštění.

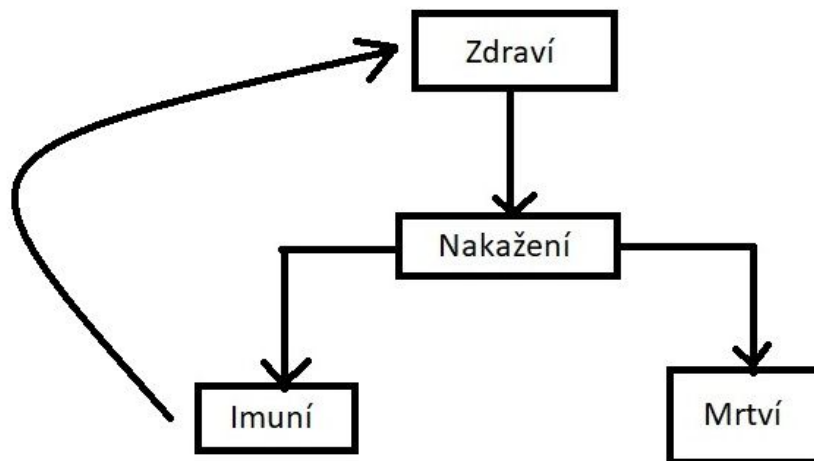
Koncepce - implementační témata

Jedná se o deterministický model, který předpokládá že každý člověk se může nacházet právě v jednom ze stavů definovaných modelem.

Stavy:

- **Zdraví** - lidé kteří mohou být nakaženi nemocí COVID
- **Nakažení** - lidé nakažení nemocí COVID
- **Imunní** - lidé kteří prodělali COVID a jsou imunní
- **Mrtví** - lidé, kteří zemřeli na COVID

Na začátku simulace jsou všichni lidé ve stavu “Zdraví” a jeden člověk (pacient 0) ve stavu “Nakažený”



Populace je rozdělena do sociálních skupin na:

Název Populace	Počet obyvatel
předškolní věk	340 400
mateřská škola	364 909 [1]
základní škola	952 946 [1]
střední škola	427 674 [1]
vysoká škola	306 869 [1] [4]
mladší produktivní věk	2 761 821
starší produktivní věk	3 041 614 [3]
důchodci	2 403 767 [2]

Produktivní věk = Populace - Předškolní věk - Studenti - Důchodci

mladší = Produktivní věk * (% zastoupení věku 20-39 v Produktivním věku [3])

starší = Produktivní věk * (% zastoupení věku 40-64 v Produktivním věku [3])

Předškolní věk = počet narozených(2017-2019)

Každá z těchto skupin má za den určitý počet kontaktů různých typů. Tyto počty jsou odvozeny z výzkumu [9]. Tento výzkum obsahuje průměrný počet kontaktů podle věkové skupiny. My jsme tyto věkové skupiny namapovali na naše skupiny populace (například základní škola atd). Pokud se dala namapovat jedna skupina na druhou přesně (vazba 1 : 1), použili jsme jako celkový počet kontaktů toto číslo. Pokud jedna naše skupina se mapuje na víc skupin z výzkumu, provedli jsme zprůměrování těchto hodnot. Takhle jsme zjistili průměrný počet kontaktů v rámci jedné populační skupiny. Ze stejného výzkumu jsme zjistili, rozložení těchto kontaktů. Jako další zdroj rozložení kontaktů jsme použili výzkum [8]. Oba výzkumy se shodli, že 40% až 50% kontaktů proběhlo v rámci domácnosti. Proto jsme se rozhodli 40% kontaktů eliminovat a rozdělit pouze zbylých 60% mezi typy kontaktů (školství, nakupování atd). Tady má skupina “Předškolní věk”, zvláštní postavení protože nepředpokládáme, že by se děti tohoto věku dostali do významného kontaktu s populací a mohlo dojít k nákaze. Rozdělení kontaktů ostatních skupin jsme se snažili co nejpřesněji odhadnout.

	školství	nakupování	kultura	sport	služby	společenské akce	restaurace
Předškolní věk	0	0	0	0	0	0	0
mateřská škola	5	1	0	0	1	0	0
základní škola	6	2	1	1	1	0	0
střední škola	5	2	1	1	1	1	2
vysoká škola	3	1	1	1	1	1	2
mladší produktivní věk	0	2	2	2	1	1	2
starší produktivní věk	0	2	2	1	2	1	1
důchodci	0	2	1	0	1	1	0

A také hodnotu mortality: [10]

Název Populace	Mortalita
předškolní věk	0%
mateřská škola	0%
základní škola	0.2%
střední škola	0.2%
vysoká škola	0.2%
mladší produktivní věk	0.2%
starší produktivní věk	0.85%
důchodci	8.8%

Mortalitu jsme přepočítali tak aby odpovídala věkovým kategoriím.

Jsou definovány následující přechody mezi stavy:

- **Zdraví -> Nakažení** - simuluje šíření viru pro každého nakaženého a pro každý jeho kontakt
 - **riziko přenosu * (počet zdravých / celková populace) * omezení**
 - riziko přenosu - riziko přenosu nemoci COVID při kontaktu s osobou 3.8% [7]
 - počet zdravých - počet zdravých osob v populaci
 - celková populace - populace České republiky
 - omezení - omezení efektivity daného kontaktu podle hodnoty z tabulky PES
- **Nakažení -> Mrtví** - po 14 dnech s šancí odpovídající mortalitě
- **Nakažení -> Imunní** - po 14 dnech, pokud nejde do mrtvých
- **Imunní -> Zdraví** - po 90 dnech (skončení imunity)

Simulace v jednotlivých denních cyklech upravuje počty obyvatel v jednotlivých stavech podle přechodů.

Pro výpočet hodnoty PES používáme zjednodušený model ministerstva zdravotnictví [6]. Hlavní zjednodušení spočívá v okamžité změně hodnoty PES oproti zpoždění při změně nahoru o tři dny a při poklesu o sedm dní. Dalším zjednodušením je použití průměrné positivity populace místo průměrné positivity testů. Dále pro výpočet reprodukčního čísla používáme podíl **přírůstek nakažených dnes / přírůstek nakažených včera**.

Opatření v rámci systému PES simulujeme jako procentualitu vůči referenčnímu stavu, kterým myslíme stav, kdy PES vůbec není aktivní, protože i PES hodnoty 1, tedy nejmírnější opatření, obsahuje jistá omezení.

Procentualitu odvozujeme z oficiálních opatření v rámci systému PES. Některé kategorie jsou odvozeny velmi přesně, protože přímo PES obsahuje omezení v procentech. Některé kategorie (například školství) jsou odvozeny pouze na základě odhadů s ohledem na opatření uvedená v rámci systému PES.

V níže uvedené tabulce jsou uvedena námi odvozená procenta oproti referenčnímu stavu.

Typ Kontaktu	PES0	PES1	PES2	PES3	PES4	PES5
školství	100	95	90	70	20	3
nakupování	100	95	80	70	10	5
kultura	100	100	50	25	0	0
sport	100	80	60	20	10	5
služby	100	85	80	75	0	0
společenské akce	100	95	50	30	13	8
restaurace	100	90	80	50	5	5

Architektura simulačního modelu/simulátoru

Data potřebná k simulaci jsou uchovávána následujícím způsobem:

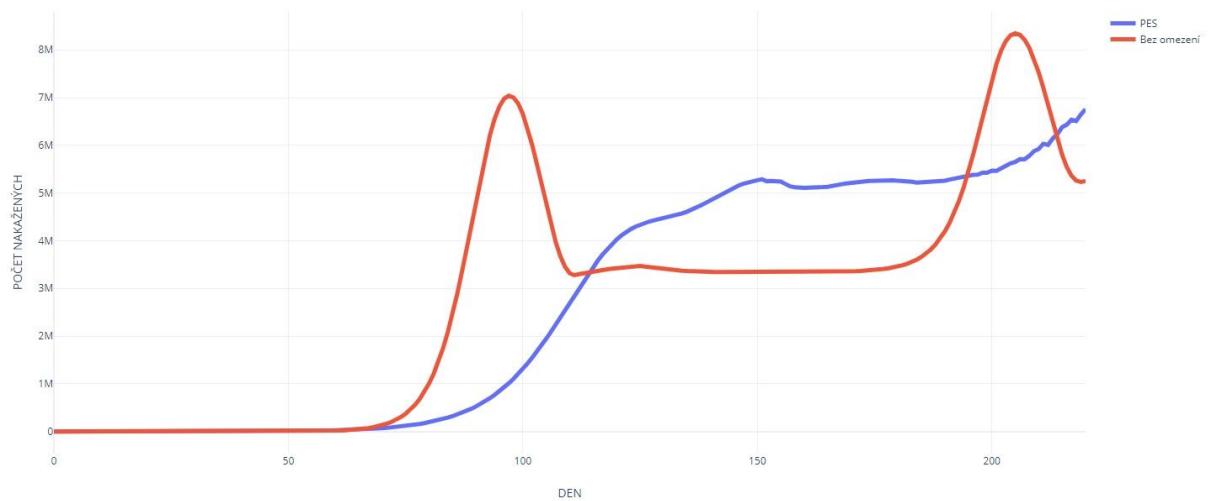
- Třída **Populace** - obsahuje souhrnné informace o populaci a změnách stavů v průběhu epidemie.
- Třída **TypPopulace** - obsahuje veškeré informace o populaci daného typu a změnách stavů v průběhu epidemie
- Třída **StavPopulace** - obsahuje počet lidí v daném stavu pro každý den simulace

Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

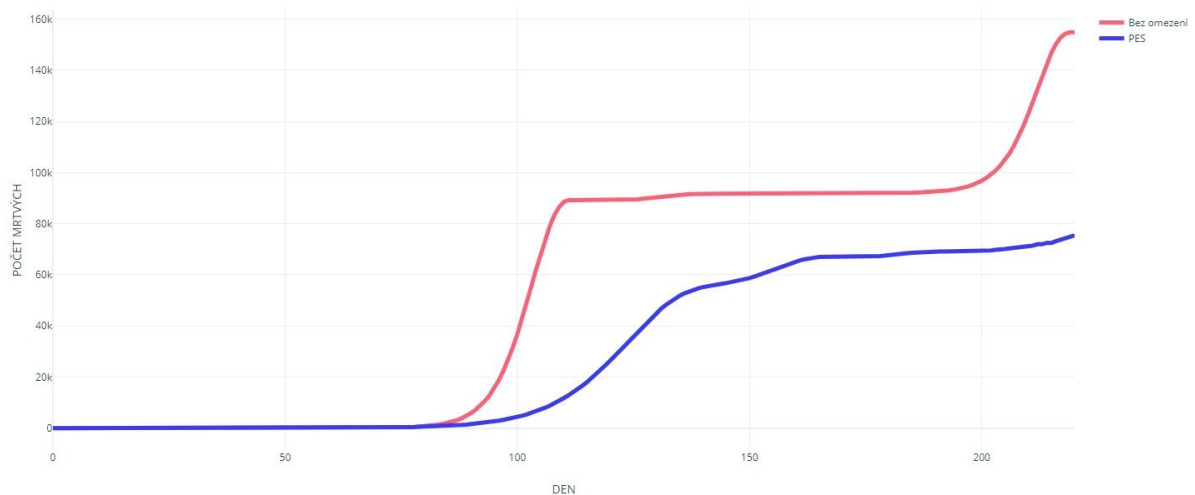
Podstata simulačních experimentů spočívá v tom, že simulujeme průběh bez omezení a s omezeními podle PES a následně porovnáme tyto průběhy. Průběh epidemie budeme simulovat po délku 250 dní.

Shrnutí simulačních experimentů a závěr

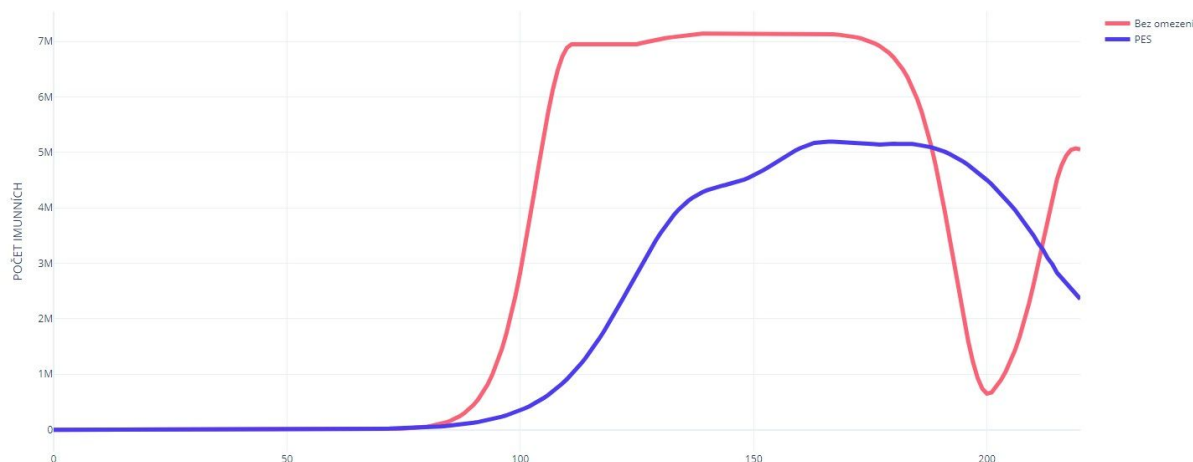
Po provedení simulací jsme došli k následujícím výsledkům, kdy v každém grafu modrá křivka odpovídá vývoji kdy byla aplikována omezení PES. Červená křivka odpovídá situaci bez omezení.



Graf počtu nakažených obyvatel (v daném dni)



Graf počtu mrtvých obyvatel (v daném dni)



Graf počtu imunních (v daném dni)

I když z následujících grafů je zřejmé že absolutní čísla jednoznačně neodpovídají průběhu epidemie tak, jak opravdu v České republice proběhla, naši studii to nijak neovlivňuje, protože nás zajímá pouze změna vývoje křivky epidemie, tedy rozdíl křivky “Bez omezení” a křivky “PES”.

Jaký je tedy efekt systému PES na vývoj epidemie v našem modelu?

Z prvního grafu je vidět, že pokud jsou na populaci aplikována omezení PES dojde k eliminaci vln nárůstu počtu nakažených. Pokud si všimneme tak toto je období kdy v simulaci “Bez omezení” umírá nejvíce lidí. Dalo by se dokonce říci že naprostá většina. V průběhu s omezením PES počet mrtvých roste sice pomaleji, přesto se ale růst nezastaví.

Interval mezi jednotlivými vlnami zhruba odpovídá trvání imunity (3 měsíce). Protože velké část populace se nakazí ve velmi krátkém intervalu.

Hlavní efekt omezení na vývoj epidemie spočívá tedy v tom, že vyhladí průběh epidemie.

Zdroje

- [1] "Základní údaje o školách v regionálním školství za období 1989/90 až 2019/20, MŠMT ČR", Msmt.cz, 2020. [Online]. Available: <https://www.msmt.cz/vzdelavani/skolstvi-v-cr/statistika-skolstvi/zakladni-udaje-o-skolach-v-regionálním-skolstvi-za-období> [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [2] "Důchodová statistika - Česká správa sociálního zabezpečení", Cssz.cz, 2020. [Online]. Available: https://www.cssz.cz/web/cz/duchodova-statistika#section_0 [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [3] "Věková struktura obyvatel ČR", Eprehledy.cz, 2020. [Online]. Available: http://www.eprehledy.cz/vekova_struktura_obyvatel_cr.php [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [4] "Data o studentech, poprvé zapsaných a absolventech vysokých škol, MŠMT ČR", Msmt.cz, 2020. [Online]. Available: <https://www.msmt.cz/vzdelavani/skolstvi-v-cr/statistika-skolstvi/data-o-studentech-poprve-za-psanych-a-absolventech-vysokych>. [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [5] "Pohyb obyvatelstva - rok 2018 | ČSÚ", Czso.cz, 2020. [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/cr/pohyb-obyvatelstva-rok-2018>. [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [6] "Protiepidemický systém ČR | Onemocnění Aktuálně MZČR", onemocneni-aktualne.mzcr.cz, 2020. [Online]. Available: <https://onemocneni-aktualne.mzcr.cz/pes>. [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [7] "Contact Settings and Risk for Transmission of SARS-CoV-2 - American College of Cardiology", American College of Cardiology, 2020. [Online]. Available: <https://www.acc.org/latest-in-cardiology/journal-scans/2020/08/17/15/40/contact-settings-and-risk-for-transmission>. [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [8] Kathy Leung et al. "Social contact patterns relevant to the spread of respiratory infectious diseases in Hong Kong", 2017. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5554254/> [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [9] Joël Mossong et al. "Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases", Ncbi.nlm.nih.gov, 2008. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2270306/> [Accessed: 07- Dec- 2020].
- [10] "Coronavirus Death Rate (COVID-19) - Worldometer", Worldometers.info, 2020. [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/coronavirus/coronavirus-death-rate/>. [Accessed: 07- Dec- 2020].