



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA  
W KRAKOWIE**

**Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii  
Biomedycznej**

**Dokumentacja**

## ***COVID-19 Outbreak Simulation***

Autorzy: Vyacheslav Trushkov, Mikita Karabeinikau, Andrei Zhyunou

Opiekun projektu: Robert Lubaś

Kraków

2020

# Spis treści

<i>Spis treści</i>	2
<i>Opis</i>	3
<i>Algorytm</i>	3
<i>Model SEIR</i>	4
<i>Dodatki</i>	6
<i>Źródła</i>	7

## Opis

Celem projektu jest symulacja rozpowszechniania się wirusa COVID-19 od momentu pojawienia 8 grudnia 2019 roku (rys. 2) do momentu osłabienia kwarantanny. Taki końcowy punkt został wybrany dlatego że funkcje wykorzystywane w symulacji dla opisu kwarantanny nie pozwalają na rozpatrywanie osłabień. Symulacja jest oparta na algorytmu opisanym niżej.

## Algorytm

Na potrzeby symulacji został stworzony algorytm który odpowiada za zarażenia innych państw państwem rozpatrywanym. Ten algorytm bazuje się na plikach z informacją o pieszych i lotniczych przekroczeniach granic państwa. Za pomocą algorytmu oblicza się prawdopodobieństwo zarażenia do momentu wprowadzenia kwarantanny. Ono zależy od ilości zakażonych w państwie i ilości turystów w państwach sąsiadujących w przypadku pieszego przekroczenia granicy oraz jakichkolwiek państw w przypadku lotniczych przekroczeń granic. Dla każdego państwa po zakażeniu pierwszej osoby zaczynamy rozpatrywać deterministyczny model SEIR osobno.

## Model SEIR

Deterministyczny model SEIR jest oparty na klinicznym postępie choroby, statusie epidemiologicznym osób i środkach interwencyjnych (ryc. 1). Stratyfikujemy populację jako podatne ( $S$ ), narażone ( $E$ ), zakażone ( $I$ ), hospitalizowane ( $H$ ) i wyleczone ( $R$ ) przedziały, a następnie stratyfikujemy populację do podatnych na kwarantannę ( $Sq$ ) i poddanych kwarantannie osób podejrzanych ( $B$ ). Rozszerzamy naszą strukturę modelową, w tym przedział podejrzany poddany kwarantannie, który składa się z narażonych osób zakaźnych wynikających ze śledzenia kontaktów oraz osób ze wspólną gorączką potrzebujących leków klinicznych.

Wymuszając śledzenie kontaktów, część osób narażonych na wirusa  $q$  jest poddawana kwarantannie i może albo przenieść się do przedziału  $B$  lub  $Sq$ , w zależności od tego, czy są one skutecznie zainfekowane, czy nie, podczas gdy druga część,  $l - q$ , która składa się z osób narażonych na wirusa, którego brak jest w śledzeniu kontaktu, i przenosi się do narażonego przedziału  $E$  po skutecznym zakażeniu lub pozostania w przedziale  $S$  w inny sposób.

Niech prawdopodobieństwo transmisji wynosi  $\beta$ , a szybkość kontaktu wynosi  $c$ . Następnie osoby poddane kwarantannie, jeśli są zarażone (lub niezarażone), przenoszą się do przedziału  $B$  (lub  $S_q$ ) w tempie  $\beta c q$  (lub  $(1 - \beta) c q$ ). Ci, którzy nie zostali poddani kwarantannie, jeśli zostaną zainfekowani, przeniosą się do przedziału  $E$  w tempie  $\beta c (1 - q)$ . Niech stała  $m$  będzie szybkością przejścia z klasy podatnej do podejrzanego przedziału za pomocą ogólnych leków klinicznych z powodu gorączki lub objawów podobnych do choroby.

Dane dotyczące podejrzanych osób, a także większości potwierdzonych przypadków pochodzą z tego przedziału. Podejrzane osoby opuszczają ten przedział w tempie  $b$ , z proporcją  $f$ , jeżeli było potwierdzone, że jest zakażony COVID-19, idąc do przedziału hospitalizowanego, podczas gdy udowodniono, że inna proporcja,  $1 - f$  nie była zainfekowana przez COVID-19 i wraca do podatnej klasy po wyleczeniu. (Tabela 1)

$$\begin{cases} S' = -\frac{(\beta c(t) + c(t)q(t)(1 - \beta))SI}{N} - mS + \lambda S_q + b(1 - f)B, \\ E' = \frac{\beta c(t)(1 - q(t))SI}{N} - \sigma E, \\ I' = \sigma E - (\delta_I(t) + \alpha + \gamma_I)I, \\ B' = \frac{\beta c(t)q(t)SI}{N} + mS - bB, \\ S_q' = \frac{(1 - \beta)c(t)q(t)SI}{N} - \lambda S_q, \\ H' = \delta_I(t)I + bfB - (\alpha + \gamma_H)H, \\ R' = \gamma_I I + \gamma_H H. \end{cases}$$

Szybkość kontaktu  $c(t)$  jest funkcją malejącą w stosunku do czasu  $t$ :

$$c(t) = (c_0 - c_b)e^{-r_1 t} + c_b,$$

gdzie  $c_0$  oznacza częstość kontaktu w dniu 23 stycznia 2020 r. gdzie  $c(0) = c_0$ ,  $c_b$  oznacza minimalną częstość kontaktu w ramach obecnych strategii kontroli z  $\lim_{x \rightarrow \infty} c(t) = c_b$ , gdzie  $c_b < c_0$ ,  $r_1$  oznacza wskaźnik kontaktu modelowany jako wykładniczy

wskaźnik malejący, przy założeniu, że kontakty zmniejszają się stopniowo, biorąc pod uwagę realizację interwencji.

$q(t)$  jest funkcją rosnącą w odniesieniu do czasu  $t$ :

$$q(t) = (q_0 - q_m)e^{-r_2 t} + q_m,$$

gdzie  $q_0$  to początkowa część poddana kwarantannie osób narażonych przy  $q(0) = q_0$ ,  $q_m$  to maksymalna część poddana kwarantannie w ramach obecnych strategii kontroli z  $\lim_{t \rightarrow \infty} q(t) = q_m$  i  $q_m > q_0$ , a  $r_2$  to stawka poddana kwarantannie modelowana jako stawka wykładniczo rosnąca. Ta funkcja stopniowo ulepsza śledzenie kontaktów.

Szybkość przejścia  $\delta_I(t)$  jest funkcją rosnącą w stosunku do czasu  $t$ , okres diagnozy  $1/\delta_I(t)$  jest funkcją malejącą w stosunku do czasu  $t$ :

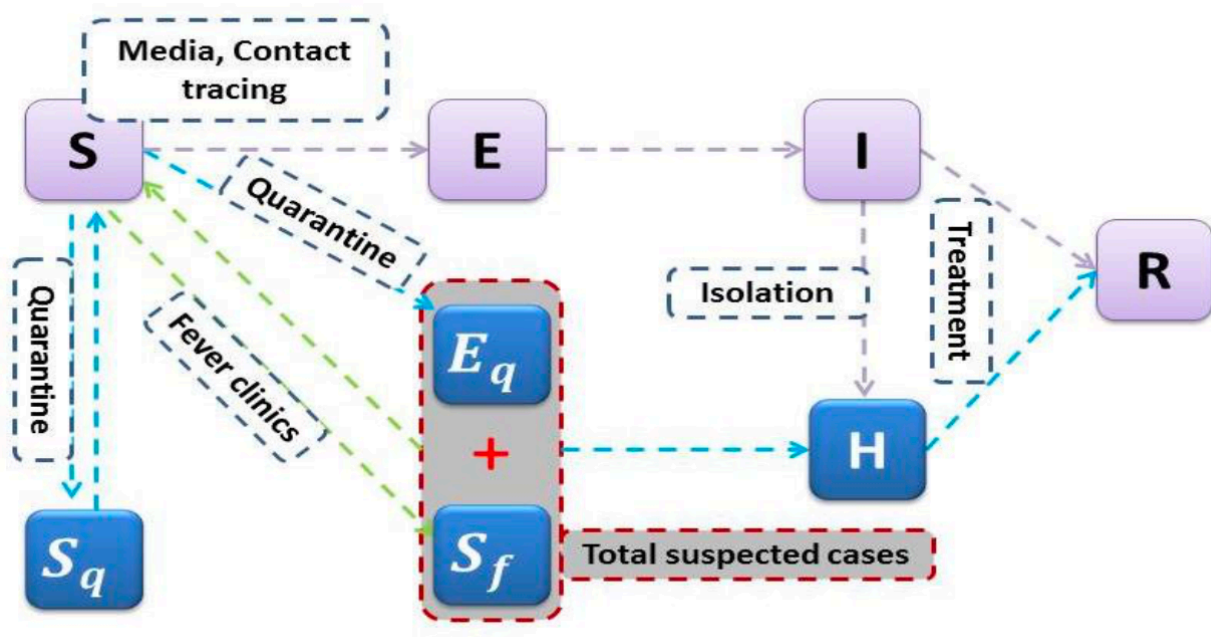
$$\frac{1}{\delta_I(t)} = \left( \frac{1}{\delta_{I0}} - \frac{1}{\delta_{If}} \right) e^{-r_3 t} + \frac{1}{\delta_{If}},$$

gdzie  $\delta_{I0}$  jest początkową częstością diagnozowania,  $\delta_{If}$  jest najszybszą częstością diagnozowania, a  $r_3$  jest wykładniczo malejącą szybkością okresu wykrywania.  $\delta_I(0) = \delta_{I0}$  i  $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta_I(t) = \delta_{If}$  gdzie  $\delta_{If} > \delta_{I0}$ . Następnie definiujemy efektywny numer reprodukcji jako:

$$R(t) = \frac{\beta c(t)(1 - q(t))}{\delta_I(t) + \alpha + \gamma_I}.$$

# Dodatki

Rysunek 1



Rysunek 2

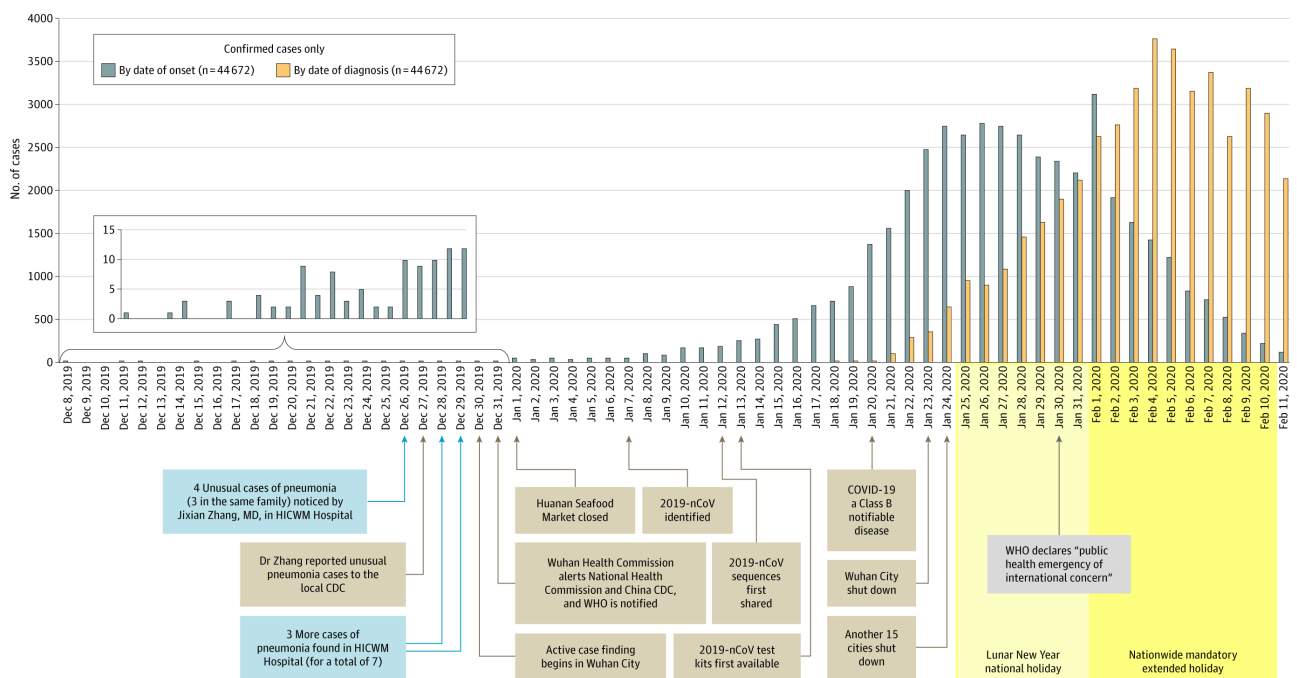


Tabela 1

$c_0$	Contact rate at the initial time	14.781	14.781	9
$c_b$	Minimum contact rate under the current control strategies	5.00(0.0039)	8.00(0.066)	Estimated
$r_1$	Exponential decreasing rate of contact rate	0.20(0.0067)	0.15(0.0352)	Estimated
$\beta$	Probability of transmission per contact	0.2068(0.0048)	0.1911(0.0175)	Estimated
$q_0$	Quarantined rate of exposed individuals at the initial time	0.0051(0.0052)	1.00 $\times 10^{-4}(0.0037)$	Estimated
$q_m$	Maximum quarantined rate of exposed individuals under the current control strategies	0.6297(0.0134)	0.98(0.0087)	Estimated
$r_2$	Exponential increasing rate of quarantined rate of exposed individuals	0.10(0.00062)	0.1531(0.004)	Estimated
$S(0)$	Initial susceptible population	$9.00 \times 10^6(3.52 \times 10^5)$	$2.00 \times 10^7(1.23 \times 10^7)$	Estimated
$E(0)$	Initial exposed population	$4.00 \times 10^3(390)$	$9.00 \times 10^3(2.11 \times 10^3)$	Estimated
$I(0)$	Initial infected population	935(60)	$1.2405 \times 10^3(642)$	Estimated
$B(0)$	Initial suspected population	800(13)	1072	Data
$S_q(0)$	Initial quarantined susceptible population	2132	7347	Data
$H(0)$	Initial quarantined infected population	494	771	Data

Źródła:

<https://www.researchgate.net/publication/339984251>

<https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2762130>