

Analiza wpływu częstotliwości kursowania transportu publicznego na rozprzestrzenianie się COVID-19 na przykładzie Toronto

projekt *COVID-19: Agent-based framework for modelling pandemics in urban environment*
w ramach grantu przyznanego przez *NSERC Alliance*

Autorzy:

Nykyta Polituchyi*, **Kinga Siuta***, **Przemysław Szufel***, **Paweł Prałat****

* *Szkoła Główna Handlowa w Warszawie*

** *Ryerson University, Toronto, Kanada*

Znaczenie transportu miejskiego w rozwoju epidemii



Shen i in., 2020:

- Bezpieczeństwo w transporcie publicznym może być zwiększone poprzez strategie wielowymiarowe, ale też m.in. ochronę osobistą, czyszczenie i dezynfekcję otoczenia, edukację zdrowotną.

Zheng i in., 2020:

- Połączenia transportu publicznego odegrały znaczną rolę w rozprzestrzenianiu się COVID-19.

Tirachini & Cats, 2020:

- Rezygnacja z transportu publicznego jest ściśle związana z możliwością pracy zdalnej, przez co poprawa transportu miejskiego staje się kwestią równości społecznej bardziej niż dotychczas.
- Polityka w zakresie transportu publicznego powinna być zależna m.in. od fazy epidemii.



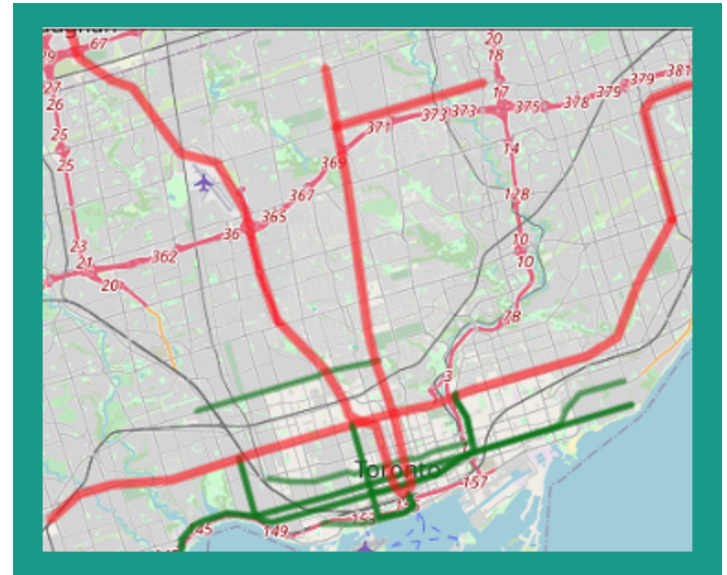
Badane zjawisko

Analiza wpływu polityki w zakresie planu jazdy komunikacji miejskiej na tempo rozwoju epidemii

Model

Symulacja wieloagentowa w języku **julia**

- populacja agentów przemieszcza się po fragmencie centrum Toronto
- agenci jeżdżą z domu do pracy, po czym wracają do miejsca zamieszkania
- agenci chodzą ulicami miasta i korzystają z transportu miejskiego (z sieci tramwajowej oraz linii metra)

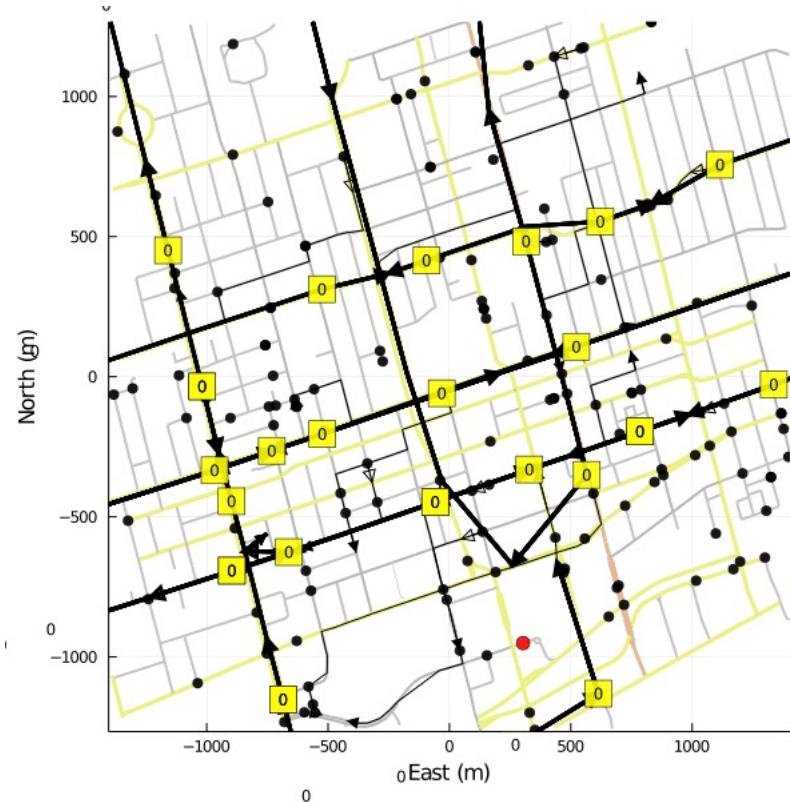


Sieć transportu miejskiego w Toronto
(metro i tramwaje)

Model

Poruszając się po przestrzeni miejskiej zainfekowane jednostki mogą zarażać agentów napotkanych

- na skrzyżowaniu (zagęszczenie w oczekiwaniu na zmianę świateł sygnalizacji)
- w środku transportu miejskiego





Agenci

Dwie klasy agentów:

- pasażerowie k (inaczej: *agenci*), $k \in K$
- pojazdy komunikacji miejskiej w (inaczej: *wagony*), $w \in W$

Symbol	Znaczenie
K	populacja agentów
k	przemieszczający się agent, $k \in K$
$ K $	liczba agentów
W	zbiór wagonów komunikacji miejskiej
w	wagon komunikacji miejskiej, $w \in W$
$ W $	liczba wagonów komunikacji miejskiej



Atrybuty agenta

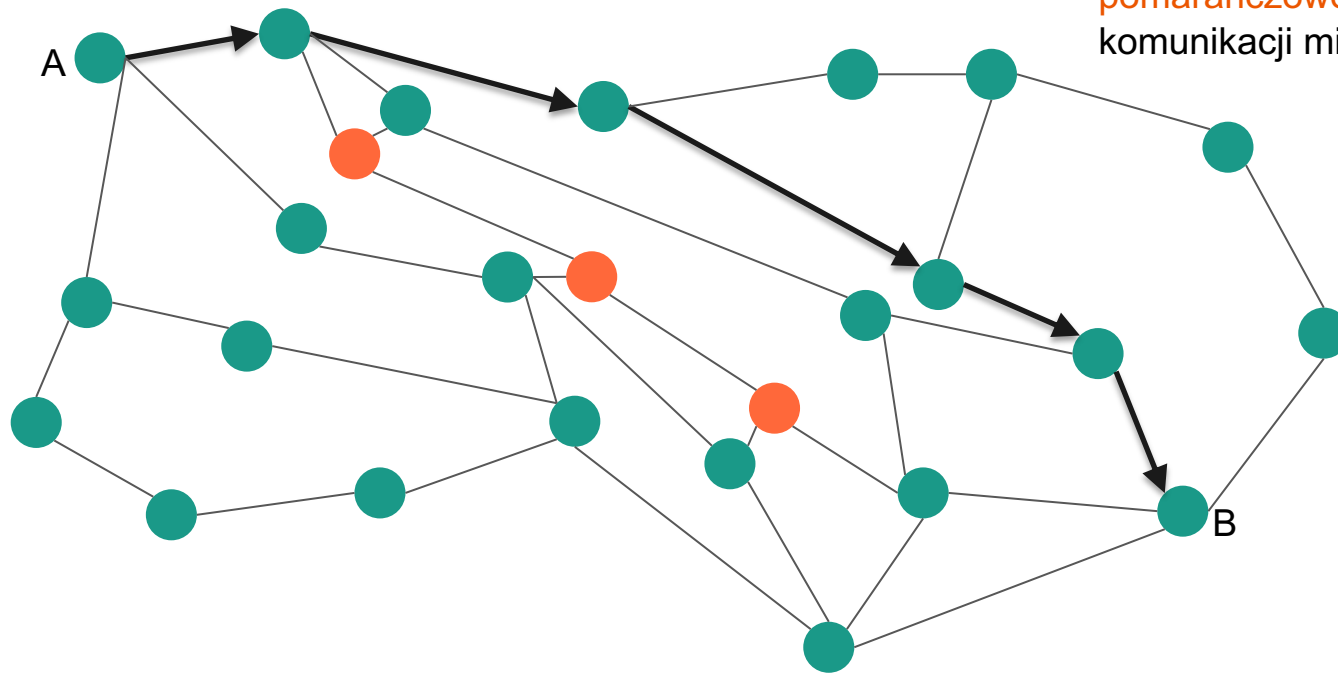
- aktualne położenie
- miejsce zamieszkania
- miejsce pracy
- trasy ustalone według kryterium najkrótszego czasu podróży
- stan zdrowia

Sieć

- Agenci w modelu przemieszczają się po grafie odzwierciedlającym tkankę miejską złożoną z
 - podstawowej infrastruktury miasta (tj. ulic i skrzyżowań),
 - linii komunikacji miejskiej dowolnego rodzaju.
- Graf ten można zapisać jako $G(V, E)$.

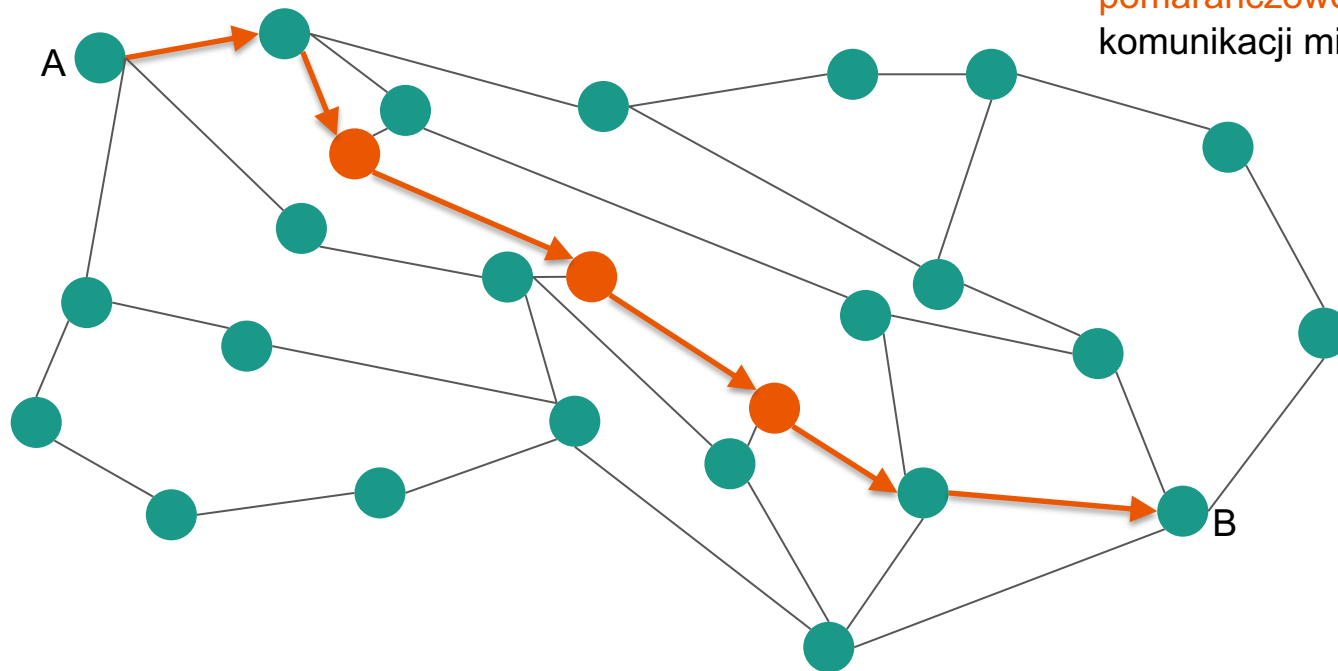
Symbol	Znaczenie
$G(V, E)$	sieć miejska – graf skierowany, ważony, silnie spójny (z uwzględnieniem kierunków)
V	zbiór wierzchołków grafu (skrzyżowania i przystanki)
v	wierzchołek grafu (skrzyżowanie lub przystanek), $v \in V$
E	zbiór krawędzi grafu (ulice i trasy przejazdu wagonów)
e	krawędź (ulica lub trasa przejazdu wagonu), $e \in E$
V_C	zbiór wierzchołków dostępnych pieszym (skrzyżowań), $V_C \in V$
V_T	zbiór wierzchołków w sieci komunikacji miejskiej (przystanków), $V_T \in V$, zakładamy, że $V_C \cup V_T = V$

Sieć



Niech **zielone wierzchołki** reprezentują skrzyżowania, a **pomarańczowe** – przystanki komunikacji miejskiej.

Sieć



Niech **zielone wierzchołki** reprezentują skrzyżowania, a **pomarańczowe** – przystanki komunikacji miejskiej.

Wyznaczanie tras (*routing*)

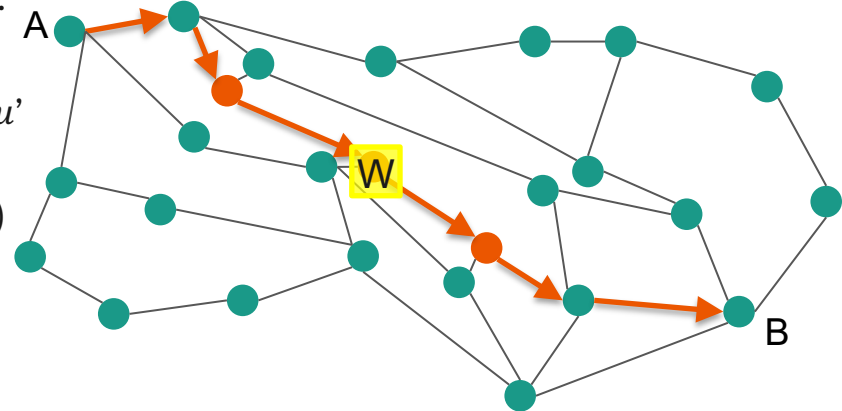
Droga agenta k może być przedstawiona jako n_k kolejno przemierzanych krawędzi grafu:

$$s_k = \{e_k^{(1)}, \dots, e_k^{(n_k)}\}$$

Estymowany czas pokonania trasy przez agenta k wynosi:

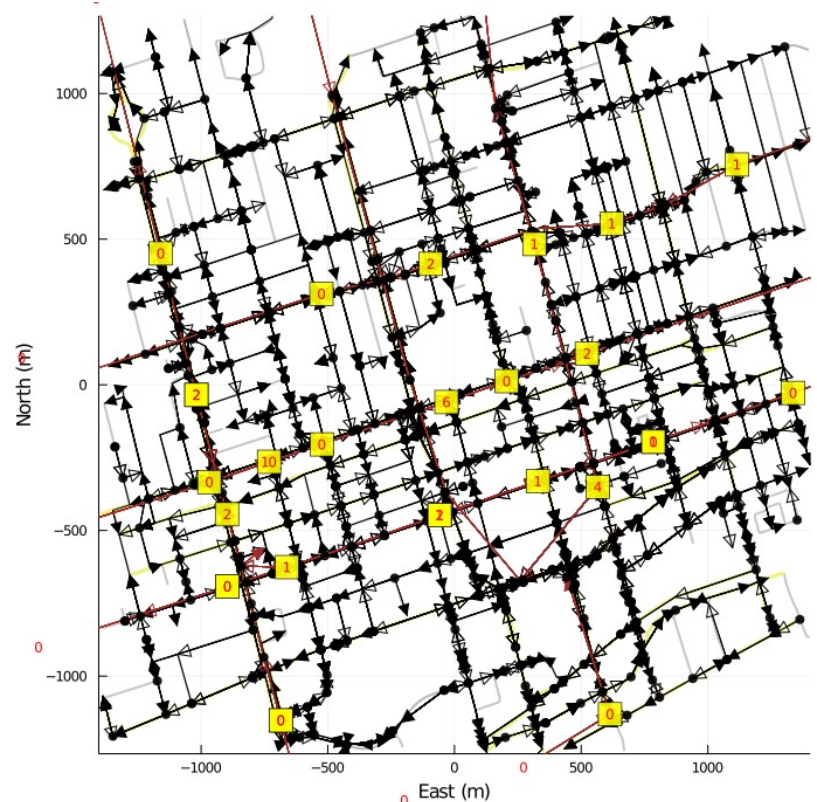
$$\hat{t}_k = \sum_{e \in s_k} t_e + \sum_{(v_1, v_2) \in s_k} \hat{d} \cdot \mathbb{I} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ } v_1 \in V_C \wedge v_2 \in V_T \\ 0 \text{ w przeciwnym wypadku} \end{array} \right.$$

gdzie t_e - waga krawędzi e równa czasowi (w sekundach) potrzebnemu na pokonanie jej przez agenta,
 \hat{d} - zakładany czas oczekiwania na wagon (połowa częstotliwości kursowania).



Założenia: ruch agentów

- Prędkość poruszania się agentów po chodniku $1.25 \frac{m}{s}$
- Czas przesiadki między liniami 2 minuty
- Stała częstotliwość kursowania transportu miejskiego
- Subiektywny czas oczekiwania na przyjazd wagonu komunikacji miejskiej równy połowie częstotliwości kursowania transportu miejskiego



Założenia: schemat infekcji SI (susceptible-infected)

Symbol	Znaczenie	Hiperparametr
p_0	prawdopodobieństwo bazowe	✓
ψ_v	liczba zainfekowanych agentów w wierzchołku v	⊗
ϕ_w	liczba zainfekowanych agentów w wagonie w	⊗
\overline{t}_w^k	średni czas spędzony z zainfekowanymi	⊗
\overline{l}_w^k	średnie wypełnienie wagonu w czasie jazdy agenta*	⊗

W zależności od miejsca spotkania agentów, schemat zarażania jest inny. Względem prawdopodobieństwa infekcji **podczas spotkania na skrzyżowaniu p_x** , w przypadku **wspólnej jazdy w wagonie** prawdopodobieństwo p_w jest wyższe i zależy od większej liczby parametrów.

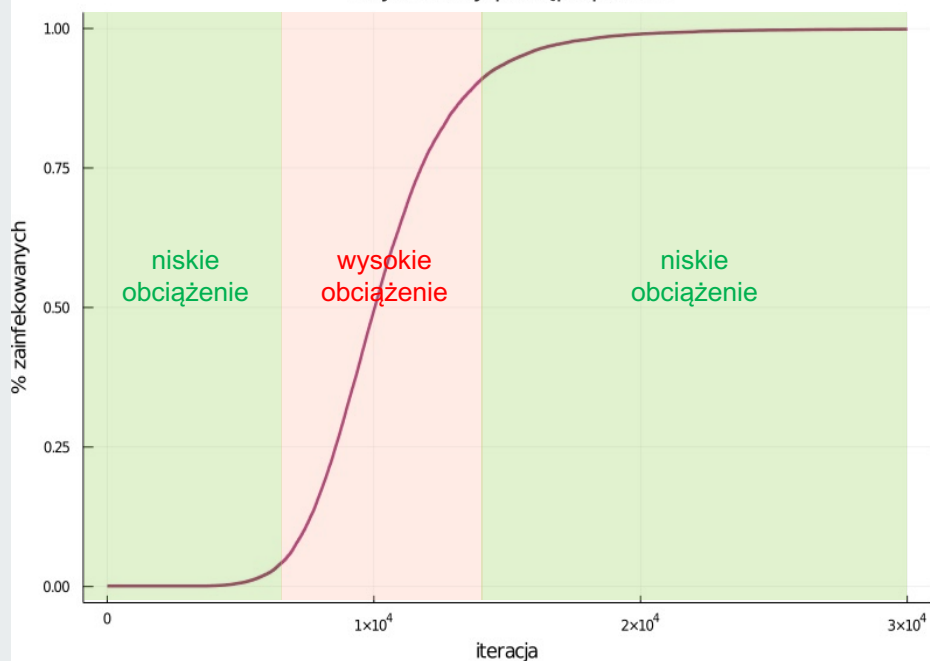
$$p_x = p_0 \cdot (1 + \ln(\psi_v))$$

$$p_w = \min\left\{1, p_0 \cdot (1 + \ln(\phi_w)) + p_0 \cdot (1 + \ln(1 + \overline{t}_w^k)) \cdot \ln(1 + \overline{l}_w^k)\right\}$$

* pojemność wagonów jest ograniczona

Walidacja modelu

Przykładowy postęp epidemii



Trzy fazy rozwoju epidemii:

Faza I – budowa bazy osób zarażonych

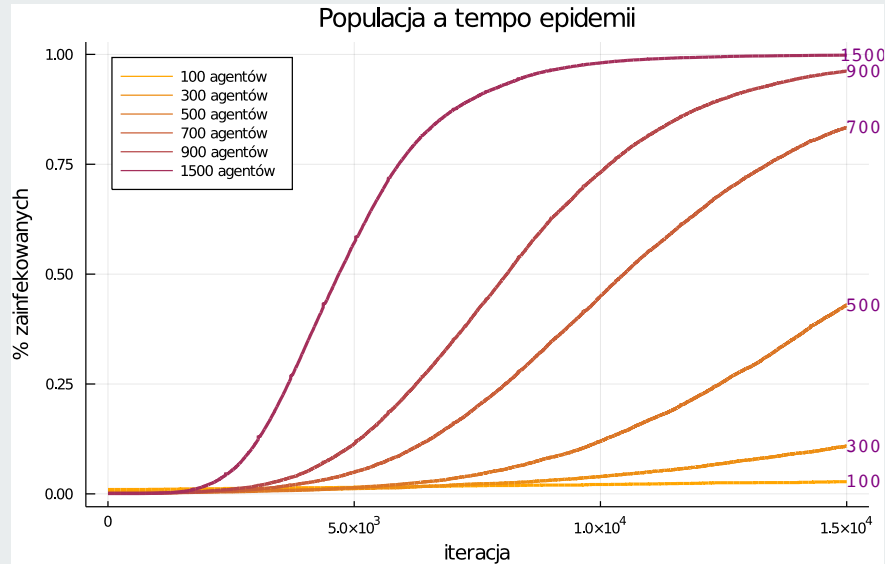
Faza II – tempo właściwego wzrostu

Faza III – faza wygaszania

Czynniki kształtujące kształt krzywej epidemii:

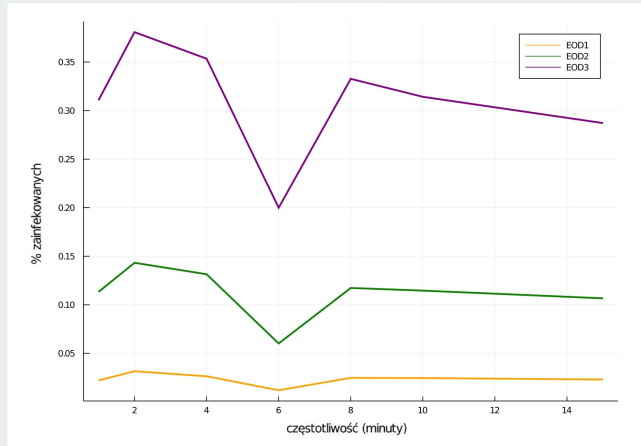
- wewnętrzne jak np.
 - budowa tymczasowej odporności po zakażeniu
 - czas inkubacji
 - zmiana zachowania agenta ze względu na liczbę zakażonych
- zewnętrzne, np.
 - globalna polityka lockdownu
 - restrykcje w zakresie zachowania w przestrzeni publicznej (np. dezynfekcja rąk)
 - istotne zwiększenie udziału pracy zdalnej
 - zagęszczenie ludności

Walidacja modelu



- Gęstość zaludnienia ma wpływ na przebieg epidemii COVID-19, np. Bharda i in. (2021), Coşkun i in. (2021). W modelu również jest obecna taka zależność.
- Wybuchowy charakter epidemii na gęsto zaludnionych obszarach przekłada się na:
 - zwiększone ryzyko niewydolności systemu służby zdrowia,
 - braki w zaopatrzeniu środków medycznych,
 - pogorszenie jakości usług medycznych, również tych niezwiązanych z panującą epidemią (większa liczba zgonów).

Wpływ częstotliwości kursowania na postęp epidemii



% zainfekowanych przy różnych częstościach kursowania na koniec doby 1, 2 i 3

- Nieliniowa relacja częstotliwości kursowania i tempa rozwoju epidemii
- Precyzja modelu jest istotnie kształtowana przez jakość kalibracji parametrów, w szczególności schemat infekcji
- Dalsze badania: kalibracja modelu, modyfikacja modelu SI



Social Simulation Conference 2021 to be hosted in Cracow
Organised by European Social Simulation Association and Cracow University of Economics

This year's special theme will be "Social Simulation geared towards Post-Pandemic times"

It is focused not only on questions raised by the current pandemic but also on future challenges related to economic recovery, such as localisation, globalization, inequality, sustainable growth and more.

Conference web-page: <https://ssc2021.uek.krakow.pl/>
Please contact us at : ssc2021@uek.krakow.pl



Dziękuję za uwagę



Bibliografia

Tirachini, A., & Cats, O. (2020). COVID-19 and public transportation: Current assessment, prospects, and research needs. *Journal of Public Transportation*, 22(1), 1.

Zheng, R., Xu, Y., Wang, W., Ning, G., & Bi, Y. (2020). Spatial transmission of COVID-19 via public and private transportation in China. *Travel medicine and infectious disease*.

Shen, J., Duan, H., Zhang, B., Wang, J., Ji, J. S., Wang, J., ... & Shi, X. (2020). Prevention and control of COVID-19 in public transportation: experience from China. *Environmental pollution*, 115291.

Bhadra, A., Mukherjee, A., & Sarkar, K. (2021). Impact of population density on Covid-19 infected and mortality rate in India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1), 623-629.

Coşkun, H., Yıldırım, N., & Gündüz, S. (2021). The spread of COVID-19 virus through population density and wind in Turkey cities. *Science of the Total Environment*, 751, 141663.