

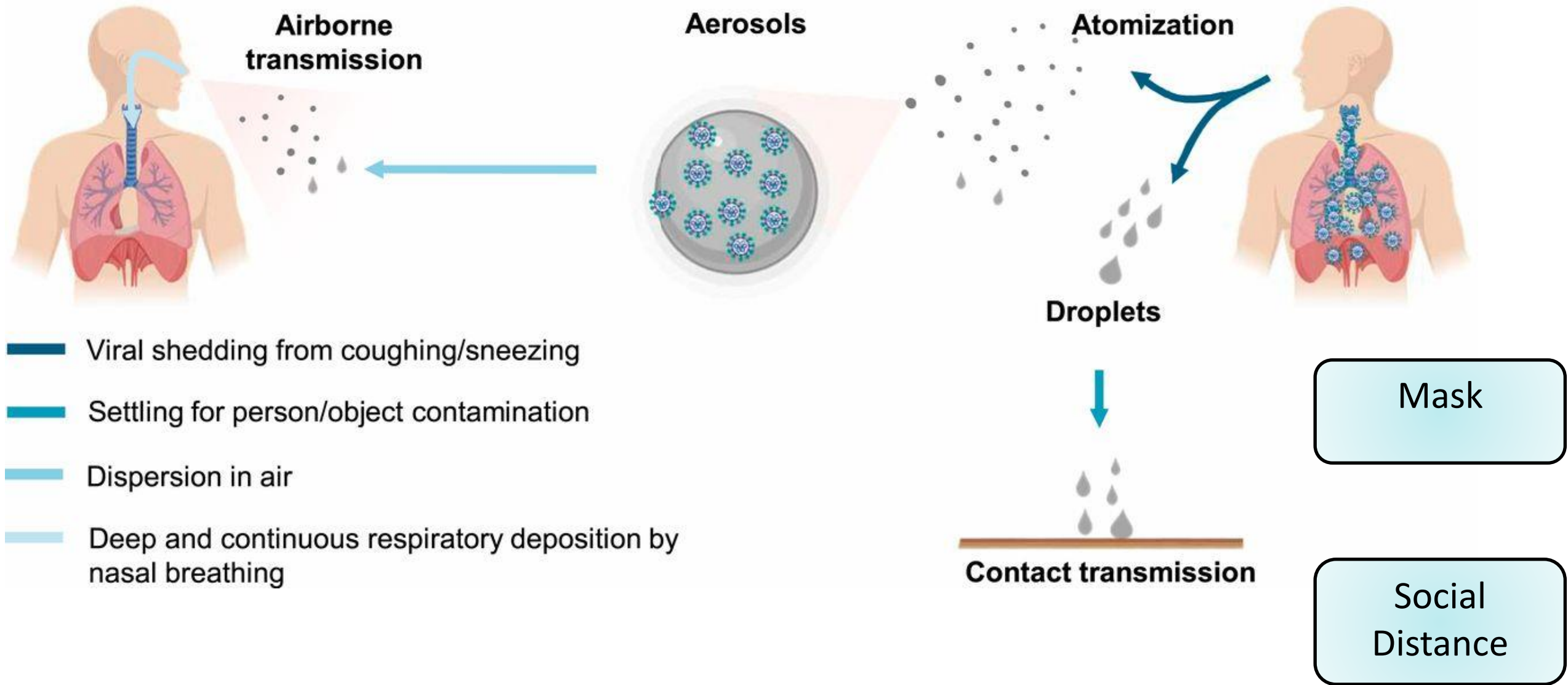


$$-\int \pi f^2(x) dx = \int \pi \left(\frac{r}{h} x\right)^2 dx = \int \frac{\pi r^2}{2h^2} x^2 dx = \frac{\pi r^2}{6h^2} x^3 \Big|_0^h = \frac{\pi r^2}{6h^2} h^3 = \frac{\pi r^2 h}{6} \text{ [u.]}$$



Symulacja rozprzestrzeniania się COVID-19 w architekturze Komputerów Dużej Mocy

Maciej Bielech, Piotr Morawiecki, Paweł Gałka, Marcin Grzyb,
Wojciech Turek, Aleksander Byrski, Jarosław Wąs



Renyi Zhang, Yixin Li, Annie L. Zhang, Yuan Wang, Mario J. Molina

Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19

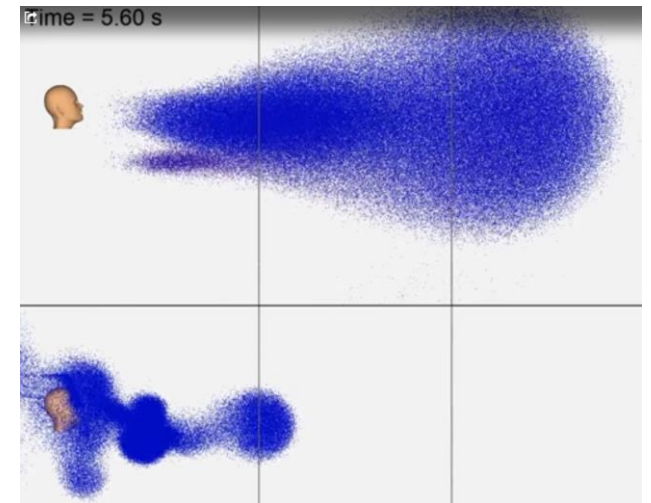
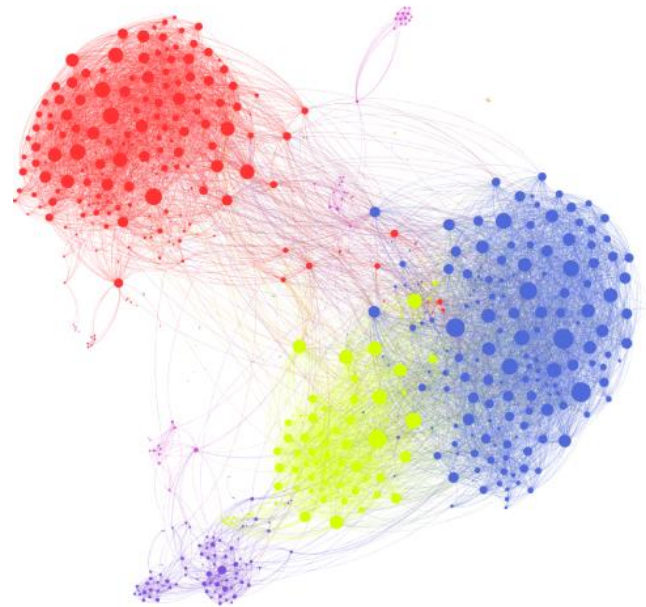
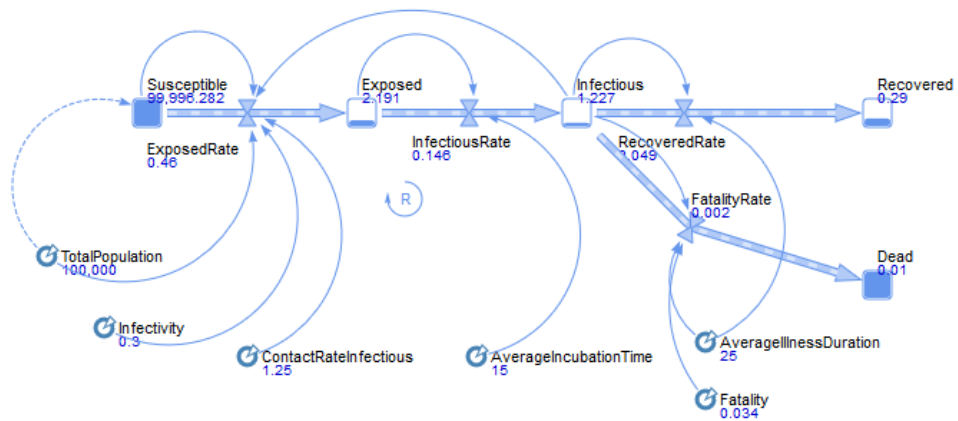
Proceedings of the National Academy of Sciences Jun 2020, 202009637; DOI:

10.1073/pnas.2009637117



Modelowanie transmisji COVID19

Co symulować? Jak? Dlaczego?



Dr Abtin Ijadi Maghsoudi – Anylogic

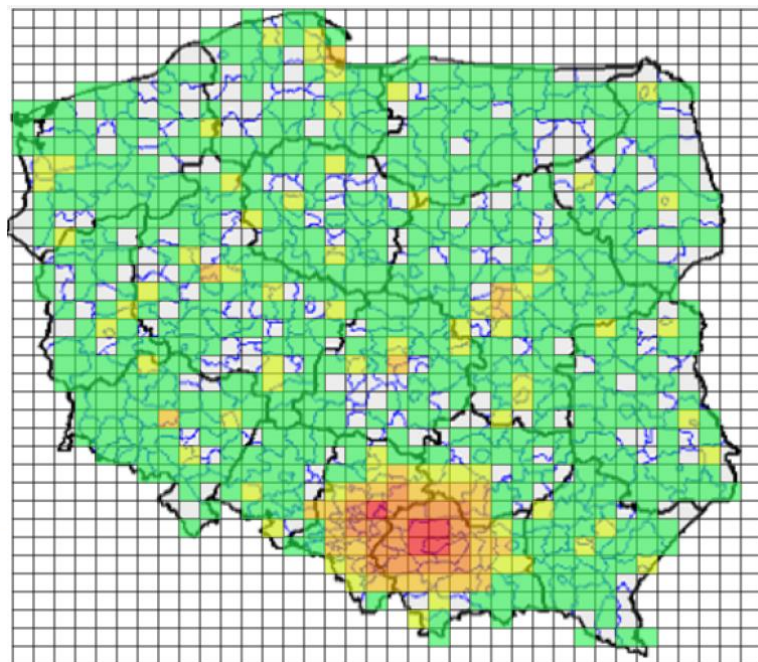
Modele makroskopowe - ogólne

Rys: <https://griffsgraphs.wordpress.com>

Modele mikroskopowe powiązane z siatką kontaktów

<https://www.ansys.com/about-ansys/covid-19-simulation-insights>

Modele CFD – rozprzestrzeniania się wirusa



Symulacja - AGH University of Science and Technology

Modele makroskopowe – powiązane z GIS



<https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/brochure/social-distancing-application-brief-v1.pdf?la=en&hash=AB4ECE9AC54A47F273944>

Modele CFD – powiązane z odległościami

Wyzwania:

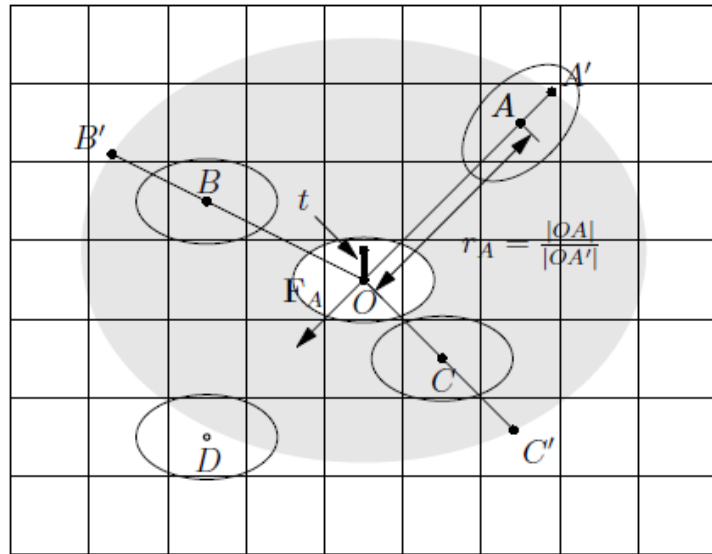
Wiarygodne dane wejściowe

Kalibracja, weryfikacja, walidacja

Wystarczająca moc obliczeniowa



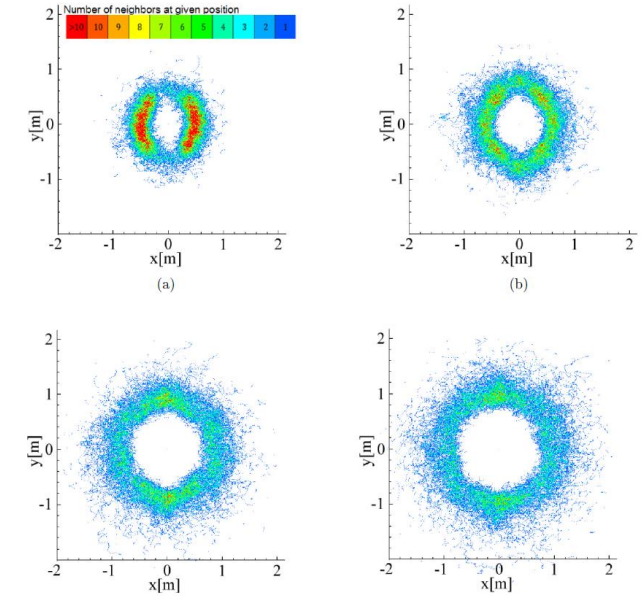
Complex System Modeling Group - nasze projekty



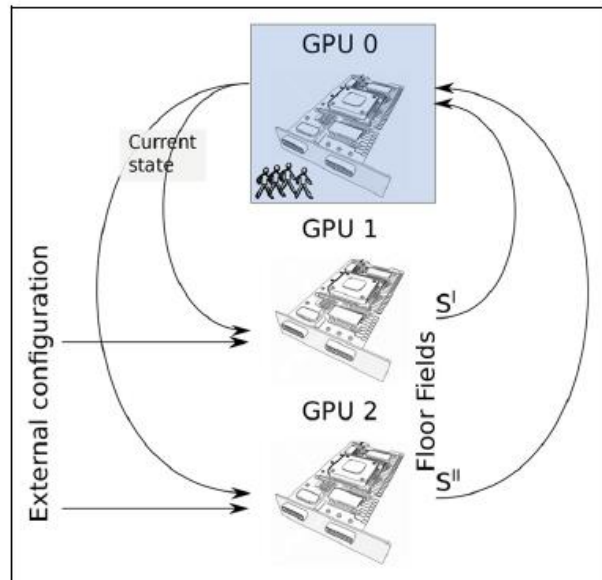
Wąs Jarosław, Gudowski Bartłomiej, Matuszyk Paweł **Social Distances Model of Pedestrian Dynamics.** Cellular Automata Vol 4173 (2006) p. 492 - 501 **2006**



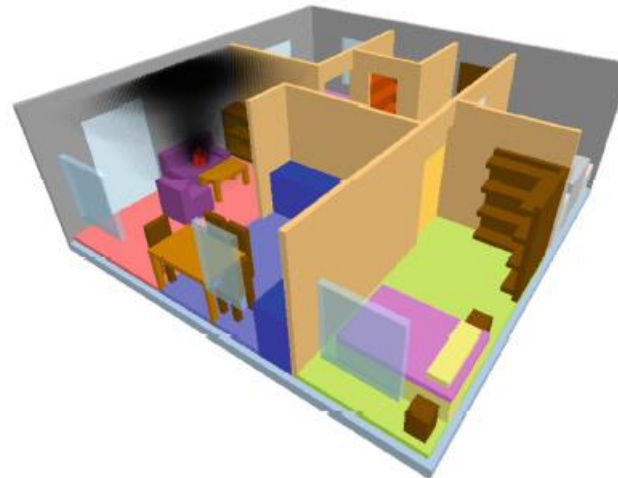
J Porzycki, N Schmidt-Polończyk, J Wąs **Pedestrian behavior during evacuation from road tunnel in smoke condition—Empirical results** PLoS One 13 (8) **2018**



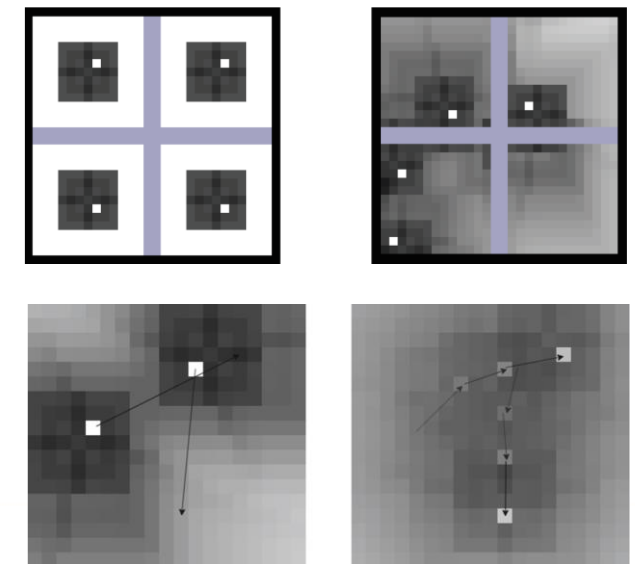
J Porzycki, J Wąs, L Hedayatifar, F Hassanibesheli, K Kułakowski **Velocity correlations and spatial dependencies between neighbors in unidirectional flow of pedestrians** PHYSICAL REVIEW E 96 **2017**



A. Kłusek, P. Topa, J.Wąs, R. Lubaś: **An implementation of the Social Distances Model using multi-GPU systems** The International Journal of High Performance Computing Applications vol. 32 iss. 4 **2018**



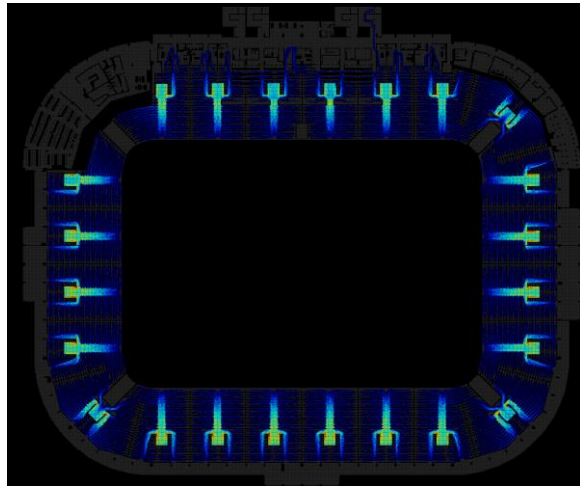
J. Wąs, A. Karp, S. Łukasik, D. Pałka **Modeling of Fire Spread Including Different Heat Transfer Mechanisms Using Cellular Automata** ICCS, Springer **2020**



P. Renc, M. Bielech, T. Pęczak, P. Morawiecki, M. Paciorek, W. Turek, A. Byrski, and J Wąs **HPC Large-Scale Pedestrian Simulation Based on Proxemics Rules** PPAM **2019**



Nasze symulacje przepływu osób/sygnałów



Stadion Wisły Kraków – przepływ osób



Stadion GKS Tychy – przepływ osób



FP7 Sociconical: Allianz Arena Monachium – przepływ osób i sygnałów w społeczności ludzi

1. Model epidemiologiczny **SIS**,

- Dwustanowy model statystyczny:

- **Susceptible** - osobniki zdrowe
- **Infected** - osobniki zarażone

- Nie uwzględnia nabywania odporności
- Osobniki migrują pomiędzy dwoma stanami, dodatkowo mogą się rodzić i umierać

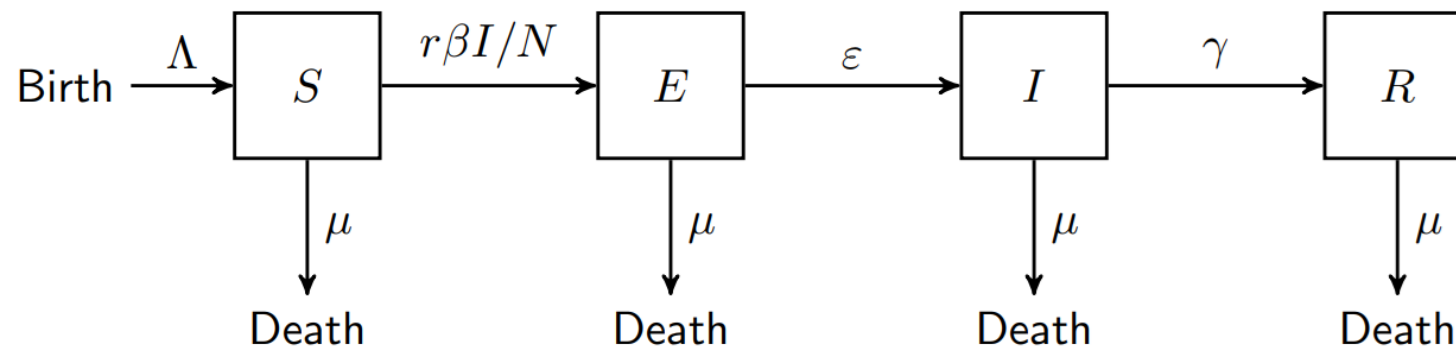
2. Model **SIR** z rozwinięciem **SEIR**

- **Model stworzony przez Kermacka - McKendricka**

- **Susceptible** - osobniki zdrowe
- **Exposed** - osobniki zarażone u których następuje proces inkubacji choroby
- **Infectious** - osobniki zarażone z pełni rozwiniętą chorobą
- **Recovered** - osobniki ozdrowiałe

- Model SEIR może odnosić się do różnych skal modelowania

Schemat modelu SEIR



E : Exposed (latent) humans
 ε : Per-capita rate of progression to infectious state

Parametry

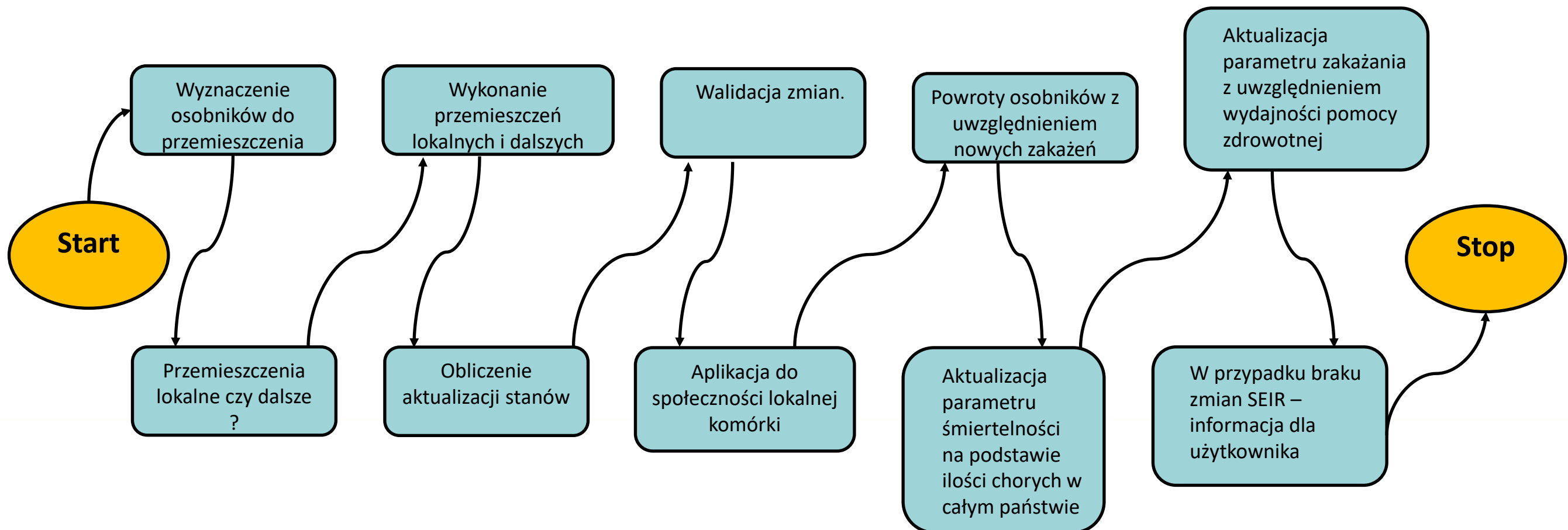
- γ - odwrotność okresu zakażenia
- α - odwrotność okresu inkubacji wirusa
- μ - współczynnik urodzeń w populacji
- β - współczynnik kontaktu

Przykładowy algorytm wyliczenia zachorowań dla pojedynczych komórek wg. Chengjun Sun, Ying-Hen Hsieh: **Global analysis of an SEIR model with varying population size and vaccination**, Applied Mathematical Modelling, Volume 34, Issue 10, 2010, Pages 2685-2697

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N} \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \sigma E \\ \frac{dI}{dt} &= \sigma E - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned}$$

Model SEIR w skali kraju

- Rozciągłość Polski: **Północ – Południe 649 km**, rozciągłość Polski **Wschód - Zachód 689 km** -> siatka automatu komórkowego o boku **20 km** -> 36 komórek x 36 komórek
- Model przemieszczania się ludności lokalne oraz transfery na większe odległości
- Algorytm działania (iteracja):



Przykładowe dane wejściowe

- Liczba miejsc w szpitalach zakaźnych w Polsce: 10000
- Dane dotyczące gęstości zaludnienia pobrane z platformy Nasa Earth Data Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) Gridded Population of the World (GPW) zdyskretyzowane do siatki 36x36

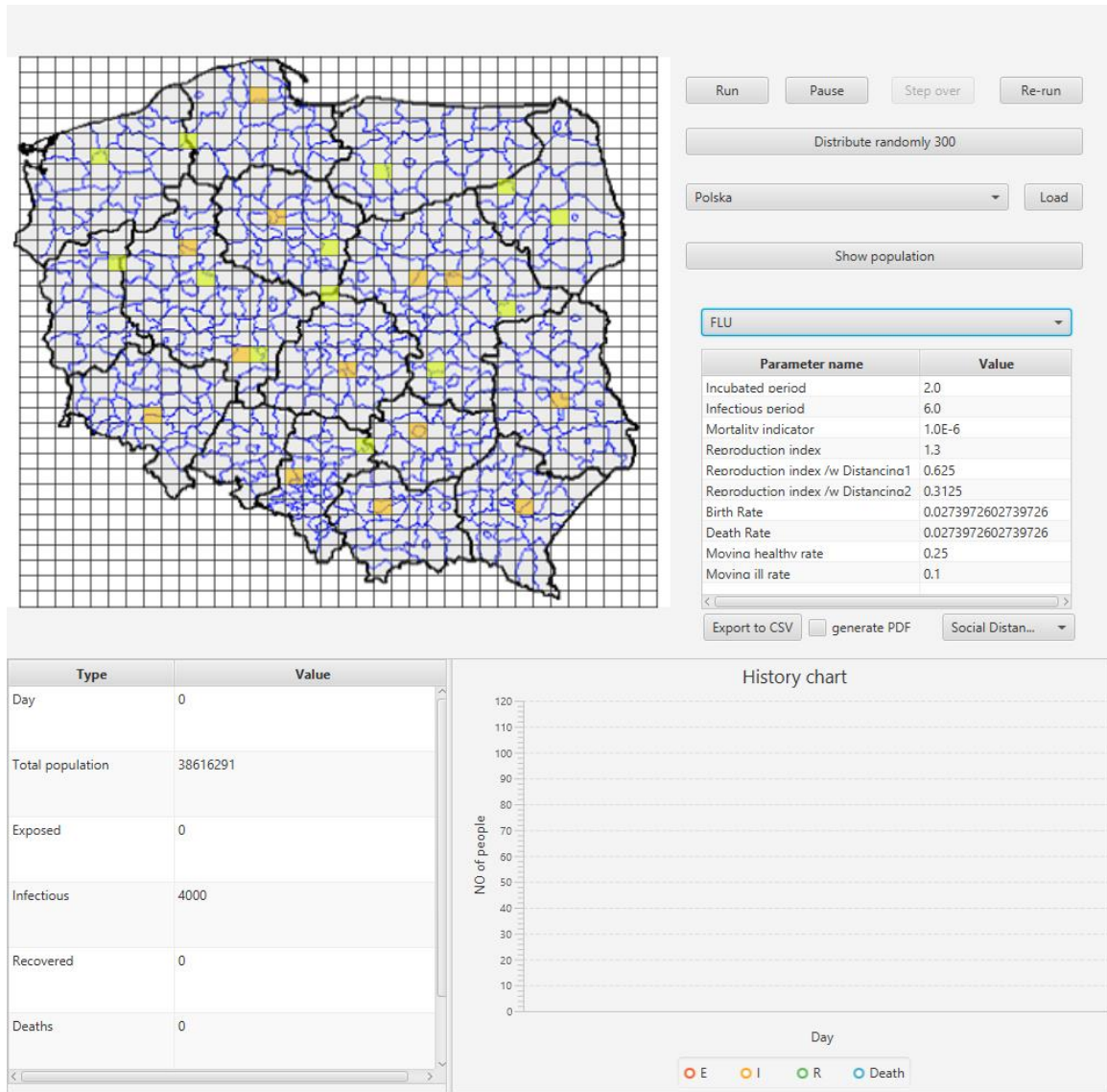
Nazwa	Okres inkubacji[dzień]	Okres infekcji[dzień]	śmiertelność[%]	R_0	Hospitalizacja[%]
Grypa	2	6	0.1	1.3,0.625,0.3125	0.069
A/H1N1	2	6	0.02	1.5,0.75,0.375	0.075
SARS	5	14	9.5	3,1.5,0.75	0.12
COVID-19	6	16	3	2.5,1.25,0.625	15



Testowa symulacja dla grypy sezonowej

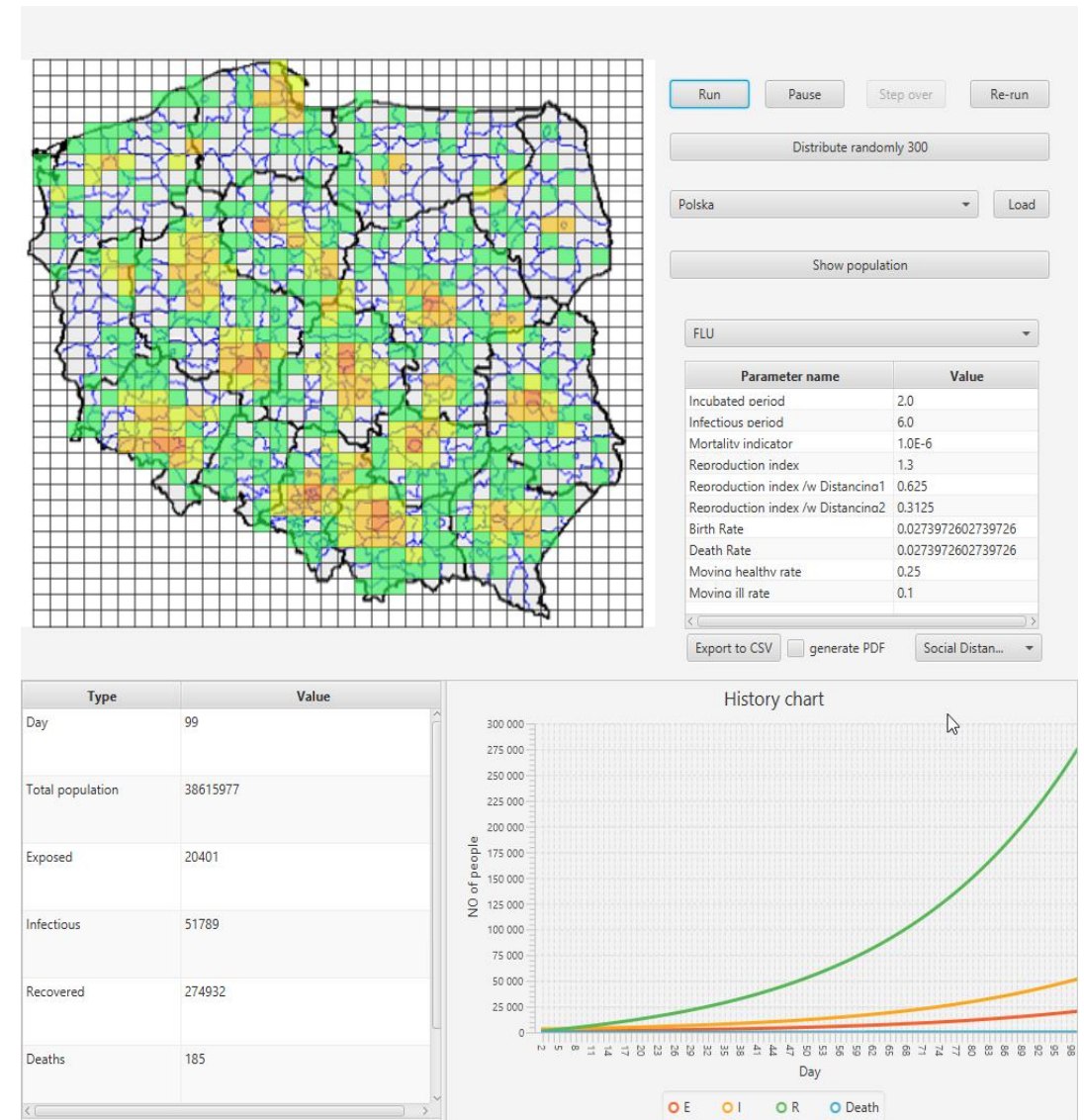


Dzień 1



zainfekowanych 4000

Dzień 99



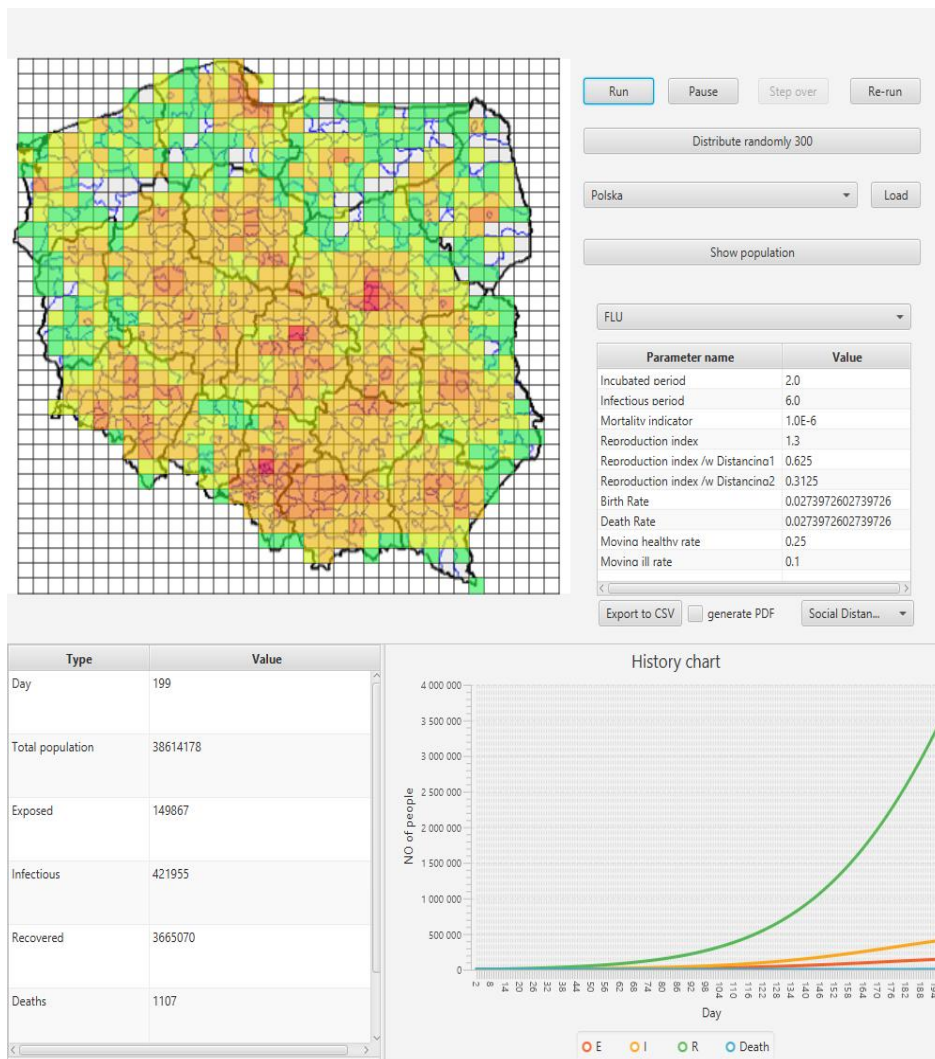
zainfekowanych 51789



Testowa symulacja dla grypy sezonowej



Dzień 199



W sezonie epidemicznym 2019/2020 odnotowano ponad **3,8 mln zachorowań/podejrzeń zachorowań** na grypę (głównie sezon jesienno-zimowy)

W przypadku modelu dla założeń testowych w około $\frac{3}{4}$ roku wykazano 3,3 mln prawdopodobnych zachorowań.

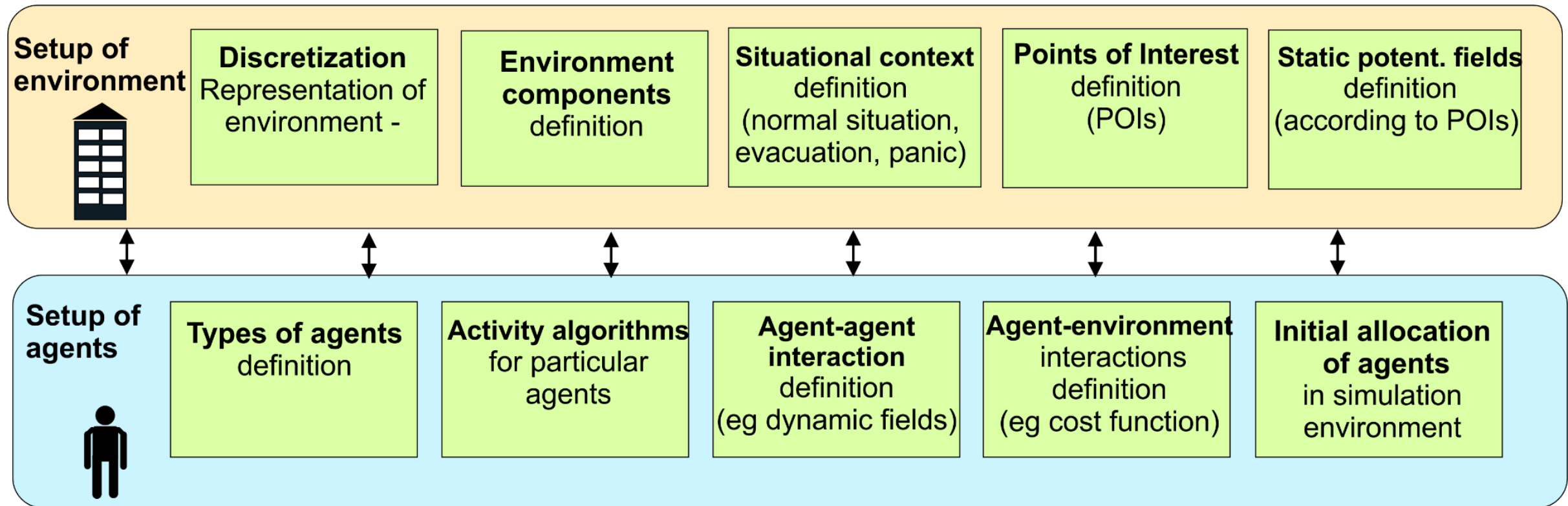
Test przeprowadzony dla COVID19 potwierdził, że na dzień dzisiejszy osób które przeszły chorobę i wyzdrowiały może być nawet 40 000, a w szczytowych momentach chorych było około 10 000 jednocześnie!

Przebieg testu można zobaczyć:

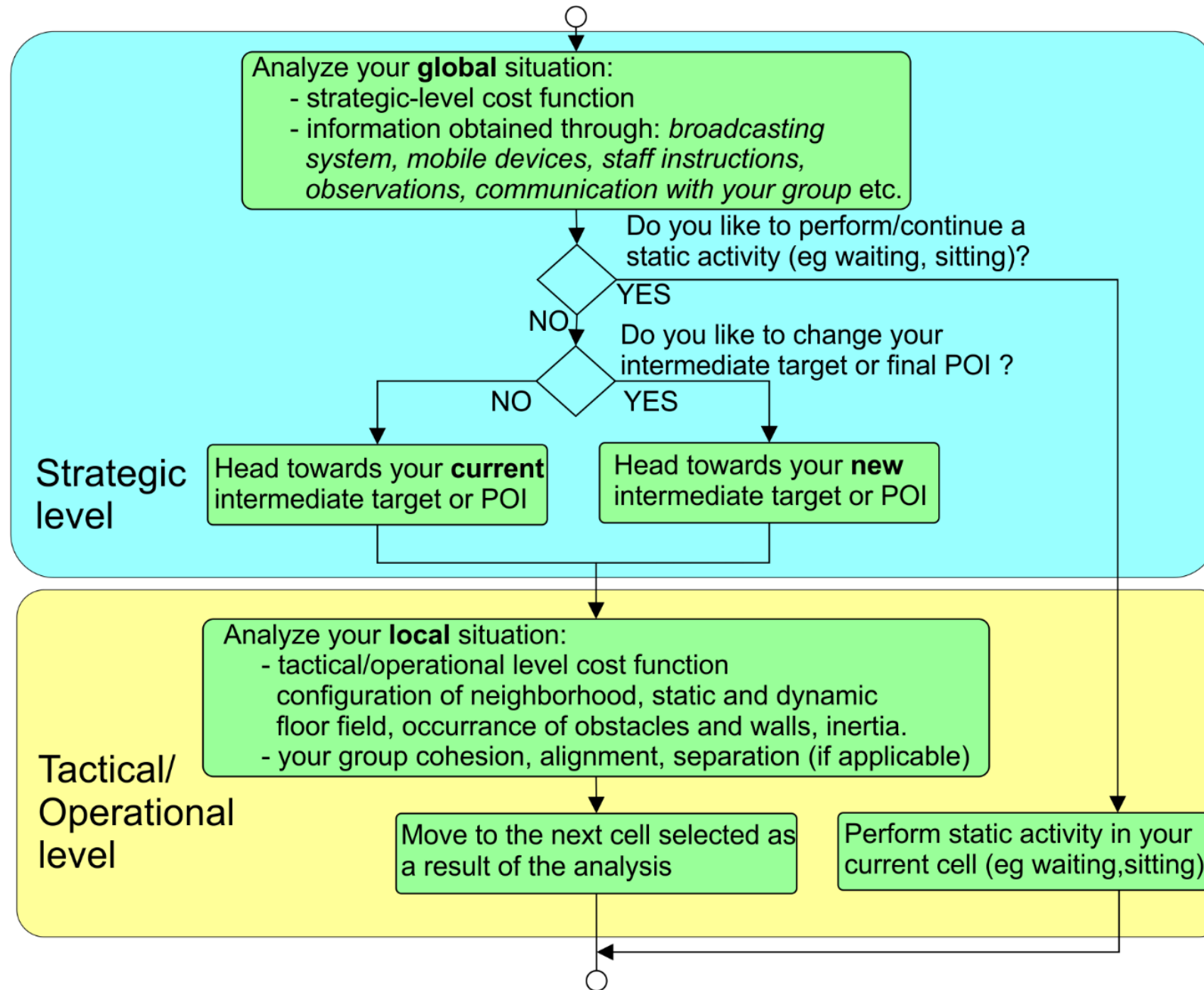
<https://youtu.be/NOs1Qv5vUS0>



Wyzwania w modelowaniu mikroskopowym transmisji COVID

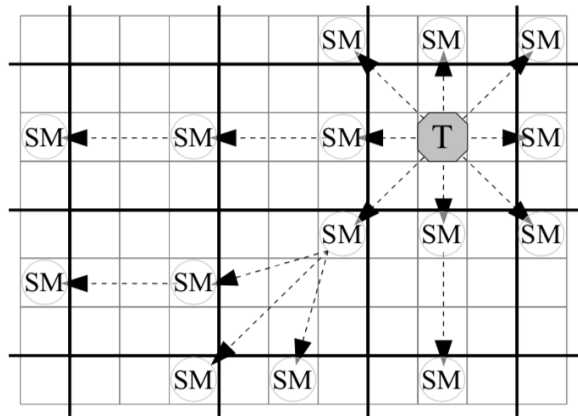


Jarosław Wąs, Robert Lubaś **Towards realistic and effective Agent-based models of crowd dynamics** *Neurocomputing*, Volume 146, Pages 199-209, DOI: 10.1016/j.neucom.2014.04.057 Elsevier 2014



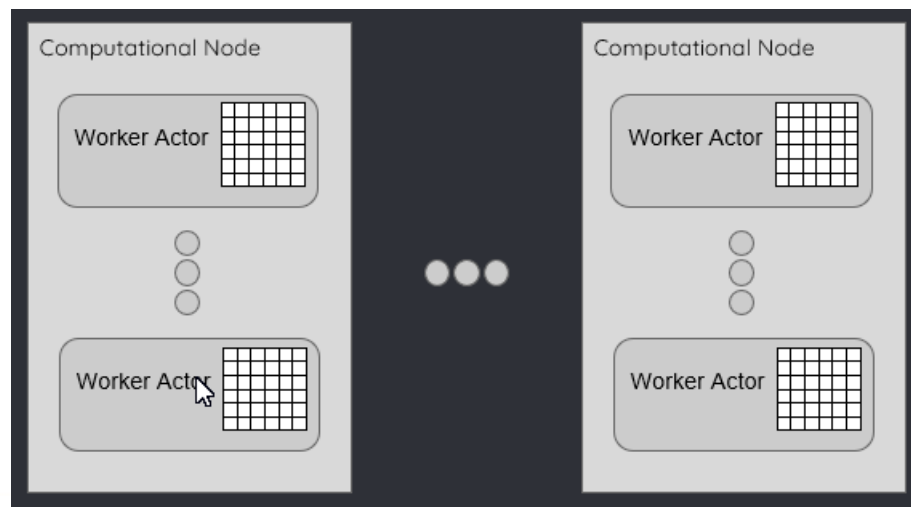
Xinuk framework

Stworzony i rozwijany w **Katedrze Informatyki AGH**



T. Sośnicki and W. Turek and K. Cetnarowicz and M. Żabińska, **Dynamic assignment of tasks to mobile robots in presence of obstacles**, 18th Int. Conf. on Methods Models in Automation Robotics (MMAR), 538-543, 2013

M. Janczykowski, W. Turek, M. Malawski, A. Byrski **Large-scale urban traffic simulation with Scala and high-performance computing system** Journal of Computational Science 35, 91-101, 2019



J Bujas, D Dworak, W Turek, A Byrski W. Turek **High-performance computing framework with desynchronized information propagation for large-scale simulations** Journal of Computational Science 32, 70-86, 2019



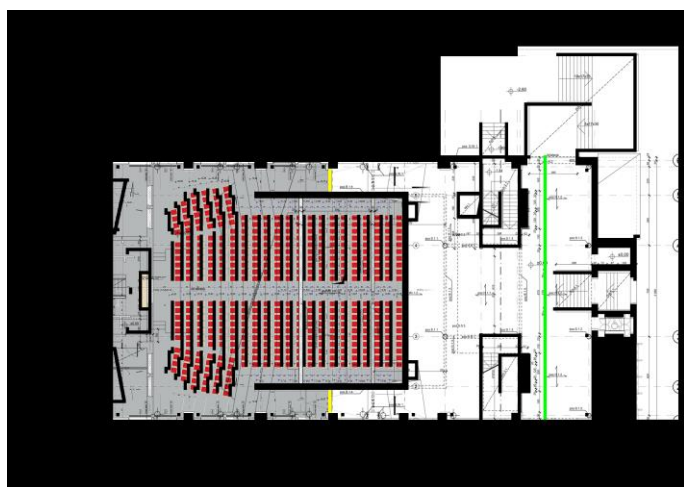
Implementacja modeli epidemicznych - HPC



Zdjęcie: <https://sumfinitly.com/hdr-photos/poland/krakow/st-marys-basilica-krakow/>

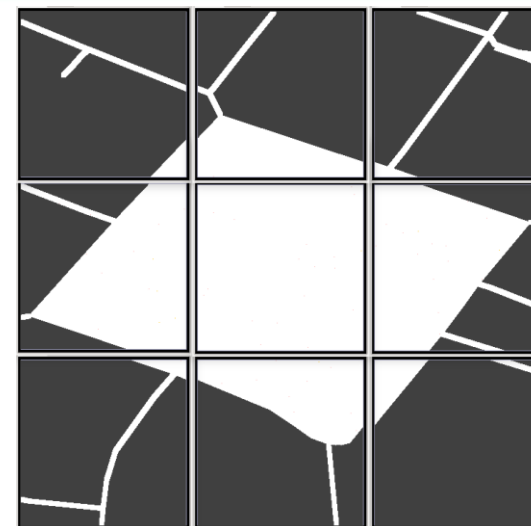
Wybieramy obszar i wskazujemy POIs (różne klasy POI: obiekty turystyczne, sklepy, szkoły, przedszkola, biurowce itd..)

1. Lokalizacja POIs



Generacja na podstawie AutoCAD lub innych formatów/metod z POI

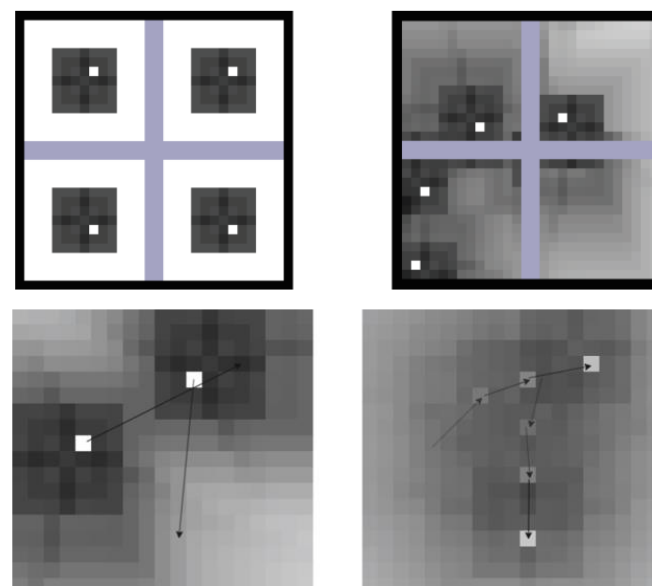
3. Opcjonalna konfiguracja wybranych obiektów (Indoor) - **TODO dla HPC**



Symulacja może zostać przeprowadzona na dowolnym, **rzeczywistym obszarze**. Jest to możliwe dzięki narzędziu, które na podstawie danych z **OpenStreetMapAPI** generuje mapę przystosowaną do użycia w symulacji.

Przykładowa symulacja uruchomiona na obszarze wygenerowanym dla Rynku Głównego w Krakowie. Mapa została podzielona pomiędzy **9 domen obliczeniowych**. Każda z domen przedstawia obszar w postaci kwadratu o boku długości **około 120 metrów**.

2. Konfiguracja map w środowisku symulacyjnym (Outdoor) - OpenStreetMap



Transmisja wirusa w zależności od:

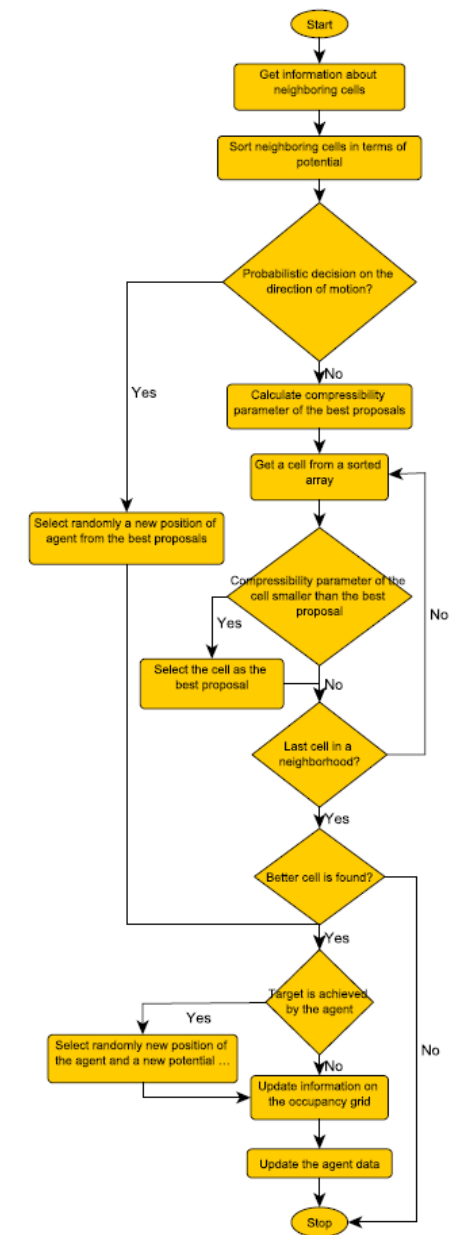
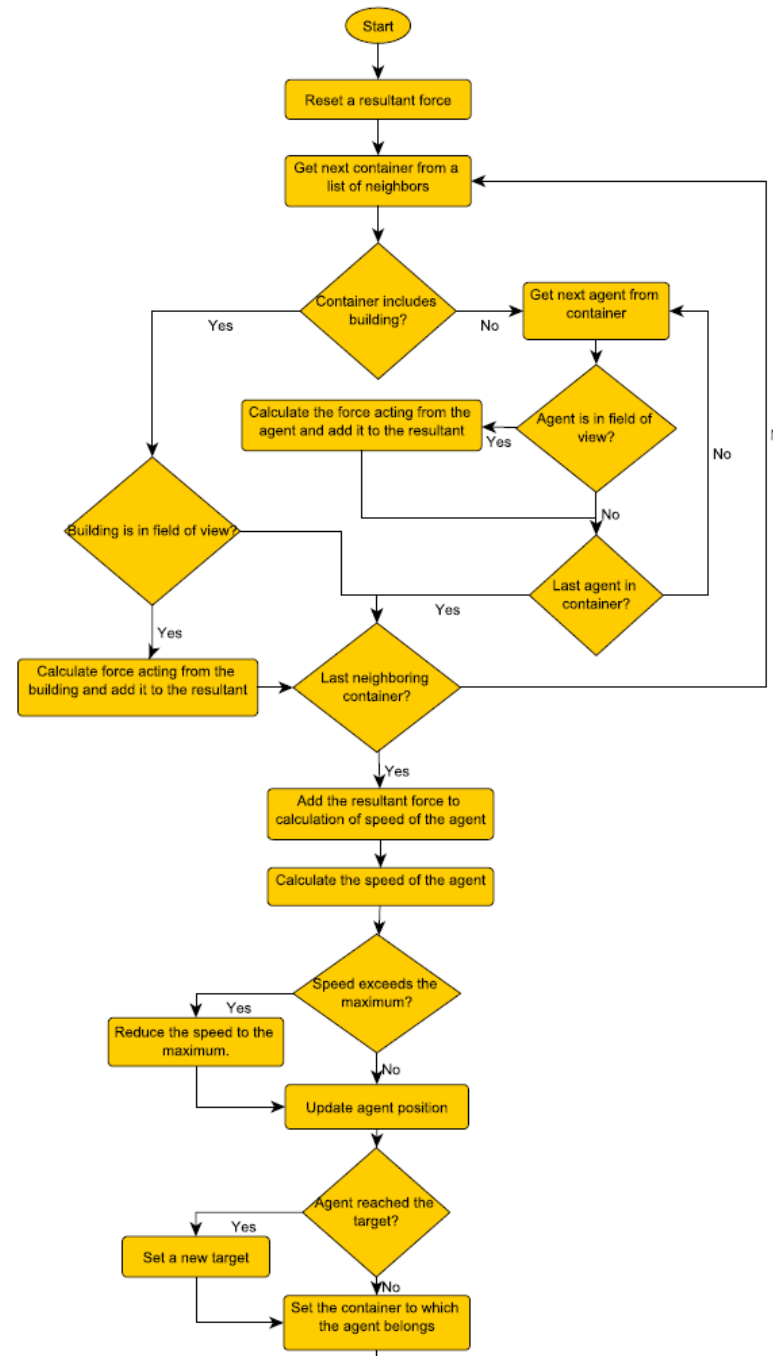
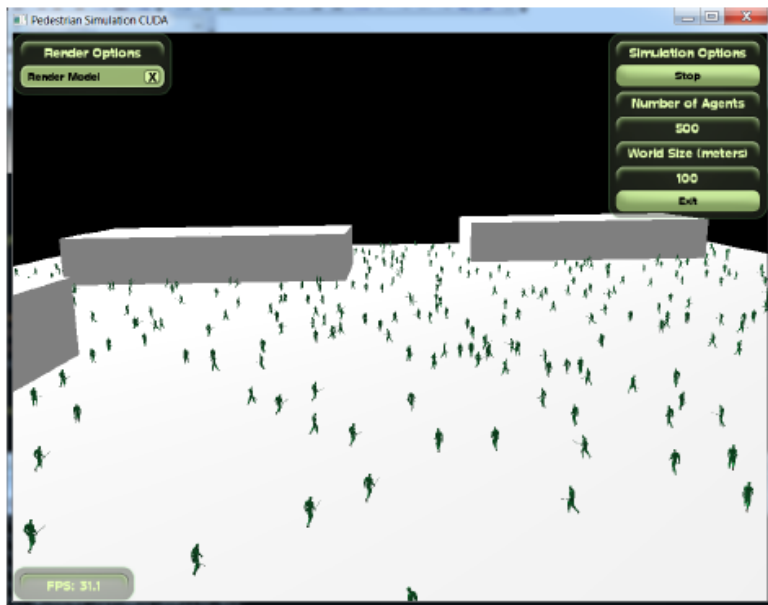
- odległości społecznych
- maseczek
- zaraźliwości wirusa
- itd.

Z uwzględnieniem specyfiki domen obliczeniowych dla danego obszaru

4. Mikroskopowy model propagowania wirusa - **In progress**

Uprozczone wersje algorytmów

Ciągłe modele Social Force vs
Dyskretne
Automaty komórkowe Social
Distance



1. Zagrożenie COVID19 charakteryzuje się głównie transmisją poprzez aerozole i krople tzn. kichanie/kaszlenie/głośną konwersację/dotykanie tych samych przedmiotów itd.
2. Przetestowaliśmy przykład modelu **SEIR** dla **skali całego kraju**, który dał niezłe wyniki w skali globalnej, ale daje zgrubne wyniki
3. Aby wyjaśnić **mechanizmy transmisji na obszarach miast/dzielnic** warto stosować modele mikroskopowe z uwzględnieniem przemieszczania się ludzi, dystansów społecznych, poziomu zagęszczenia osób itd.
4. Jesteśmy w trakcie przygotowywania symulacji na **komputerach dużej mocy** (Cyfronet AGH, PL_GRID).
5. Chcemy uruchomić projekty, które umożliwią nam ukończenie tego zadania, oraz uwzględnić dostarczanie różnych danych (data-driven modeling)

Dziękujemy za uwagę!