



PROGNOSTYCZNE MODELOWANIE EPIDEMII COVID-19

PROMES WIELOAGENTOWY SYMULATOR ROZWOJU EPIDEMII I WPŁYWU STRATEGII SANITARNYCH

9 MARCA, 2021

dr Rafał Latkowski

prof. dr hab. Barbara Dunin-Kępcicz

mgr Piotr Dunin-Kępcicz

prof. ucz. dr hab. Anh Linh Nguyen

mgr Inga Rüb

prof. dr hab. Andrzej Szalas

Pytania stawiane wobec scenariuszy symulacji:

1. Jaka jest dynamika rozwoju epidemii?
2. Jak będzie przebiegać transmisja wirusa w momencie otwarcia szkół oraz związanej z tym zmiany trybu życia?
3. Czy i kiedy zastosować lock-down w zróżnicowanych fazach epidemii?
4. Jakie efekty przyniesie lock-down, w zależności od skali rozpowszechnienia wirusa?
5. Jakie efekty przynosi testowanie, w tym przesiewowe, potencjalnie skierowane na różne grupy społeczne czy też różne grupy wiekowe?
6. Jakie efekty przynoszą poszczególne typy obostrzeń?

Przykładowa lista scenariuszy symulacji:

- Interwencje higieniczno-sanitarne
 - Zaostrzenia kultury sanitarnej
 - Obowiązek noszenia maseczek
 - Dystans społeczny
- Testy
- Szczepienia
- Narastająca wiedza o biologii wirusa (i jego mutacjach)

- Matematyczne modele epidemiologiczne

- SIR ...

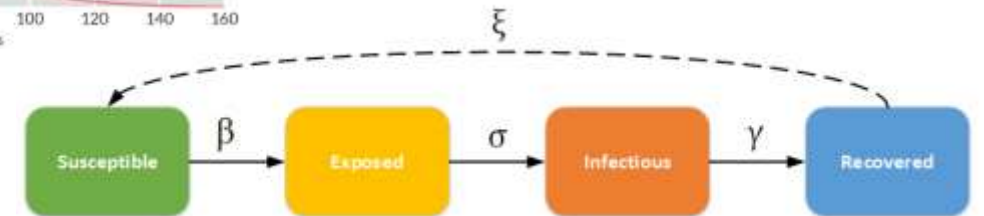
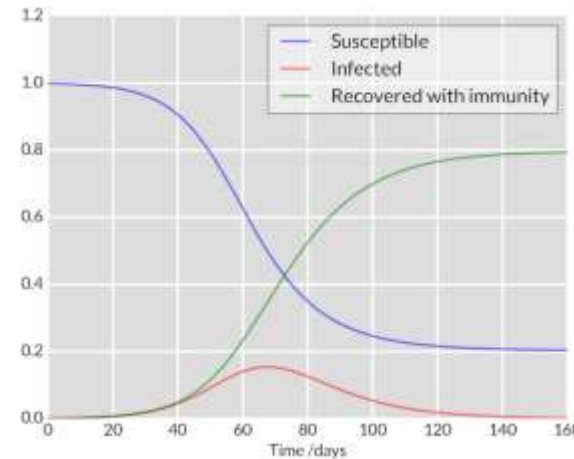
- SEIR

- Susceptible = Podatny
- Exposed = Zakażony, ale jeszcze nie zakaźny
- Infectious = Zakażający
- Recovered = Ozdrowiały

- ...

- Symulacja, Symulacja wieloagentowa

- Symulacja = matematyczny model reguł + program
- Agent = autonomiczna jednostka symulująca indywidualne zachowanie człowieka
- Symulacja wieloagentowa = Interakcje pomiędzy agentami w skali mikro
- Agenci = mieszkańcy Polski
- Reguły symulacji = reguły transmisji i przebieg historii choroby w skali indywidualnej

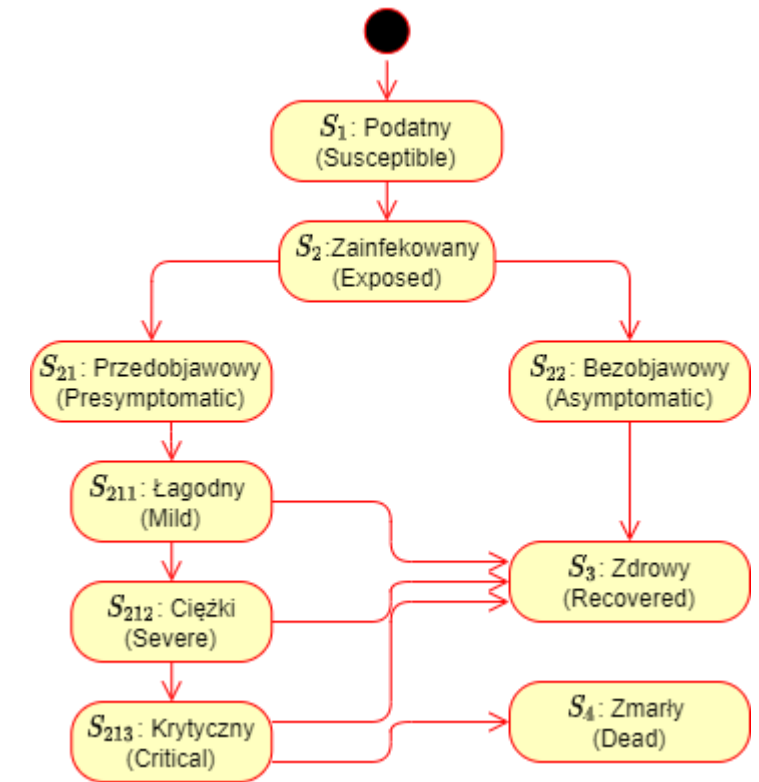


Referencyjne prace w Polsce i na świecie

Rozwiązania wzorcowe

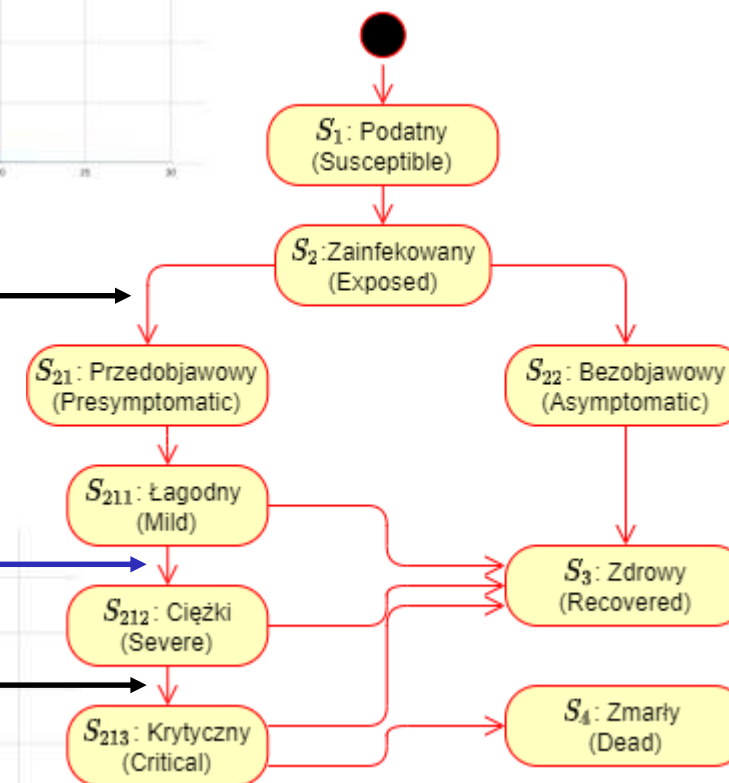
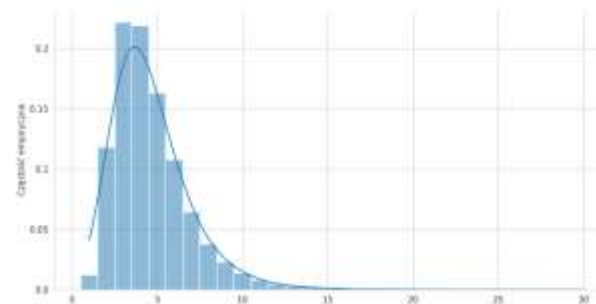
- Ważnym elementem projektu był przegląd istniejących rozwiązań
 - 8 uniwersalnych
 - 10 symulatorów pandemii
 - 24 symulatory Covid-19
- covasim:
 - dostępny do wykorzystania
 - otwarty kod źródłowy
 - obiektowa implementacja umożliwiająca rozszerzanie
 - bogata wiedza medyczna na temat SARS-Cov-2
 - optymalizacja czasu wykonania
- ASSOCC
- **Covasim**
- Covid-ABS
- STRIDE
- TRACE
- Covid-19-ABM
- GAMA (Gis Agent-based Modelling Architecture)
- NetLogo
- Repast HPC
- MASON (Multi-Agent Simulator of Networks)
- FLAME (Flexible Large-scale Agent-based Mod.Env)
- FRED (Famework for Reconstructing Epid. Dynamics)
- pDYN + socstr
- BioWar
-

- W symulacji biorą udział symulowane osoby – agenci
- Agenci, oprócz innych cech, charakteryzowani są stanem choroby zgodnie z diagramem:
- Cechy pomocnicze to np. wiek, płeć, czy zaszczepiony, typ społeczny (uczeń, pracownik,...), itp.
- Agenci przechodzą pomiędzy stanami zgodnie z rozkładem prawdopodobieństwa zgodnym z modelem biologii wirusa
- Wiek, płeć i inne parametry warunkują przebieg historii choroby (tj. wpływają na rozkłady prawdopodobieństwa przejść pomiędzy stanami oraz rozkłady prawdopodobieństwa czasu przebywania w danym stanie)
- Stan ciężki wymaga hospitalizacji z tlenoterapią
- Stan krytyczny wymaga terapii intensywnej z wentylacją mechaniczną



Model biologii wirusa i historii choroby

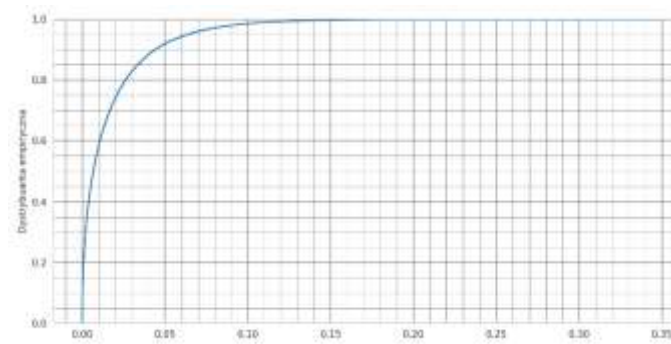
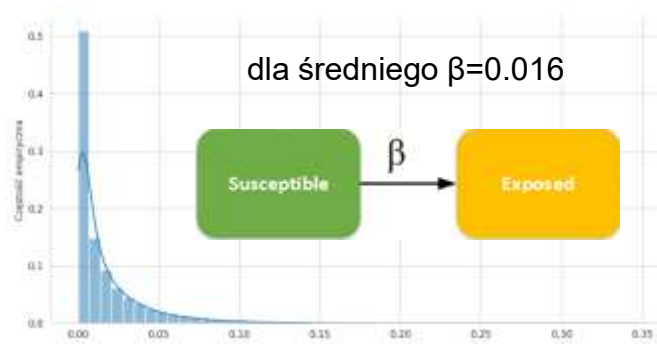
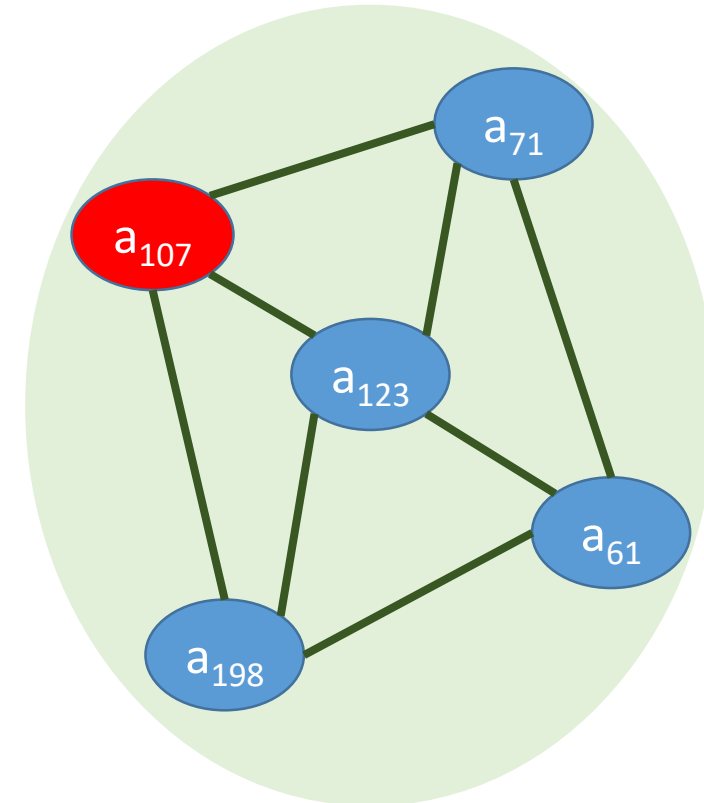
Wiek agentów	Podatność na zakażenie (biorca)	Ryzyko wystąpienia symptomów	Ryzyko ciężkiego przebiegu (pod war. objawów)	Ryzyko krytycznego przebiegu (pod war. stanu ciężkiego)	Ryzyko śmierci (pod war. stanu krytycznego)
0-9	0.34	0.5	0.0005	0.00003	0.00002
50-59	0.67	0.55	0.00165	0.00008	0.00002
20-29	1.0	0.6	0.0072	0.00036	0.00010
30-39	1.0	0.65	0.0208	0.00104	0.00032
40-49	1.0	0.7	0.0343	0.00216	0.00098
50-59	1.0	0.75	0.0765	0.00933	0.00265
60-69	1.24	0.8	0.1328	0.03639	0.00766
70-79	1.47	0.85	0.20655	0.08923	0.02439
80-89	1.47	0.9	0.2457	0.17420	0.08292
90+	1.47	0.9	0.2457	0.17420	0.16190



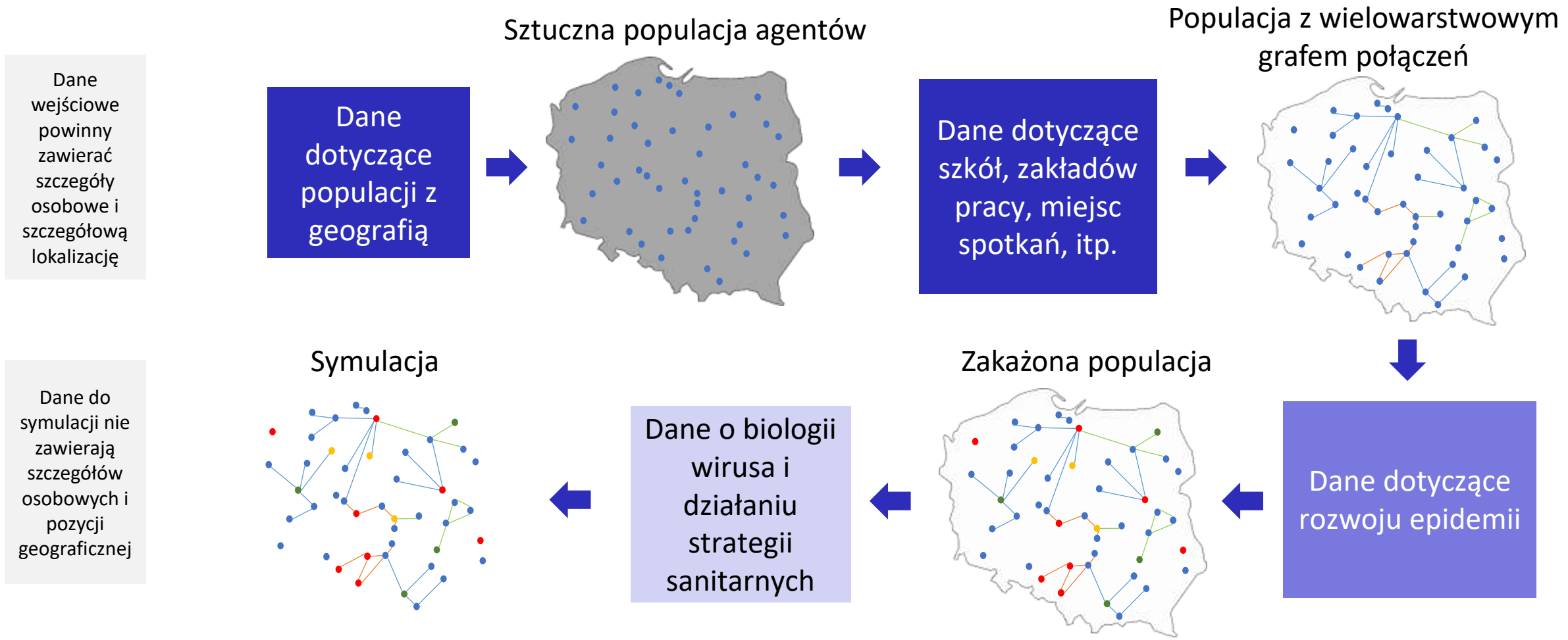
Symulacja: Transmisja wirusa poprzez kontakty

- Agenci zarażają się poprzez kontakt z innym zarażającym agentem.
- Ryzyko kontaktu jest wyznaczona explicite z danych: identyfikujemy dzieci w klasie i łączymy je w graf połączeń "klasa w szkole".
- Zakaźność zależy od osobniczych cech osoby narażonej (probabilistyczny model β), typu spotkania (w szkole, w zakładzie pracy, w domu, na powietrzu, tzw. modyfikator β dla typu spotkania) oraz od stanu/stadium choroby (model viral-load, np. największa zakaźność na -2/+1 dni od pierwszych symptomów).
- Dzień po dniu agenci spotykają się, zarażają i modyfikują swój stan (np. zdrowieją)
- Strategie sanitarne modyfikują grafy połączeń i/lub prawdopodobieństwa zakażenia (np. zmniejszają szansę na skuteczną transmisję wirusa)

Klasa w szkole



Do symulacji potrzebne są szczegółowe dane o Polsce i Polakach



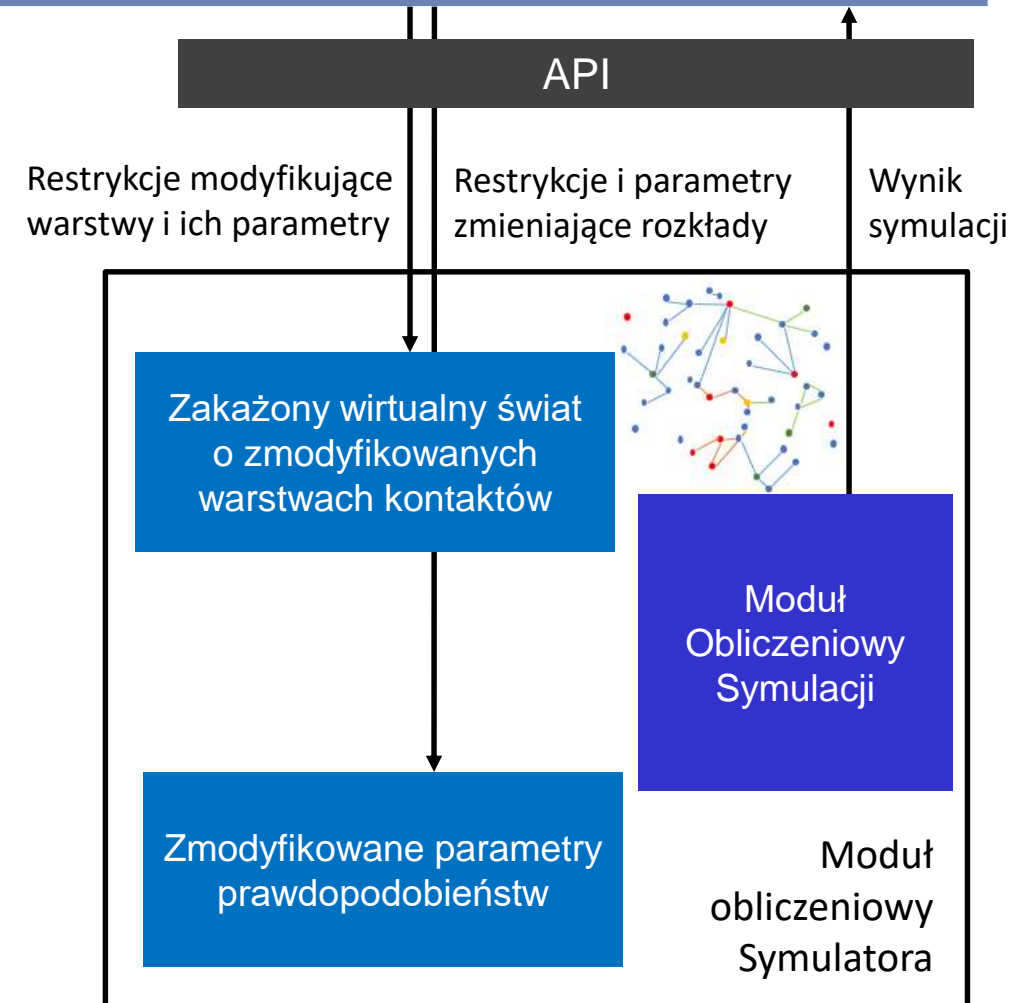
Parametry (restrykcje, szczepienia, itp.) scenariuszy symulacji

- Interwencje higieniczno-sanitarne
 - Zaostrzenia kultury sanitarnej
 - Obowiązkowe pomiary temperatury
 - Obowiązkowa dezynfekcja rąk
 - Obowiązek noszenia maseczek
 - w sklepach
 - w środkach transportu publicznego
 - w pomieszczeniach zamkniętych
 - na otwartym powietrzu
 - Dystans społeczny
 - Ograniczenia w sklepach
 - Ograniczenia w środkach transportu
 - Zakaz wychodzenia z domu
 - Kordon sanitarny
 - Zdalne/hybrydowe nauczanie w szkołach
- Testy
 - Rodzaj/generacja testu
 - Skala i dobór testów przesiewowych
 - Grupy społeczne objęte testowaniem
 - Skuteczność śledzenia kontaktów (TTQ – Testowanie, Śledzenie, Kwarantanna)
- Szczepienia
 - Rodzaj i skuteczność szczepienia
 - Kolejność grup społecznych objętych szczepieniami
 - Terytorium objęte szczepieniami
- Mutacja wirusa/globalna adaptacja parametrów
 - Specyficzne warianty wirusa
 - Skalowanie parametrów biologii wirusa

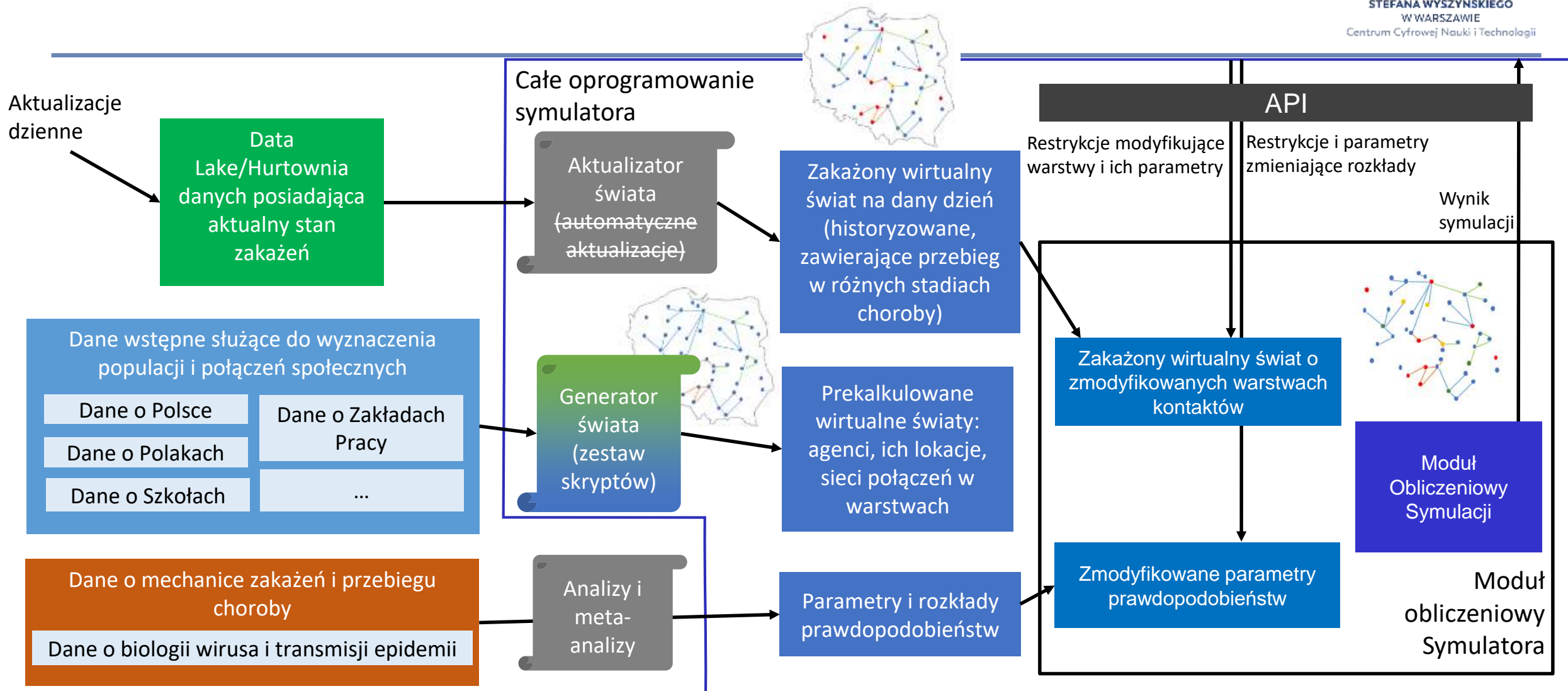
Budowa symulatora

- Symulacja odbywa się na wirtualnej mapie Polski (lub mniejszych obszarów)
- Użytkownik specyfikuje parametry symulacji i odbiera wyniki w interfejsie graficznym (tzw. gruby i cienki klient)
- Istotną trudnością i wysiłkiem jest wyznaczenie populacji Polski i ich kontaktów ◀ częściowe losowanie danych (zgodnie np. z rozkładami GUS)
- Istotną trudnością jest dobór "stanu startowego symulacji": nie wystarczy nam sama liczba zakażonych (precyzyjnie rozłożonych po gminach), powinny być dostępne wszystkie stany choroby ◀ zapis stanu symulacji
- Pewną trudnością jest ustalenie parametrów biologii wirusa i historii choroby ◀ współpraca z CMKP

Sam rdzeń symulacji/moduł obliczeniowy nie stanowi jeszcze całego rozwiązania



Budowa symulatora



Obszar przygotowania danych	Idealny scenariusz	Zastosowane rozwiązanie
Rozmieszczenie agentów w wirtualnym świecie	PESEL + Państwowy Rejestr Granic	Geolokalizacja lokali mieszkalnych + rozkład ludności na poziomie gminy
Wyznaczenie grafu spotkań w środkach komunikacji publicznej	Dane o mobilności ludności + trasy połączeń komunikacyjnych	Geolokalizacja przystanków + statystyki o korzystaniu ze środków transportu
Wyznaczenie grafu spotkań w zakładach pracy	Oddziały zakładów pracy ZUS + PESEL	Geolokalizacja budynków produkcyjnych i biurowych + statystyki o zatrudnieniu
Wyznaczanie stanu początkowego symulacji	Dane o zakażeniach, diagnozach, konsultacjach medycznych i hospitalizacjach na poziomie PESEL lub gminy zamieszkania	Przygotowanie zapisanego scenariusza stanu epidemii przybliżającego obserwowane dane raportowe

Dalszy rozwój symulatora otwiera wiele możliwości dalszych badań

- Przygotowanie danych:
 - Populacja Polski
 - Szkoły
 - Komunikacja publiczna
 - Zakłady pracy
 - Modelowanie mobilności ludności
- Dynamiczne warstwy
- Optymalizacja CPU-MIMD/GPU-SIMD
- Śledzenie badań parametrów biologii wirusa & rozkładu mutacji



PROGNOSTYCZNE MODELOWANIE EPIDEMII COVID-19

PROMES WIELOAGENTOWY SYMULATOR ROZWOJU EPIDEMII I WPŁYWU STRATEGII SANITARNYCH

9 MARCA, 2021

dr Rafał Latkowski

prof. dr hab. Barbara Dunin-Kępcicz

mgr Piotr Dunin Kępcicz

prof. ucz. dr hab. Anh Linh Nguyen

mgr Inga Rüb

prof. dr hab. Andrzej Szalas