

Epidemia COVID-19: Analiza sytuacji bieżącej i prognozy krótkoterminowe

Raport grupy MOCOS dla Wrocławia i Dolnego Śląska, 12/05/2020

Marek Bawiec, Marcin Bodych, Tyll Krüger*, Agata Migalska, Tomasz Ożański,
Barbara Pabjan, Piotr Szymański, grupa MOCOS*

*Korespondencja (kierownik grupy MOCOS): e-mail tyll.krueger@pwr.edu.pl

*Pozostali członkowie grupy MOCOS Wrocław: Barbara Adamik, Viktor Bezborodov, Ewa Skubalska-Rafajłowicz, Ewaryst Rafajłowicz, Wojciech Rafajłowicz

Wstęp

Grupa MOCOS to międzynarodowy interdyscyplinarny zespół naukowców zajmujący się modelowaniem epidemii COVID-19. Grupa MOCOS opracowała zaawansowany model mikrosymulacyjny, który symuluje zachowania indywidualnych agentów (jednostek). Pozwala on ocenić aktualny poziom reprodukcji wirusa i etap rozwoju epidemii, skalę osiągniętego ograniczenia kontaktów międzyludzkich, poziom wykrywalności zakażonych wirusem, u których choroba przebiega z łagodnymi objawami i wpływ rekomendowanych działań na możliwość ograniczenia rozwoju epidemii.

Epidemię można opisać za pomocą krzywej krytycznej, tzn. takiej krzywej kiedy epidemia utrzymuje się na pewnym poziomie (stan endemiczny). Obszar ponad krzywą krytyczną nazywany jest obszarem nadkrytycznym i jest to obszar wskazujący wzrost liczby zakażeń. Natomiast, obszar pod krzywą krytyczną nazywany jest obszarem podkrytycznym i jest to obszar gdzie epidemia słabnie i wygasa.

Na podstawie przeprowadzonych analiz wnioskujemy, że **epidemia w Polsce i we Wrocławiu prawdopodobnie jest już obecnie w stanie wygasania blisko krzywej krytycznej, natomiast sytuacja na Dolnym Śląsku jest bliska krzywej krytycznej.** Analizę danych o liczbie zdiagnozowanych przedstawiliśmy w Rozdziale 1, natomiast szczegółową analizę sytuacji epidemiologicznej wraz z prognozami krótkoterminowymi dla Wrocławia i Dolnego Śląska zamieściliśmy w Rozdziale 2.

Epidemia, która znajduje się na krzywej krytycznej, charakteryzuje się stałą liczbą nowych zakażeń w ustalonej jednostce czasu (np. w ciągu tygodnia). Jednocześnie, trwa najdłużej - do momentu znalezienia szczepionki lub do momentu osiągnięcia odporności stadnej w populacji.

Do skutecznego zwalczania epidemii konieczne jest połączenie wytężonych działań w kierunku wykrywalności kontaktów, szybkości wykrywania kontaktów, oraz redukcji

kontaktów społecznych - nazywamy tę strategię strategią “Testuj, Trop, Redukuj” (#TestTraceReduce).

Fakt, że epidemia nie znajduje się już w fazie wzrostu wskazuje, że dotychczasowe działania w kierunku zwalczania epidemii były skuteczne. Umieszczenie epidemii na krzywej krytycznej przypomina umieszczenie na krawędzi, skąd łatwo przechylić się zarówno w stronę fazy wygasania, jak i fazy wzrostu. Nie jest zatem wskazane aby zachowania prewencyjne stosowane dotychczas zmieniać. Należałoby te działania wręcz zintensyfikować, aby maksymalnie skrócić czas trwania epidemii i zminimalizować jej negatywne konsekwencje społeczno-ekonomiczne.

Stąd, po pierwsze, z uwagą należy obserwować zmiany aktywności społecznej i badać ewentualny wpływ tych zmian na dynamikę rozwoju epidemii koronawirusa na Dolnym Śląsku i we Wrocławiu. Analizie zmian mobilności według danych udostępnionych przez Google i Apple poświęcony został rozdział trzeci tego dokumentu.

Po drugie, należy rozważyć użycie innych narzędzi wspomagających zwalczanie epidemii takich jak aplikacje mobilne, które w sposób anonimowy monitorują czy w naszym otoczeniu pojawiły się osoby zakażone, które mogły nas zakażyć. Analizie skuteczności wykorzystania aplikacji śledzącej kontakty, w zależności od liczby osób jej używających, poświęciliśmy rozdział czwarty tego dokumentu.

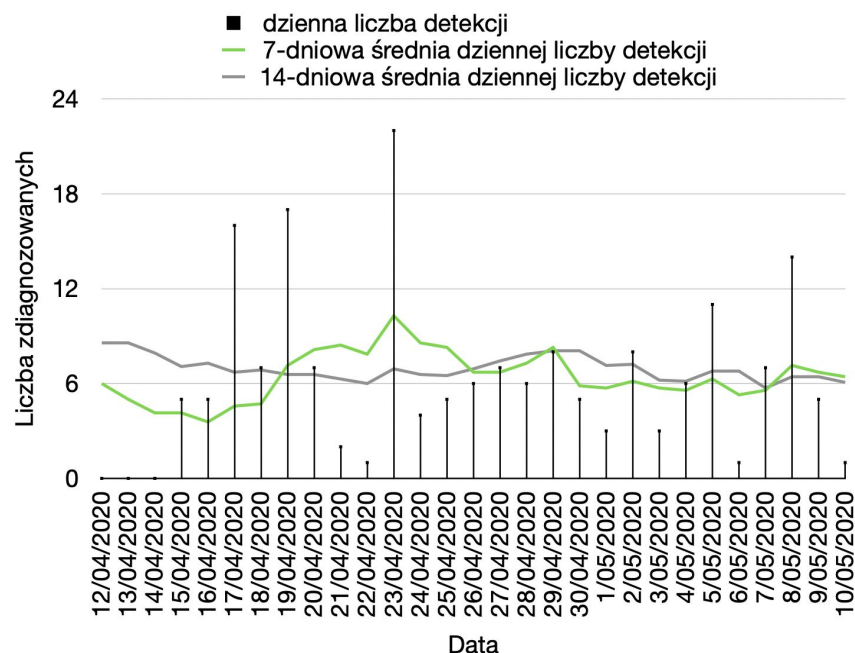
Rekomendujemy zatem kontynuowanie działań w kierunku szerokiego testowania na obecność wirusa, szybkiego i skutecznego śledzenia kontaktów oraz ograniczania kontaktów społecznych. Szczególnie podkreślamy znaczenie ograniczania kontaktów społecznych, przestrzeganie minimalnej odległości pomiędzy ludźmi oraz stosowanie środków prewencyjnych (maseczki, dezynfekcja), ponieważ są to sposoby na zwalczanie epidemii, na które mamy bezpośredni wpływ.

Spis treści

Wstęp	1
1. Aktualna sytuacja epidemiologiczna	3
2. Wyniki modelowania stanu obecnego	5
3. Zmiany mobilności	12
4. Analiza skuteczności wykorzystania aplikacji śledzącej kontakty	13
Dodatek A: Metodologia	19

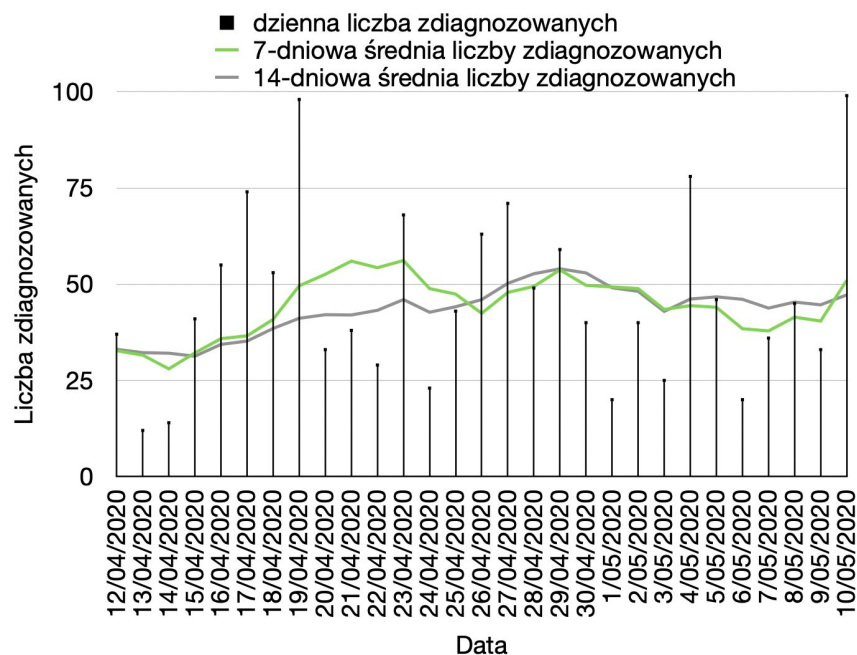
1. Aktualna sytuacja epidemiologiczna

Dane epidemiologiczne dotyczące liczby zdiagnozowanych przypadków na przestrzeni ostatnich dni wskazują, że trend liczby nowych zdiagnozowanych przypadków we Wrocławiu jest ustabilizowany na poziomie średnio 7 przypadków dziennie.



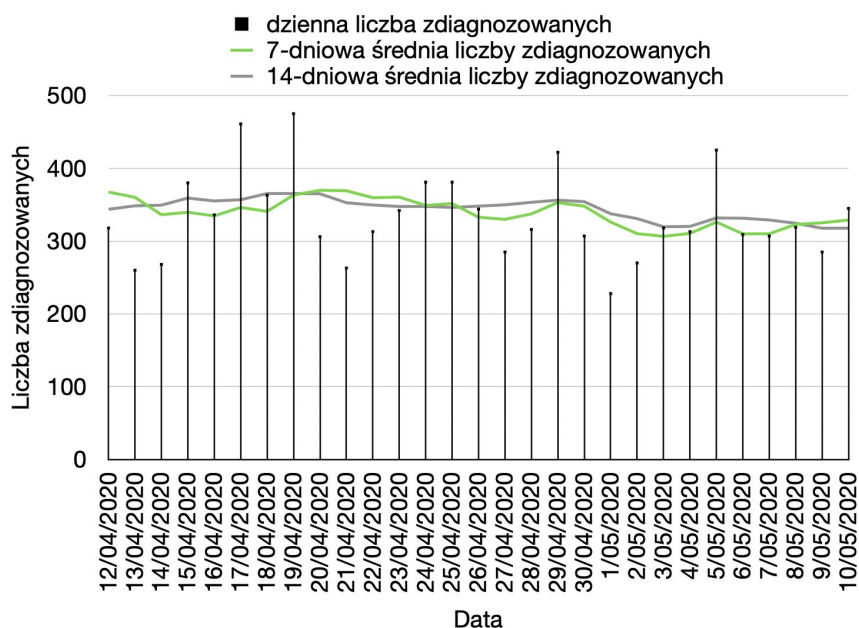
Rysunek 1: Liczba zdiagnozowanych od 12/04/2020 do 10/05/2020 we Wrocławiu w ujęciu dziennym oraz średnim na podstawie 7- i 14-dniowych średnich.

Sytuacja epidemiologiczna na Dolnym Śląsku kształtuje się mniej pomyślnie, m.in. ze względu na ogniska zapalne, które obserwowaliśmy w ostatnim czasie w regionie, szczególnie w ośrodkach zakwaterowania zbiorowego takich jak Domy Pomocy Społecznej.



Rysunek 2: Liczba zdiagnozowanych od 12/04/2020 do 10/05/2020 na Dolnym Śląsku w ujęciu dziennym oraz średnim na podstawie 7- i 14-dniowych średnich.

Sytuacja epidemiologiczna w Polsce jest ustabilizowana na poziomie średnio 320-370 zdiagnozowanych przypadków dziennie według 14-dniowej średniej liczby zdiagnozowanych. Nie obserwuje się ani gwałtownych wzrostów, ani dużych spadków.



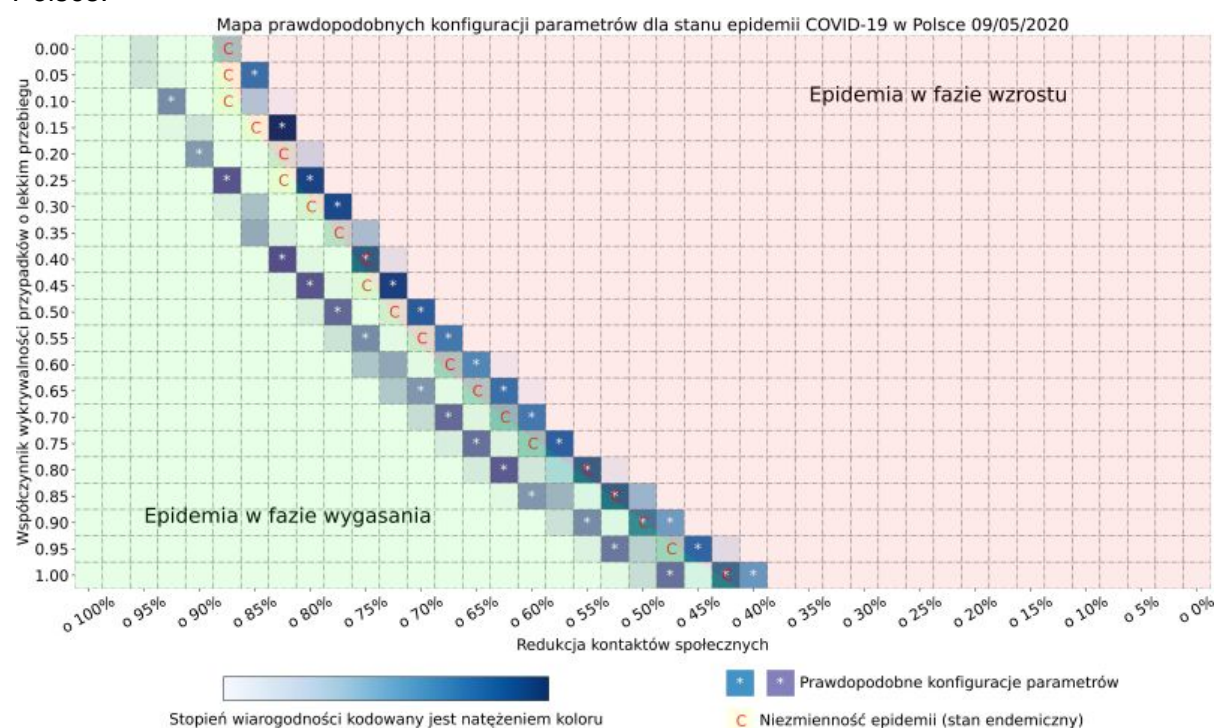
Rysunek 3: Liczba zdiagnozowanych od 12/04/2020 do 10/05/2020 w Polsce w ujęciu dziennym oraz średnim na podstawie 7- i 14-dniowych średnich.

2. Wyniki modelowania stanu obecnego

W naszym wyjściowym modelu mikrosymulacyjnym (bez modułu śledzenia kontaktów) dynamika stanu epidemii COVID-19 w Polsce opisywana jest przez dwa parametry: wykrywalność przypadków o łagodnym przebiegu q oraz stopień redukcji kontaktów poza gospodarstwem domowym f . Redukcja kontaktów społecznych jest określana w stosunku do wartości bazowej sprzed wprowadzenia restrykcji w Polsce, czyli sprzed 15/03/2020. Dodatkowo, rozważamy różną długość trwania procesu ograniczania kontaktów, czyli czasu potrzebnego od 15/03/2020 na osiągnięcie nowego poziomu ograniczeń kontaktów społecznych określonego przez parametr f .

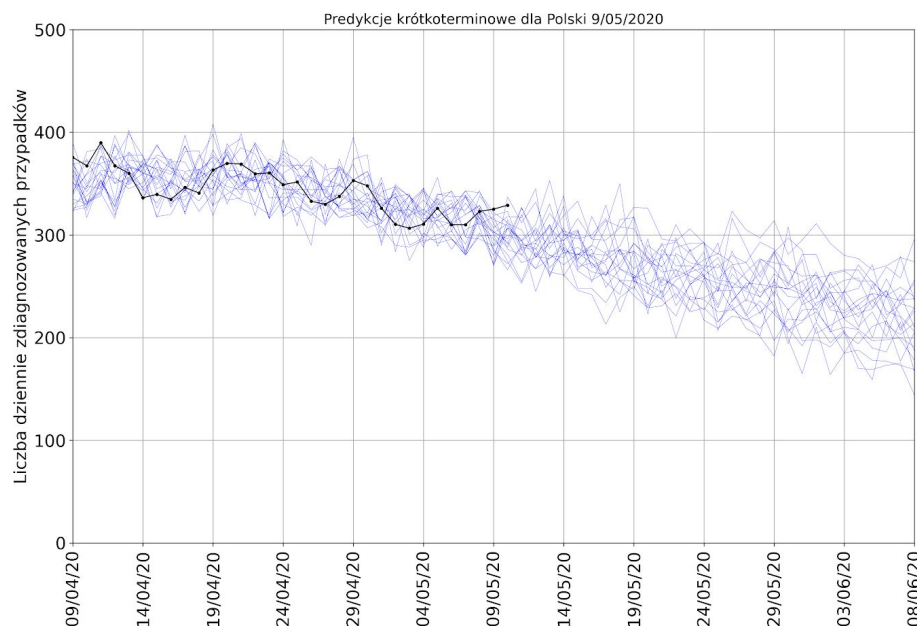
Przeprowadziliśmy analizę porównawczą dwóch wariantów modeli - **pesymistycznego i optymistycznego**. Wariant pesymistyczny zakłada, że przejście do docelowego stopnia redukcji kontaktów nastąpiło w ciągu zaledwie kilku dni. Wariant optymistyczny zakłada, że przejście do docelowego stopnia redukcji kontaktów zajęło znacznie dłużej i trwało mniej więcej do 8/04/2020. Warianty pesymistyczny i optymistyczny reprezentują odpowiednio górne i dolne oszacowanie obecnego stanu epidemiologicznego w Polsce.

Dla obu wariantów zastosowany został taki sam schemat polegający na przeprowadzeniu serii symulacji modelu podstawowego dla pełnego zakresu wartości wykrywalności q , od 0.0 do 1.0 oraz redukcji kontaktów poza gospodarstwem domowym f , od redukcji o 100% do braku redukcji. Na podstawie wyników symulacji wybraliśmy takie wartości parametrów q i f , dla których wiarygodność, że symulowane dane odpowiadają rzeczywistej liczbie osób zdiagnozowanych do dnia 09/05/2020 przekracza ustalony próg 50% ze 100 symulowanych trajektorii. Te parametry modelu podstawowego najprawdopodobniej opisują stan epidemii w Polsce.



Rysunek 4: Mapa prawdopodobnych konfiguracji parametrów według dwóch scenariuszy dla stanu epidemii COVID-19 w Polsce w dniu 09/05/2020. Odcienie koloru niebieskiego oznaczają prawdopodobne położenie zestawu parametrów dla symulacji wariantu pesymistycznego, natomiast odcienie koloru fioletowego - wariantu optymistycznego. Literą C zaznaczono konfiguracje na parametrów odpowiadające linii krytycznej.

Przyjmując wariant optymistyczny sporządziliśmy prognozę na najbliższy miesiąc dla Polski. W tej analizie założyliśmy, że w przyszłości utrzymane będą te same restrykcje i ten sam poziom testowania jak obecnie.



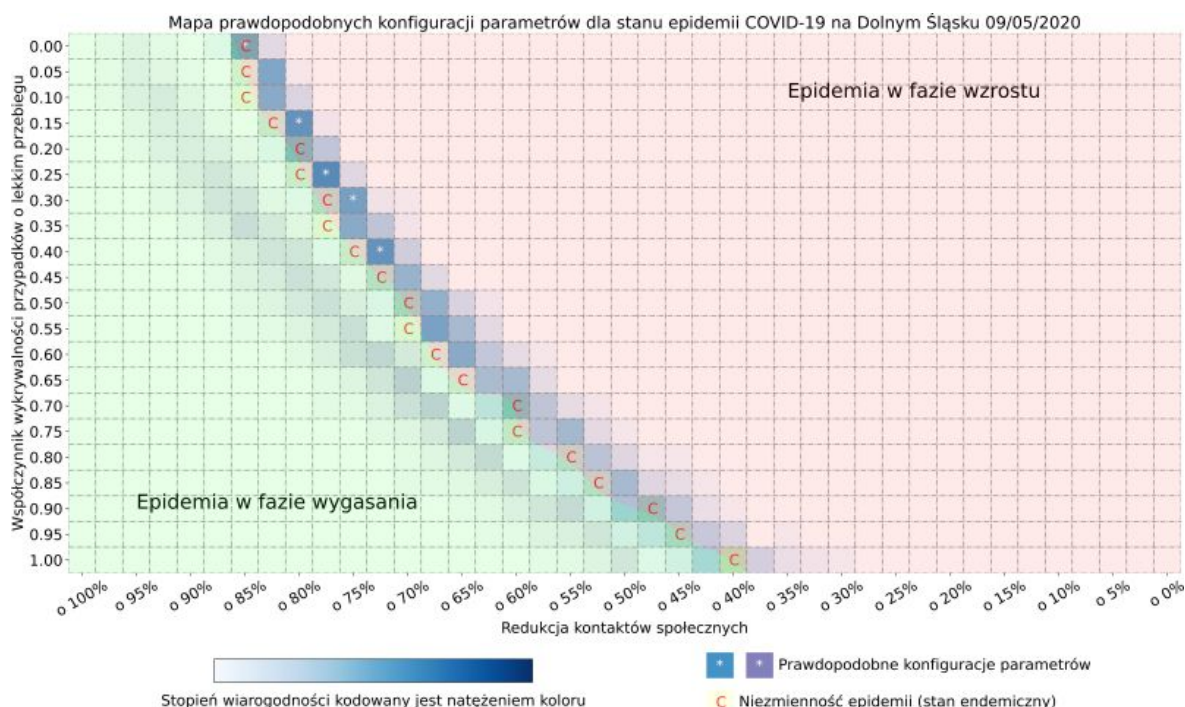
Rysunek 5: Prawdopodobne trajektorie dziennej liczby zdiagnozowanych w Polsce do 08/07/2020 w wariacie optymistycznym. Czarną linią zaznaczono 7-dniową średnią liczbę zdiagnozowanych przypadków w Polsce w ciągu ostatnich 30 dni od 09/04/2020. Każda z linii odpowiada wynikowi jednej z symulacji modelu, które najlepiej opisywały sytuację w Polsce w ciągu ostatnich kilku tygodni. Wiązki krzywych wygenerowano na podstawie modelu mikrosymulacyjnego bez modułu śledzenia kontaktów.

Wnioski z Rysunków 4-5:

- Wg wariantu pesymistycznego epidemia w Polsce dotarła do linii krytycznej, natomiast wg wariantu optymistycznego epidemia znajduje się już w fazie wygasania.
 - Zakres prawdopodobnej dziennej liczby osób zdiagnozowanych na dzień 08/06/2020 wynosi od ok. **150 do 300**, zakładając, że nie zmienione zostaną obecne restrykcje, oraz że nie zostanie zwiększona częstotliwość testowania, ani efektywność śledzenia kontaktów, wg modelu bez modułu śledzenia kontaktów.
-

Analogiczne symulacje przeprowadziliśmy dla Dolnego Śląska. Ponownie rozważaliśmy dwa warianty: pesymistyczny, w którym przejście do poziomu redukcji kontaktów określonego

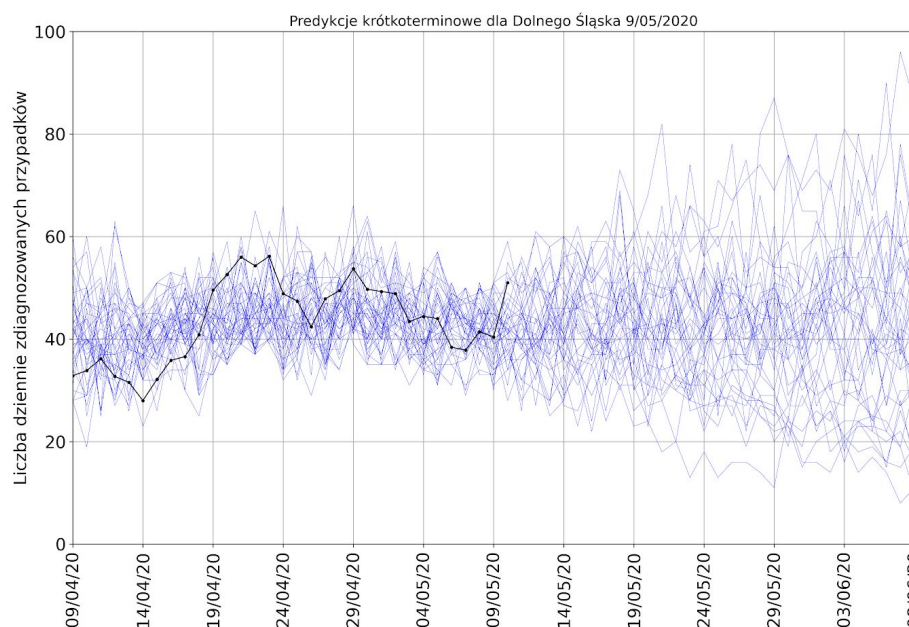
parametrem f nastąpiło w ciągu kilku dni począwszy od 15/03/2020, i optymistyczny, w którym przejście to trwało znacznie dłużej, bo aż do 08/04/2020.



Rysunek 6: Mapa prawdopodobnych konfiguracji parametrów według dwóch scenariuszy dla stanu epidemii COVID-19 na Dolnym Śląsku w dniu 09/05/2020. Odcienie koloru niebieskiego oznaczają prawdopodobne położenie zestawu parametrów dla symulacji wariantu pesymistycznego, natomiast odcienie koloru fioletowego - wariantu optymistycznego. Obszar pomiędzy niebieską i fioletową linią należy interpretować jako możliwy zakres sytuacji epidemiologicznej na Dolnym Śląsku.

Wnioski z Rysunku 6:

- Zakres sytuacji epidemiologicznej na Dolnym Śląsku jest bardzo bliski linii krytycznej. Wg wariantu pesymistycznego epidemia jest ciągle w fazie wzrostu, natomiast wg wariantu optymistycznego epidemia znajduje się już w fazie wygasania. Jednakże, małe natężenie koloru fioletowego (wariant optymistyczny) wskazuje na niską wiarygodność tego scenariusza.

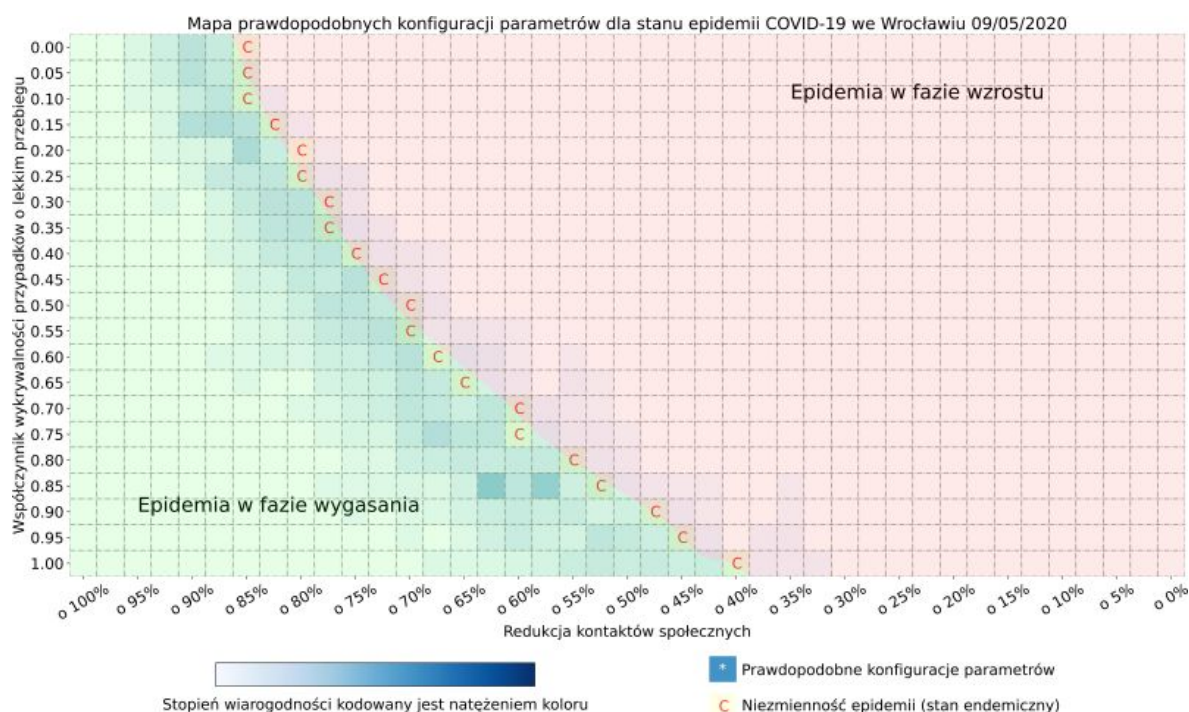


Rysunek 7: Prawdopodobne trajektorie dziennej liczby zdiagnozowanych na Dolnym Śląsku do 08/06/2020 w wariancie optymistycznym. Czarną linią zaznaczono 7-dniową średnią liczbę zdiagnozowanych przypadków na Dolnym Śląsku w ciągu ostatnich 30 dni od 09/04/2020. Każda z linii odpowiada wynikowi jednej z symulacji modelu które najlepiej przybliżyły sytuację w regionie w ciągu ostatnich kilku tygodni. Wiązki krzywych wygenerowano na podstawie modelu mikrosymulacyjnego bez modułu śledzenia kontaktów.

Wnioski z Rysunku 7:

- Zakładając, że niezmienione zostaną obecne restrykcje, oraz że nie zostanie zwiększona częstotliwość testowania ani efektywność śledzenia kontaktów, wg modelu bez modułu śledzenia kontaktów zakres prawdopodobnej dziennej liczby zdiagnozowanych na dzień 08/06/2020 wyniesie od ok. 10 do 100.
-

Poniżej przedstawiamy wyniki wariantu pesymistycznego dla **Wrocławia**. Model użyty do symulacji był modelem bez backtrackingu (tzn. ten sam model, którego użyliśmy wcześniej do analizy sytuacji w Polsce i na Dolnym Śląsku).

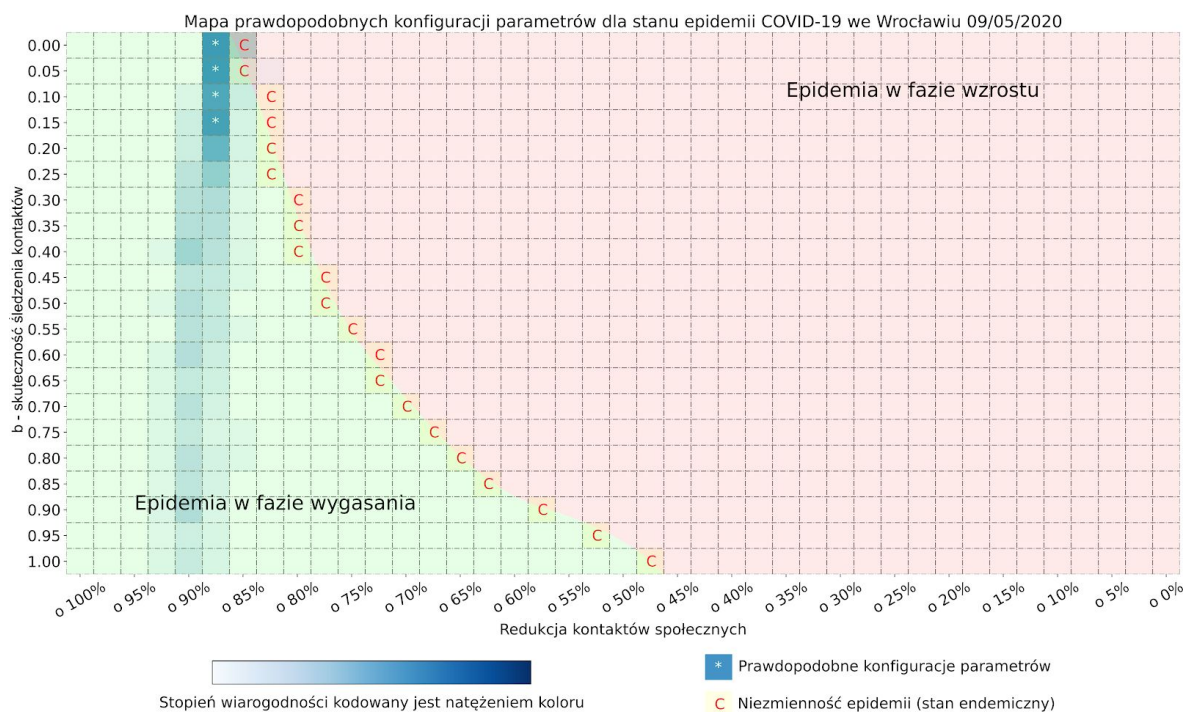


Rysunek 8: Mapa prawdopodobnych konfiguracji parametrów według scenariusza bez modułu backtrackingu dla stanu epidemii COVID-19 we Wrocławiu w dniu 09/05/2020. Odcienie koloru niebieskiego oznaczają prawdopodobne położenie zestawu parametrów. Żółtym kolorem zaznaczono konfiguracje na parametrów odpowiadające linii krytycznej (stanowi endemicznemu epidemii).

Wnioski z Rysunku 8:

- Model wskazuje, że epidemia we Wrocławiu znajduje się w fazie wygasania blisko linii krytycznej.
- Konfiguracje otrzymane z modelu bez modułu backtracking są mało wiarygodne, w związku z tym należy rozpatrzyć czy inny model będzie pasować lepiej do danych o zachorowaniach.

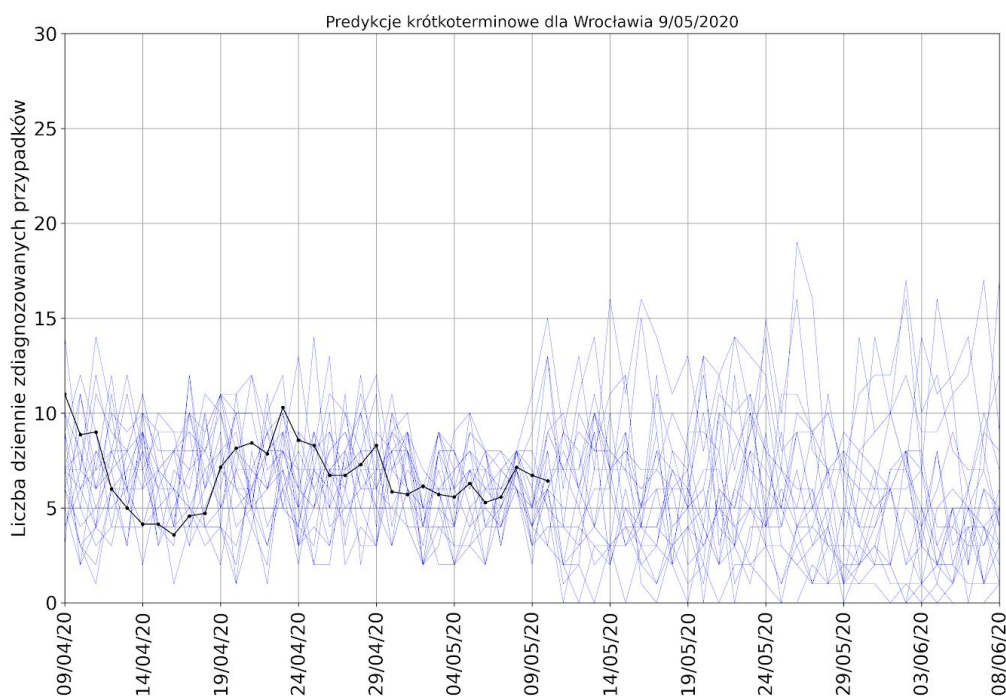
Ze względu na to, że konfiguracje otrzymane z modelu bez modułu backtrackingu są mało wiarygodne (małe natężenie koloru niebieskiego na Rys. 8), analizę sytuacji epidemiologicznej we Wrocławiu powtórzyliśmy używając modelu z modułem backtrackingu.



Rysunek 9: Mapa prawdopodobnych konfiguracji parametrów według scenariusza z modułem backtrackingu dla stanu epidemii COVID-19 we Wrocławiu w dniu 09/05/2020. Współczynnik wykrywalności przypadków o łagodnym przebiegu ustalono na $q=0$. Odcienie koloru niebieskiego oznaczają prawdopodobne położenie zestawu parametrów. Żółtym kolorem zaznaczono konfiguracje na parametrów odpowiadające linii krytycznej (stan endemiczny).

Wnioski z Rysunku 9:

- Model wskazuje, że epidemia we Wrocławiu znajduje się w fazie wygasania blisko linii krytycznej.



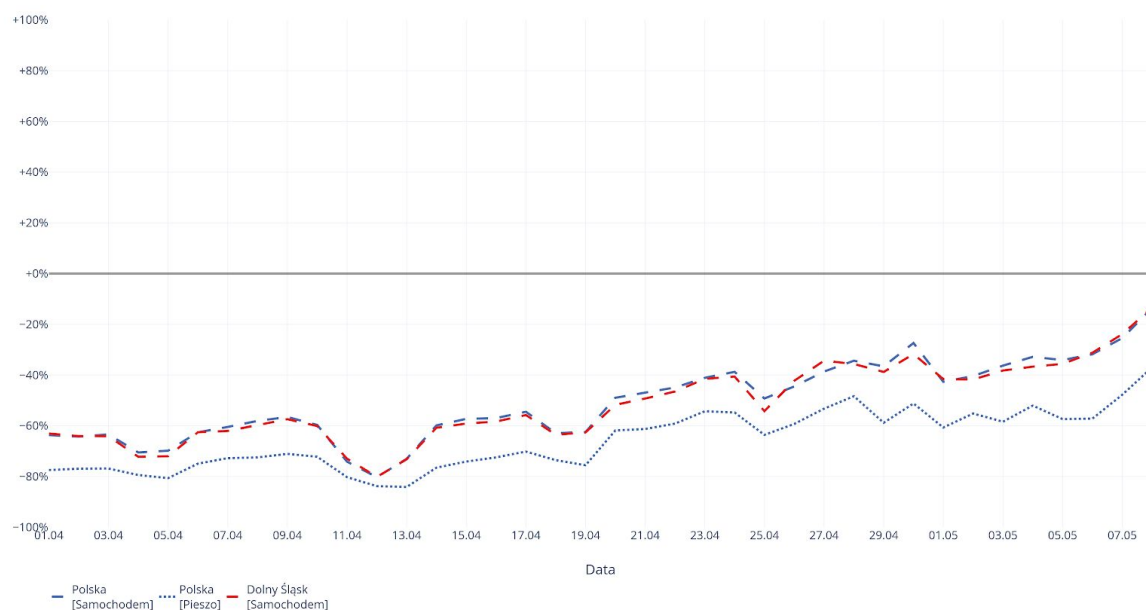
Rysunek 10: Prawdopodobne trajektorie dziennej liczby zdiagnozowanych we Wrocławiu do 08/06/2020 w wariancie z modułem backtrackingu. Czarną linią zaznaczono 7-dniową średnią liczby zdiagnozowanych przypadków we Wrocławiu w ciągu ostatnich 30 dni od 09/04/2020. Każda z linii odpowiada wynikowi jednej z symulacji modelu które najlepiej przybliżyły sytuację w mieście w ciągu ostatnich kilku tygodni.

Wnioski z Rysunku 10:

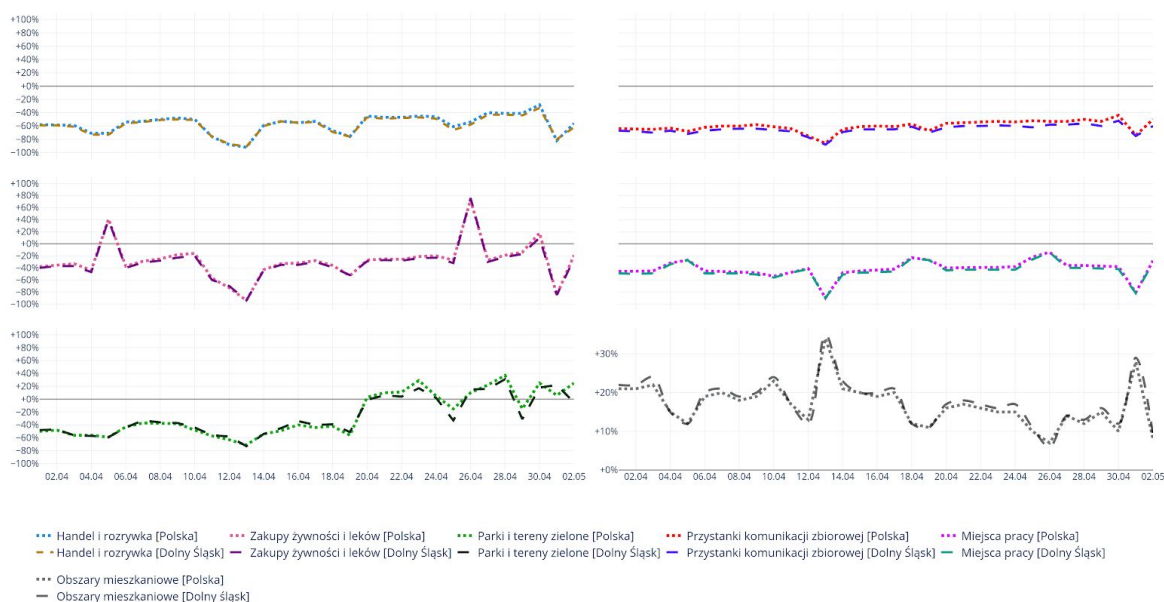
- Zakładając, że niezmienione zostaną obecne restrykcje, oraz że nie zostanie zwiększona częstotliwość testowania ani efektywność śledzenia kontaktów, wg modelu z modułem śledzenia kontaktów zakres prawdopodobnej dziennej liczby zdiagnozowanych na dzień 08/06/2020 wyniesie od ok. 0 do 17.
 - Prognozowane dzienne liczby osób zdiagnozowanych we Wrocławiu są niewielkie. W konsekwencji, obserwowane fluktuacje w prognozie mogą być wynikiem szumu.
-

3. Zmiany mobilności

Celem określenia stopnia redukcji kontaktów poza gospodarstwem domowym, podsumowaliśmy dane o mobilności Polaków udostępnione przez firmy Apple [1] oraz Google [2].



Rysunek 11: Zmiana mobilności wśród użytkowników systemu iOS w podziale na środek podróży i obszar pomiaru (Polska vs. Dolny Śląsk).



Rysunek 12: Zmiana mobilności wśród użytkowników systemu Android w podziale na cele podróży i obszar pomiaru (Polska vs. Dolny Śląsk). Pogrupowane wg. celu podróży: linia kropkowana dotyczy Polski, linia przerywana dotyczy Dolnego Śląska.

Od momentu ogłoszenia planu odmrożenia gospodarki obserwujemy wzrost mobilności mieszkańców Polski i Dolnego Śląska. Mieszkańcy obu obszarów zachowują niski poziom mobilności w celu handlowo-rozrywkowym i w małym stopniu korzystają z komunikacji zbiorowej. W pozostałych aktywnościach obserwujemy:

- trzy ‘punkty szczytowe’ wskazujące na wysoką częstotliwość dokonywania zakupów spożywczych: jeden na Wielkanoc i dwa związane z weekendem majowym, w każdym z tych punktów mobilność była wyższa, niż w odpowiednim okresie odniesienia przed epidemią,
- odwrócenie trendu ograniczenia mobilności w celu korzystania z parków i terenów zielonych; aktualnie mobilność w celu ‘zielonej rekreacji’ jest o 20% wyższa, niż w okresie referencyjnym¹ i jest znacznie wyższa niż w okresie ograniczania kontaktów,
- początek wzrostu mobilności do miejsc pracy.

W oparciu o zmiany w poziomie mobilności możemy szacować, na podstawie wartości sprzed weekendu majowego, że aktualny poziom ograniczenia kontaktów społecznych mieści się pomiędzy “o 20%” a “o 50%”.

Mobilność Polaków i mieszkańców Dolnego Śląska lokowała się pomiędzy redukcją “o 40%” a redukcją “o 60%” w porównaniu do poziomu referencyjnego w dniu 19/04/2020 wg danych uzyskanych od użytkowników systemu Android, natomiast uśredniona mobilność wg celów aktywności wskazywała na redukcję “o 56%” względem wartości referencyjnej. Ogólny wzrost mobilności, w tym bardzo istotny wzrost mobilności związanej z korzystaniem z terenów zielonych, spowodował, że na początku tygodnia przed weekendem majowym (27-28/04/2020) uśredniona mobilność kształtowała się na poziomie redukcji “o 26-31%” względem poziomu referencyjnego.

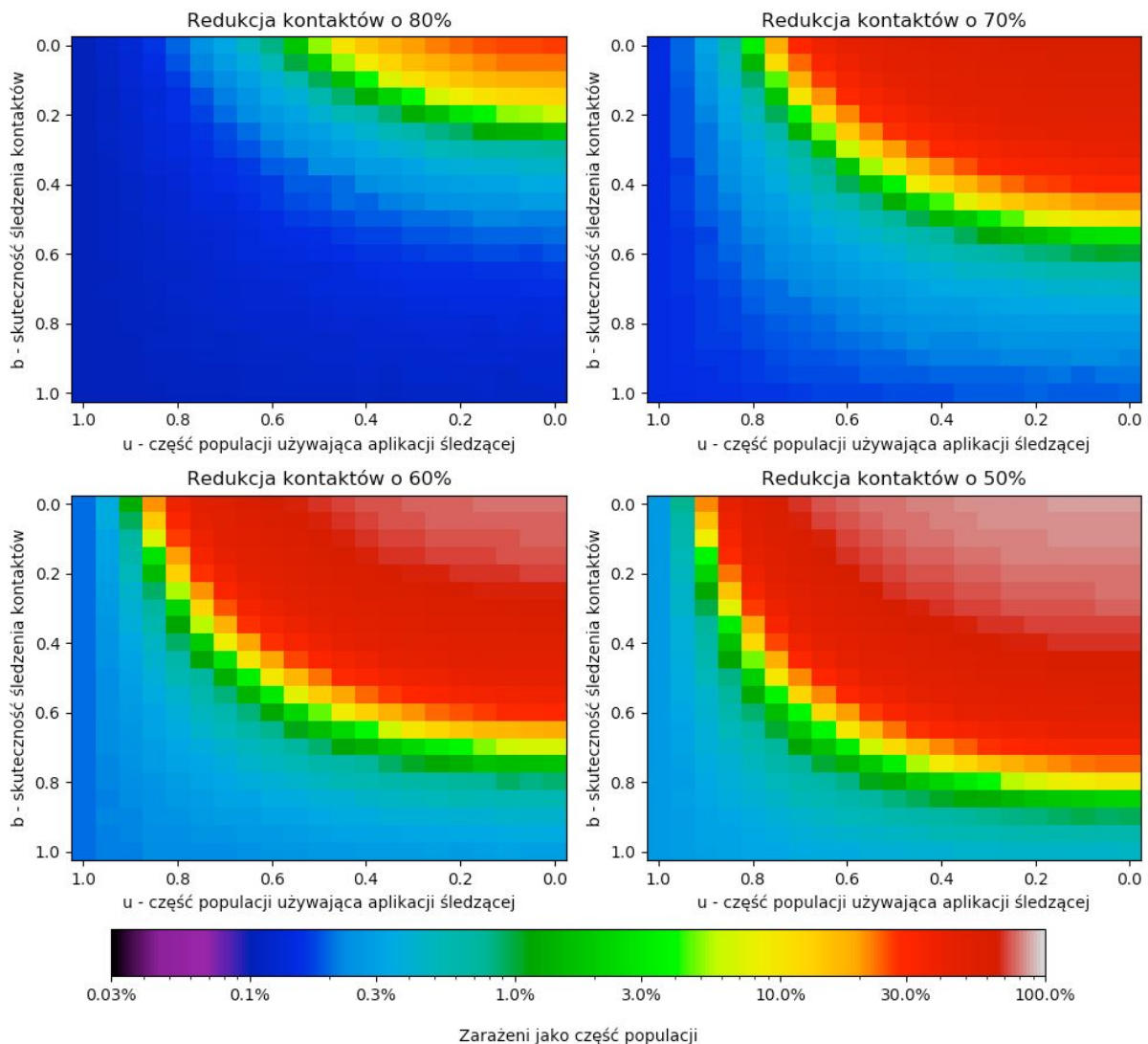
4. Analiza skuteczności wykorzystania aplikacji śledzącej kontakty

Skuteczna walka z epidemią wymaga podjęcia działań w trzech kierunkach: **1) testowania, 2) śledzenia kontaktów i 3) redukcji kontaktów**. Taką strategię walki można pokrótce opisać jako “Testuj, Trop, Redukuj” (#TestTraceReduce). Szeroko zakrojone testy pozwalają zainicjować kaskadę śledzenia kontaktów u jak największej liczby pacjentów. Wysoka wykrywalność kontaktów i jak najkrótszy czas ich wyszukiwania znacząco ograniczają czas i zakres zarażania. Redukcja kontaktów społecznych również ogranicza możliwość wystąpienia zakażenia.

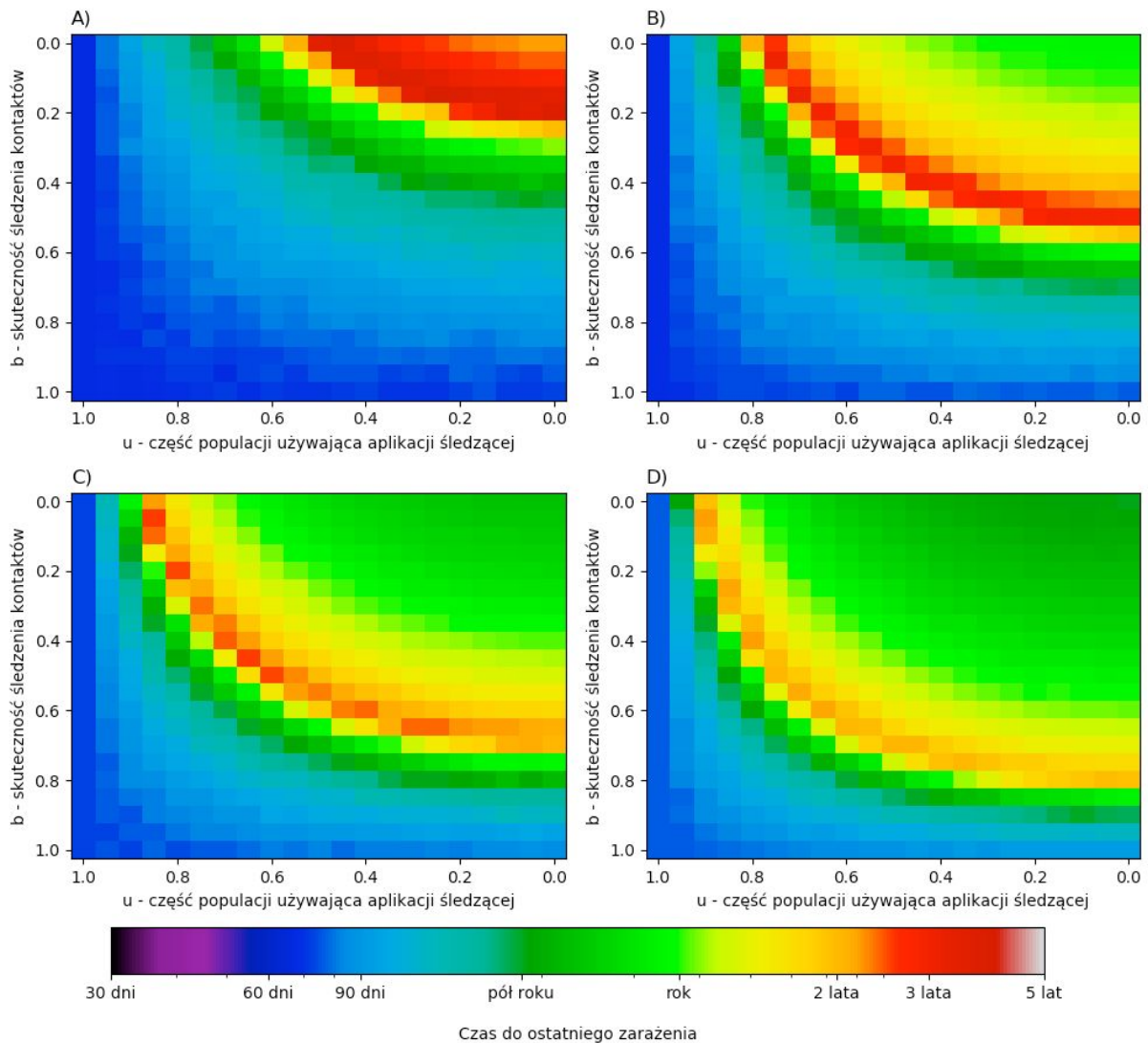
W tej sekcji analizujemy wpływ śledzenia kontaktów na położenie krzywej krytycznej oraz rozwój epidemii. Istotne jest, aby śledzenie kontaktów było szybkie, a prawdopodobieństwo odszukania zakażonych kontaktów w kaskadzie śledzenia rozpoczynającej się od znanego przypadku (chorego) - wysokie. Na opóźnienie śledzenia kontaktów (określane parametrem d) składają się dwie składowe: czas potrzebny na znalezienie kontaktu oraz czas potrzeby na zweryfikowanie, że kontakt jest również zakażony.

¹ 3 stycznia 2020 - 6 lutego 2020

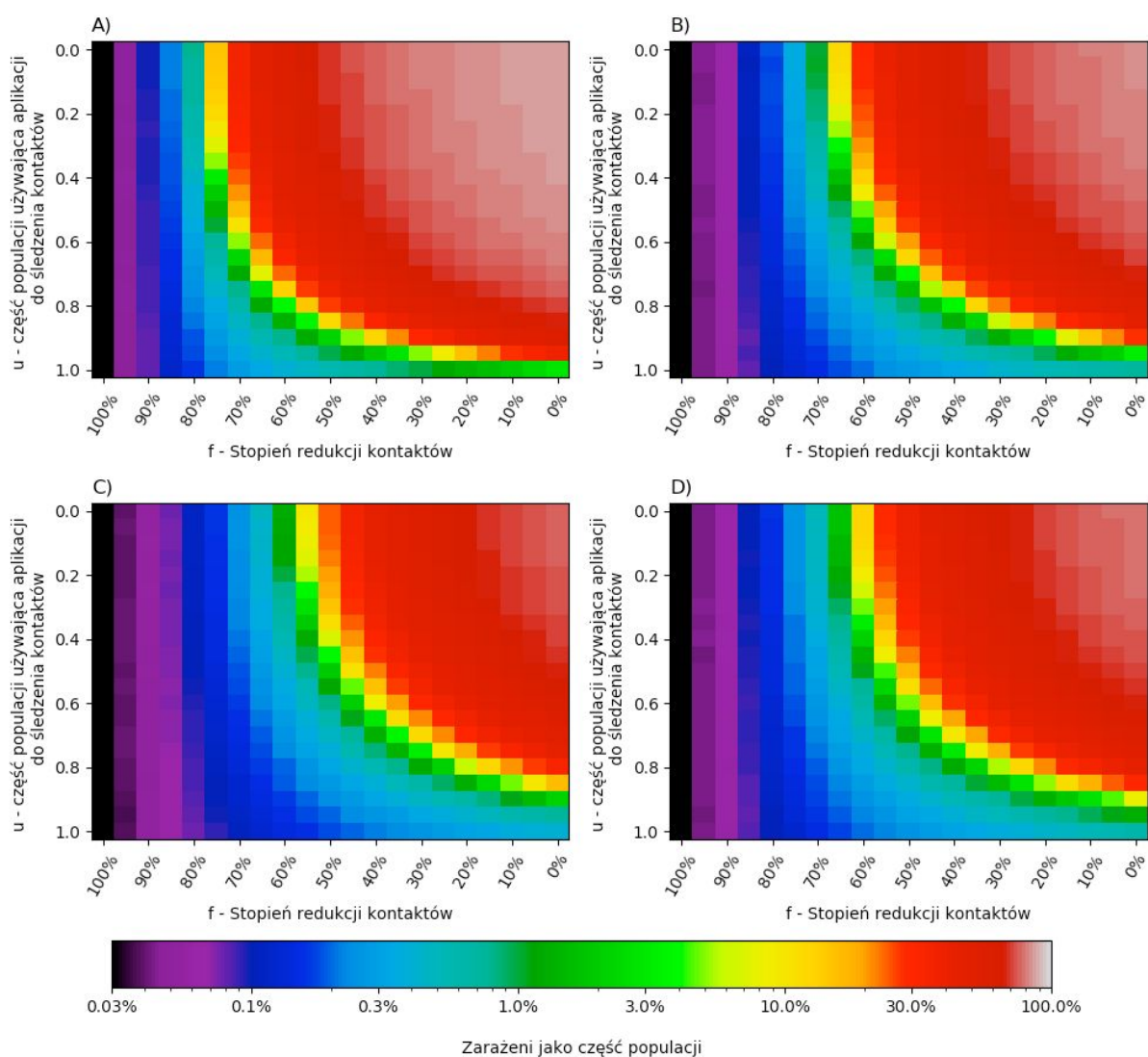
Aplikacje śledzące przeznaczone na smartfony są nowoczesnym narzędziem pozwalającym przyspieszyć śledzenie kontaktów oraz zwiększającym prawdopodobieństwo znalezienia kontaktów. Ważnym parametrem decydującym o tym, czy wprowadzenie aplikacji śledzącej skutecznie wprowadzi epidemię w stan wygasania, jest część populacji, która będzie tej aplikacji używać (parametr ten oznaczamy u). Aplikacje śledzące, jeżeli byłyby szeroko używane przez społeczeństwo, mogłyby pozwolić na znaczne przyspieszenie śledzenia kontaktów, o ile zdobyte w ten sposób informacje o kontaktach zostałyby natychmiastowo zweryfikowane.



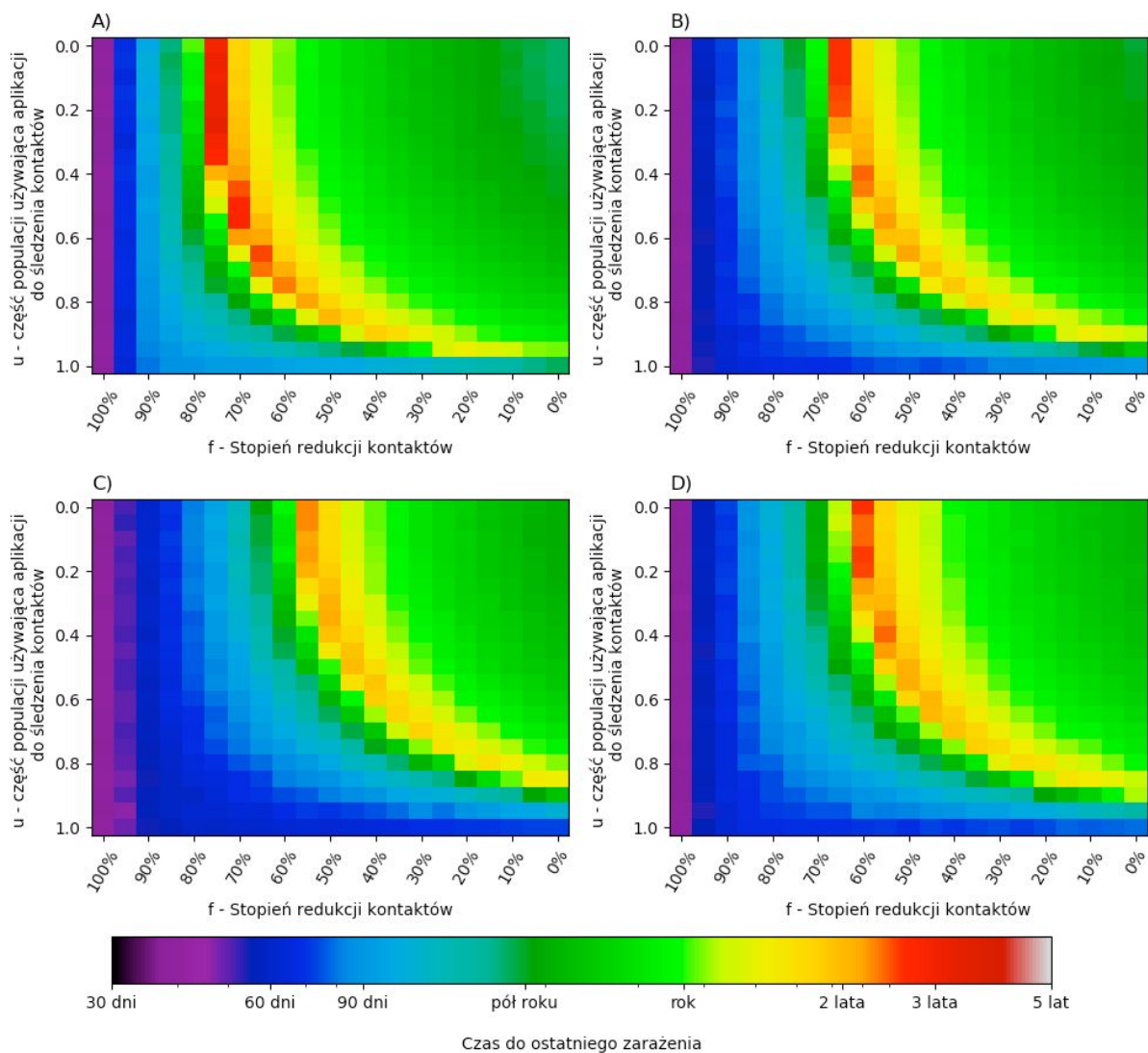
Rysunek 13: Całkowita liczba zakażonych w zależności od skuteczności śledzenia kontaktów b oraz od części populacji używającej aplikacji u , przy ustalonych wartościach opóźnienia (2 dni dla nieużywających aplikacji oraz 0.5 dnia dla korzystających z aplikacji), przy prawdopodobieństwie wykrycia przypadków o łagodnym przebiegu na poziomie $q'=0.15$, oraz przy redukcji kontaktów o odpowiednio 80%, 70%, 60% oraz 50%. Żółto-zielona linia oddziela obszar wygasania epidemii (po lewej stronie od linii) od obszaru wzrostu epidemii (po prawej stronie linii).



Rysunek 14: Czas do ostatniego zakażenia w zależności od skuteczności śledzenia kontaktów b oraz od części populacji używającej aplikacji u , przy ustalonych wartościach opóźnienia (2 dni dla nieużywających aplikacji oraz 0.5 dnia dla korzystających z aplikacji), przy prawdopodobieństwie wykrycia przypadków o łagodnym przebiegu na poziomie $q'=0.15$, oraz przy redukcji kontaktów o odpowiednio 80%, 70%, 60% oraz 50%. Żółto-zielona linia oddziela obszar wygasania epidemii (po lewej stronie od linii) od obszaru wzrostu epidemii (po prawej stronie linii).



Rysunek 15: Całkowita liczba zakażonych w zależności od stopnia redukcji kontaktów f oraz od części populacji używającej aplikacji u , przy ustalonych wartościach skuteczności śledzenia kontaktów $b=0.6$ oraz opóźnienia śledzenia kontaktów dla użytkowników i nieużywających aplikacji o odpowiednio 2 dni i 0.5 dnia przy prawdopodobieństwie wykrycia przypadków o łagodnym przebiegu na poziomie A) $q'=0$, B) $q'=0.15$, C) $q'=0.3$, i D) $q'=0.15$ oraz dwukrotnie skróconym czasie testowania.



Rysunek 16: Czas do ostatniego zakażenia w zależności od stopnia redukcji kontaktów f oraz od części populacji używającej aplikacji u , przy ustalonych wartościach skuteczności śledzenia kontaktów $b=0.6$ oraz opóźnienia śledzenia kontaktów dla użytkowników i nieużytkowników aplikacji o odpowiednio 2 dni i 0.5 dnia przy prawdopodobieństwie wykrycia przypadków o łagodnym przebiegu na poziomie A) $q'=0$, B) $q'=0.15$, C) $q'=0.3$, i D) $q'=0.15$ oraz dwukrotnie skróconym czasie testowania

Wnioski z Rysunków 13-16:

- Do skutecznego zwalczania epidemii konieczne jest połączenie wyťažonych działań w kierunku wykrywalności kontaktów, szybkości wykrywania kontaktów, redukcji kontaktów, a także korzystania z aplikacji śledzącej kontakty.
- Zakładając, że:
 - redukcja kontaktów poza gospodarstwem domowym wynosi obecnie 60%,
 - opóźnienie wykrywania kontaktów wynosi 2 dni dla nieużytkujących aplikacji oraz 0.5 dnia dla korzystających z aplikacji,
 - przypadki o łagodnym przebiegu wykrywane są z prawdopodobieństwem $q'=0.15$,

wygaśnięcie epidemii w ciągu najbliższych 3 miesięcy wymaga bardzo skutecznego śledzenia kontaktów lub bardzo dużej części populacji korzystającej z aplikacji.

- Przy realistycznych założeniach o poziomie redukcji kontaktów, aplikacje śledzące mogą znacząco wspomóc działania zwalczające epidemię jedynie jeżeli ponad 50% populacji używałoby aplikacji. Wynika to z faktu, że prawdopodobieństwo wykrycia kontaktu z zainfekowanym przy użyciu aplikacji wynosi u^2 (obie osoby muszą posiadać aplikację i jej używać).
 - Biorąc pod uwagę fakt, że jedynie około 70% populacji posiada smartfony [3], co najmniej 72% użytkowników smartfonów musiałoby używać aplikacji śledzącej.
 - Jeżeli cała populacja używałaby aplikacji śledzących, pozwoliłoby to na całkowite przywrócenie swobody kontaktów.
-

Dodatek A: Metodologia

Założenia modelu

Wyniki prognozy zależą od założeń co do następujących parametrów:

- **R^* - wskaźnik średniej liczby zakażeń poza gospodarstwem domowym przez jedną osobę zakażoną, zakładając że ta osoba nie została znaleziona w procesie śledzenia kontaktów lub nie została objęta kwarantanną.** Wartość parametru R^* zanim wprowadzono restrykcje została przez nas estymowana dla Polski na 3.16. Różne środki zapobiegawcze takie jak stosowanie masek w przestrzeni publicznej lub ograniczenie kontaktów redukują ten wskaźnik.
- **q - wykrywalność przypadków o łagodnym przebiegu.** Odzwierciedla efektywność śledzenia kontaktów osób zakażonych poza kontaktami domowymi oraz efekt testowania osób bez znanego powiązania epidemiologicznego. Wykrywalność q nie obejmuje przypadków ciężkich oraz domowników osób z potwierdzonym zakażeniem (w wyniku procedury związanej z kwarantanną, w tych przypadkach zakładamy 100% wykrywalności). Przykładowo, dla 1000 przypadków o łagodnym przebiegu, $q=0.2$ oznacza, że 200 z nich byłoby wykrytych.
- **f - stopień redukcji kontaktów poza gospodarstwem domowym.** Ilustruje skuteczność wdrożonych form restrykcji kontaktów społecznych w odniesieniu do wartości bazowej parametru R^* . Może przyjmować wartość od "o 0%" (brak redukcji kontaktów) do "o 100%" (całkowita redukcja - brak kontaktów poza gospodarstwem domowym). W symulacjach efekt ten jest osiągany stopniowo: dojście do zakładanego stopnia redukcji bazowej wartości R^* zajmuje około tygodnia od momentu ogłoszenia restrykcji.
- **b - prawdopodobieństwo wykrycia kontaktów.** Jest to prawdopodobieństwo zidentyfikowania i dotarcia do każdej osoby, z którą zakażony miał kontakt. Procedura śledzenia kontaktów jest przeprowadzana zarówno w celu zidentyfikowania źródła zakażenia (wstecz), jak i dalszych osób, które potencjalnie mogły się zakażyć (w przód). Procedura powtarzana jest kaskadowo dla kontaktów wykrytych w każdym poprzednim kroku. Opóźnienie pomiędzy kolejnymi krokami śledzenia jest nazywane **opóźnieniem śledzenia**. Przyjmujemy, że śledzenie kontaktów składa się z dwóch etapów: 1) znalezienia kontaktów i poddania ich domostw kwarantannie oraz 2) przeprowadzenie testów, a na każdy z tych etapów przypada połowa **czasu opóźnienia**. Po udanym wykryciu proces jest powtarzany w celu znalezienia kontaktów dalszego rzędu.
- **q' - wykrywalność przypadków o łagodnym przebiegu, niezależna od śledzenia kontaktów.** Parametr ten odpowiada prawdopodobieństwu, że przypadki o łagodnym przebiegu zostaną wykryte dodatkowo, niezależnie od tych przypadków, które zostały wykryte w procedurze śledzenia kontaktów. Dla tych dodatkowo wykrytych łagodnych przypadków procedura śledzenia kontaktów jest przeprowadzana tak samo jak dla wykrytych przypadków poważnych.
- **u - część populacji używającej aplikacji do śledzenia kontaktów.** Przyjmujemy, że część populacji u używa aplikacji zainstalowanej w telefonie, która potrafi znaleźć

wszystkie kontakty danego użytkownika, które także używały aplikacji. Znajdzenie kontaktów odbywa się w krótkim czasie (obecnie $\frac{1}{4}$ dnia) ze 100% skutecznością. Czasy przedstawione na rys. 8 i rys. 9 jako *opóźnienie śledzenia kontaktów* są sumą czasu potrzebnego na znalezienie kontaktów oraz czasu potwierdzenia objawów, a więc łącznym czasem potrzebnym do znalezienia kontaktów dalszego rzędu.

Ograniczenia metodyki

Użyty model nie uwzględnia jeszcze struktury przestrzennej Wrocławia. Nie uwzględniamy rozprzestrzeniania się epidemii w zamkniętych grupach, na przykład w szpitalach czy w domach seniora. Każdy proces modelowania dostarcza oszacowania obarczone błędem.

Literatura

[1] Dane na podstawie próśb o wskazówki w Apple Maps udostępnione dla wybranych regionów aktualizowane codziennie na stronie <https://www.apple.com/covid19/mobility>

[2] Dane na podstawie historii lokalizacji udostępnianej firmie Google dla wybranych regionów, aktualizowane na stronie <https://www.google.com/covid19/mobility/>

[3] <https://www.zenithmedia.com/smartphone-penetration-reach-66-2018/>

[4] <https://www.wroclaw.pl/srodowisko/wyniki-kompleksowego-badania-ruchu-we-wroclawiu-i-aglomeracji-2018>

Autorzy pracy pragną podziękować za możliwość korzystania z infrastruktury obliczeniowej Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego, na potrzeby realizowanych przez nich działań badawczych, których wynikiem jest m.in. powyższa publikacja.