

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/339987615>

# Prognoza rozwoju epidemii koronawirusa COVID-19 w Polsce

Technical Report · March 2020

CITATIONS

0

READS

3,919

1 author:



[Aleksander Polański](#)

National Centre for Nuclear Research

102 PUBLICATIONS 248 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Theoretical and experimental investigation of Accelerator Driven Systems for nuclear waste transmutation [View project](#)



Mathematical Modeling [View project](#)

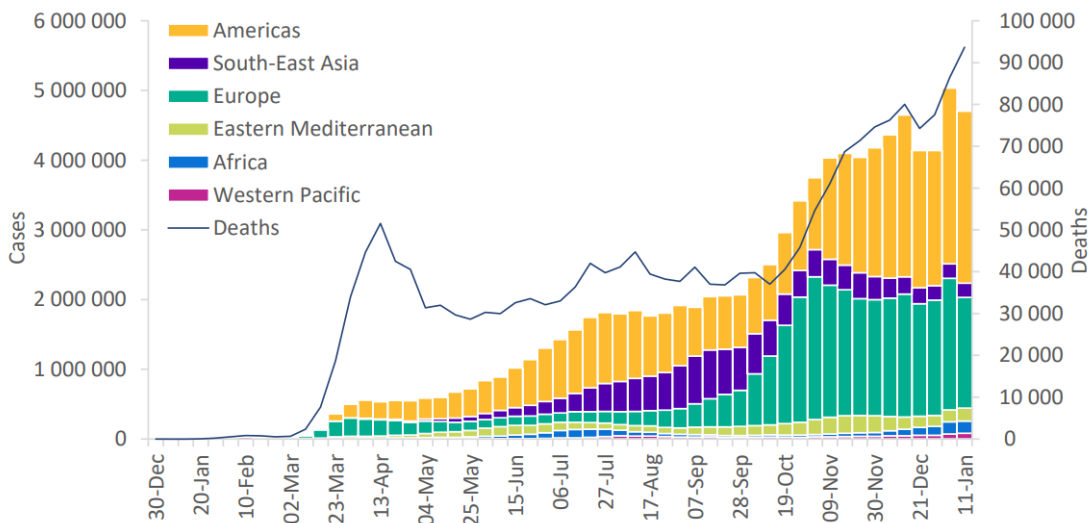
# Prognoza rozwoju epidemii COVID-19 w Polsce.

Aleksander Polański

Celem pracy jest prognoza dynamiki liczby zainfekowanych przypadków koronawirusem w Polsce powodujących chorobę COVID-19. W pracy inspirowano się danymi dotyczącymi propagacji choroby COVID-19 na Świecie i w Europie. Skorzystano z danych statystycznych przedstawionych w raportach World Health Organization (WHO). Raporty te przedstawiają rozwój pandemii COVID-19 od początku roku we wszystkich krajach świata należących do WHO. **Według WHO do dnia 24.01.2021, 3:43 pm CET na całym świecie odnotowano 97 464 094 przypadków COVID-19 i 2 112 689 zgonów od początku pandemii. W Europie odnotowano 32 032 536 przypadków COVID-19 i 706 238 zgonów od początku pandemii.**

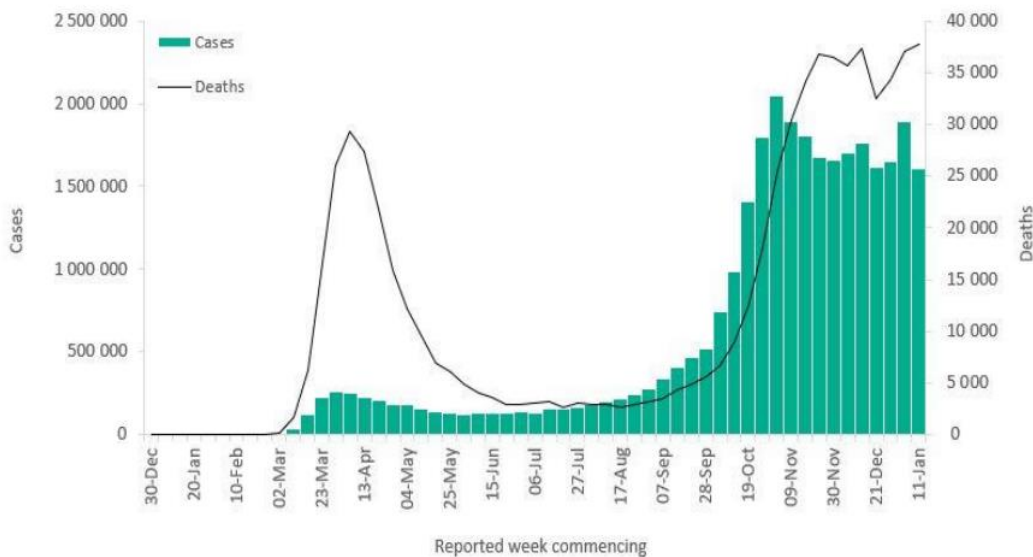
Przebieg w czasie liczby zachorowań na świecie można znaleźć w raportach WHO: <https://covid19.who.int/>

Przyrost tygodniowych zachorowań na świecie przedstawiono na Rys.1.



Ryw.1. Przypadki COVID-19 na świecie. W ostatnim tygodniu do 24.01.2021 odnotowano 4 102 529 przypadków COVID-19. W poprzednim tygodniu odnotowano 4 840 454 przypadków tygodniowych.

Na następnym rysunku przedstawiono przebieg epidemii w Europie.



Rys. 2. Rozwój tygodniowych przypadków zachorowań i zgonów w Europie (stan 17.01 2021)

## Region europejski

Liczba nowych przypadków COVID-19 w Regionie Europejskim pozostaje wysoka i wynosi ponad 1 380 330 zgłoszonych w tygodniu od 18 do 24 stycznia natomiast w poprzednim tygodniu zgłoszono 1 725 039 przypadków. Liczba nowych przypadków spadła w ciągu ostatnich dwóch tygodni, podczas gdy liczba zgonów spadła z 38753 do 38294 nowych zgonów. Region Europejski nadal stanowi drugą, co do wielkości liczbę nowych przypadków i zgonów globalnie po regionie Amerykańskim..

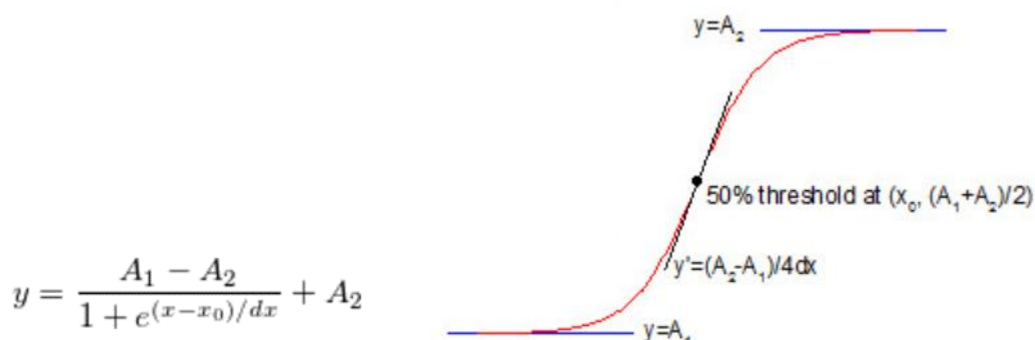
Jak wynika z rysunku w Europie występują dwie fale zachorowań. Najwięcej tygodniowych zgonów w Europie wystąpiło w ostatnich tygodniach epidemii podczas drugiej fali zachorowań. Ponadto bardzo duża liczba przypadków śmiertelnych dobowych była w początkowym etapie epidemii w miesiącu kwietniu. Jak widać z rysunku liczba przypadków śmiertelnych nie jest proporcjonalna do liczby zachorowań. W drugim etapie epidemii w Europie widać pewną korelację pomiędzy zachorowaniem a przypadkami śmiertelnymi, co można tłumaczyć lepszym przygotowaniem służby zdrowia do walki z epidemią.

Wydaje się, że pandemia COVID-19 rozwija się chaotycznie (dynamika nieliniowa), możliwym podejściem do modelowania byłoby podejście Monte Carlo.

Moim zdaniem, aby skutecznie opisać rozwój pandemii metodą Monte Carlo należałoby sporządzić tablice prawdopodobieństw rozwoju pandemii w oparciu o dane ze wszystkich regionów kraju (powiatów) gdzie występowała ta pandemia. W różnych regionach były różne zachowania społeczne i podejmowano różne decyzje w celu zahamowania pandemii i te warunki powodowały powstawanie różnych ścieżek losowych przebiegu pandemii. Modelowanie przebiegu pandemii metodą Monte Carlo byłoby pracochłonne i wymagało dużego nakładu sił. Prostsza metodą jest modelowanie przebiegu pandemii z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i metod statystycznych. W pracy [1] przedstawione są trzy podstawowe metody szeroko stosowane do przetwarzania danych statystycznych, a mianowicie klasyczne metody statystyki matematycznej, sztuczne sieci neuronowe, w tym automaty komórkowe i analizę falkową. Metody te można stosować do rozpoznawania obrazów i prognozowania. Prognoza pandemii COVID-19 wymaga narzędzi matematycznych wykraczających poza klasyczne statystyki. W pracy zaproponowano, więc opis statystyczny uwzględniający różne ścieżki losowe opisane różnymi funkcjami. Okazuje się, że fragmenty przebiegu pandemii można opisać funkcjami Gaussa oraz funkcjami logistycznymi.

W oparciu o dostępne dane statystyczne można wyciągnąć wniosek, że pandemia rozwija się falami i przyrost dobowy (tygodniowy) można przybliżyć odcinkami funkcjami Gaussa, natomiast całkowitą ilość zachorowania funkcją sigmoidalną, (Boltzmana lub logistyczną) oddzielnie dla każdego etapu zachorowań

Funkcją Boltzmana ma postać:



$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2$$

Natomiast funkcję logistyczną przedstawia wzór:

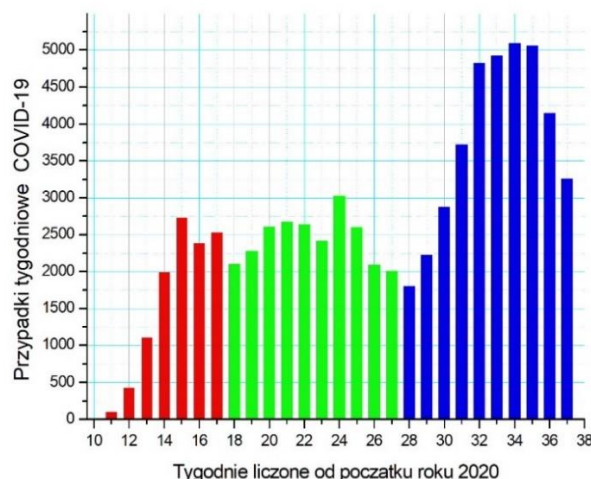
$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + (x/x_0)^p} + A_2$$

Gdzie: A1-początkowa wartość, A2-końcowa wartość, dx- stała czasowa, p-wykłanik,  $x_0$ - centrum funkcji sigmoidalnej. Do dalszych analiz przyjęto funkcję Boltzmana, ponieważ jest ona skorelowana z amplitudową funkcją Gaussa w postaci:

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-x_c)^2}{2w^2}}$$

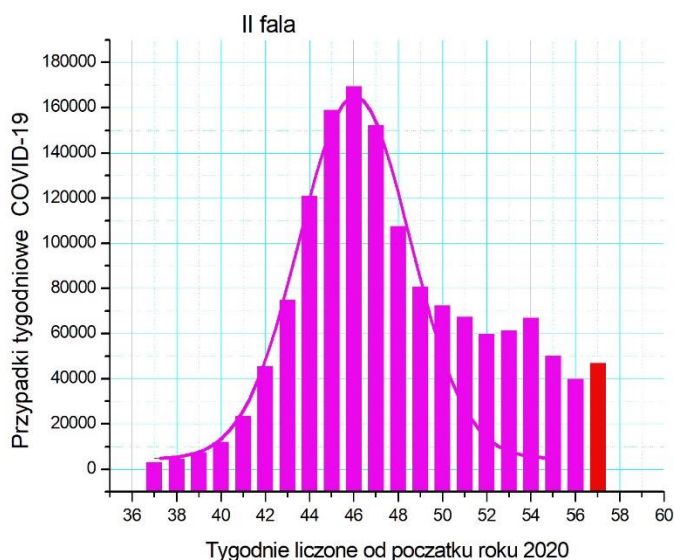
W punkcie  $x_c$  występuje lokalne maksimum zachorowań dobowych lub tygodniowych.

Na następujących rysunkach przedstawiono tygodniowy przyrost zakażeń w Polsce w poszczególnych etapach infekcji COVID-19.



Rys. 3. Przyrost tygodniowych zachorowań w Polsce podczas pierwszej fali zchorowań.

Jak wynika z Rys.3. pierwszą falę zchorowań w w Polsce można podzielić na trzy etapy zchorowań. Pierwszy etap zchorowań zakończył się 18 tygodniu rpku 2020 druga w 28 tygodniu , trzeci we wrześniu w 37 tygodniu. Czwararty etap w Polsce to druga fala zchorowań w Europie. Wyraźnie widać, że wraz z poluzowania ograniczeń wprowadzonych w początkowym etapie pandemii kolejne etapy zchorowań są coraz większe i przekroczone 5 000 zachorowań tygodniowo w trzecim etapie. Najmniej zakażeń 1800 było w 28 tygodniu liczonym od początku roku oraz na początku epidemii. Czwararty etap zchorowań nazwany też drugą falą zchorowań przedstawiono na Rys.4.



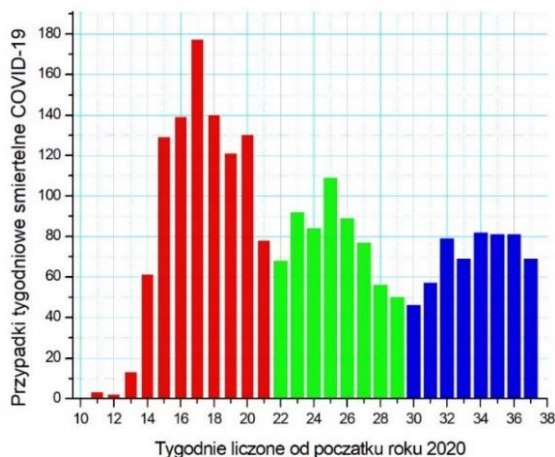
Rys. 4. Rozwój tygodniowych przypadków COVID-19 w Polsce podczas drugiej fali zchorowań.

Słupki fioletowe oznaczają stwierdzone przypadki zchorowań wg WHO natomiast linia ciągła jest opisem danych statystycznych funkcją Gaussa. Czerwone słupki oznaczają prognozowaną liczbę zchorowań wg krzywej

Boltzmann. Tygodnie są datowane od początku roku. Przypadki COVID-19 są podawane jak w raportach WHO. Tydzień 56 jest liczony do 24 stycznia

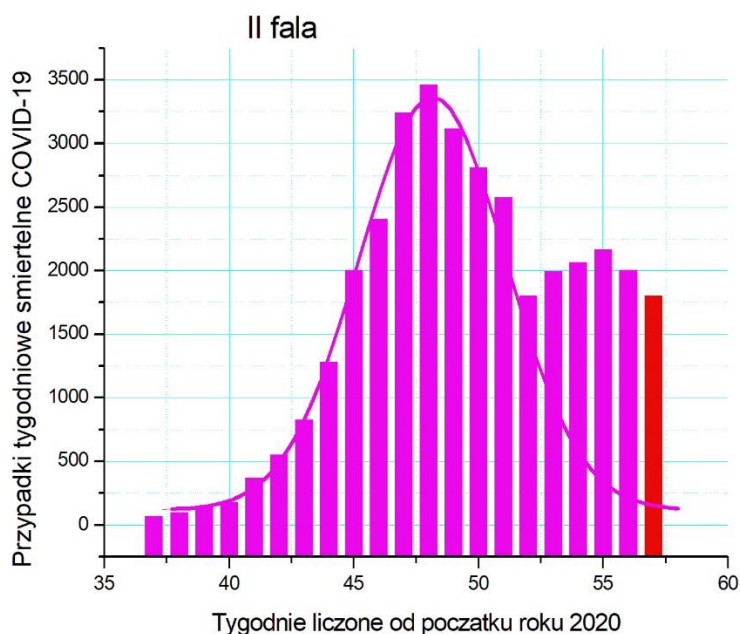
Wg danych WHO w 56 tygodniu faktyczna Liczba przypadków COVID-19 wynosiła 39 863 Nastąpił spadek zachorowań. W następnych tygodniach jest prognozowany wzrost zachorowań . Prognozowana liczba przypadków COVID-19 w następnym tygodniu wyniesie około 47 tysięcy tygodniowo.

Na następnym rysunkach przedstawiono liczbę tygodniowych przypadków śmiertelnych w Polsce.



Rys. 5. Rozwój tygodniowych przypadków śmiertelnych w Polsce podczas pierwszej fali zachorowań.

Jak wynika z rysunku widać wyraźnie trzy etapy fali zgonów. Największa liczba zgonów była w pierwszym etapie mimo tego, że na tym etapie była niewielka liczba zachorowań. Najmniej tygodniowych zgonów było w 30 tygodniu zaczynającym się 20 lipca. Na następnym rysunku przedstawiono drugą falę zachorowań.

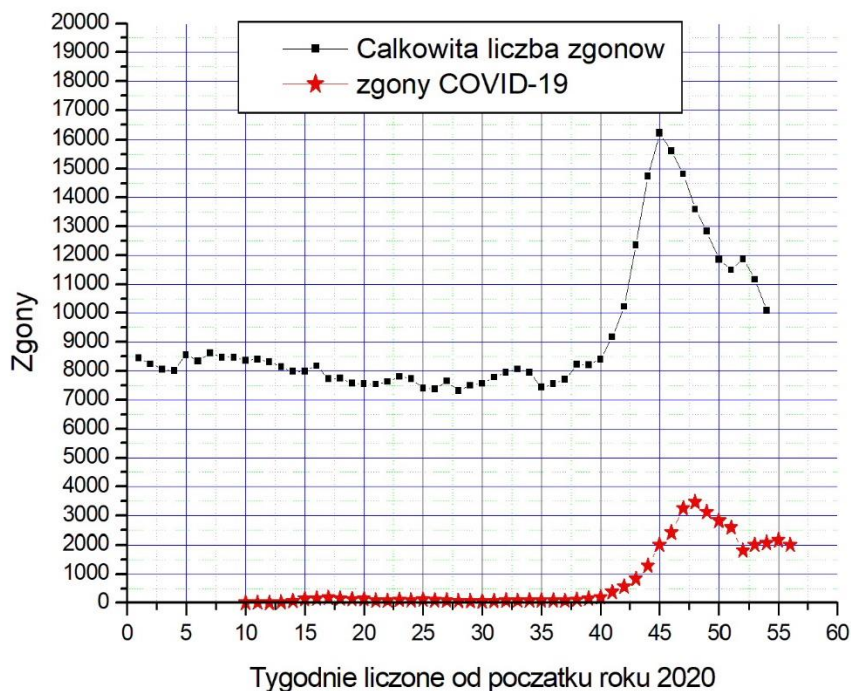


Rys. 6a. Rozwój tygodniowych przypadków śmiertelnych w Polsce podczas drugiej fali zachorowań.

Słupki fioletowe oznaczają stwierdzone przypadki zgonów wg WHO natomiast linia ciągła jest opisem danych statystycznych funkcją Gaussa. Czerwone słupki oznaczają prognozowaną liczbę zgonów wg. krzywej Boltzmann. Tygodnie są datowane jak w raportach WHO. Tydzień 56 jest liczony do 24 stycznia.

Podczas drugiej fali zachorowań w 56 tygodniu osiągnięto 2008 zgonów .W następnym tygodniu prognozowana liczba przypadków śmiertelnych wyniesie ponad 1,8 tysiąca tygodniowo.

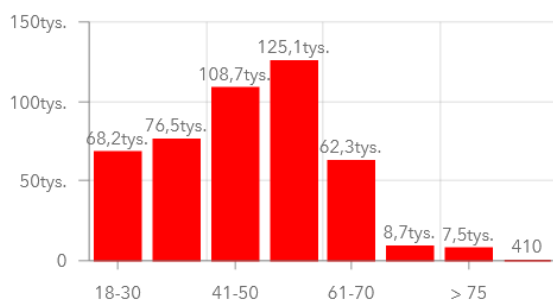
Na następnym rysunku przedstawiono liczbę wszystkich tygodniowych zgonów w Polsce.



Rys. 6b. Porównanie całkowitej liczby zgonów w Polsce w 2020 r. (wg danych GUS) oraz liczby zgonów spowodowanych COVID 19 w odcinkach tygodniowych wg WHO. Są to dane orientacyjne, ponieważ brak pełnej zgodności między danymi GUS, USC, oraz WHO.

Liczba zgonów tygodniowych w końcu sierpnia (24-30) w 35 tygodniu liczone od początku roku wynosiła 7437 przypadków natomiast liczba zgonów na COVID19 wynosiła, 81 co stanowiło około 1% wszystkich zgonów. Już 10 tygodni później w listopadzie (2-8) liczba zgonów na COVID19 wynosiła 2005 przypadków, co stanowiło 12% całkowitej liczby zgonów. Całkowita liczba zgonów w 35 tygodniu w końcu sierpnia (24-30) oraz na początku września była niewielka w skali roku poniżej 8 000 a w listopadzie (2-8) wzrosła ponad dwukrotnie do 16 000. Maksymalna liczba zgonów na COVID-19 w 48 tygodniu wynosiła ok 3,5 tysiąca, co stanowiło 25 % całkowitej liczby zgonów w tym tygodniu. Z przedstawionych wykresów wynika, że możliwy jest spadek zarówno całkowitej liczby zgonów jak i zgonów powodowanych chorobą COVID-19. W tym celu należy usprawnić służbę zdrowia i zwiększyć dyscyplinę społeczną poprzez przestrzeganie narzuconych dotychczas ograniczeń przez wszystkie grupy społeczne. W dniu 27.12.2020 rozpoczęto szczepienia lekarzy i personelu medycznego w Polsce szczepionką BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine [3], [4], [5]. Na rysunku przedstawiono przebieg szczepień tej grupy społeczeństwa.

Zaszczepieni wg wieku



Komisja Europejska prowadzi intensywne negocjacje w celu stworzenia zdywersyfikowanego portfela szczepionek dla obywateli UE po uczciwych cenach. Podpisano umowy z AstraZeneca (400 milionów dawek), Sanofi-GSK (300 milionów dawek), Johnson and Johnson (400 milionów dawek), BioNTech-Pfizer 600 milionów dawek, CureVac (405 milionów dawek) i Moderna (160 milionów dawek). Komisja zakończyła wstępne rozmowy z firmą farmaceutyczną Novavax w celu zakupu do 200 milionów dawek. Komisja Europejska dopuszcza zakup dodatkowych szczepionek przez poszczególne kraje Unii Europejskiej.

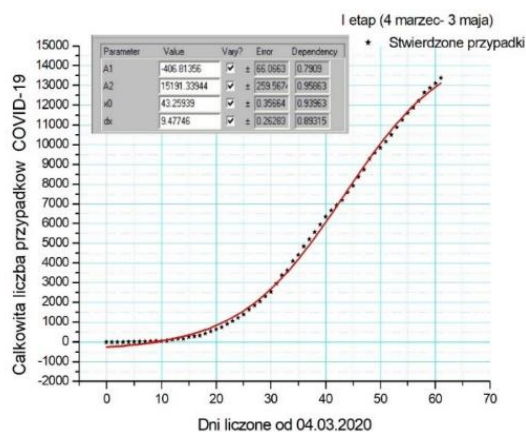
Tabela 2: Przegląd potencjalnych szczepionek.

Company	Vaccine Type	No. of Doses Vaccination Interval*	Vaccine Volume Application*	Status: Clinical Development	Planned application for EU approval
Oxford/Astra-Zeneca	Vector-based ChAdOx1, not replicating	(1-)2 doses 0, 28 days	1 dose à 0.5ml IM	Phase 1/2: UK Phase 3: UK, Brazil, South Africa, India, US	Start of Rolling Review October 2020
BioNTech/Pfizer	mRNA coated in lipid-nanoparticles	2 doses 0, 21 days	1 dose à 0.3ml IM	Phase 1/2: DE, US Phase 3: US, Brazil, Argentina, Turkey, DE	Start of Rolling Review October 2020
J&J/Janssen	Vector-based Ad26, not replicating	(1-)2 doses 0, 56 days	1 dose à 0.5 ml IM	Phase 1/2: BE, US Phase 2: DE Phase 3: Global	2021
SP/GSK	Recombinant, adjuvanted	2 doses 0, 28 days	1 dose à 0.5ml IM	Phase 1/2: US Phase 3: US	2021
Moderna/Lonza	mRNA coated in lipid-nanoparticles	2 doses 0, 28 days	1 dose à 0.5ml IM	Phase 3: US	Possibly end 2020
Novavax	Recombinant, adjuvanted	2 doses 0, 21 days	1 dose à 0.5 ml IM	Phase 1: Australia Phase 2: US, Australia, South Africa Phase 3: UK	Possibly end 2020
Curevac	mRNA coated in lipid-nanoparticles	2 doses 0, 28 days	1 dose 0.6% IM	Phase 1: BE, DE Phase 2: Peru, Panama	Unknown

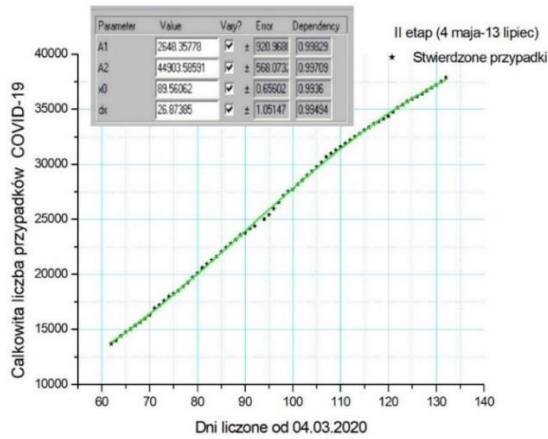
\*Note: Preliminary information based on current knowledge

Jeszcze w styczniu jest spodziewane dopuszczenie w Unii Europejskiej szczepionki firmy Astra-Zeneca oraz J&J Janssen w USA. Szczepionki te można podawać jednorazowo, co przyspieszy proces szczepień. Podpisane umowy z podanymi w tabelicy producentami szczepionek powinny zapewnić mieszkańcom Unii Europejskiej potencjalny dostęp do ponad 2 miliardów dawek. Ponowne przystąpienie USA do WHO przyspieszy prace badawcze nad mutacjami koronawirusa.

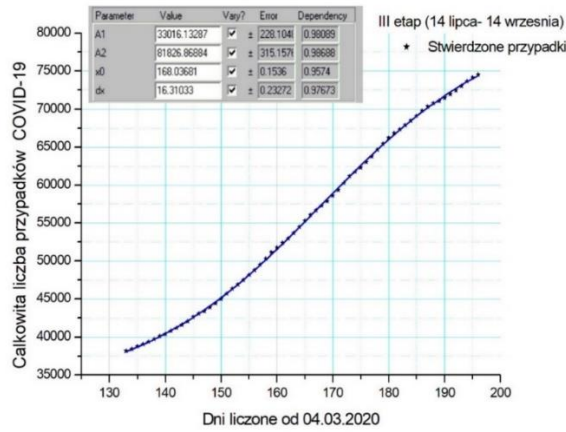
Jak już wspomniano przebieg zachorowań w Polsce można podzielić na etapy i całkowitą liczbę zachorowań można opisać dla każdego etapu oddzielnie funkcją Boltzmann. Na poniższych rysunkach przedstawiono tę funkcję dla poszczególnych etapów zachorowań. W tabelach podano parametry funkcji oraz błędy.



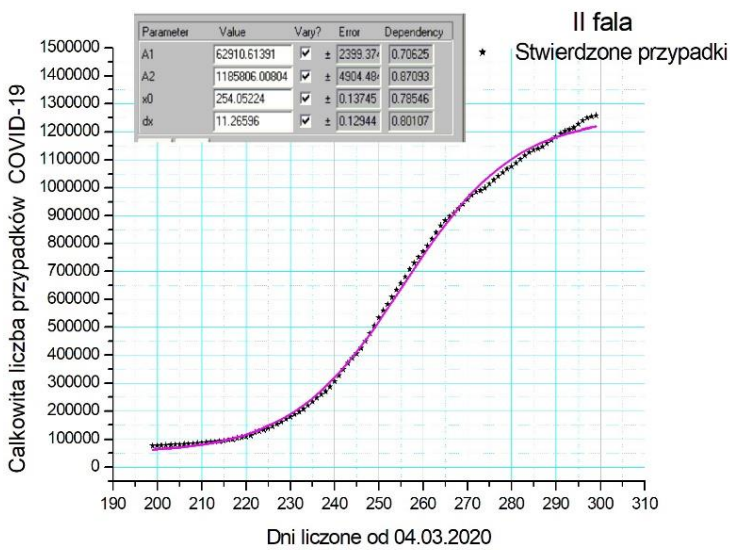
Rys.7a. Całkowita liczba potwierdzonych zachorowań w Polsce w I etapie.



Rys.7b. Całkowita liczba potwierdzonych zachorowań w Polsce w II etapie.

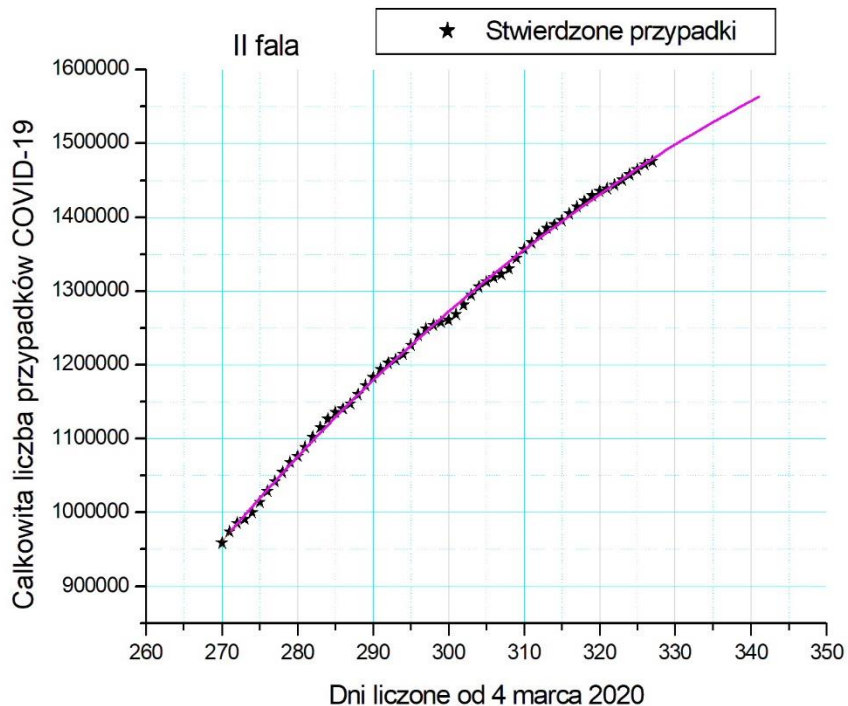


Rys.7c. Całkowita liczba potwierdzonych zachorowań w Polsce w III etapie.



Rys.7d Całkowita liczba zachorowań w Polsce w IV etapie

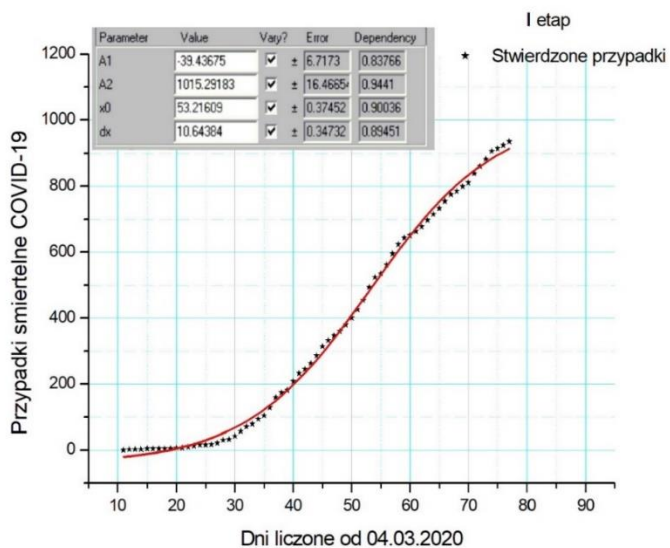




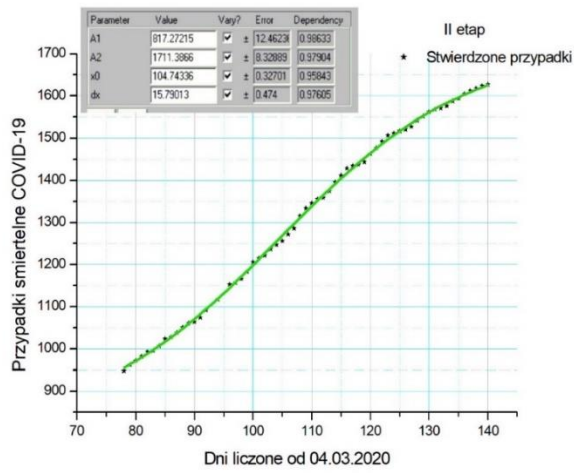
Rys.7e Całkowita liczba przypadków COVID-19 w Polsce podczas spadku drugiej fali zachorowań.

Jak wynika z Rys. 7e Liczba zakażonych w 327 dniu epidemii wynosiła 1 475 445 przypadków COVID-19 (Dane pochodzą z Ministerstwa Zdrowia, aktualne na: 24.01.2021 10:00). Po 330 dniach epidemii liczba zachorowań przekroczy 1,5 miliona.

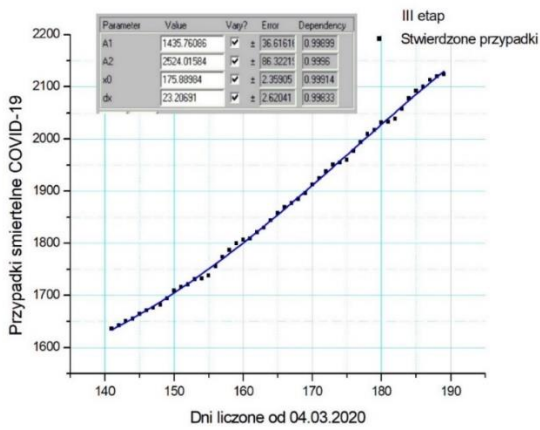
Na następnych rysunkach przedstawiono całkowitą liczbę przypadków śmiertelnych w Polsce w różnych etapach rozwoju pandemii. W tablicach podano parametry funkcji Boltzmann oraz błędy.



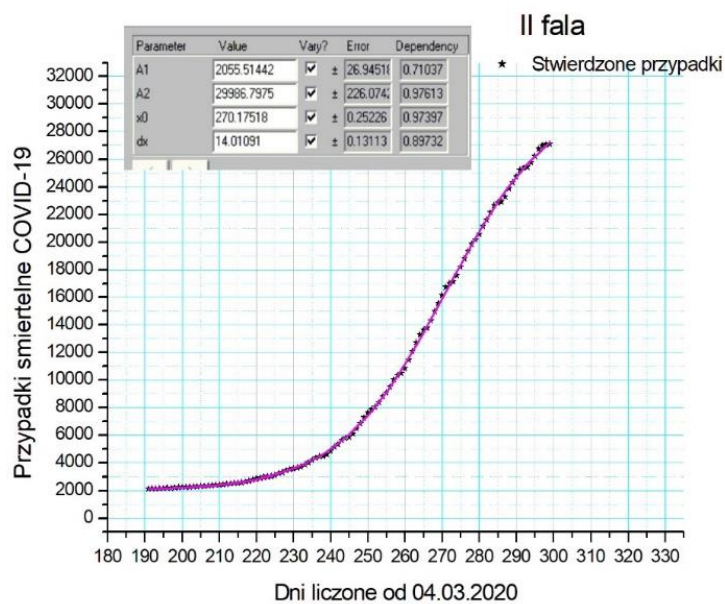
Rys 8a. Ilości przypadków śmiertelnych w Polsce w I etapie.



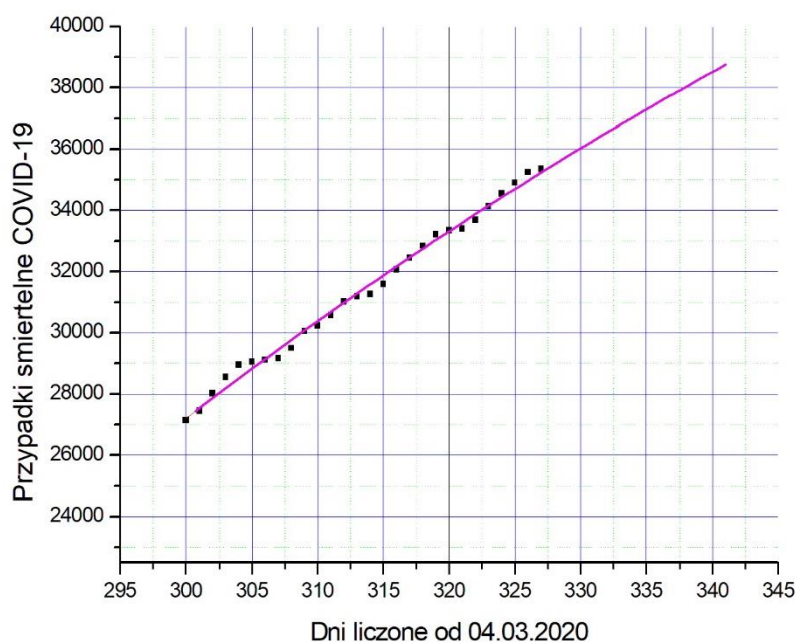
Rys 8b. Ilości przypadków śmiertelnych w Polsce w II etapie.



Rys 8c. Ilości przypadków śmiertelnych w Polsce w III etapie.



Rys 8d. Ilości przypadków śmiertelnych w Polsce w IV etapie.



Rys.8e Całkowita liczba zgonów na COVID-19 w Polsce podczas spadku drugiej fali zgonów

Z kolei z Rys.8e wynika, że liczba przypadków śmiertelnych wynosi 35 363 w 327 dniu epidemii (Dane pochodzą z Ministerstwa Zdrowia, aktualne na: 24.01.2021 10:00) i ich liczba będzie rosła i po 330 dniach epidemii osiągnie wartość ponad 36 000.

Aktualne dane przedstawiono na stronach WHO i GOV:

<https://covid19.who.int/region/euro/country/pl>

<https://www.gov.pl/web/koronawirus>.

Mapę zakażeń koronawirusem w Polsce przedstawiono na poniższym linku:

<https://www.gov.pl/web/koronawirus/mapa-zarazen-koronawirusem-sars-cov-2-powiaty>

Stan pandemii w krajach sąsiadujących z Polską przedstawiono w raportach:

<https://covid19.who.int/region/euro/country/de>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/ru>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/cz>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/sk>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/ua>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/by>

<https://covid19.who.int/region/euro/country/lt>

Analizę dla poszczególnych krajów przeprowadzono w oparciu o dane przedstawione w raportach Światowej Organizacji Zdrowia. Dane do WHO zgłaszają poszczególne kraje i wiarygodność tych danych zależy od wiarygodności konkretnego kraju. W analizie uwzględniono tygodniowy przebieg rozwoju infekcji w Polsce od początku marca 2020 r

Przebieg pandemii w Polsce i na Świecie zależy głównie od zachowania społeczeństwa. Analiza ta wymaga głębszych analiz socjologicznych i epidemiologów. Natomiast korelacja między liczbą zachorowań a liczbą przypadków śmiertelnych wymaga badań z zakresu wirusologii. W pracy niniejszej przedstawiono analizę statystyczną niezbędną

dla prognozowania, Głębsza analiza statystyczna z uwzględnieniem błędów i korelacji będzie przedstawiona w oddzielnym raporcie.

Z powyższej pracy oraz literatury cytowanej na końcu pod pozycją [2] wynika, że należy się jednak spodziewać nawrotów choroby. Nawroty choroby będą obrazować powtarzające się, co pewien czas fale o różnej amplitudzie. Dlatego ważnym staje się szczepienie ludności, aby amplitudy ilości zachorowań i śmiertelności były możliwie najmniejsze. Szczepienia powinny być masowe a rolą służb medycznych powinno być zaszczepienie każdego obywatela dopuszczonego przez lekarza do szczepienia. W wielu krajach w pierwszej kolejności jest szczepiony personel medyczny a w następnej kolejności osoby starsze. Oczywiście im więcej będzie osób zaszczepionych w krótkim czasie tym mniejsza będzie następna fala zgonów. Aby przyspieszyć szczepienia są opracowane szczepionki wymagające jednego szczepienia. Szczepionkami tego typu jest zainteresowana Światowa Organizacja Zdrowia. Mogą pojawiać się mutacje wirusów wymagające szczepień okresowych zmodyfikowanymi szczepionkami jak w przypadku grypy gdzie corocznie w niektórych krajach były przeprowadzane szczepienia nowymi szczepionkami. Wiele ośrodków naukowych na Świecie prowadzi nieustanne badania nad wirusami i naukowcy są w stanie stworzyć nowe rodzaje szczepionek. Największy postęp w rozwiniętych krajach obserwujemy w rozwoju nauk przyrodniczych i ich zastosowaniach w medycynie, co daje nadzieje na opanowanie wielu chorób powodujących zgony. Problemem jest dostępność osiągnięć naukowych w zakresie medycyny w krajach słabo rozwiniętych.

#### Literatura.

1. Gennady Alexeevich Ososkov, Aleksander Polański, Igor V. Puzynin. Current methods of processing experimental data in high energy physics. May 2002. Physics of Particles and Nuclei 33(3):347-382.

2. Projecting the transmission dynamics of SARS-COV-2 through the post-pandemik period. Kissler et al., Science 10.1126/science.abb5793 (2020).

3. Ugur Sahin at all. BNT162b2 induces SARS-CoV-2-neutralising antibodies and T cells in humans.

[https://www.researchgate.net/publication/347698814\\_BNT162b2\\_induces\\_SARS-CoV-2-neutralising\\_antibodies\\_and\\_T\\_cells\\_in\\_humans](https://www.researchgate.net/publication/347698814_BNT162b2_induces_SARS-CoV-2-neutralising_antibodies_and_T_cells_in_humans)

4. Fernando P. Polack at all. Safety and Efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine. December 2020 New England Journal of Medicine 383(27) DOI: 10.1056/NEJMoa2034577.

[https://www.researchgate.net/publication/347768395\\_Safety\\_and\\_Efficacy\\_of\\_the\\_BNT162b2\\_mRNA\\_Covid-19\\_Vaccine](https://www.researchgate.net/publication/347768395_Safety_and_Efficacy_of_the_BNT162b2_mRNA_Covid-19_Vaccine)