

Poziom wyszczerpienia przeciw COVID-19 a nadmiarowe zgony w ujęciu regionalnym w Polsce

Radosław Murkowski^a

Streszczenie. Badania naukowe dowodzą skuteczności powszechnych szczepień w zwalczaniu chorób wirusowych lub łagodzeniu ich skutków. Celem badania omawianego w artykule jest ocena zależności między poziomem wyszczerpienia populacji Polski przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów w ujęciu regionalnym. Kluczowymi predyktorami użytymi w badaniu były: wskaźnik pełnego zaszczepienia przeciw COVID-19 dla regionów (NUTS 2), podregionów (NUTS 3) i powiatów na koniec 2021 r. oraz liczba nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób w drugim półroczu 2021 r. i pierwszym półroczu 2022 r., czyli podczas czwartej i piątej fali pandemii. Badanie oparto na danych GUS i Centrum e-Zdrowia. Nadmiarowe zgony oszacowano za pomocą analizy szeregów czasowych. Do obliczeń wykorzystano liczbę zgonów według wieku i płci zmarłych w ujęciu tygodniowym dla NUTS 2 i NUTS 3 oraz liczbę zgonów według okresów półrocznych dla powiatów. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują na występowanie umiarkowanie silnego związku między poziomem wyszczerpienia populacji przeciw COVID-19 na koniec 2021 r. a liczbą nadmiarowych zgonów w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. Ustalono również silne różnicowanie terytorialne zarówno poziomu nadmiernej umieralności w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r., jak i poziomu wyszczerpienia przeciw COVID-19 na koniec 2021 r.

Słowa kluczowe: pandemia COVID-19, nadmiarowe zgony, szczepienia, analiza szeregów czasowych

JEL: J10, J11, J18, C22

The rate of vaccination against COVID-19 and the number of excess deaths by region in Poland

Abstract. Scientific studies prove the effectiveness of universal vaccination in fighting viral diseases or mitigating their effects. The aim of the study discussed in this article is to assess the relationship between the rate of vaccination of the Polish population against COVID-19 and the number of excess deaths by region. The key predictors used in the study were the rate of full vaccination against COVID-19 for regions (NUTS 2), sub-regions (NUTS 3) and powiats at the end of 2021, and the number of excess deaths per 100,000 people in the second half of 2021 and the first half of 2022, i.e. during the fourth and fifth waves of the pandemic. The research was based on Statistics Poland and e-Health Centre data. Excess deaths were estimated using the analysis of time series. The calculations were performed using the number of deaths by age and sex of the deceased on a weekly basis for NUTS 2 and NUTS 3, and on a half-year basis for powiats. The results of the performed analyses indicate that there is a moderately strong association between the anti-COVID-19 vaccination rate at the end of 2021 and the number of excess deaths in the

^a Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Instytut Ekonomii, Polska / Poznań University of Economics and Business, Institute of Economics, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5258-3517>.
E-mail: radoslaw.murkowski@ue.poznan.pl.

period between the beginning of July 2021 and the end of June 2022. We also observed significant differences between regions as far as their excess death rates between the beginning of July 2021 and the end of June 2022, and their anti-COVID-19 vaccination rates at the end of 2021 are considered.

Keywords: COVID-19 pandemic, excess deaths, vaccination, time series analysis

1. Wprowadzenie

Epidemia COVID-19, choroby zakaźnej układu oddechowego wywoływanej przez koronawirusa (wirus SARS-CoV-2), wybuchła pod koniec 2019 r. w Wuhan w środkowych Chinach, a 11 marca 2020 r. została uznana przez Światową Organizację Zdrowia (World Health Organization – WHO) za pandemię. Wywołujący tę chorobę koronawirus bardzo szybko rozprzestrzenił się na świecie i stał się ogromnym wyzwaniem dla zdrowia publicznego.

Pierwsze przypadki zakażeń koronawirusem w Polsce odnotowano w marcu 2020 r. (pierwsza fala pandemii), a istotny wpływ pandemii na umieralność w kraju zaobserwowano dopiero w drugiej połowie 2020 r., czyli w czasie drugiej fali zakażeń koronawirusem (Murkowski, 2021). Podczas pierwszej fali pandemii polskie władze podjęły zdecydowane środki zapobiegawcze i kontrolne (np. obowiązek noszenia maseczek, konieczność zachowania dystansu społecznego, ograniczenie funkcjonowania wielu instytucji), co znacznie ograniczyło przenoszenie się wirusa. Utrzymanie restrykcji przez dłuższy czas było jednak trudne i w drugiej połowie 2020 r. wirus zaczął się rozprzestrzeniać, zarówno w Polsce, jak i w wielu innych krajach, co przełożyło się na znaczny wzrost liczby zgonów spowodowanych COVID-19. Ludzkość stanęła przed wyzwaniem znalezienia rozwiązania ograniczającego śmiertelność wśród zarażonych – wynalezienia leku lub szczepionki.

Szczepienia przeciwko COVID-19 rozpoczęły się w Polsce pod koniec 2020 r., ale były wprowadzane stopniowo i dopiero na przełomie kwietnia i maja 2021 r. objęły wszystkie zainteresowane nimi osoby dorosłe. W związku z tym w badaniu omawianym w artykule wpływ szczepień na poziom umieralności uznano za możliwy do zaobserwowania nie wcześniej niż w drugim półroczu 2021 r.¹. Oczywiście jest przy tym, że lokalnie choroba może się rozprzestrzeniać nierównomiernie – w różnych okresach i regionach liczba zachorowań osiąga maksimum szybciej, a w innych później. Celem badania omawianego w artykule jest ocena zależności między poziomem wyszczerpień populacji Polski przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów w ujęciu regionalnym. Postawiono hipotezę, że im wyższy odsetek osób wyszczepionych pełną dawką szczepionki przeciw COVID-19 na danym obszarze, tym niższa liczba nadmiarowych zgonów.

¹ Wyniki badań wskazują, że wakacje to okres, w którym liczba zachorowań na COVID-19 wyraźnie spada, najprawdopodobniej z powodu ograniczenia kontaktów międzyludzkich. Między innymi dzieci utrzymują średnio o 40% mniej kontaktów społecznych dziennie, co może wyjaśniać uspikanie pandemii latem (Kucharski, 2020, s. 92–93).

2. Szczepienia przeciw COVID-19

Badania naukowe dowodzą, że powszechne szczepienia to potężna broń w walce z chorobami zakaźnymi, która może pokonać np. choroby wirusowe lub złagodzić ich skutki (Brisse i in., 2020). Masowe szczepienia pozwalają na kontrolowanie i zwalczanie wielu poważnych chorób zakaźnych, np. ospy, polio, odry, świnki czy różyczki (Zhang i in., 2019). Należy jednak pamiętać, że nadal nie wynaleziono skutecznych szczepionek przeciw kilku rozpowszechnionym chorobom zakaźnym, np. AIDS. Współcześnie – oprócz konwencjonalnych preparatów – pojawiły się szczepionki nie-wirusowe, takie jak szczepionki z cząsteczkami wirusopodobnymi lub szczepionki DNA/RNA, które odegrały istotną rolę w zwalczaniu COVID-19 (Brisse i in., 2020).

W chwili wybuchu pandemii COVID-19 rozpoczęto na świecie prace związane z opracowaniem szczepionki przeciw tej chorobie, której upowszechnienie przyspieszyłoby osiągnięcie tzw. odporności stadnej. Prace nad jej stworzeniem przebiegały wyjątkowo szybko – już w grudniu 2020 r. niektóre zachodnie agencje leków zatwierdziły pierwsze preparaty, aby jak najszybciej wprowadzić je do powszechnego użytku (Mathieu i in., 2021). Jednak początkowo, ze względu na ograniczone zdolności produkcyjne, światowa podaż szczepionek była niewielka, a ponadto zaobserwowano globalną nierównowagę w dystrybucji szczepionek, które były w miarę szeroko dostępne tylko dla mieszkańców krajów wysoko rozwiniętych (Pollard i in., 2020). W Polsce szczepienia przeciw COVID-19 rozpoczęto 27 grudnia 2020 r., podczas drugiej fali pandemii; w pierwszej kolejności objęto nimi głównie personel medyczny. Potem zasięg systematycznie rozszerzał się na kolejne grupy ludności: pod koniec stycznia 2021 r. rozpoczęto w Polsce masowe szczepienia seniorów, w lutym – nauczycieli, pod koniec marca – przedstawicieli służb mundurowych, a na przełomie kwietnia i maja 2021 r. miały szansę zaszczepić się wszystkie osoby pełnoletnie. Liczba osób zaszczepionych co najmniej jedną dawką szczepionki przekroczyła połowę ludności Polski dopiero pod koniec sierpnia 2021 r. W związku z tym o wpływie szczepień przeciw COVID-19 na umieralność można mówić dopiero w odniesieniu do czwartej i piątej fali pandemii koronawirusa, czyli drugiej połowy 2021 r. i początku 2022 r.

Większość danych dotyczących efektywności szczepionki przeciw COVID-19 pochodzi z badań klinicznych, prowadzonych w ściśle określonych warunkach, dlatego obliczona skuteczność szczepionki ma w tym przypadku charakter teoretyczny. Dla przykładu, podanie dwóch dawek szczepionki Pfizer-BioNTech zapewniało w badaniach klinicznych 95% skuteczności w zapobieganiu objawowemu zakażeniu COVID-19 (od siedmiu dni po podaniu drugiej dawki), a podanie dwóch dawek szczepionki Moderna – 94% skuteczności (Banerji i in., 2021). Z kolei wyniki polskich

badan wskazują na prawie dziesięciokrotnie większe ryzyko zgonu z powodu COVID-19 w populacji osób niezaszczepionych w stosunku do zaszczepionych (Wojtyniak i in., 2021, 2022).

Szczepionki można uznać za jeden z najskuteczniejszych sposobów wyeliminowania pandemii, jednak ich wpływ na dzienne statystyki zakażeń koronawirusem i zgonu wskutek COVID-19 w poszczególnych krajach jest niejasny. Z tego powodu – choć wstępne badania kliniczne wykazały wysoką skuteczność szczepionek w zapobieganiu ciężkim skutkom tej choroby – najbardziej wiarygodnym przejawem skuteczności szczepionki jest jej wpływ na liczbę nowych przypadków zachorowań na COVID-19 i zgonów wskutek tej choroby. Podczas badania omawianego w artykule przeprowadzono kompleksową analizę poziomu umieralności w Polsce w czasie pandemii w podziale regionalnym, a następnie określono związek między poziomem wyszczerpienia populacji a liczbą nadmiarowych zgonów w celu określenia skuteczności szczepienia.

3. Założenia teoretyczne

Ocena wpływu pandemii COVID-19 na umieralność najczęściej bazuje na statystykach przyczyn zgonów, które są systematycznie raportowane – podczas pandemii nawet codziennie – przez agencje zdrowia publicznego, np. WHO² i Uniwersytet Johnsa Hopkinsa³. W Polsce kompletność rejestracji zgonów jest pełna, ale jakość informacji o ich przyczynach – bardzo niska. WHO od lat zwraca uwagę na występujący w Polsce problem kodów śmieciowych (ang. *garbage codes*), będący skutkiem nieprawidłowych zapisów w karcie zgonu, głównie w wyniku nadużywania ogólnikowych opisów i określeń z zakresu chorób układu krążenia. W rezultacie odsetek zgonów, których przyczynę określa się za pomocą kodów śmieciowych, jest bardzo wysoki (ponad 25% zgonów o bezużytecznych opisach przyczyn), co spowodowało, że WHO wyklucza Polskę z analiz porównawczych dotyczących umieralności według przyczyn (Cierniak-Piotrowska i in., 2015; Fihel i Muszyńska-Spielauer, 2021; Główny Urząd Statystyczny [GUS], 2022). Niska jakość danych statystycznych znacząco utrudnia ocenę sytuacji epidemiologicznej i zdrowotnej ludności nie tylko w przypadku Polski, dlatego naukowcy z całego świata poszukują skuteczniejszych metod oceny wpływu pandemii na umieralność. Wypracowano konsensus (Beaney i in., 2020; Kontis i in., 2020; Leon i in., 2020) wskazujący, że najbardziej obiektywnym sposobem porównywania liczby zgonów w różnych krajach podczas pandemii jest wskaźnik definiowany jako *liczba nadmiarowych zgonów bez względu na ich przyczynę*.

² Zob. <https://covid19.who.int/>.

³ Zob. <https://coronavirus.jhu.edu/>.

Liczba nadmiarowych zgonów odnosi się do umieralności przekraczającej poziom, który zostałby odnotowany w standardowych warunkach, czyli gdyby pandemia nie wybuchła (Vestergaard i in., 2020). Oblicza się ją jako różnicę pomiędzy obserwowaną a oczekiwaną liczbą zgonów w danym okresie. W tym ujęciu abstrahuje się od jakości kodowania przyczyny zgonu przez placówki medyczne, co pozwala ocenić nie tylko bezpośredni wpływ pandemii na liczbę zgonów, lecz również wpływ pośredni, poprzez uwzględnienie umieralności spowodowanej m.in. utrudnionym dostępem do świadczeń opieki zdrowotnej związanych z innymi schorzeniami na obszarach kraju najbardziej dotkniętych pandemią (Blangiardo i in., 2020). Jednocześnie niektóre zgony z powodu COVID-19 mogą zostać błędnie przypisane innym przyczynom, zwłaszcza jeżeli choroba ta nie została zdiagnozowana lub nie wymieniono jej nazwy w akcie zgonu.

Zgodnie z zaleceniami WHO zgony z powodu COVID-19 należy ujmować bardzo szeroko i uwzględniać zarówno we wszystkich potwierdzonych, jak i prawdopodobnych przypadkach – chyba że istnieje wyraźna alternatywna przyczyna śmierci, która nie może być związana z COVID-19 (np. uraz). Śmierci tych nie należy przypisywać innym chorobom (np. nowotworom); należy je liczyć niezależnie od istniejących wcześniej schorzeń, które mogły wywołać ciężki przebieg COVID-19 (WHO, 2020). W sytuacji gdy nie wszystkie kraje stosują się do zaleceń WHO i publikowane codziennie dane dotyczące umieralności związanej z tą chorobą nie są porównywalne, analiza poziomu nadmiernej umieralności bez względu na przyczynę zgonu może dostarczyć informacji o rzeczywistym wpływie pandemii na umieralność, nawet jeśli raportowana liczba zgonów z powodu COVID-19 została znacznie zaniżona.

4. Metoda badania

Zasadnicze pytanie postawione w badaniu dotyczyło wpływu szczepień przeciw COVID-19 na nadmierną umieralność w Polsce w ujęciu regionalnym. Jako kluczowe predyktory przyjęto:

- wskaźnik pełnego zaszczepienia przeciw COVID-19 (dwoma dawkami szczepionki Pfizer-BioNTech lub Moderna albo jedną dawką szczepionki Johnson & Johnson), czyli odsetek osób w pełni zaszczepionych;
- liczbę nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób.

Ze względu na to, że w analizie przestrzennej zjawisk społeczno-demograficznych bardzo istotny jest dobór wielkości jednostek odniesienia, w badaniu uwzględniono jednostki NUTS 2 (regiony) i NUTS 3 (podregiony)⁴ oraz powiaty.

⁴ NUTS 2 to województwa lub ich części, NUTS 3 – grupy powiatów. Dane statystyki publicznej dla jednostek NUTS zapewniają porównywalność międzynarodową.

Wykorzystano dane dotyczące liczby zgonów według wieku i płci zmarłych w ujęciu tygodniowym dla NUTS 2 i NUTS 3 oraz liczby zgonów w okresach półrocznych dla powiatów opublikowane przez GUS (2023). Korzystano także z raportów o liczbie osób zaszczepionych pełną dawką szczepionki przeciw COVID-19 według gmin, czyli w drugim półroczu 2020 r. i pierwszym półroczu 2021 r., opublikowanych przez Ministerstwo Zdrowia.

Wpływ szczepień przeciw COVID-19 na umieralność badano w okresie 12 kolejnych miesięcy: od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. Wybrano takie ramy czasowe, aby zniwelować wpływ nierównomiernego rozprzestrzeniania się pandemii w różnych regionach kraju na otrzymane wyniki. Dane te zestawiano z poprzednim okresem, kiedy szczepionki nie były jeszcze powszechnie dostępne (od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r.). Rozwój pandemii analizowano w okresach półrocznych, w przybliżeniu odpowiadających poszczególnym jej falom, oddzielonym wakacjami i zimowymi przerwami świątecznymi:

- od początku stycznia do końca czerwca 2020 r., obejmującym pierwszą falę;
- od początku lipca do końca grudnia 2020 r., obejmującym drugą falę;
- od początku stycznia do końca czerwca 2021 r., obejmującym trzecią falę;
- od początku lipca do końca grudnia 2021 r., obejmującym czwartą falę;
- od początku stycznia do końca czerwca 2022 r., obejmującym piątą falę.

Kluczowym wyzwaniem metodologicznym przy szacowaniu nadmiernej umieralności jest określenie spodziewanej umieralności w danym okresie (w wypadku omawianego badania – w tygodniu) w taki sposób, jakby pandemia nigdy się nie wydarzyła. Szacunków dotyczących liczby nadmiarowych zgonów można dokonywać na wiele sposobów i będą się one różnić w zależności od zastosowanej metody i założeń dotyczących spodziewanej liczby zgonów. Najpopularniejsza i najprostsza metoda kalkulacji oczekiwanej liczby zgonów polega na obliczeniu średniej historycznej w badanym okresie na podstawie liczby zgonów z kilku wcześniejszych okresów (np. Docherty i in., 2020). W takim podejściu nie uwzględnia się jednak długoterminowych trendów umieralności i nie bierze się pod uwagę rocznych wahań czynników ryzyka, np. pogody (Scortichini i in., 2020).

Wśród różnych podejść do szacowania oczekiwanej liczby zgonów należy wymienić szacunki: na podstawie ogólnego trendu umieralności w ciągu ostatnich kilku lat i wahań sezonowych przy użyciu analizy regresji (Simonsen i in., 2005), na podstawie analizy szeregów czasowych (Németh i in., 2021), z wykorzystaniem metody ARIMA (Nunes i in., 2011) lub uogólnionego modelu liniowego Poissona (Farrington i in., 1996; Noufaily i in., 2013), a także na podstawie prognoz demograficznych z uwzględnieniem zmieniającej się w czasie struktury ludności według wieku (Karlinsky i Kobak, 2021). Dla przykładu, amerykańska agencja federalna Centers for Disease Control and Prevention (CDC) do oszacowania liczby zgonów wykorzystuje algorytm

nadzoru Farringtona (Noufaily i in., 2013), a jako zakres wartości dla liczby nadmiarowych zgonów oblicza różnicę między obserwowaną liczbą zgonów a jednym z dwóch progów: średnią oczekiwaną liczbą zgonów albo górną granicą 95-procentowego przedziału prognozy (CDC, b.r.).

Z kolei Eurostat, aby oszacować nadmierną umieralność, oblicza oczekiwaną liczbę zgonów w danym roku, biorąc pod uwagę okres bazowy, czyli średnią miesięczną liczbę zgonów z poprzednich czterech lat (Eurostat, 2022). To podejście może się okazać nieodpowiednie, gdy zmiany liczby zgonów charakteryzują się wyraźnym trendem – a tak jest w przypadku Polski, ponieważ według prognoz sprzed pandemii liczba zgonów w Polsce powinna systematycznie wzrastać do połowy lat 40. XXI w. (Eurostat, 2020). Natomiast w ramach projektu EuroMOMO⁵ analizowano tygodniową nadmierną umieralność w wielu krajach Europy za pomocą modelu *glm poisson*, skorygowanego o nadmierną dyspersję.

W Polsce liczbę nadmiarowych zgonów oszacowano np. w ekspertyzie Komitetu Nauk Demograficznych Polskiej Akademii Nauk (KDN PAN; Kuropka, 2021), porównując zgony z 2020 r. ze średnią z lat 2017–2019, i w pracy Polskiego Instytutu Ekonomicznego (Czerwiński, 2021), przy użyciu metody bazującej na danych demograficznych i tablicach trwania życia.

W badaniu omawianym w niniejszym artykule do oszacowania poziomu oczekiwanej tygodniowej umieralności podczas pandemii COVID-19 dla NUTS 2 i NUTS 3 zastosowano analizę szeregów czasowych uwzględniającą tygodniowe wahania sezonowe umieralności w ciągu roku. Wykorzystano historyczne tygodniowe liczby zgonów za lata 2015–2019 (GUS, 2024). Do wyodrębnienia wahań sezonowych zastosowano metodę wskaźnikową o charakterze multiplikatywnym wraz z trendem wyznaczonym w sposób analityczny, co można zapisać równaniem:

$$y_i = (a + bt)S_{s_i} + S_y,$$

gdzie:

a, b – parametry liniowej funkcji trendu liczby zgonów,

t – czas (mierzony w kwartałach),

S_{s_i} – wskaźnik sezonowości wyznaczony dla i -tego kwartału,

S_y – składnik losowy.

Szeregi czasowe tygodniowej liczby zgonów były stacjonarne, co zweryfikowano na podstawie rozszerzonego testu ADF z wyrazem wolnym i trendem liniowym. Badając statystyczną istotność parametrów, traktowano sezonowość w modelu jako pakiet.

⁵ EuroMOMO to europejska inicjatywa monitorowania umieralności, mająca na celu wykrywanie i mierzenie nadmiernej liczby zgonów spowodowanych sezonową gripą, pandemią i innymi zagrożeniami zdrowia publicznego. Zob. <https://www.euromomo.eu>.

Oznacza to, że nawet gdy część wskaźników sezonowości okazywała się nieistotna statystycznie, to pozostawiano je w modelu. W rozpatrywanym okresie dwa razy wystąpił 53. tydzień roku: w 2015 r. i w 2020 r. Wskaźnik sezonowości dla tego tygodnia oszacowano, przyjmując średnią z 52. tygodnia analizowanego roku i pierwszego tygodnia roku następnego.

Na podstawie porównania oczekiwanej i rzeczywistej umieralności obliczono liczbę nadmiarowych zgonów w Polsce w jednostkach NUTS 2 i NUTS 3. Wartość odchylenia standardowego reszt w poszczególnych modelach zależała od wielkości jednostki i kształtowała się na poziomie 5% przeciętnej wartości zmiennej objaśnianej w modelu dla Polski (dla NUTS 2 – średnio 7,2%, a dla NUTS 3 – średnio 10,8%). W przypadku modelu oczekiwanej tygodniowej liczby zgonów ze wszystkich przyczyn dla Polski oszacowano również oddzielnie modele według płci i według podstawowych grup ludności ze względu na wiek. Dla powiatów dysponowano jedynie półrocznymi danymi dotyczącymi liczby zgonów, dlatego niemożliwe było efektywne zastosowanie analizy szeregów czasowych. W związku z tym nadmierną umieralność w powiatach w okresie od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2022 r. oszacowano poprzez porównanie umieralności w tym okresie ze średnią umieralnością odnotowaną w czterech wcześniejszych półroczach. Podobne podejście przyjęto np. w ekspertyzie KDN PAN (Kuropka, 2021, s. 15).

Następnie, aby zweryfikować postawione na wstępie hipotezy badawcze, zastosowano analizę korelacji i regresji i oceniono siłę związku występującego pomiędzy liczbą nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób a poziomem wyszczerpienia przeciw COVID-19 w Polsce w ujęciu regionalnym.

5. Wyniki badania i dyskusja

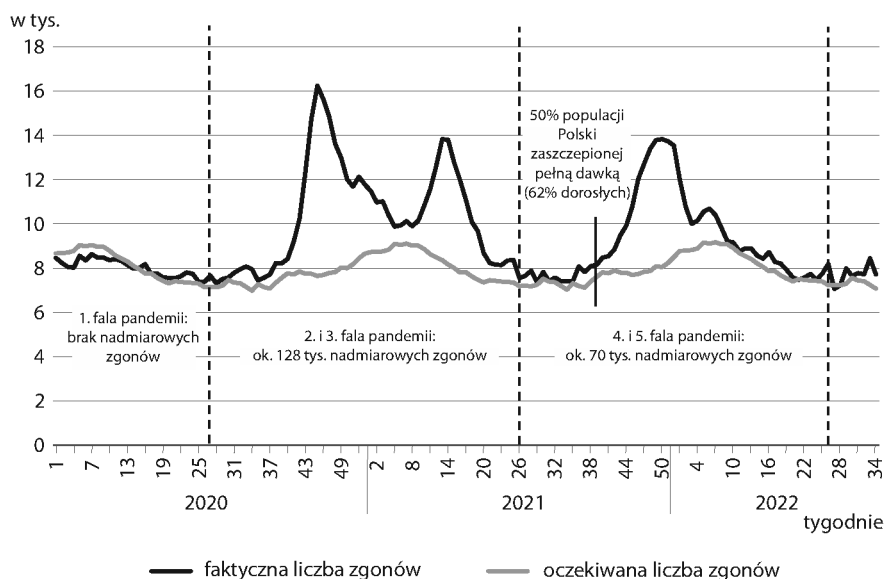
Pierwszy zgon z powodu COVID-19 został stwierdzony w Polsce 12 marca 2020 r. Jednakże obostrzenia wprowadzone przez władze spowodowały, że w pierwszym półroczu 2020 r. nie odnotowano istotnie wyższej umieralności. Dopiero od września 2020 r. zaczęto obserwować wzrost liczby zgonów, znacznie powyżej historycznego poziomu w analogicznych okresach (wykr. 1). Apogeum odnotowano w 45. tygodniu 2020 r., kiedy zmarło ok. 16 tys. osób – to liczba ponaddwukrotnie przewyższająca oczekiwaną (czyli gdyby nie było pandemii COVID-19). Podwyższony poziom umieralności w Polsce utrzymywał się właściwie w czasie całej drugiej i trzeciej fali pandemii, w konsekwencji czego w tym okresie zmarło o ok. 128 tys. osób więcej, niż wynosiła wartość oczekiwana.

Aby przeciwdziałać przyczynom nadmiernej umieralności, władze – gdy tylko szczepionki przeciw COVID-19 stały się dostępne – rozpoczęły, od 27 grudnia 2020 r., wyszczerpienia ludności Polski. Na przełomie marca i kwietnia 2021 r. dostęp do

szczepień stał się powszechny. W konsekwencji pod koniec września 2021 r. zaszczepionych pełną dawką było ok. 50% Polaków, w tym ok. 62% osób dorosłych. W kolejnym okresie – od lipca 2021 r. do czerwca 2022 r. – odnotowano 70 tys. nadmiarowych zgonów, czyli o blisko połowę mniej niż od lipca 2020 r. do czerwca 2021 r. Podczas piątej fali epidemii nie zaobserwowano istotnego wzrostu liczby zgonów – poziom umieralności powrócił do długoterminowego trendu. Można domniemywać, że było to spowodowane nabyciem przez populację Polski odporności stadnej, co oznacza, że liczba osób odpornych na zakażenie wirusem SARS-CoV-2 (czyli tych, którzy zostali zaszczepieni przeciw COVID-19, i tych, którzy nabyli odporność w wyniku przechorowania) była na tyle duża, że choroba przestała się rozprzestrzeniać.

Warto w tym miejscu przytoczyć statystyki dotyczące innych krajów. Na przykład w Portugalii, Hiszpanii i Danii, gdzie odsetek zaszczepionych osób na koniec 2021 r. wynosił ok. 80% populacji (Mathieu i in., 2021), podczas czwartej i piątej fali pandemii odnotowano wyraźnie niższą niż w Polsce liczbę nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób (Murkowski, 2024).

Wykr. 1. Liczba nadmiarowych zgonów w Polsce



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS (2023).

W badaniu określono również strukturę nadmiarowych zgonów według płci i wieku zmarłych, z uwzględnieniem fali pandemii (tablica). W świetle otrzymanych wyników stwierdzono, że w analizowanym okresie częściej umierali mężczyźni niż kobiety – ok. 53% wszystkich nadmiarowych zgonów stanowiły zgony mężczyzn.

Zbliżone wyniki notowano w innych krajach, np. w Stanach Zjednoczonych: ok. 54% wszystkich zgonów z powodu COVID-19 stanowiły zgony mężczyzn, a ok. 46% – zgony kobiet (CDC, b.r.).

Z kolei analiza nadmiarowych zgonów według wieku prowadzi do wniosku, że wśród zmarłych dominowały osoby w wieku 60 lat i więcej (zgony tych osób stanowiły blisko 90% wszystkich nadmiarowych zgonów w Polsce). Badania przeprowadzone w innych krajach – np. w Stanach Zjednoczonych (stwierdzono, że zgony pacjentów w wieku 50 lat i więcej stanowiły 94% wszystkich zgonów z powodu COVID-19 – Pollard i in., 2020) i Anglii (Sinnathamby i in., 2020) – potwierdzają, że wiek był najistotniejszym predyktorem zgonu z powodu COVID-19. Nie należy zapominać, że wiele osób starszych cierpi na choroby przewlekłe (np. nadciśnienie, cukrzycę i schorzenia układu oddechowego), co sprawia, że są one bardziej narażone na rozwój skomplikowanej infekcji COVID-19, która częściej niż w przypadku młodszych grup wieku prowadzi do zgonu pacjenta.

Tablica. Struktura nadmiarowych zgonów w Polsce według wieku i płci

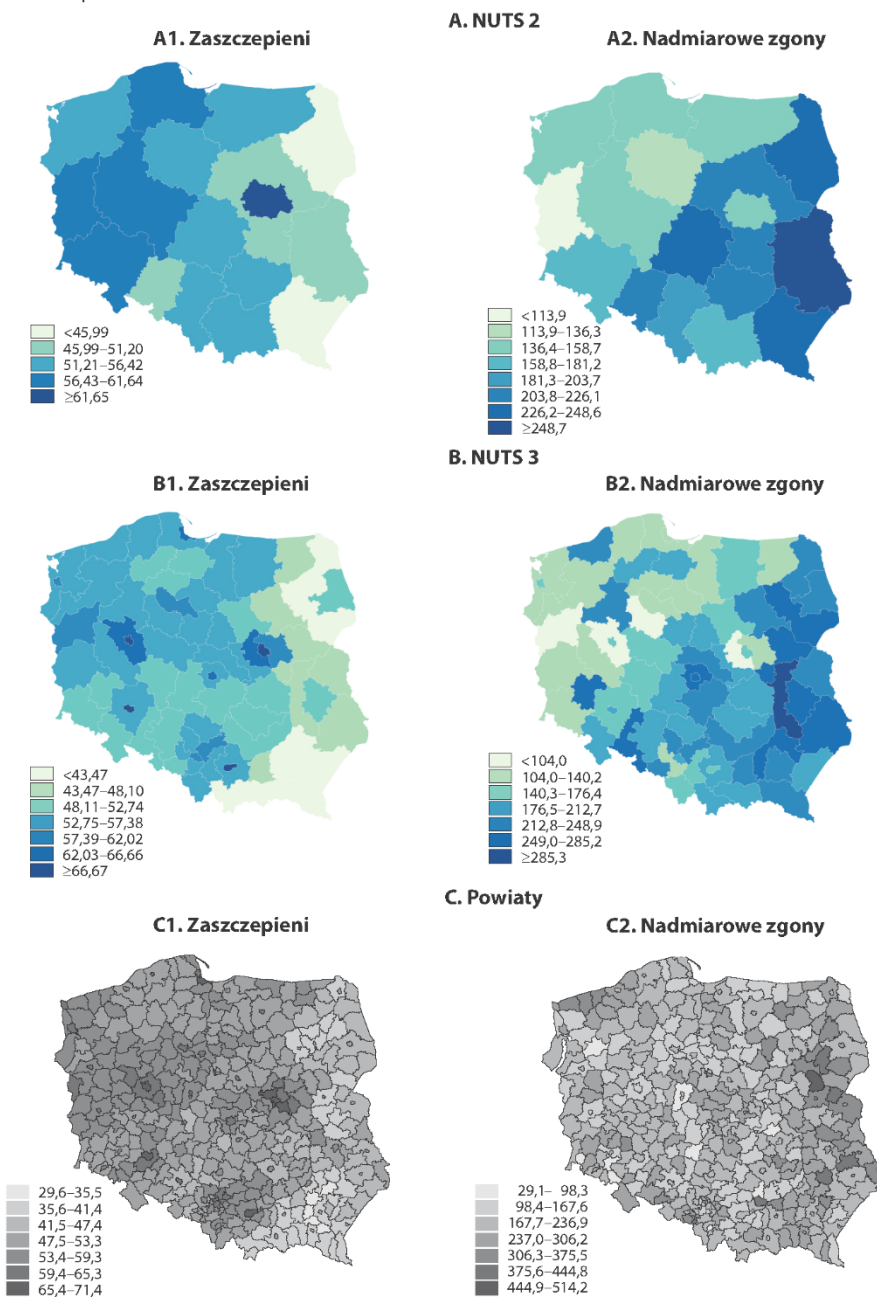
Wiek	Ogółem		Kobiety		Mężczyźni	
	w tys.	w %	w tys.	w %	w tys.	w %
Od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r.						
Razem	127,7	100,0	56,8	100,0	70,9	100,0
0–19 lat	–0,1	–0,1	–0,1	–0,2	0,0	0,0
20–39	1,3	1,0	0,4	0,7	0,8	1,2
40–59	11,5	9,0	3,2	5,6	8,3	11,7
60–79	62,0	48,6	23,5	41,4	38,5	54,3
80 lat i więcej	53,1	41,6	29,8	52,4	23,3	32,9
Od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r.						
Razem	69,9	100,0	36,1	100,0	33,8	100,0
0–19 lat	0,0	0,1	–0,1	–0,1	0,1	0,3
20–39	1,0	1,4	0,4	1,0	0,6	1,8
40–59	8,1	11,6	2,2	6,0	5,9	17,6
60–79	30,5	43,7	13,6	37,8	16,9	50,1
80 lat i więcej	30,2	43,3	20,0	55,4	10,2	30,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS (2023).

W badaniu ustalono również istotne statystycznie różnice w strukturze nadmiarowych zgonów według płci i wieku zmarłych w zależności od tego, czy nastąpiły one przed upowszechnieniem szczepień przeciw COVID-19, czy później. Porównano zgony według płci i wieku, które nastąpiły od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r. z tymi, które odnotowano od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. (w tym drugim okresie poziom wyszczepienia populacji Polski przeciw COVID-19 był już na tyle wysoki, aby istotnie oddziaływać na poziom nadumieralności). Generalnie osoby młode szczepiły się przeciw COVID-19 mniej chętnie niż osoby starsze, co mogło być spowodowane tym, że młodzi najczęściej przechodzą zakażenie koronawirusem łagodniej niż starsi. Znaczny odsetek zaszczepienia osób młodych nie pozostaje jednak bez wpływu na poziom nadumieralności, ponieważ zmniejsza ryzyko rozprzestrzeniania się choroby wśród wszystkich badanych.

Wyniki badania omawianego w artykule wskazują, że odsetek nadmiarowych zgonów osób poniżej 40. roku życia był w obu okresach niewielki – stanowił ok. 1% wszystkich nadmiarowych zgonów. Liczba nadmiarowych zgonów w grupie wieku 20–39 lat zmniejszyła się nieznacznie – z 1,3 tys. w okresie od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r. do 1,0 tys. od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. (w przypadku kobiet w ogóle się nie zmniejszyła). Choć w grupie wieku 40–59 lat liczba nadmiarowych zgonów obniżyła się o 30%, to ich udział w ogólnej liczbie zgonów w badanej populacji zwiększył się z 9% do prawie 12% (zmiana dotyczyła głównie mężczyzn – wzrost z 11,7% do 17,6%; w przypadku kobiet okazała się niewielka). W porównywanych okresach liczba zgonów w grupie wieku 60–79 lat zmniejszyła się najbardziej, a mianowicie o ponad połowę (w przypadku kobiet o 42%, a w przypadku mężczyzn o ponad 56%) i w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. stanowiła niespełna 44% liczby wszystkich nadmiarowych zgonów wobec blisko 49% w okresie od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r. (dla kobiet odnotowano spadek z 41,4% do 37,8%, a dla mężczyzn – z 54,3% do 50,1%). Można więc domniemywać, że w tej grupie wieku wpływ poziomu wyszczepienia przeciw COVID-19 na umieralność okazał się największy. Liczba zgonów osób w wieku 80 lat i więcej zmniejszyła się o 43% (w przypadku mężczyzn aż o 56%), choć odsetek zgonów w tej kategorii wieku utrzymał się na podobnym poziomie – stanowił 42–43% wszystkich odnotowanych zgonów zarówno od początku lipca 2020 r. do końca czerwca 2021 r., jak i od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r.

Mapa. Odsetek zaszczepionych przeciw COVID-19 pełną dawką (stan na 31.12.2021 r.) i liczba nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób odnotowanych od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: A1 i B1 – Centrum e-Zdrowia (2021), A2, B2, C1 i C2 – GUS (2023).

Wyniki badania wskazują na silne zróżnicowanie terytorialne nie tylko poziomu nadmiernej umieralności, lecz także poziomu wyszczepienia przeciw COVID-19 na koniec 2021 r. Największy odsetek wyszczepionych odnotowano w dużych aglomeracjach miejskich (Warszawie, Poznaniu, Wrocławiu), gdzie na koniec 2021 r. wynosił ponad 65% mieszkańców. Zasadniczo odsetek zaszczipionych był wyższy w zachodniej i północnej części kraju, a niższy – w części wschodniej i południowo-wschodniej (mapy A1, B1 i C1). Najwięcej – aż 68,5% mieszkańców – zaszczipiło się do końca 2021 r. w podwarszawskiej gminie Podkowa Leśna. Dla porównania, w niektórych gminach wschodniej i południowo-wschodniej Polski odsetek zaszczipionych pełną dawką nie przekraczał 30% populacji. Najmniej osób zaszczipionych pełną dawką – ok. 21% mieszkańców – zarejestrowano na koniec 2021 r. w gminie Czarny Dunajec (woj. małopolskie). W woj. podkarpackim odsetek zaszczipionych pełną dawką na koniec 2021 r. nieznacznie przekraczał 40% i był najniższy wśród regionów. Dla porównania, w regionie stołecznym warszawskim zaszczipiło się w tym czasie ponad 66% mieszkańców (mapa A1).

Rezultaty oszacowania modelu wskazują również na przestrzenne zróżnicowanie liczby nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. (mapy A2, B2 i C2). Przykładowo, w woj. lubuskim zanotowano w tym czasie poniżej 1 tys. nadmiarowych zgonów, co przekłada się średnio na 921 zgonów na 100 tys. osób (najniższy wskaźnik, jeśli chodzi o regiony Polski). Na poziomie NUTS 3 najmniejszą liczbę nadmiarowych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. osób odnotowano w podregionach: gorzowskim (68), poznańskim (91), inowrocławskim (92) i warszawskim zachodnim (99). Na przeciwległym biegunie znalazła się wschodnia Polska. Na poziomie NUTS 2 wyniki były następujące: woj. lubelskie (średnio 271 nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób), woj. podkarpackie (248) i woj. podlaskie (236), a na poziomie NUTS 3 – region puławski (321 nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób). Powyżej 250 nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób stwierdzono również w podregionach: miasto Łódź (283), siedlecki (275), łomżyński (269), lubelski (265) i chełmsko-zamojski (264). Wszędzie poza Łodzią odsetek zaszczipionych mieszkańców na koniec 2021 r. wynosił ok. 50% lub mniej populacji podregionu.

W badaniu ustalono, że między odsetkiem osób zaszczipionych pełną dawką na dzień 31 grudnia 2021 r. a liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób w okresie od lipca 2021 r. do czerwca 2022 r. istniała dość silna ujemna korelacja na poziomie NUTS 2 – współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł $-0,68$ i był wyraźnie istotny statystycznie ($p = 0,0026$; wyk. 2A). Na poziomie NUTS 3 zależność ta była umiarkowana. Wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona wyniosła $-0,42$, ale była istotna statystycznie ($p = 0,0002$), co wskazuje, że zaobserwowana zależność nie ma charakteru przypadkowego (wykr. 2B).

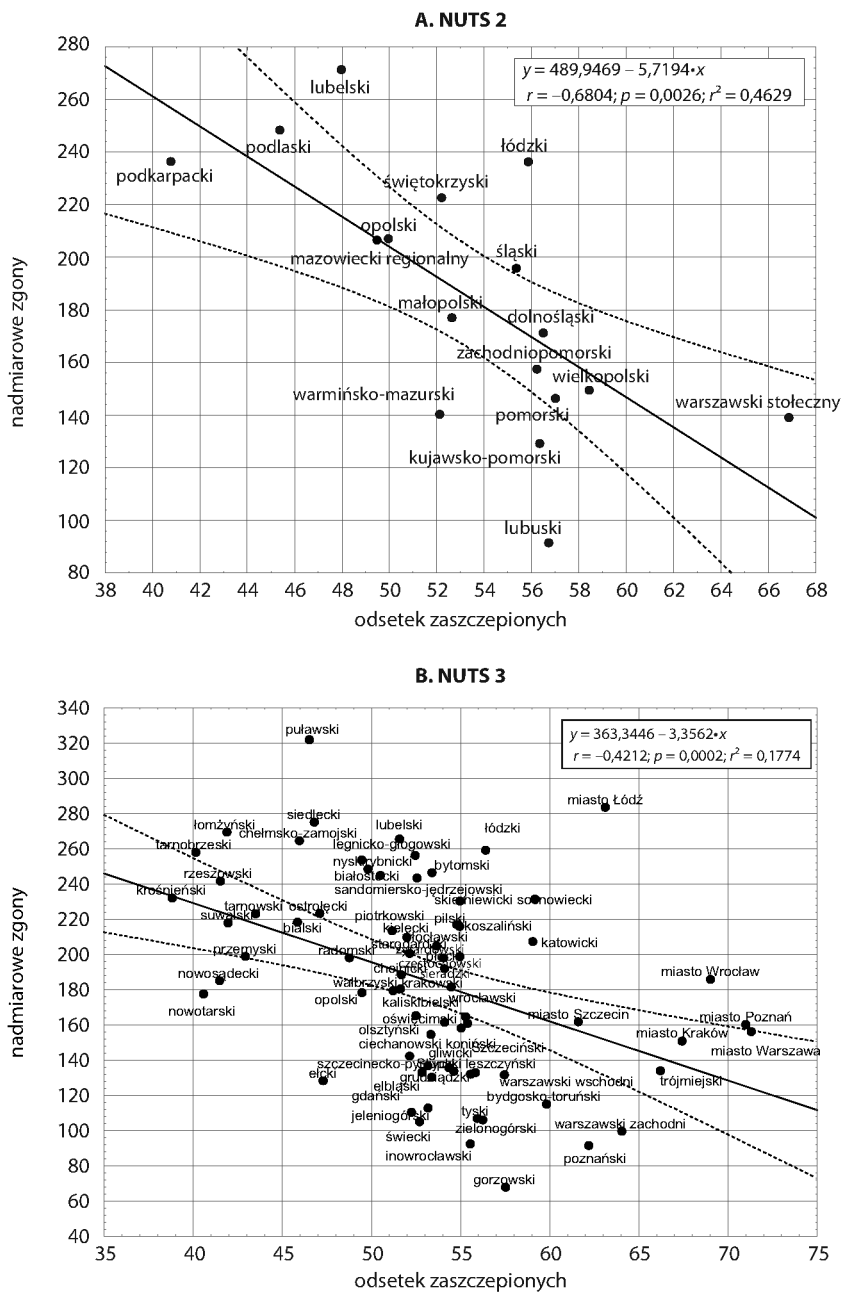
W analizowanym okresie na poziomie powiatów zachodziła słaba współzależność między odsetkiem osób zaszczepionych pełną dawką szczepionki przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób – wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona wyniosła $-0,3$ (wykr. 2C). Choć była ona bardzo wyraźnie istotna statystycznie ($p = 0,0000$), to jednak zaobserwowane różnice nadumieralności w powiatach tylko w niecałych 10% można było wyjaśnić zróżnicowaniem poziomu zaszczepienia ich mieszkańców.

Weryfikacja rozkładu reszt w modelu regresji liniowej między poziomem wyszczerpienia a liczbą nadmiarowych zgonów zarówno dla jednostek NUTS 2 i NUTS 3, jak i dla powiatów wskazuje na rozkład normalny, co na podstawie wartości p pozwala wnioskować o istotności współczynnika korelacji. Choć istnienie korelacji nie oznacza jeszcze przyczynowości, to należy wziąć pod uwagę, że laboratoryjne badania kliniczne nad szczepionkami przeciw COVID-19 wyraźnie wykazują ich wysoką skuteczność, w szczególności w ograniczaniu ostrego przebiegu choroby (Banerji i in., 2021).

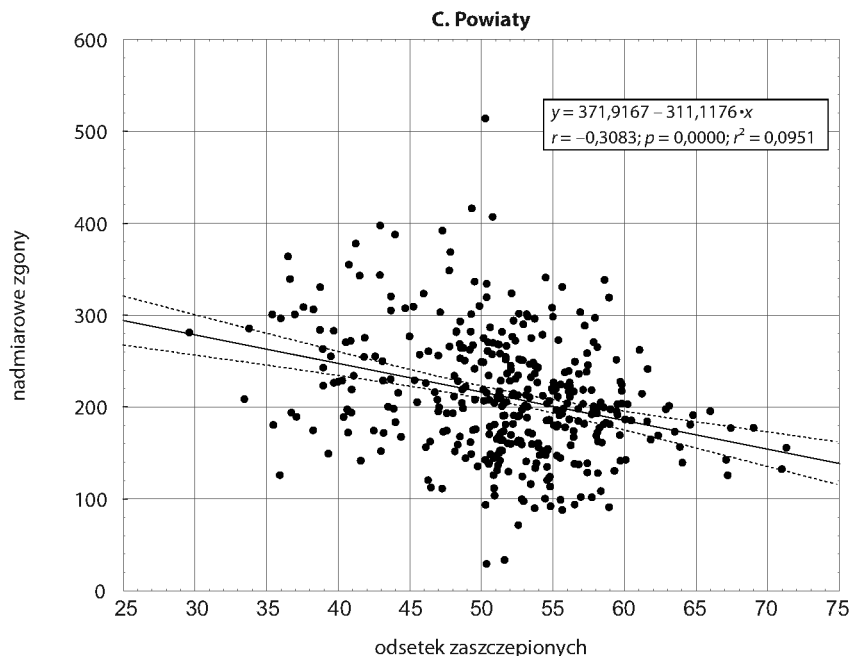
Zaobserwowana w badaniu istotna statystycznie korelacja między poziomem wyszczerpienia a nadumieralnością mogła być jednak pozorna i wynikać z tego, że regiony, które charakteryzują się wyższym poziomem wyszczerpienia przeciw COVID-19, często są lepiej rozwinięte gospodarczo od tych o niższym poziomie wyszczerpienia, mają sprawniejszy system ochrony zdrowia, a ich mieszkańcy wykazują większą świadomość prozdrowotną. Aby sprawdzić, czy taka zależność występuje, zestawiono odsetek osób zaszczepionych pełną dawką na dzień 31 grudnia 2021 r. z liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób odnotowaną przed upowszechnieniem szczepień. W tym przypadku współczynnik korelacji dla NUTS 2 wyniósł $-0,33$ i okazał się nieistotny statystycznie ($p = 0,11$), dla NUTS 3 – jeszcze mniej, bo $-0,17$ ($p = 0,1478$), a dla powiatów – $0,03$ ($p = 0,54$). Można zatem domniemywać, że właśnie wysoki poziom wyszczerpienia tłumaczy niższą umieralność w okresie po upowszechnieniu szczepień przeciwko COVID-19.

Badania regionalne prowadzone w innych krajach, np. w Stanach Zjednoczonych, potwierdzają wpływ szczepień na umieralność. Stwierdzono, że wyższe wskaźniki wyszczerpienia miały związek ze znacznym zmniejszeniem prawdopodobieństwa zakażenia koronawirusem, hospitalizacji i śmierci (Samson i in., 2021).

Wykr. 2. Zależność między poziomem wyszczeplenia przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r.



Wykr. 2. Zależność między poziomem wyszczerpień przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. (dok.)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS (2023) i Centrum e-Zdrowia (2021).

Badając rozkład reszt w modelu regresji liniowej między odsetkiem zaszczepionych przeciw COVID-19 a liczbą nadmiarowych zgonów na 100 tys. osób dla NUTS 3, zauważono, że trzy podregiony: miasto Łódź, puławski i gorzowski wyraźnie odstają od pozostałych. W Łodzi, pomimo relatywnie wysokiego poziomu wyszczerpień, zanotowano względnie wysoki poziom nadumieralności. W podregionie puławskim liczba nadmiarowych zgonów wyraźnie przekraczała średnią, przy dość niskim poziomie wyszczerpień. Z kolei podregion gorzowski, mimo niezbyt wysokiego wskaźnika wyszczerpień mieszkańców, charakteryzował się bardzo niską liczbą nadmiarowych zgonów. W przypadku Łodzi należy zauważyć, że jeszcze przed pandemią było to jedyne duże miasto w Polsce, którego mieszkańcy żyli średnio krócej niż ogół ludności województwa i kraju. Obserwowano tam znacznie wyższą od średniej ogólnopolskiej umieralność osób w wieku 30–60 lat, zwłaszcza mężczyzn (Szukalski, 2012). W 2019 r. w Łodzi odnotowano bardzo wysokie w porównaniu z innymi powiatami natężenie zgonów – ponad 14 zgonów na 1000 osób (gorzej wypadły tylko powiaty: hajnowski, bielski i wałbrzyski). A już wcześniej, w pierwszej dekadzie XXI w., woj. łódzkie

odznaczało się jedną z najwyższych umieralności z powodu chorób wątroby, układu trawienego, zapalenia płuc oraz innych chorób układu oddechowego (Wojtyniak i Goryński, 2008), co mogło przełożyć się na większą wrażliwość jej mieszkańców na ciężki przebieg COVID-19.

6. Podsumowanie

W omawianym badaniu ustalono, że między odsetkiem osób zaszczepionych przeciw COVID-19 na koniec 2021 r. a liczbą nadmiarowych zgonów w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r. zachodził istotny statystycznie (umiarkowanie silny) związek. Przeprowadzone analizy wskazują ponadto na również silne zróżnicowanie terytorialne zarówno poziomu nadmiernej umieralności w okresie od początku lipca 2021 r. do końca czerwca 2022 r., jak i poziomu wyszczenia przeciw COVID-19 na koniec 2021 r.

Wyniki niniejszego badania mogą stanowić dowód na pozytywny wpływ szczepień na stopień nadumieralności podczas pandemii, zwłaszcza że dotyczą całej populacji, a nie jedynie badań przeprowadzanych w laboratorium. Należy przy tym podkreślić, że już sama świadomość społeczna skuteczności szczepień może zapobiec zagrożeniu w przyszłości lub je zmniejszyć. Ustalenie zaś, czy i w jakim stopniu szczepienia potencjalnie zmniejszyły liczbę infekcji, hospitalizacji, a przede wszystkim zgonów, może być pomocne w dalszych wysiłkach na rzecz poprawy wskaźników szczepień i łagodzenia skutków COVID-19.

Trzeba jednak pamiętać, że na wyniki analizy korelacji uzyskane w omawianym badaniu mogły wpływać takie czynniki, jak różnice jakości w opiece zdrowotnej w poszczególnych regionach czy gęstość zaludnienia (ze względu na rozprzestrzenianie się wirusa). Ponadto na poziom nadumieralności podczas pandemii COVID-19 mogły oddziaływać różnice społeczne i demograficzne (np. wiek i płeć). Wreszcie otrzymane szacunki dotyczące nadmiernej liczby zgonów mogą nie być następstwem COVID-19 – ani bezpośrednio, ani pośrednio. Być może pandemia zmieniła wzorce umieralności z powodu innych przyczyn (np. samobójstw, przedawkowania narkotyków, chorób serca), które mogły przyczynić się do zwiększonej liczby zgonów w niektórych regionach Polski. Kolejne badania uwzględniające zróżnicowanie regionalne w zakresie statystyk przyczyn zgonów mogą dostarczyć dodatkowych informacji na temat wzorców umieralności.

Bibliografia

- Banerji, A., Wickner, P. G., Saff, R., Stone, C. A., Robinson, L. B., Long, A. A., Wolfson, A. R., Williams, P., Khan, D. A., Phillips, E., Blumenthal, K. G. (2021). mRNA Vaccines to Prevent COVID-19 Disease and Reported Allergic Reactions: Current Evidence and Suggested Approach. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: in Practice*, 9(4), 1423–1437. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.12.047>.
- Beaney, T., Clarke, J. M., Jain, V., Golestaneh, A. K., Lyons, G., Salman, D., Majeed, A. (2020). Excess mortality: the gold standard in measuring the impact of COVID-19 worldwide?. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 113(9), 329–334. <https://doi.org/10.1177/0141076820956802>.
- Blangiardo, M., Cameletti, M., Pirani, M., Corsetti, G., Battaglini, M., Baio, G. (2020). Estimating weekly excess mortality at sub-national level in Italy during the COVID-19 pandemic. *PLoS ONE*, 15(10), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240286>.
- Brisse, M., Vrba, S. M., Kirk, N., Liang, Y., Ly, H. (2020). Emerging Concepts and Technologies in Vaccine Development. *Frontiers in Immunology*, 11, 1–22. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.583077>.
- Centers for Disease Control and Prevention. (b.r.). CDC COVID Data Tracker: Demographic Trends of COVID-19 cases and deaths in the US reported to CDC. Pobrane 16 września 2020 r. z <https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker/#demographics>.
- Centrum e-Zdrowia. (2021). *Odsetek osób zaszczepionych przeciwko COVID19 w gminach* [zbiór danych]. <https://dane.gov.pl/pl/dataset/2476,odsetek-osob-zaszczepionych-przeciwko-covid19-w-gm>.
- Cierniak-Piotrowska, M., Marciniak, G., Stańczak, J. (2015). Statystyka zgonów i umieralności z powodu chorób układu krążenia. W: Z. Strzelecki, J. Szymborski (red.), *Zachorowalność i umieralność na choroby układu krążenia a sytuacja demograficzna Polski* (s. 1–28). Rządowa Rada Ludnościowa, Główny Urząd Statystyczny. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/statystyka-zgonow-i-umieralnosci-z-powodu-chorob-ukladu-krzenia,22,1.html>.
- Czerwiński, A. (2021). *Nadmierna śmiertelność w Polsce w 2020 r.* (PIE Working Paper nr 1). https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2018/07/PIE-WP_1-2021.pdf.
- Docherty, K. F., Butt, J. H., de Boer, R. A., Dewan, P., Køber, L., Maggioni, A. P., McMurray, J. J. V., Solomon, S. D., Jhund, P. S. (2020). *Excess deaths during the COVID-19 pandemic: An international comparison*. MedRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.04.21.20073114>.
- Eurostat. (2020). *Europop2019 – Population projections at national level (2019–2100)* [zbiór danych]. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>.
- Eurostat. (2022). *Glossary: Excess mortality*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Excess_mortality.
- Farrington, C. P., Andrews, N. J., Beale, A. D., Catchpole, M. A. (1996). A Statistical Algorithm for the Early Detection of Outbreaks of Infectious Disease. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 159(3), 547–563. <https://doi.org/10.2307/2983331>.
- Fihel, A., Muszyńska-Spielauer, M. M. (2021). Using multiple cause of death information to eliminate garbage codes. *Demographic Research*, 45, 345–360. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2021.45.11>.

- Główny Urząd Statystyczny. (2022). *Umieralność w 2021 roku. Zgony według przyczyn – dane wstępne*. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/statystyka-przyczyn-zgonow/umieralnosc-w-2021-roku-zgony-wedlug-przyczyn-dane-wstepne,10,3.html>.
- Główny Urząd Statystyczny. (2023). *Zgony według tygodni oraz wieku, płci zmarłych i 73 podregionów 2020–2024 [zbiór danych]*. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/zgony-wedlug-tygodni-oraz-wieku-plci-zmarlych-i-73-podregionow-w-2024-roku,39,25.html>.
- Karlinsky, A., Kobak, D. (2021). *Tracking excess mortality across countries during the COVID-19 pandemic with the World Mortality Dataset*. eLife. <https://doi.org/10.7554/eLife.69336>.
- Kontis, V., Bennett, J. E., Rashid, T., Parks, R. M., Pearson-Stuttard, J., Guillot, M., Asaria, P., Zhou, B., Battaglini, M., Corsetti, G., McKee, M., Di Cesare, M., Mathers, C. D., Ezzati, M. (2020). Magnitude, demographics and dynamics of the effect of the first wave of the COVID-19 pandemic on all-cause mortality in 21 industrialized countries. *Nature Medicine*, 26, 1919–1928. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1112-0>.
- Kucharski, A. (2020). *Prawa epidemii. Co wspólnego mają wirusy, idee i fake newsy. Skąd się epidemie biorą i czemu wygasają?*. Wydawnictwo Relacja.
- Kuropka, I. (red.). (2021). *Pandemia i jej skutki zdrowotne i demograficzne*. Komitet Nauk Demograficznych PAN. <https://doi.org/10.24425/140474>.
- Leon, D. A., Shkolnikov, V. M., Smeeth, L., Magnus, P., Pechholdová, M., Jarvis, C. I. (2020). COVID-19: a need for real-time monitoring of weekly excess deaths. *The Lancet*, 395(10234), 81. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30933-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30933-8/fulltext).
- Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., Roser, M., Hasell, J., Appel, C., Giattino, C., Rodés-Guirao, L. (2021). A global database of COVID-19 vaccinations. *Nature Human Behaviour*, 5(7), 947–953. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01122-8>.
- Murkowski, R. (2021). Nadmierna umieralność w Polsce podczas pandemii COVID-19 w 2020 roku. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 66(7), 7–23. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0351>.
- Murkowski, R. (2024). Impact of the COVID-19 epidemic on the ageing of the European population. *Humanities and Social Sciences. Research Journal*, 31(3), 91–106. <https://doi.org/10.7862/rz.2024.hss.33>.
- Németh, L., Jdanov, D. A., Shkolnikov, V. M. (2021). An open-sourced, web-based application to analyze weekly excess mortality based on the Short-term Mortality Fluctuations data series. *PLoS ONE*, 16(2), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246663>.
- Noufaily, A., Enki, D. G., Farrington, P., Garthwaite, P., Andrews, N., Charlett, A. (2013). An Improved Algorithm for Outbreak Detection in Multiple Surveillance Systems. *Statistics in Medicine*, 32(7), 1206–1222. <https://doi.org/10.1002/sim.5595>.
- Nunes, B., Viboud, C., Machado, A., Ringholz, C., Rebelo-de-Andrade, H., Nogueira, P., Miller, M. (2011). Excess Mortality Associated with Influenza Epidemics in Portugal, 1980 to 2004. *PLoS ONE*, 6(6), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020661>.
- Pollard, C. A., Morran, M. P., Nestor-Kalinoski, A. L. (2020). The COVID-19 pandemic: a global health crisis. *Physiol Genomics*, 52(11), 549–557. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00089.2020>.

- Samson, L. W., Tarazi, W., Orav, E. J., Sheingold, S., De Lew, N., Sommers, B. D. (2021). *Associations Between County-level Vaccination Rates and COVID-19 Outcomes Among Medicare Beneficiaries*. Assistant Secretary for Planning and Evaluation. <https://aspe.hhs.gov/sites/default/files/documents/28ac37547b3a41855dce8d2d1cbf3c04/aspe-covid-medicare-vaccine-analysis.pdf>.
- Scortichini, M., dos Santos, R. S., De' Donato, F., De Sario, M., Michelozzi, P., Davoli, M., Masselot, P., Sera, F., Gasparrini, A. (2020). Excess mortality during the COVID-19 outbreak in Italy: a two-stage interrupted time-series analysis. *International Journal of Epidemiology*, 49(6), 1909–1917. <https://doi.org/10.1093/ije/dyaa169>.
- Simonsen, L., Reichert, T. A., Viboud, C., Blackwelder, W. C., Taylor, R. J., Miller, M. A. (2005). Impact of Influenza Vaccination on Seasonal Mortality in the US Elderly Population. *Archives of Internal Medicine*, 165(3), 265–272. <https://doi.org/10.1001/archinte.165.3.265>.
- Sinnathamby, M. A., Whitaker, H., Coughlan, L., Lopez Bernal, J., Ramsay, M., Andrews, N. (2020). All-cause excess mortality observed by age group and regions in the first wave of the COVID-19 pandemic in England. *Euro Surveill*, 25(28), 1–6. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.28.2001239>.
- Szukalski, P. (2012). *Sytuacja demograficzna Łodzi. Zapaść demograficzna miasta i jej skutki dla przyszłości Łodzi*. Wydawnictwo Biblioteka.
- Vestergaard, L. S., Nielsen, J., Richter, L., Schmid, D., Bustos, N., Braeye, T., Denissov, G., Veideman, T., Luomala, O., Möttönen, T., Fouillet, A., Caserio-Schönemann, C., an der Heiden, M., Uphoff, H., Lytras, T., Gkolfinopoulou, K., Paldy, A., Domegan, L., O'Donnell, J., De' Donato, F., ... (2020). Excess all-cause mortality during the COVID-19 pandemic in Europe – preliminary pooled estimates from the EuroMOMO network. *Eurosurveillance*, 25(26), 1–6. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.26.2001214>.
- Wojtyniak, B., Goryński, P. (red.). (2008). *Sytuacja zdrowotna ludności Polski*. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny.
- Wojtyniak, B., Rabchenko, D., Juszczuk, G. (2021). *Analiza ryzyka zgonu z powodu ogółu przyczyn oraz z powodu COVID-19 osób zaszczepionych i niezaszczepionych przeciw COVID-19*. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy. <https://www.pzh.gov.pl/raport-analiza-ryzyka-zgonu-z-powodu-ogolu-przyczyn-oraz-z-powodu-covid-19-osob-zaszczepionych-i-niezaszczepionych/>. <https://doi.org/10.32394/niph.001>.
- Wojtyniak, B., Rabchenko, D., Juszczuk, G. (2022). *Analiza ryzyka zgonu z powodu ogółu przyczyn oraz z powodu COVID-19 osób zaszczepionych i niezaszczepionych przeciw COVID-19*. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy. <https://www.pzh.gov.pl/raport-analiza-ryzyka-zgonu-z-powodu-ogolu-przyczyn-oraz-z-powodu-covid-19-osob-zaszczepionych-i-niezaszczepionych/>.
- World Health Organization. (2020). *International guidelines for certification and classification (coding) of COVID-19 as cause of death*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/classification/icd/covid-19/guidelines-cause-of-death-covid-19-20200420-en.pdf?sfvrsn=35fdd864_2&download=true.
- Zhang, C., Maruggi, G., Shan, H., Li, J. (2019). Advances in mRNA Vaccines for Infectious Diseases. *Frontiers in Immunology*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.00594>.