

# Nadmiarowe zgony podczas pandemii a szczepienia przeciw COVID-19

Błażej Kochański<sup>a</sup>, Jakub Sochacki<sup>b</sup>

**Streszczenie.** Pandemia wywołana wirusem SARS-CoV-2 spowodowała miliony zgonów na całym świecie. Szczepienia przeciw COVID-19 okazały się środkiem skutecznie ograniczającym skalę zachorowań i zgonów z powodu tej choroby. Celem badania jest pomiar skali pandemii za pomocą nadmiarowych zgonów w poszczególnych podregionach NUTS 3 w Polsce, a następnie zbadanie zależności pomiędzy zróżnicowaniem regionalnym nadwyżki zgonów w ostatniej fali pandemii a stopniem zaszczepienia. Dodatkowym celem jest wyznaczenie nadmiarowych zgonów w Polsce w poszczególnych grupach wiekowych. W artykule przedstawiono pomiar umieralności spowodowanej w Polsce przez poszczególne fale pandemii COVID-19 między marcem 2020 r. a lutym 2022 r. dokonany za pomocą oceny liczby nadmiarowych zgonów, rozumianych jako nadwyżka zgonów zarejestrowanych nad poziomem oczekiwanym. Dane wykorzystane w badaniu pochodzą z zasobów Głównego Urzędu Statystycznego oraz Eurostatu. Podział nadmiarowych zgonów na grupy wieku wskazuje, że niemal 90% nadmiarowych zgonów to zgony osób w wieku 60 i więcej lat. Pomiar w podziale na podregiony NUTS 3 pozwala stwierdzić, że korelacja pomiędzy nadmiarowymi zgonami a udziałem zaszczepionych w podregionach jest ujemna i dość silna. Przy założeniu występowania prostej regresji liniowej w tym zakresie okazuje się, że dodatkowy 1 procent osób zaszczepionych w starszych grupach wieku przełożyłby się średnio na spadek liczby zgonów w czwartej fali pandemii o około 2 tysiące w skali kraju. Wynik ten wskazuje na to, że szczepienia przeciw COVID-19 były skuteczne w zapobieganiu zgonom wśród osób starszych (w wieku 60 i więcej lat).

**Słowa kluczowe:** nadmiarowe zgony, szczepienia, COVID-19

**JEL:** I18, J10, J14, J18

## Excess deaths during the pandemic and vaccination against COVID-19

**Abstract.** The coronavirus outbreak has caused millions of deaths worldwide. Vaccination against COVID-19 has proved to be an effective measure in reducing the infection and death rates. The aim of the study is to measure the scale of the pandemic by means of excess deaths for individual NUTS 3

---

<sup>a</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Zarządzania i Ekonomii, Polska / Gdańsk University of Technology, Faculty of Management and Economics, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8502-931X>. E-mail: [blazej.kochanski@pg.edu.pl](mailto:blazej.kochanski@pg.edu.pl).

<sup>b</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Polska / Gdańsk University of Technology, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8500-4390>.

subregions in Poland, and then to examine the association between regional variation in excess deaths during the last wave of the pandemic and the degree of vaccination. An additional goal is to determine excess deaths in Poland in particular age groups. The article presents the assessment of mortality caused in Poland by subsequent waves of the COVID-19 pandemic between March 2020 and February 2022, using of excess deaths, understood as a surplus over the expected level. The primary data sources utilized in this research encompass the Statistics Poland – GUS and Eurostat databases. Division of excess deaths into age groups indicates that almost 90% of excess deaths were deaths of people aged 60 and over. Breakdown by NUTS 3 subregions shows a strong negative correlation between excess deaths and the vaccination level. Based on a simple linear regression, an additional 1 percentage point of those vaccinated in older age groups would have translated, on average, to a fall in deaths in the fourth wave of the pandemic by around 2,000 nationwide. This result indicates that vaccinations against COVID-19 were effective in preventing deaths among older people (aged 60+).

**Keywords:** excess deaths, vaccination, COVID-19

## 1. Wprowadzenie

Zgodnie z oficjalnymi danymi, rezultatem pandemii spowodowanej przez koronawirusa SARS-Cov-2 i wywoływanej przez niego choroby COVID-19 są miliony zgonów na całym świecie. Według ourworldindata.org (Ritchie i in., 2020) do końca lutego 2022 na świecie zarejestrowano 437 milionów zakażeń koronawirusem oraz 6 milionów zgonów przypisanych COVID-19. Dokładne oszacowanie wpływu koronawirusa na umieralność na świecie oraz w poszczególnych państwach i regionach może być utrudnione z uwagi na występujące różnice w możliwościach przeprowadzania testów diagnostycznych i niejednolitoną praktykę raportowania (Riffe i in., 2021). Beaney i in. (2020) wskazują, że pomiaru umieralności wynikającej z pandemii można dokonać nie odwołując się do zdiagnozowanych przypadków choroby lub zakażenia, a zamiast tego opierając się na danych o liczbie zgonów ogółem. W takiej sytuacji wyznacza się poziom nadmiarowych zgonów rozumianych jako nadwyżka rzeczywiście zarejestrowanych zgonów nad oczekiwanym poziomem tychże. Takie podejście jest praktyką znaną w epidemiologii. Na przykład Collins i Lehmann (1953), Housworth i Langmuir (1974), Alling i in. (1981), Reichert i in. (2004), Simonsen i in. (2013) stosowali metody oparte o nadmiarowe zgony do szacowania umieralności spowodowanej epidemiami grypy. Nadmiarowe zgony w kontekście COVID-19 przedstawiali między innymi Kontis i in. (2020), Islam i in. (2021), Böttcher i in. (2021),

Konstantinoudis i in. (2022). Nadmiarowe zgony w czasie pandemii były również przedmiotem publikacji OECD (2021).

W literaturze polskiej nadwyżkowe zgony w związku z pandemią COVID-19 analizował m.in. Murkowski (2021). Pokazał on, że nadmiarowe zgony w 2020 r. dotyczyły przede wszystkim osób starszych oraz częściej mężczyzn niż kobiet. Nadwyżkowe zgony znacznie przekraczały oficjalne zgony z powodu COVID-19, co najprawdopodobniej można wyjaśnić w dużej części niewłaściwym określeniem przyczyny zgonu jako innego niż spowodowanego COVID-19 oraz zgonami pośrednio spowodowanymi przez pandemię, w związku z ograniczeniem dostępu do systemu ochrony zdrowia w czasie szczytów zachorowań. Podobne wyjaśnienie różnicy pomiędzy wielkością nadmiarowych zgonów a zgonami przypisanymi COVID-19 przedstawiły Jaroszewska i Ołdak (2022), a także Czerwiński (2021). Komitet Nauk Demograficznych PAN w swoim raporcie na temat pandemii i jej skutków zdrowotnych (Kuroпка i in., 2022) również podjął temat nadmiarowych zgonów w 2020 roku. Podobnie jak Murkowski (2021), Kuroпка i in. (2022) pokazali, że nadmiarowe zgony w 2020 r. wyraźnie w większym stopniu dotyczyły mężczyzn niż kobiet. W raporcie stwierdzono również, że nadwyżkowe zgony nie charakteryzowały się wzorcami regionalnymi. Innymi słowy, nie można było wskazać jednoznacznych obszarów, gdzie nadmiernie zwiększona śmiertelność była szczególnie widoczna. Podobne wnioski przedstawił również Śleszyński (2022), który analizując dane na poziomie gmin stwierdził, że w 2020 roku wzrost natężenia zgonów był „dość egalitarny”.

Zaproponowano wiele metod wyznaczania nadmiarowych zgonów. Przegląd takich metod oraz porównanie sześciu z nich w kontekście COVID-19 przedstawili Levitt i in. (2022). W tym artykule zastosowano metodę zaproponowaną przez Karlinsky’ego i Kobaka (2021) – przystępną koncepcyjnie, niewymagającą złożonych założeń i skomplikowanego aparatu matematycznego, a jednocześnie uwzględniającą sezonowość zgonów i trendy umieralności.

Szczepienia przeciw COVID-19 wprowadzono na przełomie 2020 i 2021 roku. Skuteczność szczepionek w zapobieganiu zachorowaniu wynosi, jak się szacuje na podstawie randomizowanych testów klinicznych, od 61% dla niestosowanych w Polsce szczepionek z inaktywowanym wirusem do 95% dla szczepionek mRNA (Korang i in., 2022). Na podstawie rzeczywistej praktyki klinicznej wykazano, że szczepienia zapobiegają hospitalizacji ze skutecznością 89,1%, zaś zgonom – ze skutecznością 99% (Zheng i in., 2022). Danych o skuteczności szczepień dostarczają również badania regionalne, czyli pokazujące współzależność

między stopniem zaszczepienia a poziomem zachorowań związanych z COVID w poszczególnych regionach, przeprowadzone przede wszystkim dla USA. Na przykład Harris (2022) na podstawie danych pochodzących ze 112 okręgów (counties) USA o największej populacji pokazał, że istnieje ujemna korelacja pomiędzy stopniem zaszczepienia a zachorowaniami i hospitalizacjami związanymi z COVID-19. Do podobnych wniosków doszli McLaughlin i in. (2022), którzy wykorzystali dane ze wszystkich okręgów USA uwzględniając socjodemograficzne, środowiskowe, ekonomiczne i zdrowotne zmienne kontrolne. Badania pokazujące skuteczność szczepień na poziomie całych krajów przedstawili również Jabłońska, Aballéa i Toumi (2021), Ning i in. (2022), Papadopoulos i in. (2022) oraz Haider i in. (2023). Dla Polski próbę wyznaczenia korelacji regionalnej między liczbą zgonów a stopniem zaszczepienia podjęli Lewandowski i Madoń (2022). Porównując na poziomie powiatów różnicę w liczbie zgonów między okresem październik-grudzień 2021 a okresem marzec-maj 2021 z odsetkiem osób zaszczepionych stwierdzili silną ujemną korelację między tymi dwiema wielkościami (-0,41).

Celem badania opisanego w tym artykule jest pomiar skali pandemii za pomocą nadmiarowych zgonów w poszczególnych podregionach NUTS 3 w Polsce, a następnie zbadanie zależności pomiędzy zróżnicowaniem regionalnym nadwyżki zgonów w ostatniej fali pandemii a stopniem zaszczepienia. Dodatkowym celem jest wyznaczenie nadmiarowych zgonów w Polsce w poszczególnych grupach wiekowych. Jest to pierwsze zastosowanie metody zaproponowanej przez Karlinsky'ego i Kobaka (2021) dla Polski na poziomie podregionów NUTS 3, oraz pierwsza prezentacja korelacji nadmiarowych zgonów z poziomem szczepień dla tego podziału regionalnego.

## **2. Metoda badania**

W badaniu wyznaczono nadmiarowe zgony na poziomie ogólnopolskim, a także w poszczególnych podregionach NUTS 3 i grupach wieku. Następnie uzyskane wielkości wykorzystano do zbadania zależności statystycznej pomiędzy stopniem zaszczepienia a nadwyżkowymi zgonami (wyrażonymi jako procentowa nadwyżka nad liczbę zgonów przewidywaną przed model). Do oszacowania nadmiarowych zgonów posłużono się modelem Karlinsky'ego i Kobaka (2021). Związek między poziomem szczepień a nadwyżkowymi

zgonami zmierzono na poziomie podregionów NUTS 3, wykorzystując współczynnik korelacji Pearsona i prosty model regresji liniowej. Okres objęty badaniem to okres, w którym zaobserwowano podwyższony poziom zgonów, czyli okres pomiędzy sierpniem 2020 a lutym 2022. Tygodniowe dane o zgonach w podziale na podregiony NUTS 3 i grupy wieku pochodzą z zasobów Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2022), zaś dane o stopniu zaszczepienia zaczerpnięto z bazy opublikowanej przez Centrum e-Zdrowia (2022).

Po wybuchu pandemii wzrosło zainteresowanie danymi o umieralności – media, opinia społeczna, analitycy i badacze oczekiwali, że dane te będą pojawiać się szybko, z większą częstotliwością oraz że będą dostępne również w podziale na wiek, płeć i regiony. W odpowiedzi na to zapotrzebowanie Eurostat zdecydował się regularnie zbierać i publikować dane o tygodniowej liczbie zgonów w poszczególnych państwach i regionach. Dane dla Polski, wykorzystane w tym artykule, przygotowuje Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2022), udostępnione są one również w przystępnej formie na stronach Eurostatu. Dane tygodniowe o liczbie zgonów są dostępne dla Polski (podobnie jak dla wielu innych państw UE) na poziomie podregionów (NUTS 3) grupujących powiaty, stąd też badanie przeprowadzone jest właśnie na takim poziomie regionalnym. Warto przy tej okazji zwrócić uwagę, że dane o liczbie zgonów (jak i wykorzystywane w tym badaniu dane o szczepieniach) wydają się być kompletne i wiarygodne; z drugiej jednak strony analizę tę może zaburzać fakt, że ze względu na niezarejestrowane migracje najbardziej atrakcyjne aglomeracje są niedoszacowane pod względem liczby stałych mieszkańców (por. np. Śleszyński i Niedzielski, 2018). Błąd ten może zaburzać otrzymane wyniki, podobnie jak ma to miejsce w przypadku wszelkich innych analiz ludności opartych na danych regionalnych GUS. Błąd ten mógł zostać przynajmniej częściowo samoczynnie zniwelowany w przypadku analizy korelacji pomiędzy nadmiarowymi zgonami a udziałem osób zaszczepionych, ponieważ obie zmienne mają charakter względny, a wspomniane zaburzenie mogło w podobnym stopniu dotknąć obu zmiennych.

Dane o odsetku osób zaszczepionych zaczerpnięto ze stron rządowych (Centrum e-Zdrowia, 2022). W badaniu wykorzystano dane o zaszczepieniu na dzień 13 października 2021 roku. Co prawda za początek czwartej fali uznano w tym badaniu pierwszy dzień 37 tygodnia (2021-09-13), ale od 13 października na stronach rządowych zaczęto przedstawiać znacznie dokładniejsze dane o odsetku osób zaszczepionych. Oprócz danych dotyczących całej populacji od tego momentu zaczęły być dostępne dane o liczbie zaszczepionych w poszczególnych grupach wieku.

Do oszacowania nadmiarowych zgonów wykorzystano podejście zaproponowane przez Karlinsky'ego i Kobaka (2021). Dla każdej z grup (u Karlinsky'ego i Kobaka grupami są państwa, w tym artykułach są to podregiony lub grupy wieku) nadmiarowe zgony w poszczególnych tygodniach lat 2020-2022 obliczone są jako nadwyżka zaobserwowanych zgonów nad wartością bazową dla każdego tygodnia osobno. Wartość bazowa (referencyjna) wyznaczona jest na podstawie regresji liniowej zbudowanej osobno dla każdej grupy w wykorzystaniem danych historycznych z lat 2015-2019:

$$D_{t,Y} = \alpha_t + \beta \cdot Y + \varepsilon, \quad (1)$$

gdzie  $D_{t,Y}$  to liczba zgonów w danym tygodniu  $t$  w roku  $Y$ ,  $\beta$  – nachylenie linii regresji obrazujące roczny trend,  $\alpha_t$  – wyrazy wolne dla każdego z tygodni, a  $\varepsilon$  oznacza szum losowy. Taka konstrukcja modelu uwzględnia w prosty sposób zarówno trend roczny (wynikający między innymi, w szczególności w przypadku regionów, ze struktury demograficznej), jak i tygodniową sezonowość zgonów w ciągu roku. Należy zwrócić uwagę, że porównanie liczby zgonów z jednego tygodnia w danym roku do danych z tego samego tygodnia w kilku poprzedzających latach to uproszczenie. W rzeczywistości sezonowość oraz jej powtarzalność w kolejnych latach dobrze zaobserwować można na sumach uwzględniających kilka-kilkanaście następujących po sobie tygodni, np. na wynikach miesięcznych. W tym artykule wykorzystujemy wyniki tygodniowe łącząc je ze sobą w okresy zwiększonej liczby zgonów („fale”).

Wartość bazowa („referencyjna”)  $B_{t,Y}$  to wartość przewidywana przez model regresji dla każdego z regionów:

$$B_{t,Y} = \hat{\alpha}_t + \hat{\beta} \cdot Y, \quad (2)$$

gdzie  $Y$  to 2020, 2021 lub 2022. Ze względu na fakt, że tydzień 53 według normy ISO ma charakter przestępny i występuje tylko w niektórych latach, jako wartość bazową dla 53 tygodnia 2020 roku wykorzystano wartość teoretyczną z modelu obliczoną dla tygodnia 52 tego roku (identycznie Karlinsky i Kobak, 2021).

Mając wartości bazowe można wyznaczyć wartość nadmiarowych zgonów dla kolejnych tygodni, zaczynając od 2020 r.:

$$\Delta_{t,Y} = D_{t,Y} - B_{t,Y} \quad (3)$$

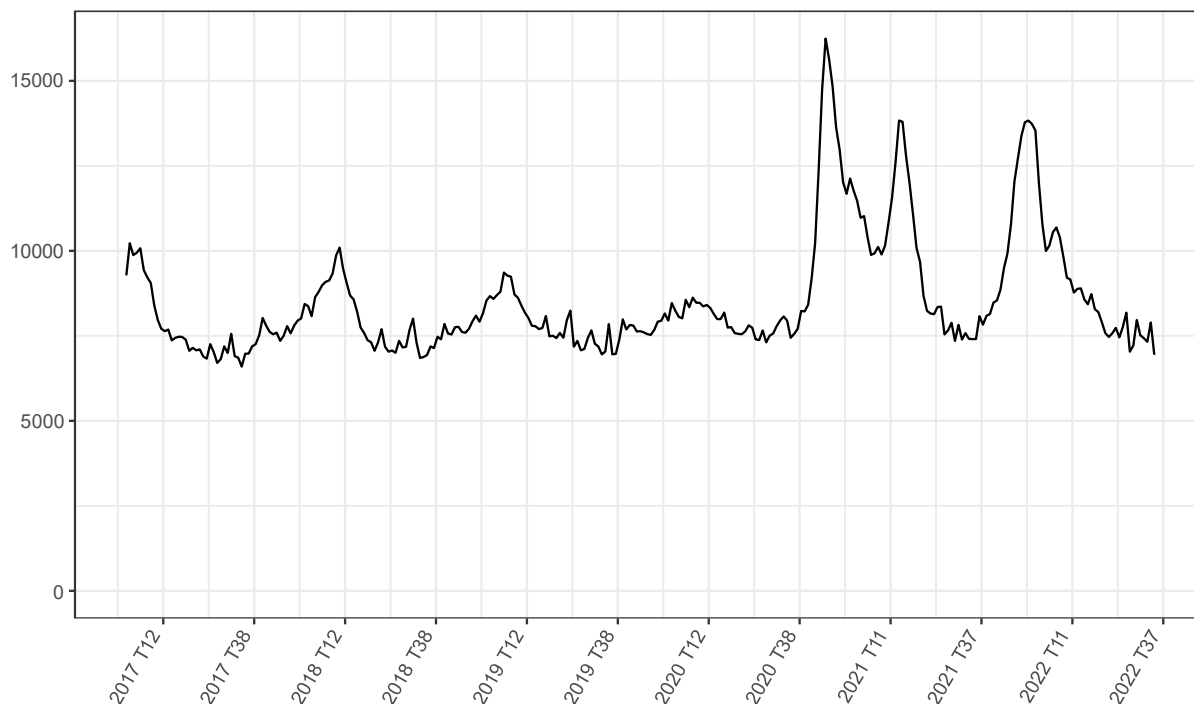
Zastosowana metoda ułatwia przedstawienie nadwyżkowych zgonów w rozbiciu na składowe (podregiony NUTS 3, grupy wieku), ponieważ suma liczby nadmiarowych zgonów dla poszczególnych składowych równa się liczbie nadmiarowych zgonów wyznaczonej dla całej Polski. Wynika to z faktu, że zarówno liczba rzeczywistych zgonów, jak i ich liczba przewidywana przez model (wartość bazowa) stanowi sumę odpowiednio rzeczywistych i przewidywanych wartości dla odpowiednich grup. W przypadku rzeczywistej liczby zgonów jest to oczywiste, zaś w przypadku wartości bazowych wynika to z liniowej zależności pomiędzy wartościami przewidywanymi przez model regresji dla całego kraju  $\hat{y}_t$  i wartościami przewidywanymi dla części składowych ( $\hat{y}_i$ ).

$$\mathbf{y}_t = \Sigma \mathbf{y}_i \Rightarrow \hat{\mathbf{y}}_t = \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y}_t = \mathbf{H}\mathbf{y}_t = \mathbf{H}\Sigma \mathbf{y}_i = \Sigma \mathbf{H}\mathbf{y}_i = \Sigma \hat{\mathbf{y}}_i \quad (4)$$

### 3. Fale pandemii COVID-19 i nadmiarowe zgony w Polsce

Na wyk. 1 przedstawiono liczbę zgonów w Polsce w kolejnych tygodniach od 2017 roku. Jak widać, dane o całkowitej liczbie zgonów charakteryzują się roczną sezonowością – w minionych latach zimą, w sezonie grypowym, liczba zgonów była wyższa niż w lecie. Podobnie jak w innych państwach, w Polsce zaobserwowano wyraźne fale związane z pandemią COVID-19 pomiędzy październikiem 2020 r. a kwietniem 2021 r. i od października 2021 r.

**Wykr. 1.** Liczba zgonów w Polsce w kolejnych tygodniach



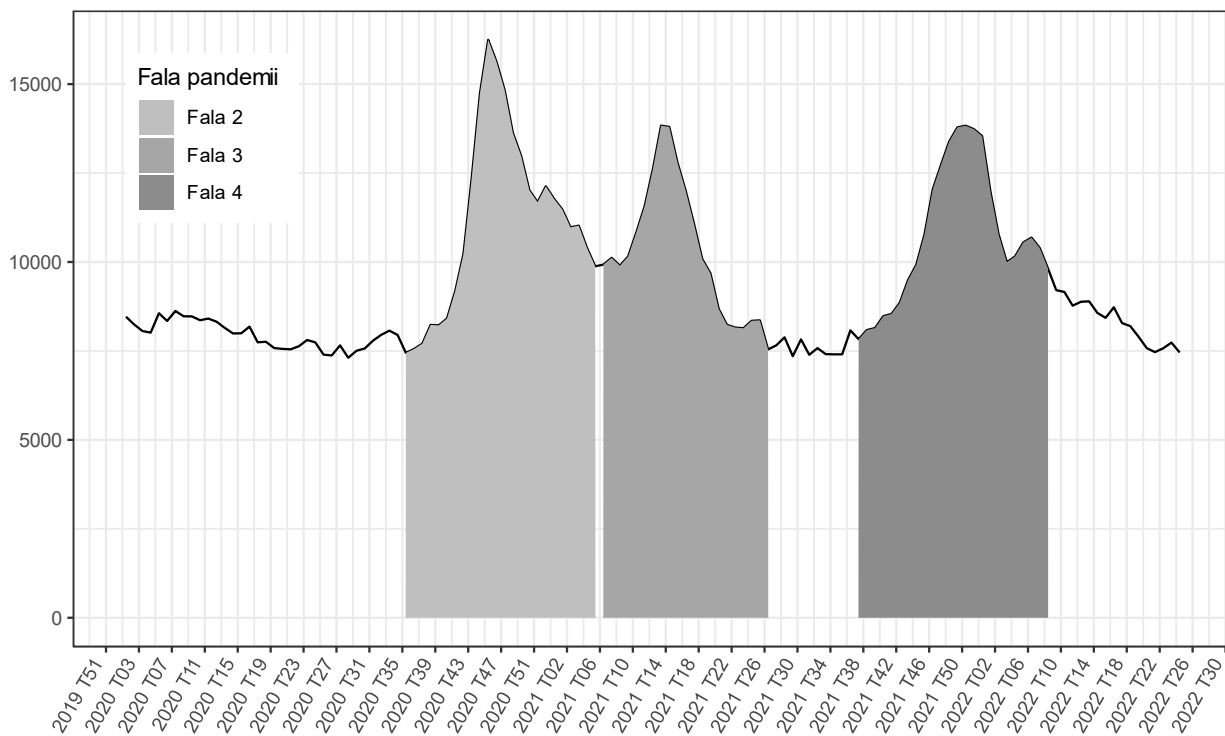
Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

Środki społecznego przekazu nadały poszczególnym falom nadmiarowej umieralności kolejne numery (Jassat i in., 2021; por. np. Taboada i in., 2021). Zwykle zakłada się, że pierwsza fala tego rodzaju rozpoczęła się wczesną wiosną 2020 r. W Europie – np. we Włoszech – zaobserwowano wzrost liczby zgonów (Ciminelli i Garcia-Mandicó, 2020), jednak w Polsce nie było wyraźnej nadmiarowej umieralności.

Na wyk. 2. zilustrowano kolejne fale rozpatrywanego zjawiska. Szarymi polami o rosnącej intensywności oznaczono drugą, trzecią i czwartą falę pandemii. Na podstawie danych przedstawionych na wykresie na potrzeby tego artykułu przyjęto, że druga fala pandemii miała w Polsce miejsce pomiędzy 35 tygodniem 2020 roku a 5 tygodniem 2021 roku, trzecia - pomiędzy 6 a 26 tygodniem 2021 roku, zaś czwarta fala pomiędzy 37 tygodniem 2021 roku a 8 tygodniem 2022 roku.



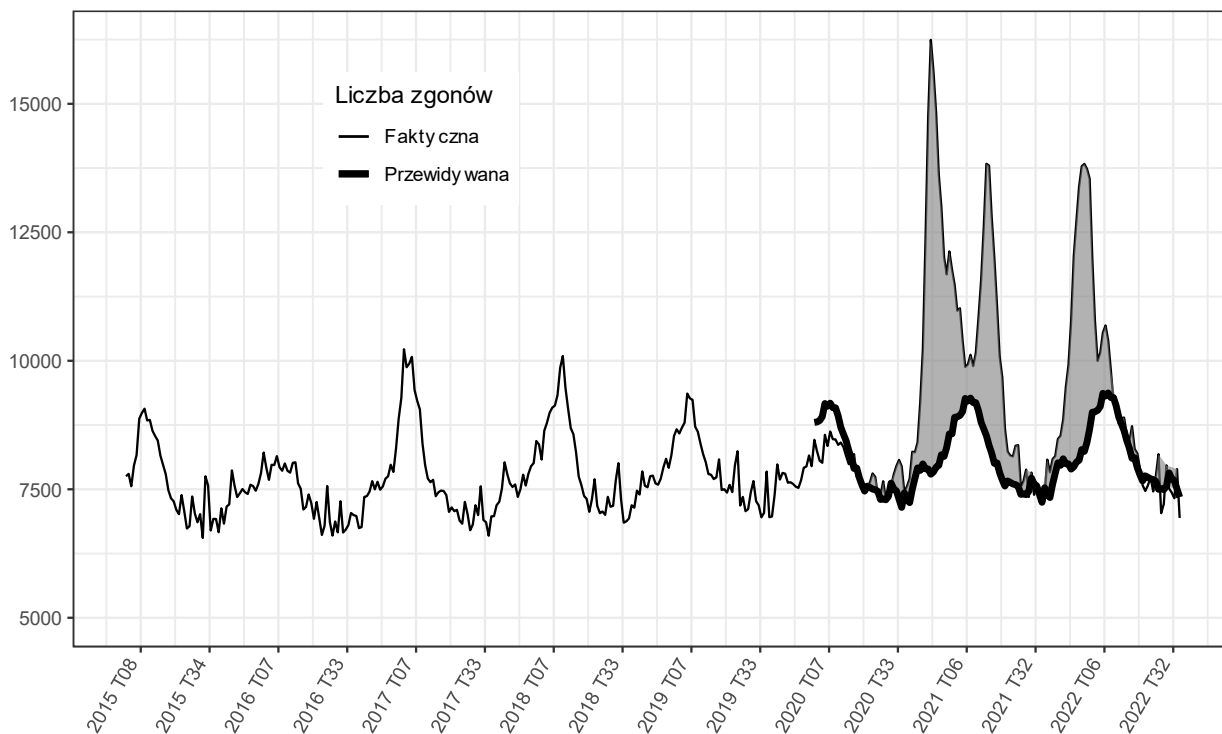
**Wykr. 2.** Tygodniowa liczba zgonów w Polsce



Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

Na wyk. 3. przedstawiono wartości bazowe (pogrubiona czarna linia) oraz nadmiarowe zgony (szary obszar pomiędzy wartościami benchmarku a rzeczywistą liczbą zgonów).

**Wykr. 3.** Tygodniowa liczba zgonów w Polsce porównanie z wartościami bazowymi



Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

Korzystając ze wzoru (3), można stwierdzić, że w poszczególnych falach w Polsce zarejestrowano następujące liczby nadmiarowych zgonów: w drugiej fali 73 663, w trzeciej fali 42 812, zaś w czwartej fali 55 371 (łącznie: 171 846 zgonów).

#### 4. Struktura nadmiarowych zgonów według wieku

W dalszej części artykułu zostanie przedstawiona struktura nadmiarowych zgonów z podziałem na regiony. Wcześniej jednak przedstawiono strukturę demograficzną z podziałem według grup wieku (w danych dostarczonych przez GUS tygodniowa liczba zgonów jest dostępna w podziale regionalnym i według płci oraz wieku). Dane podano w tabelicy.

**Tablica. Struktura nadmiarowych zgonów z podziałem na grupy wieku**

Grupa wieku	2. fala 27.08.2020-04.02.2021		3. fala 11.02.2021-01.07.2021		4. fala 16.09.2021-24.02.2022	
	w liczbach bezwzględnych	w %	w liczbach bezwzględnych	w %	w liczbach bezwzględnych	w %
	RAZEM	73663	100,0	42812	100,0	55371
< 10	.	.	.	.	.	.
10-19	30	0,0	49	0,1	33	0,1
20-29	230	0,3	104	0,2	252	0,5
30-39	477	0,6	422	1,0	659	1,2
40-49	1628	2,2	1588	3,7	1723	3,1
50-59	4111	5,6	3581	8,4	3921	7,1
60-69	11024	15,0	8891	20,8	6629	12,0
70-79	21814	29,6	16085	37,6	17521	31,6
80-89	24251	32,9	9140	21,3	16298	29,4
>= 90	10190	13,8	3018	7,0	8370	15,1

Uwaga. Ze względu na zaokrąglenia oraz pominięcie wartości ujemnych (najmłodsza grupawieku) suma wartości procentowych nie stanowi 100%.

Źródło: Obliczenia własne na podstawie zbioru danych „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

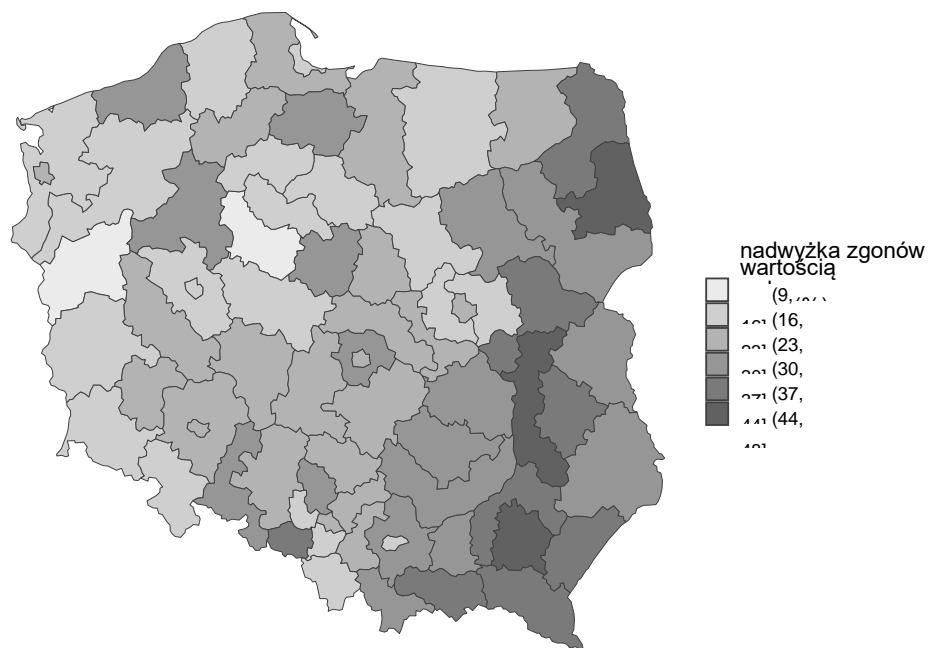
Nadmiarowe zgony, podobnie jak zgony rozpoznane jako spowodowane COVID-19 są przede wszystkim skoncentrowane w najwyższych przedziałach wieku (Ghisolfi i in., 2020; Green i in., 2021; Levin i in., 2020). W trzech falach rzezonej choroby łącznie nadmiarowe zgony osób w wieku 60+ stanowią 89,2% całości nadmiarowych zgonów, a osób w wieku 70 lat i więcej – 73,6%.

## 5. Zróżnicowanie regionalne nadmiarowych zgonów

W sposób analogiczny do przedstawionego wcześniej podziału według grup wieku można rozdzielić łączną liczbę nadmiarowych zgonów na składowe regionalne. Informacje o tygodniowej liczbie zgonów są dostępne do poziomu jednostek NUTS 3 (podregiony) – jest więc możliwe wyznaczenie nadmiarowych zgonów w poszczególnych falach pandemii dla 73 podregionów NUTS 3. Z uwagi na fakt, że poszczególne regiony różnią się wielkością populacji, właściwym podejściem jest wyrażenie nadmiarowych zgonów w postaci procentowej nadwyżki nad wartością bazową (referencyjną).

Nadmiarowe zgony dla całej Polski przewyższały wartość bazową w przypadku drugiej fali o 37,8%, w przypadku trzeciej fali – o 24,7%, zaś w przypadku czwartej fali – o 28,3%. Wyniki obliczeń w podziale na podregiony – osobno dla drugiej, trzeciej i czwartej fali – przedstawiono na mapach 1a, 1b i 1c.

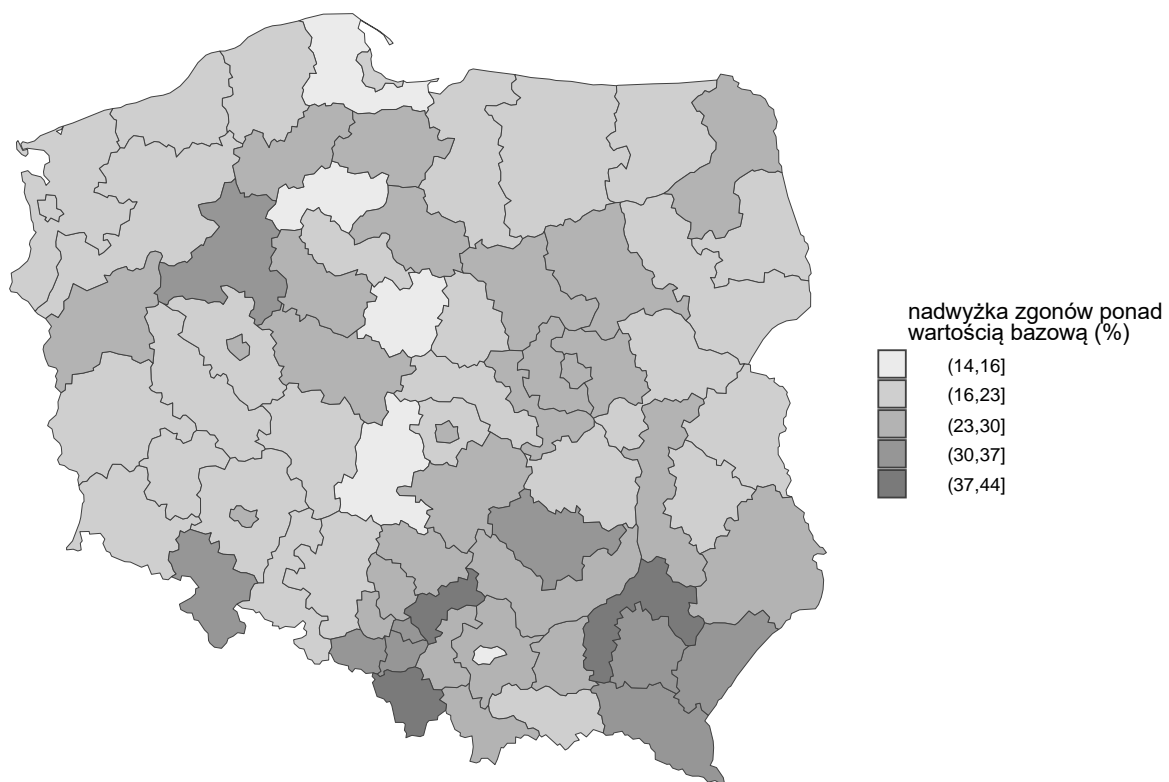
**Mapa 1a.** Zróżnicowanie regionalne nadmiarowych zgonów w 4. fali wyznaczonych jako % wartości bazowej (benchmarku) z podziałem na podregiony NUTS 3



Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat).

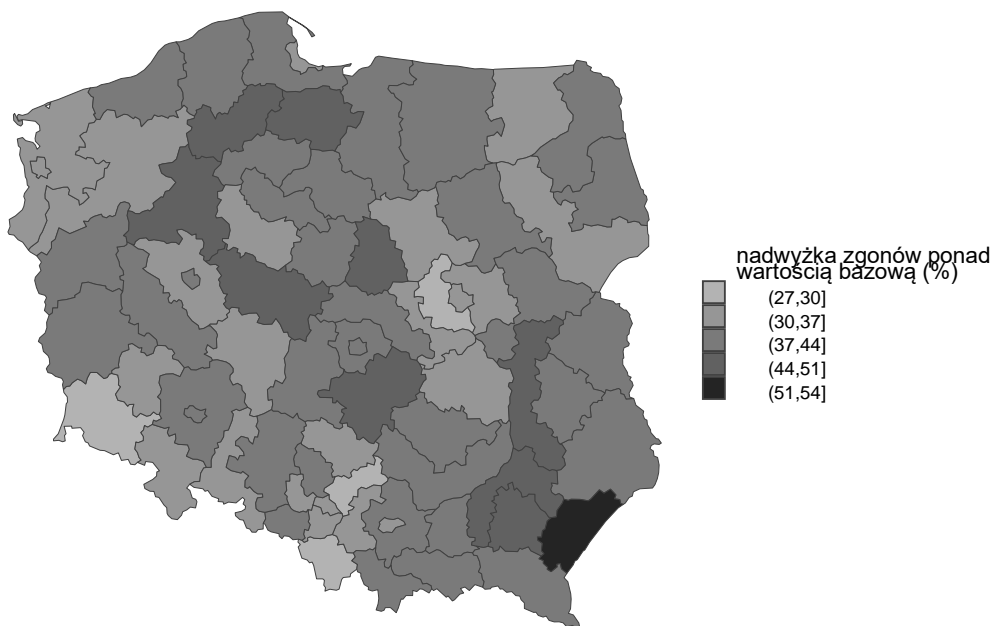
Na mapie 1a zaobserwować można wyraźnie wyższy odsetek nadmiarowych zgonów we wschodniej części kraju sięgający niemal 48% w niektórych regionach w porównaniu do zachodnich regionów, w których nadwyżka zgonów sięgała kilkunastu procent ponad wartości referencyjną. Zróżnicowanie między podregionami było największe podczas czwartej fali. Współczynnik zmienności wyniósł dla czwartej fali 28,9% (14,4% dla drugiej fali i 25,8% dla trzeciej fali).

**Mapa 1b.** Zróżnicowanie regionalne nadmiarowych zgonów w 3 fali z podziałem na podregiony NUTS 3



Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

**Mapa 1c.** Zróżnicowanie regionalne nadmiarowych zgonów w 2 fali z podziałem na podregiony NUTS 3

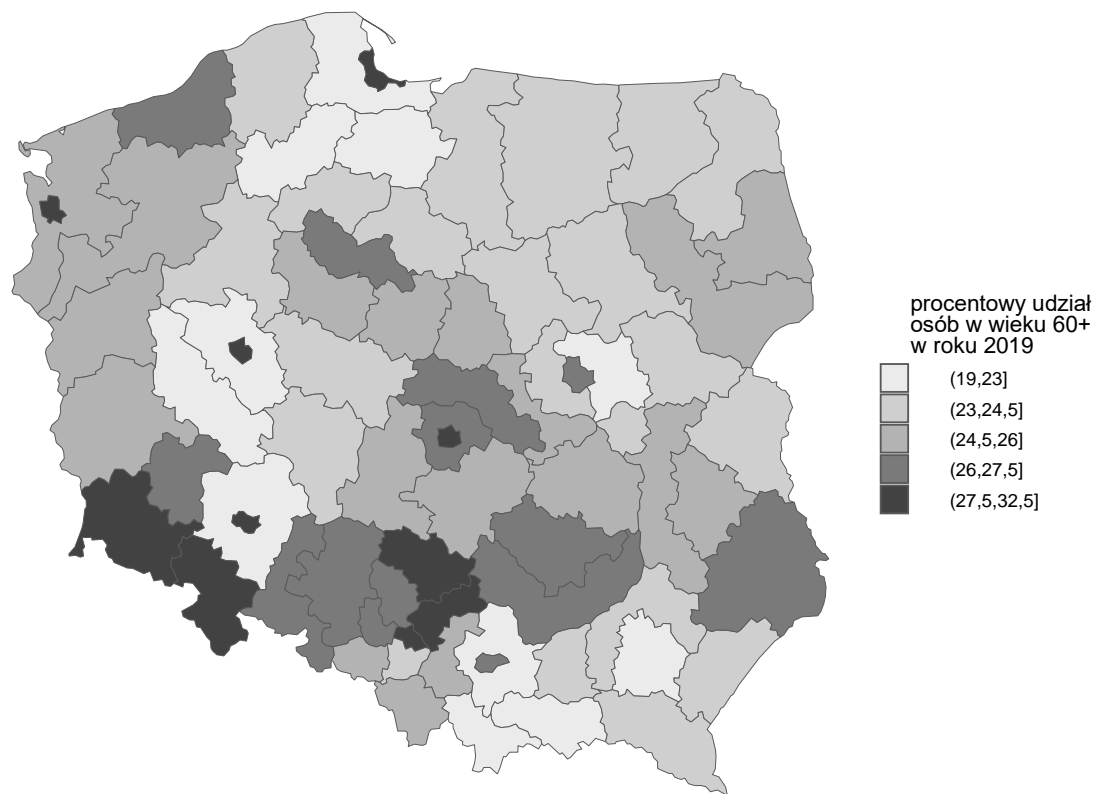


Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat).

Na mapie 1c. zaobserwować można pewne zróżnicowanie przestrzenne odsetka nadmiarowych zgonów podczas drugiej fali pandemii, która miała najbardziej gwałtowny charakter i skutkowała najwyższą spośród trzech fal liczbą zgonów. Pomimo to owo zróżnicowanie jest najniższe spośród analizowanych faz, natomiast zanotowany odsetek nadmiarowych zgonów był wysoki w całej Polsce.

Przypuszczać można, że nadzwyczajnie wysoka liczba nadmiarowych zgonów we wschodniej Polsce może być związana z dużym udziałem osób w wieku 60+ w liczbie ludności ogółem w poszczególnych podregionach. Jednak korelacja pomiędzy udziałem osób starszych w populacji podregionów a odsetkiem nadmiarowych zgonów w tych podregionach jest niewielka i wynosi -0,32, 0,11 i -0,15 odpowiednio dla drugiej, trzeciej i czwartej fali pandemii. Niska wartość współczynnika korelacji Pearsona oraz wyniki analizy kartogramu 2. nie wskazują, aby wyższy udział osób w wieku powyżej 60 lat w populacji regionów przed rozpoczęciem pandemii w Polsce zawyżał miarę nadmiarowych zgonów (sformułowaną w postaci względnej, jako odchylenie od wartości bazowej w %) w tych regionach.

**Mapa 2.** Udział osób starszych w liczbie ludności podregionów (NUTS 3) ogółem



Źródło: obliczenia własne na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS.

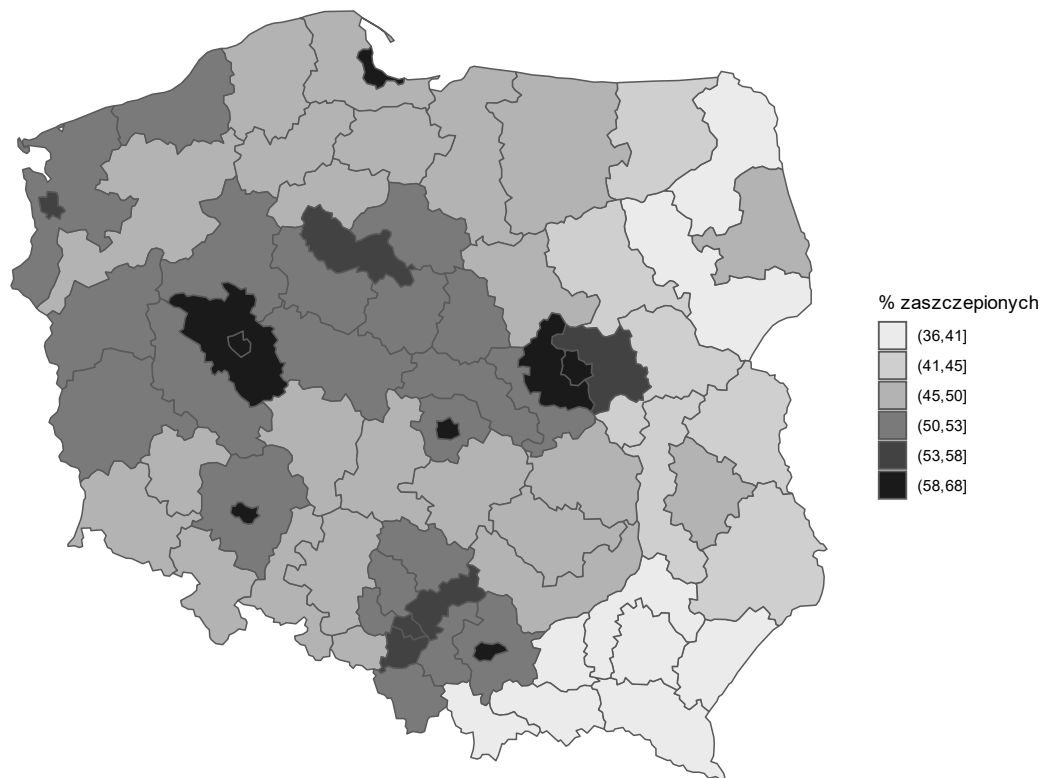
## 6. Szczepienia

Czwarta fala, podczas której zróżnicowanie regionalne nadmiarowych zgonów było największe, nastąpiła w momencie, kiedy dość duża część społeczeństwa była już zaszczepiona. Na kartogramach (mapy 3, 4a i 4b) zostało przedstawione zróżnicowanie regionalne odsetka osób zaszczepionych w całej populacji oraz w populacji osób w wieku 60+ i 70+. Za osobę zaszczepioną uznano w tym badaniu osobę zaszczepioną w pełni, to znaczy dwoma dawkami w przypadku szczepionki dwudawkowej i jedną dawką w przypadku szczepionki jednodawkowej.

Porównanie zróżnicowania regionalnego odsetka szczepień i nadmiarowych zgonów w trakcie czwartej fali pandemii w Polsce pozwala na stwierdzenie, że w dużej mierze te mapy pokrywają się – w podregionach bardziej zaszczepionych zaobserwowano niższy poziom nadwyżkowych

zgonów, natomiast w mniej zaszczepionych podregionach nadwyżkowa umieralność była znacznie większa.

**Mapa 3.** Zróżnicowanie regionalne poziomu udziału zaszczepionych

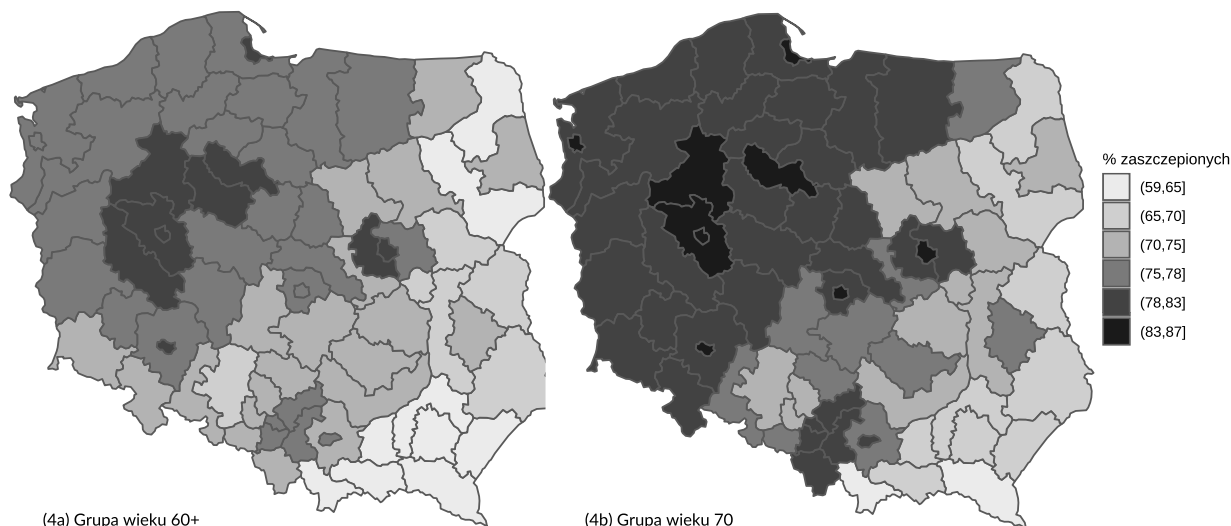


Źródło: obliczenia własne na podstawie Centrum e-Zdrowia (2022).

Na mapie 3. zilustrowano odesetek osób zaszczepionych w populacji poszczególnych regionów NUTS 3 na dzień 13 października 2021. Można zaobserwować wyraźnie wyższy poziom zaszczepienia w regionach z dużymi miastami, a także relatywnie niski odsetek zaszczepienia na wschodzie Polski w porównaniu do centralnych i zachodnich regionów. Warto zwrócić uwagę na podobieństwo do mapy 1a, na której widoczny był wyższy poziom zgonów ponad wartość referencyjną także na wschodzie kraju. Zależność ta zostanie poddana szczegółowemu badaniu korelacji w dalszej części artykułu.



**Mapy 4a, 4b.** Zróżnicowanie regionalne udziału zaszczepionych w grupach wieku 60+ i 70+



Źródło: obliczenia własne na podstawie Centrum e-Zdrowia (2022).

Kartogramy 4a. i 4b. przedstawiają zróżnicowanie przestrzenne poziomu zaszczepienia osób starszych, których w szczególności dotyczyć będzie dalsza część badania. Analizując postać map zauważa się, podobnie jak dla całości populacji, niższy odsetek zaszczepienia występujący szczególnie we wschodnich regionach Polski. Należy pamiętać, że osoby z grupy 70+ także znajdują się w grupie 60+, dlatego można stwierdzić że osoby w wieku powyżej 70 lat przyczyniły się do wyższego poziomu zaszczepienia ogółu populacji osób starszych (powyżej 60. roku życia).

## **7. Związek między nadwyżkowymi zgonami a stopniem zaszczepienia w podregionach**

Obserwacje zależności pomiędzy zaszczepieniem a zgonami poczynione na podstawie kartogramów można skwantyfikować za pomocą współczynnika korelacji i modelu regresji liniowej. Zbadano możliwość występowania korelacji odsetka nadmiarowych zgonów w trzech falach pandemii w stosunku do wartości referencyjnej z procentowym poziomem zaszczepienia ludności w podregionach NUTS 3 na dzień 13 października 2021.

**Schemat.** Poziom korelacji pomiędzy odsetkiem nadmiarowych zgonów a poziomem zaszczepienia ludności

		Odsetek osób zaszczepionych			
		[grupa wieku]			
		20-39	40-59	60-69	70+
Odsetek nadmiarowych zgonów [fala, grupa wieku]	Fala 2, grupa wieku 20-39	0,17	0,16	0,13	0,14
	Fala 2, grupa wieku 40-59	0,09	0,06	-0,02	-0,02
	Fala 2, grupa wieku 60-69	-0,2	-0,17	-0,18	-0,25
	Fala 2, grupa wieku 70+	-0,54	-0,47	-0,33	-0,37
	Fala 3, grupa wieku 20-39	-0,19	-0,2	-0,19	-0,17
	Fala 3, grupa wieku 40-59	0,23	0,18	0,12	0,18
	Fala 3, grupa wieku 60-69	0,07	0,06	-0,02	-0,04
	Fala 3, grupa wieku 70+	-0,21	-0,22	-0,25	-0,28
	Fala 4, grupa wieku 20-39	-0,06	-0,05	-0,04	-0,06
	Fala 4, grupa wieku 40-59	-0,01	-0,05	-0,14	-0,09
	Fala 4, grupa wieku 60-69	-0,49	-0,5	-0,55	-0,55
	Fala 4, grupa wieku 70+	-0,69	-0,7	-0,73	-0,71

Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022) oraz danych Centrum e-Zdrowia (2022).

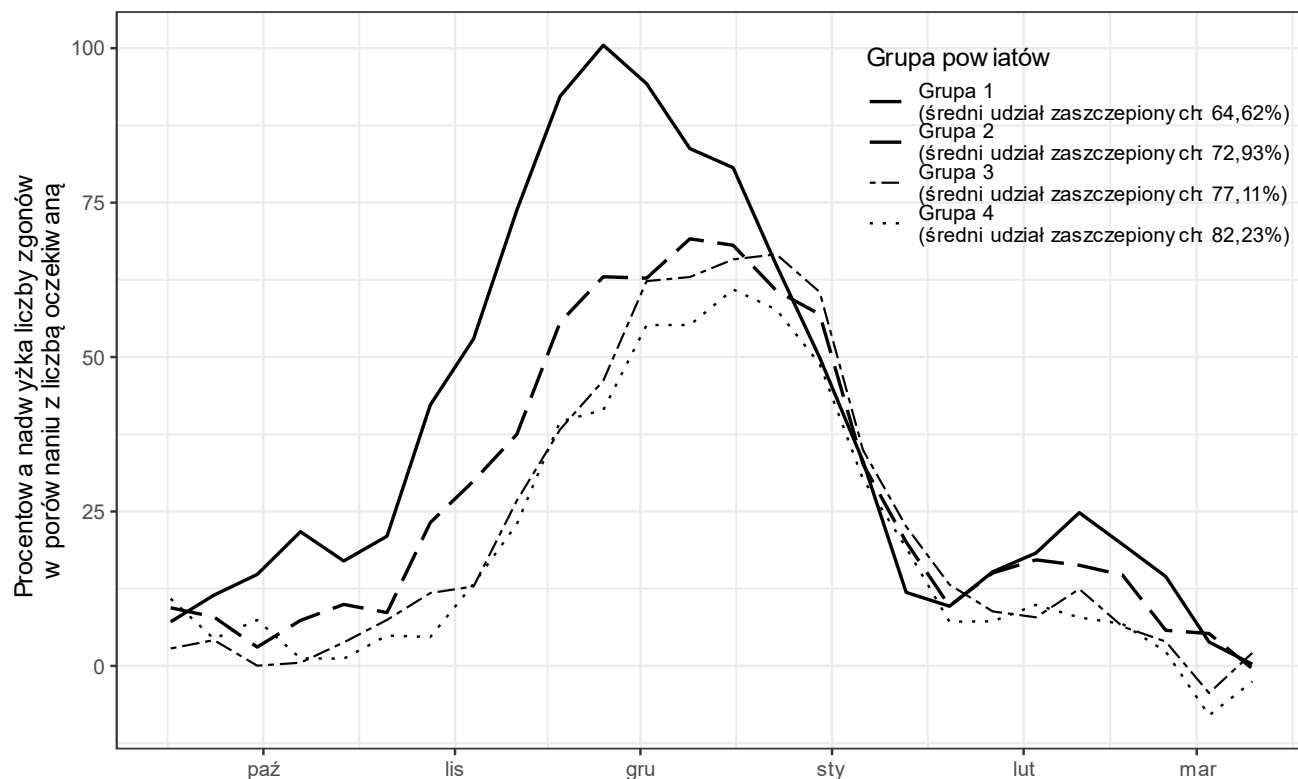
Z danych przedstawionych na schemacie. wynika, że w drugiej i trzeciej fali pandemii korelacje nie były silne, natomiast w czwartej fali pandemii można było zaobserwować silne powiązania pomiędzy odsetkiem nadmiarowych zgonów w starszych grupach wieku, a poziomem zaszczepienia ludności we wszystkich badanych grupach. Współczynnik korelacji pomiędzy powyższymi zmiennymi wyniósł odpowiednio -0,55 i -0,71 dla grup wieku 60-69 lat oraz 70 lat i więcej, a po połączeniu omawianych grup współczynnik korelacji pomiędzy poziomem zaszczepienia osób 60+ w poszczególnych podregionach a procentową nadwyżką zgonów dla wszystkich grup wiekulącznie okazał się ujemny i ukształtował się na poziomie -0,744. Współzależność w tym zakresie jest więc dość silna. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w każdej fali pandemii koronawirusa w Polsce niższy udział osób zaszczepionych w populacji podregionu

związany był głównie z wyższym odsetkiem nadmiarowych zgonów wśród seniorów powyżej 70 roku życia.

Korelacja nie oznacza zależności przyczynowo-skutkowej. Uwzględniając jednak szereg publikacji wskazujących na efektywność szczepionek przeciwko COVID-19 (por. np. Andrews i in., 2021; Nordström i in., 2021; Nunes i in., 2021) można założyć, że zaobserwowana korelacja nie jest wynikiem przypadku i jest potwierdzeniem skuteczności szczepień w przeciwdziałaniu zgonom spowodowanym zakażeniem koronawirusem.

Aby zilustrować zależność pomiędzy poziomem zaszczepienia ludności a przebiegiem nadmiarowych zgonów w 4. fali pandemii dokonano podziału podregionów na cztery grupy w zależności od udziału osób zaszczepionych w wieku 60+. Grupa 1. obejmuje podregiony, w których udział zaszczepionych jest niższy niż 70%. Grupa 2. to obszary charakteryzujące się udziałem zaszczepionych pomiędzy 70% a 75%. Grupa 3. obejmuje podregiony, w których udział zaszczepionych wynosi od 75% do 80%, natomiast grupa 4. to obszary, w których udział zaszczepionych przekracza 80%. Następnie obliczono odsetek nadmiarowych zgonów w tych grupach. Wyniki przedstawione na wyk. 4. wskazują na znacznie większą nadwyżkę zgonów ponad poziomem oczekiwanym, sięgającą ponad 100% w listopadzie 2021 roku w grupie o najniższym udziale osób zaszczepionych wynoszącym średnio 64,62%. Z drugiej strony, w powiatach o najwyższym udziale zaszczepionych seniorów, wynoszącym średnio 82,23%, obserwuje się najniższą nadwyżkę zgonów wynoszącą niecałe 61% w szczytowym dla tej grupy podregionów momencie. Zależność ta skłania do zbudowania modelu wskazującego, jak poziom zaszczepienia osób w wieku 60+ przekładałby się na odsetek nadmiarowych zgonów ponad wartość referencyjną.

**Wykr. 4.** Nadmiarowe zgony w 4. fali pandemii (wrzesień 2021 – luty 2022) z podziałem na grupy podregionów w zależności od udziału zaszczepionych osób w wieku powyżej 60 lat

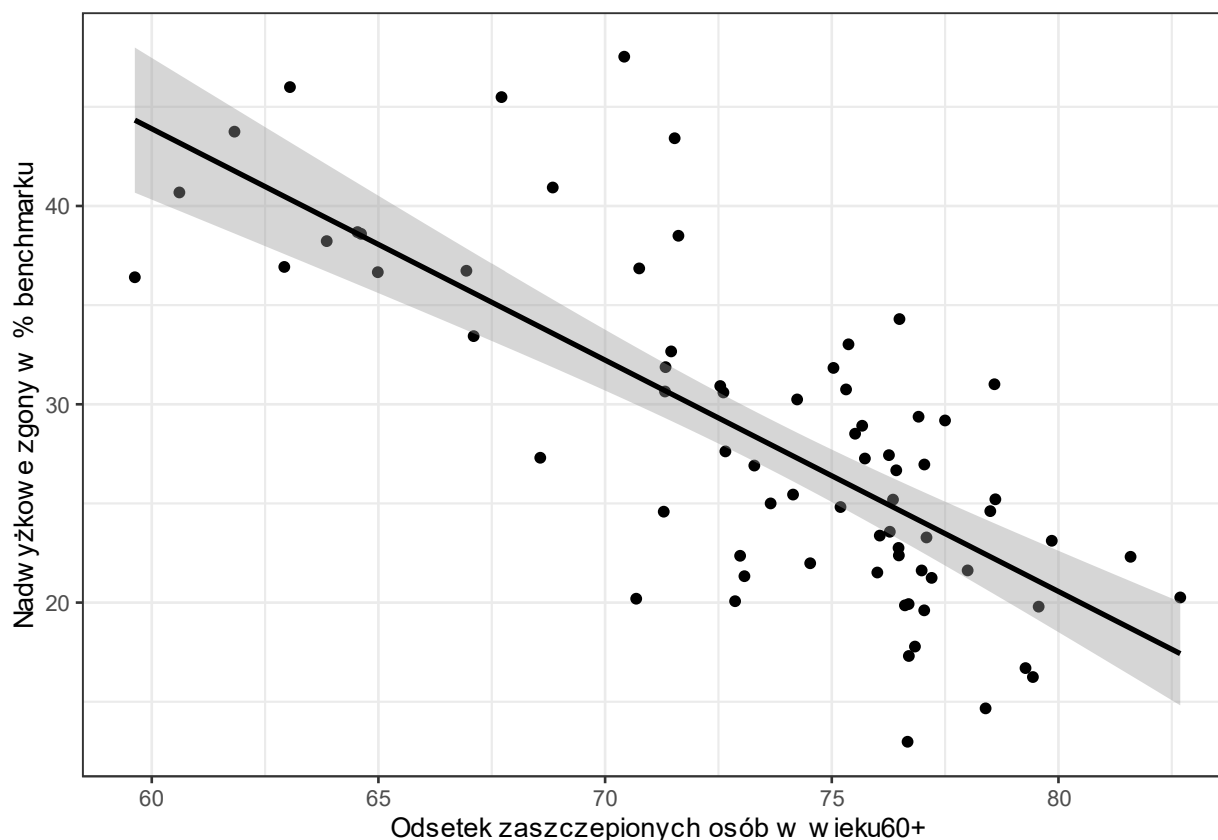


Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022).

Z modelu prostej regresji liniowej ( $F(1; 71)=88,23$ ,  $p<0,001$ ,  $R^2= 0,554$ ) wynika, że współczynnik nachylenia linii regresji przedstawionej na wykr. 5. wynosi  $-1,17 (\pm 0,12, t = 9,39, p<0,001)$ . Oznaczałoby to, że jeden więcej punkt procentowy wskaźnika zaszczepienia osób w wieku 60+ przekłada się średnio na redukcję nadwyżkowych zgonów o 1,17 punktu procentowego ( $\pm 0,12$  p.p.).

Wynik uzyskany za pomocą modelu prostej regresji liniowej można przełożyć na liczbę zgonów, których można było w skali kraju uniknąć, gdyby odsetek zaszczepionych wśród osób starszych był wyższy. Zgodnie z przedstawionymi wcześniej obliczeniami, w trakcie czwartej fali w skali kraju nastąpiło 55371 nadmiarowych zgonów, co stanowiło 27,4% wartości bazowej. Jeżeli przedstawiony model regresji rzeczywiście ilustruje zależność przyczynowo-skutkową, to zaszczepienie kolejnego dodatkowego jednego procenta osób w wieku 60+ oznaczałoby o 2354 ( $\pm 251$ ) zgonów mniej.

**Wykr. 5.** Odsetek w pełni zaszczepionych a nadmierna umieralność podczas czwartej fali pandemii COVID-19 w Polsce – podregiony NUTS 3



Źródło: obliczenia własne na podstawie zbioru „Deaths by week and NUTS 3 region” (Eurostat, 2022) oraz danych Centrum e-Zdrowia (2022).

## Podsumowanie

W artykule oszacowano metodą Karlinsky’ego i Kobaka (2021) wielkość nadmiarowych zgonów w trakcie pandemii SARS-Cov-2 dla całej Polski oraz dla poszczególnych podregionów i grup wieku w Polsce. Według naszej wiedzy jest to pierwsze zastosowanie metody Karlinsky’ego i Kobaka (2021) dla Polski na poziomie podregionów NUTS 3 oraz grup wieku. Analizując dane na poziomie podregionów NUTS 3, stwierdzono, że odsetek nadwyżkowych zgonów w trakcie czwartej fali pandemii jest ujemnie skorelowany ze stopniem zaszczepienia w tych podregionach.

Niestety, negatywne skutki pandemii w Polsce były ogromne – nadmiarowe zgony między sierpniem 2020 r. a lutym 2022 r. wyniosły około 172 000. Z obliczeń przeprowadzonych w ramach badania wynika, że problem nadmiarowych zgonów dotknął przede wszystkim starszych grup wieku (60+), co jest spójne z szacunkami dotyczącymi śmiertelności zakażeń SARS-Cov-2. Analiza regionalna wskazuje na to, że podczas czwartej fali regionalne zróżnicowanie nadmiarowych zgonów było większe niż w poprzednich falach.

W badaniu podjęto próbę oceny występowania korelacji pomiędzy regionalnym poziomem zaszczepienia a poziomem nadmiarowych zgonów. Dotychczas nie odnotowano prezentacji takiej analizy korelacji dla Polski na tym poziomie regionalnym. Nadmiarowe zgony okazały się dość silnie skorelowane z poziomem zaszczepienia w grupie osób w wieku 60 lat i więcej, która najbardziej narażona jest na zachorowanie i zgon spowodowany zakażeniem koronawirusem. Przy założeniu występowania przyczynowo-skutkowej zależności liniowej w tym zakresie, dodatkowy kolejny jeden procent osób zaszczepionych w starszych grupach wieku przełożyłby się średnio na spadek liczby zgonów w czwartej fali pandemii o około 2 tysiące w skali kraju. Prosta regresja liniowa na zebranych w ramach badania danych dostarcza dodatkowej przesłanki, że szczepienia przeciwko COVID-19 skutecznie przeciwdziałają zgonom spowodowanych przez tę chorobę, zaś kampania zachęcająca do szczepień mogła uchronić obywateli Polski i innych państw przed tysiącami dodatkowych zgonów.

## Bibliografia

- Alling, D. W., Blackwelder, W. C., Stuart-Harris, C. H. (1981). A study of excess mortality during influenza epidemics in the United States, 1968–1976. *American Journal of Epidemiology*, 113(1), 30–43. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a113063>.
- Andrews, N., Tessier, E., Stowe, J., Gower, C., Kirsebom, F., Simmons, R., Gallagher, E., Chand, M., Brown, K., Ladhani, S., i inni. (2021). Vaccine effectiveness and duration of protection of comirnaty, vaxzevria and spikevax against mild and severe COVID-19 in the UK. *Medrxiv*.
- 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.
- Böttcher, L., D’Orsogna, M. R., & Chou, T. (2021). Using excess deaths and testing statistics to determine COVID-19 mortalities. *European Journal of Epidemiology*, 36(5), 545–558. <https://doi.org/10.1007/s10654-021-00748-2>

- Centrum e-Zdrowia. (2022). Odsetek osób zaszczepionych przeciwko COVID19 w gminach [zbiór danych]. Otwarte Dane. Pobrane 22.02.2022 z <https://dane.gov.pl/pl/dataset/2476>
- Ciminelli, G., Garcia-Mandicó, S. (2020). COVID-19 in Italy: An analysis of death registry data. *Journal of Public Health*, 42(4), 723–730.
- Collins, S. D. W., Lehmann, J. L. (1953). *Excess deaths from influenza and pneumonia and from important chronic diseases during epidemic periods, 1918-51*. Federal Security Agency, Public Health Service.
- Czerwiński A., Nadmierna śmiertelność w Polsce w 2020 r., Working Paper nr 1, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa 2021.
- Ghisolfi, S., Almás, I., Sandefur, J. C., Carnap, T. von, Heitner, J., and Bold, T. (2020). Predicted COVID19 fatality rates based on age, sex, comorbidities and health system capacity. *BMJ Global Health*, 5(9), e003094.
- Główny Urząd Statystyczny. (2022). Zgony według tygodni [zbiór danych]. Pobrane 28.03.2022 z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/zgony-wedlug-tygodni,39,2.html>
- Green, M. S., Nitzan, D., Schwartz, N., Niv, Y., i Peer, V. (2021). Sex differences in the case-fatality rates for COVID-19—a comparison of the age-related differences and consistency over seven countries. *PLoS One*, 16(4), e0250523.
- Haider, N., Hasan, M.N., Guitian, J., Khan, R.A., McCoy, D., Ntoumi, F., Dar, O., Ansumana, R., Uddin, Md.J., Zumla, A. Kock, R.A. (2023). The disproportionate case–fatality ratio of COVID-19 between countries with the highest vaccination rates and the rest of the world, *IJID Regions*, 6, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.ijregi.2023.01.011>.
- Hannah Ritchie, L. R.-G., Edouard Mathieu. (2020). Coronavirus pandemic (COVID-19). *Our World in Data*.
- Harris, J. E. (2022). COVID-19 Incidence and hospitalization during the delta surge were inversely related to vaccination coverage among the most populous U.S. Counties. *Health Policy and Technology*, 11(2), 100583. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2021.100583>
- Housworth, J., Langmuir, A. D. (1974). Excess mortality from epidemic influenza, 1957–1966. *American Journal of Epidemiology*, 100(1), 40–48. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112007>
- Islam, N., Shkolnikov, V. M., Acosta, R. J., Klimkin, I., Kawachi, I., Irizarry, R. A., Alicandro, G., Khunti, K., Yates, T., Jdanov, D. A., White, M., Lewington, S., Lacey, B. (2021). Excess deaths associated with covid-19 pandemic in 2020: Age and sex disaggregated time series analysis in 29 high income countries. *BMJ*, 373, n1137. <https://doi.org/10.1136/bmj.n1137>
- Jabłońska, K., Aballéa, S., Toumi, M. (2021). The real-life impact of vaccination on COVID-19 mortality in Europe and Israel, *Public Health*, 198, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2021.07.037>
- Jassat, W., Mudara, C., Ozougwu, L., Tempia, S., Blumberg, L., Davies, M.-A., Pillay, Y., Carter, T., Morewane, R., Wolmarans, M., von Gottberg, A., Bhiman, J. N., Walaza, S., Cohen, C., Abdullah, S., Abrahams, F., Adams, V., Adnane, F., Adoni, S., ... Zwane, N. (2021). Difference in mortality among individuals admitted to hospital with COVID-19 during the first and second waves in South Africa: A cohort study. *The Lancet Global Health*, 9(9), e1216–e1225. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00289-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00289-8)

- Jaroszewska, E. and Ołdak, M. (2022) 'Ochrona zdrowia, zdrowie i życie ludzkie jako kluczowe obszary zagrożenia w czasie pandemii COVID-19 w Polsce', *Studia Politologiczne*, 65, 29-57. <https://doi.org/10.33896/SPolit.2022.65.2>
- Karlinsky, A., Kobak, D. (2021). Tracking excess mortality across countries during the COVID-19 pandemic with the world mortality dataset. *Elife*, 10, e69336.
- Konstantinoudis, G., Cameletti, M., Gómez-Rubio, V., Gómez, I. L., Pirani, M., Baio, G., Larrauri, A., Riou, J., Egger, M., Vineis, P., & Blangiardo, M. (2022). Regional excess mortality during the 2020 COVID-19 pandemic in five European countries. *Nature Communications*, 13(1), 482. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28157-3>
- 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(12), 1919–1928. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1112-0>
- Korang, S. K., Rohden, E. von, Veroniki, A. A., Ong, G., Ngalamika, O., Siddiqui, F., Juul, S., Nielsen, E. E., Feinberg, J. B., Petersen, J. J., Legart, C., Kokogho, A., Maagaard, M., Klingenberg, S., Thabane, L., Bardach, A., Ciapponi, A., Thomsen, A. R., Jakobsen, J. C., Gluud, C. (2022). Vaccines to prevent COVID-19: A living systematic review with Trial Sequential Analysis and network meta-analysis of randomized clinical trials. *PLOS ONE*, 17(1), e0260733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260733>
- Kuropka, I., Rossa, A., Wróblewska, W., Wojtyniak, B., Śleszyński, P. (2022). Pandemia i jej skutki zdrowotne i demograficzne. Warszawa: Komitet Nauk Demograficznych PAN.
- Levin, A. T., Hanage, W. P., Owusu-Boaitey, N., Cochran, K. B., Walsh, S. P., and Meyerowitz-Katz, G. (2020). Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: Systematic review, meta-analysis, and public policy implications. *European Journal of Epidemiology*, 35(12), 1123–1138.
- Levitt, M., Zonta, F., Ioannidis, J.P.A. (2022). Comparison of pandemic excess mortality in 2020–2021 across different empirical calculations, *Environmental Research*, 213, 113754. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113754>.
- Lewandowski, P., Madoń, K. (2022). Skuteczność szczepień przeciw COVID-19 w Polsce. *IBS Policy Paper. Od badań do polityki publicznej 1/2022*. Warszawa: Instytut Badań Strukturalnych.
- McLaughlin, J. M., Khan, F., Pugh, S., Swerdlow, D. L., & Jodar, L. (2022). County-level vaccination coverage and rates of COVID-19 cases and deaths in the United States: An ecological analysis. *The Lancet Regional Health - Americas*, 9, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2022.100191>
- Murkowski, R. (2021). Nadmierna umieralność w Polsce podczas pandemii COVID-19 w 2020 roku. *Wiadomości Statystyczne*, 66(07), 7–23.
- Nordström, P., Ballin, M., Nordström, A. (2021). Effectiveness of covid-19 vaccination against risk of symptomatic infection, hospitalization, and death up to 9 months: A Swedish total-population cohort study. *Hospitalization, and Death Up to, 9*.
- Nunes, B., Rodrigues, A. P., Kislaya, I., Cruz, C., Peralta-Santos, A., Lima, J., Leite, P. P., Sequeira, D., Dias, C. M., Machado, A. (2021). mRNA vaccine effectiveness against COVID-19-related hospitalisations and deaths in



- older adults: A cohort study based on data linkage of national health registries in Portugal, February to August 2021. *Eurosurveillance*, 26(38), 2100833.
- Ning, C., Wang, H., Wu, J., Chen, Q., Pei, H., Gao, H. (2022). The COVID-19 Vaccination and Vaccine Inequity Worldwide: An Empirical Study Based on Global Data, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5267. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095267>.
- OECD (2021). Excess mortality, w: *Health at a Glance 2021: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/ec2de914-en>
- Papadopoulos, V.P., Emmanouilidou, A., Yerou, M., Panagaris, S., Souleiman, C., Varela, D., Avramidou, P., Melissopoulou, E., Pappas, C., Iliadou, Z., Piperopoulos, I., Somadis, V., Partsalidis, A., Metaxa, E., Feresiadis, I., Filippou, D. (2022). SARS-CoV-2 Vaccination Coverage and Key Public Health Indicators May Explain Disparities in COVID-19 Country-Specific Case Fatality Rate Within European Economic Area, *Cureus*, 14(3), e22989. <https://doi.org/10.7759/cureus.22989>.
- Reichert, T. A., Simonsen, L., Sharma, A., Pardo, S. A., Fedson, D. S., Miller, M. A. (2004). Influenza and the Winter Increase in Mortality in the United States, 1959–1999. *American Journal of Epidemiology*, 160(5), 492–502. <https://doi.org/10.1093/aje/kwh227>
- Riffe, T., Acosta, E. i zespół COVERAGE-DB. (2021). Data Resource Profile: COVERAGE-DB: a global demographic database of COVID-19 cases and deaths. *International Journal of Epidemiology*, 50(2), 390–390f.
- Simonsen, L., Spreeuwenberg, P., Lustig, R., Taylor, R. J., Fleming, D. M., Kroneman, M., Kerkhove, M. D. V., Mounts, A. W., Paget, W. J. z zespołem, the G. I. C. (2013). Global Mortality Estimates for the 2009 Influenza Pandemic from the GLaMOR Project: A Modeling Study. *PLOS Medicine*, 10(11), e1001558. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001558>
- Śleszyński, P. (2022). Wpływ pandemii COVID-19 na przestrzenne struktury demograficzne i osadnicze Polski (wstępne wnioski i hipotezy). [W:] K. Markowski (red.), *Konsekwencje zmian demograficznych. Materiały z III Kongresu Demograficznego. Część I*. Rządowa Rada Ludnościowa, GUS, Warszawa.
- Taboada, M., González, M., Alvarez, A., Eiras, M., Costa, J., Álvarez, J., Seoane-Pillado, T. (2021). First, second and third wave of COVID-19. What have we changed in the ICU management of these patients? *Journal of Infection*, 82(6), e14–e15.
- Zheng, C., Shao, W., Chen, X., Zhang, B., Wang, G., & Zhang, W. (2022). Real-world effectiveness of COVID-19 vaccines: A literature review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 114, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.11.009>