

ODHAD POČTU ÚMRTÍ NA COVID-19 V ZÁVISLOSTI OD POČTU PACIENTOV HOSPITALIZOVANÝCH NA ODDELENIACH AKÚTNEJ STAROSTLIVOSTI NA SLOVENSKU

ESTIMATION OF THE NUMBER OF COVID-19 DEATHS DEPENDING ON THE NUMBER OF PATIENTS HOSPITALIZED IN ACUTE CARE UNITS IN SLOVAKIA

Beáta Stehlíková – Dávid Sklenár – Roman Hruška

Abstract

The situation in Slovakia in terms of deaths from COVID-19 is specific. In the first wave, Slovakia was among the countries with the lowest mortality. In the second and third waves, Slovakia was ranked among the countries with the worst course of the pandemic. The aim of the paper is to model the mortality rate from COVID-19 depending on the number of patients hospitalized in acute care units in Slovakia. The goal was also to answer the question of whether the number of patients hospitalized in acute care units and mortality from COVID-19 are in a cointegrating relationship. For dependency modelling, we used a machine learning algorithm with a teacher - random forests and ARDL models, respectively, RECM. For the period from 7/23/2021 to 6/26/2022, i.e. the period when the SARS-CoV-2 Delta and Omicron variants prevailed, the long-term balance between both investigated variables was confirmed. A good health care system enables the appropriate management of any pandemic, therefore the health care capacity is among the factors influencing the health system's preparedness. The outbreak of the COVID-19 disease shows us that it is necessary to invest in health promotion, to strengthen the preparedness, response capacity and resilience of our health systems.

Key words: COVID-19 mortality, random forest regression, ARDL model, cointegration

JEL Code: I1, J10

Úvod

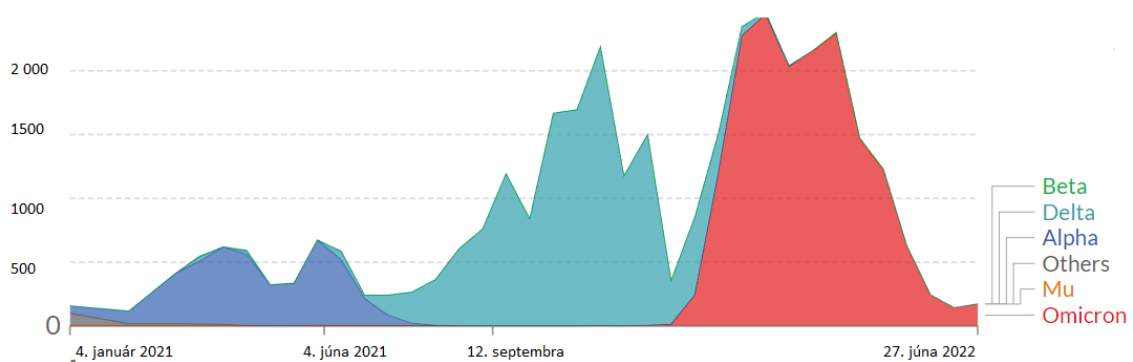
COVID-19 je závažné respiračné infekčné ochorenie, vyvolané koronavírusom SARS-CoV-2. Prvýkrát bol identifikovaný v decembri 2019 v čínskom meste Wu-chan. Svetová zdravotnícka

organizácia (WHO) vyhlásila koronavírusové ochorenie (COVID-19) 11. marca 2020 za globálnu pandémiu. Na Slovensku diagnostikovaný prvý pozitívny pacient na COVID-19 dňa 6. marca 2020. Výsledky vedeckých prác naznačujú, že pandémii spôsobenej COVID-19 a podobným budúcim epidémiám nemožno čeliť výlučne lekárskymi štúdiami. Úmrtia na COVID-19 sú ovplyvnené viacerými faktormi – klinické rizikové faktory, demografické, socioekonomické faktory, environmentálne a klimatické faktory, pandemické politiky, zdravotný stav obyvateľstva. Dobrý systém zdravotnej starostlivosti umožňuje vhodné riadenie akejkoľvek pandémie, preto medzi faktory ovplyvňujúce pripravenosť zdravotného systému aj kapacita zdravotnej starostlivosti. Prípady COVID-19 si vyžadujú nielen bežné nemocničné lôžka, ale aj akútne lôžka na liečbu závažných prípadov. Do júna 2022 zomrelo na svete vyše 6 miliónov ľudí na COVID-19, na Slovensku vyše 20 tisíc.

1 Teoretický základ

SARS-CoV-2, rovnako ako všetky vírusy, sa časom vyvíja. Zmeny nastanú, keď vírus vytvorí svoje kópie. Keď proces replikácie zahŕňa zmenu – hoci aj malú – znamená to, že došlo k mutácii. Keď má vírus aspoň jednu novú mutáciu, stáva sa známym ako „variant“ pôvodného vírusu, ktorý je už v obehu medzi bežnou populáciou. Pre vlastnosti vírusu je dôležité, kde sa v genetickom materiáli vírusu nachádzajú zmeny. Niektoré mutácie môžu viesť k zmenám dôležitých charakteristík vírusu, vrátane charakteristík, ktoré ovplyvňujú jeho schopnosť šíriť sa a/alebo jeho schopnosť spôsobiť závažnejšie ochorenie a smrť (Thorne, 2021). Alfa (B.1.1.7) bol prvým z veľmi významných variantov. Alfa sa prvýkrát objavil vo Veľkej Británii v novembri 2020 a infekcie sa zvýšili v decembri toho istého roku. Čoskoro sa objavil po celom svete a stal sa dominantným variantom. Potom sa Alfa vytratila s nástupom agresívnejšieho variantu Delta. Variant Delta (B.1.617.2) bola prvýkrát identifikovaný v Indii koncom roka 2020 a čoskoro sa rozšíril do celého sveta. Stal sa prevládajúcim variantom koronavírusu – až kým ho v polovici decembra nenahradil Omicron. Omicron a viaceré podvarianty Omicronu, ktoré sa objavili, je stále predmetom skúmania. Pôvodný kmeň Omicron (BA.1) bol prvýkrát identifikovaný v Botswane a Južnej Afrike koncom novembra 2021 a prípady sa rýchlo začali objavovať a množiť v iných krajinách.

Obr. 1: Varianty SARS-CoV-2 analyzované v sekvenciách, Slovensko



Zdroj: GISAID, via CoVariants.org; OurWorldInData.org/coronavirus

Hoci je variant Omicron infekčnejší, zomiera naň menej ľudí (Doung et al., 2022). Potvrďuje to aj tvrdenie iných autorov (Charumilind et al., 2022). Prehľad infekčnosti a úmrtnosti vybraných varianov SARS-CoV-2 a niektorých ďalších chorôb je na obrázku 2.

Obr. 2: Infekčnosť a úmrtnosť vybraných varianov SARS-CoV-2



Zdroj: Charumilind et al., 2022 (preklad)

V správach sa najčastejšie objavovali informácie o počtoch úmrtí na COVID-19 za uplynulé dni. Je potrebné zdôrazniť, že medzi krajinami existujú odlišné štandardy systému hlásenia úmrtí na COVID-19. Podľa Smernice WHO úmrtie je zaznamenané ako úmrtie na COVID-19, ak ide o pravdepodobný alebo potvrdený prípad COVID-19 a pokiaľ neexistuje jasná alternatívna príčina smrti, ktorá nemôže súvisieť s ochorením COVID-19. Definície úmrtia na COVID-19 v jednotlivých krajinách môžeme rozdeliť na dve skupiny: na základe

klinickej diagnózy alebo založené na testoch alebo hybridne (WHO, 2020). To vedie k medzinárodnej neporovnateľnosti hodnôt úmrtnosti na COVID-19. Na problémy s údajmi o úmrtnosti na COVID-19 poukázali viacerí autori, napríklad Sornette et al (2020). Podiel úmrtí k celkovému počtu infikovaných (používaný v epidemiológii) nie je vhodný ukazovateľ, lebo počet vykazovaných infikovaných osôb bol závislý od intenzity testovania v jednotlivých krajinách. Aby sme mohli účinne bojovať proti COVID-19, je dôležité, aby sme poznali skutočný rozsah výzvy, ktorej čelíme. Odhady nadmerných úmrtí môžu poskytnúť informácie o záťaži úmrtnosti potenciálne súvisiacej s COVID-19 nad rámec počtu úmrtí, ktoré sa priamo pripisujú COVID-19. Nadmerná úmrtnosť je jedným z najspoľahlivejších prístupov na meranie dopadu pandémie COVID-19. Podľa Leon et al (2020) týždenné nadmerné úmrtia by mohli poskytnúť najobjektívnejší a najporovnateľnejší spôsob hodnotenia rozsahu pandémie a formulovania ponaučení, z ktorých sa treba poučiť. Vyzývajú kompetentné orgány jednotlivých štátov, aby takéto údaje zverejnili. Nadúmrtnosti ako metrike, resp. jej modelovaniu za dlhšie časové obdobie, sa venovali viacerí autori (Karlinsky a Kobak; 2021, Wang et al; 2022).

Vzhľadom na to, že budeme analyzovať iba jeden štát – Slovensko a budeme pracovať s údajmi na dennej báze. Budeme pracovať priamo s počtom úmrtí na COVID-19, ako ich vykazovala Slovenská republika. Vzhľadom na reálnu možnosť vykázania úmrtí s určitým časovým odstupom, resp. kumulatívne za viac dní, budeme používať počty úmrtí na COVID-19, ktoré sú sedemdnovým kľzavým priemerom.

Okamžitá dostupnosť nemocničných lôžok je dôležitý ukazovateľ na posúdenie kapacity na poskytovanie starostlivosti pacientom. Vládne politiky umožnili posun vrcholu pandémie v čase a umožnili tak zvýšiť počet nemocničných lôžok ako aj lôžok akútnej starostlivosti, čím prispeli k zlepšeniu starostlivosti o kriticky chorých pacientov a prispeli tak k zníženiu úmrtnosti na COVID-19. Počet nemocničných lôžok na 1000 obyvateľov v EÚ postupne klesá od roku 1990. Za posledných pätnásť rokov sa uskutočnili v štátoch EÚ viaceré reformy zdravotníctva, ktoré mali za cieľ racionalizovať nemocničnú starostlivosť, znížiť náklady ale aj zlepšiť jej kvalitu poskytovaných služieb. Vo väčšine európskych krajín tieto politiky viedli k zmenám v manažmente pacientov v nemocniciach a boli spojené so znížením počtu nemocničných lôžok a akútnych postelí. Podľa Garel a Notarangelo (2020) sa počet nemocničných lôžok v rozmedzí rokov 2006 a 2016 znížil o 14 % (napríklad vo Fínsku o 41 % , v Nemecku o 3 percentá). Zatiaľ čo všeobecná kapacita nemocničných lôžok je dôležitá, akútne lôžka boli počas pandémie COVID-19 základným zdrojom poskytovania starostlivosti o kriticky chorých pacientov. Výsledky štúdií o súvislosti medzi dostupnosťou nemocničných lôžok a úmrtiami na COVID-19 nie sú jednoznačné. Rozdiely vyplývajú z rozličných

hodnotených období pandémie, rôznych typov nemocničných postelí a rôznych území. Signifikantnú závislosť medzi počtom postelí na 100 000 obyvateľov a úmrtnosťou na COVID-19 zistili Sen-Crowe et al. (2021), Cobre et al. (2020). Signifikantná závislosť medzi počtom nemocničných postelí, počtom postelí na 100 000 obyvateľov a úmrtnosťou na COVID-19 sa nepotvrdila v prácach Sen-Crowe et al. (2021), Souris a Gonzalez (2020).

Cieľom príspevku je modelovanie závislosti počtu úmrtí na COVID-19 od počtu pacientov hospitalizovaných na akútnych lôžkach na Slovensku za obdobie od 6. marca 2020 do 27. júna 2022 na báze denných údajov. A tiež zistiť, či sú úmrtia a počty pacientov hospitalizovaných na lôžkach akútnej starostlivosti kointegrované.

2 Materiál a metódy

Údaje sme čerpali z databázy Our World in Data COVID-19. Podľa (Ritchie et al., 2020) počet úmrtí nahlásených v daný deň nemusí nevyhnutne odrážať skutočný počet úmrtí na COVID-19 v daný deň alebo za predchádzajúcich 24 hodín. Údaje o úmrtiach k danému dátumu nemusia nevyhnutne ukazovať počet nových úmrtí v daný deň, ale úmrtia hlásené v daný deň. Keďže hlásenia sa môžu zo dňa na deň výrazne líšiť – bez ohľadu na akúkoľvek skutočnú variáciu úmrtí – je užitočné pozrieť si sedemdňový kĺzavý priemer denných údajov. Pre počet úmrtí použijeme v článku pre každý deň sedemdňový kĺzavý priemer.

Závislosť počtu úmrtí na COVID-19 od počtu pacientov hospitalizovaných na akútnych lôžkach v článku modelujeme pomocou dvoch metód. Použili sme ARDL model (Autoregressive Distributed Lags) aj korešpondujúci RECM model (Restricted Error Correction Model). Ich výhodou je, že nevyžadujú stacionaritu časových radov. Najvhodnejšiu kombináciu oneskorení sme určili na základe minimálnej hodnoty Akaikeho informačného kritéria AIC (Ghysels a Marcellino, 2018). V kointegrácii je zahrnutá informácia o dlhodobých vzťahoch pôvodných nestacionárnych radov, teda dlhodobá rovnováha medzi premennými. V ARDL modeli sme ju testovali pomocou Waldovho testu. Kointegračný vzťah možno odhadnúť aj pomocou modelu korekcie chýb RECM.

Druhá z použitých metód je metóda náhodných lesov. Náhodný les je technika strojového učenia s učiteľom (supervised learning), ktorá používa ensemble metódu učenia (viaceré algoritmy učenia na dosiahnutie lepšieho prediktívneho výkonu) pre klasifikáciu a regresiu (Hastie et al., 2009). V prípade regresného stromu každému terminálnemu uzlu je priradený odhad kvantitatívnej závisle premennej. Náhodný les kombinuje tak výsledok

viacerých odhadov. Počet rozhodovacích stromov, ktoré sme v modeli spúšťali je 500 a maximálna možná hĺbka každého stromu je v našom prípade 10.

Výpočty sme realizovali v prostredí R.

3 Výsledky a diskusia

Označme D_t počet úmrtí na COVID-19 čase t a P_t počet pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti v čase t . Na základe minimálnej hodnoty Akaikovho kritéria AIC (6109,102) sme zvolili ARDL(1,4) model.

$$D_t = -0,1660 + 0,9745D_{t-1} + 0,9127P_t - 0,9435P_{t-1} + 0,0099P_{t-2} - 0,1280P_{t-3} + 0,1540P_{t-4} \quad (1)$$

	(0,4337)	(0,0240)	(0,0104)	(0,0344)	(0,0474)	(0,0474)	(0,0328)
<i>P hodnota</i>	0,7020	$2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	0,8347	0,0071	$3,08 \cdot 10^{-6}$

Model ako celok je vhodný, lebo p hodnota F testovacej štatistiky (2681; stupne voľnosrti 6 a 833) je menšia ako $2,2 \cdot 10^{-16}$. Hodnota upraveného koeficientu determinácie je 0,9504. Výsledok nám nehovorí nič o existencii dlhodobého kauzálneho vzťahu. Na overenie tohoto vzťahu sme použili Waldov F test. Hodnota testovacej štatistiky je 0,60587. P hodnota Waldovho testu je 0,9542. Čiže nulovú hypotézu o neexistencii kointegrácie na hladine významnosti 0,05 nemôžeme zamietnuť.

Korešpondujúci RECM model k ARDL(1,4) modelu má hodnotu upraveného koeficienta determinácie 0,9018 tiež dostatočne vysokú.

$$\Delta D_t = 0,9127\Delta P_t - 0,0359\Delta P_{t-1} - 0,0260\Delta P_{t-2} - 0,1540\Delta P_{t-3} - 0,0255 \text{ ect} \quad (2)$$

	(0,0104)	(0,0327)	(0,0327)	(0,0327)	(0,01886)
<i>P hodnota</i>	$2 \cdot 10^{-16}$	0,272	0,426	$< 2,98 \cdot 10^{-6}$	0,177

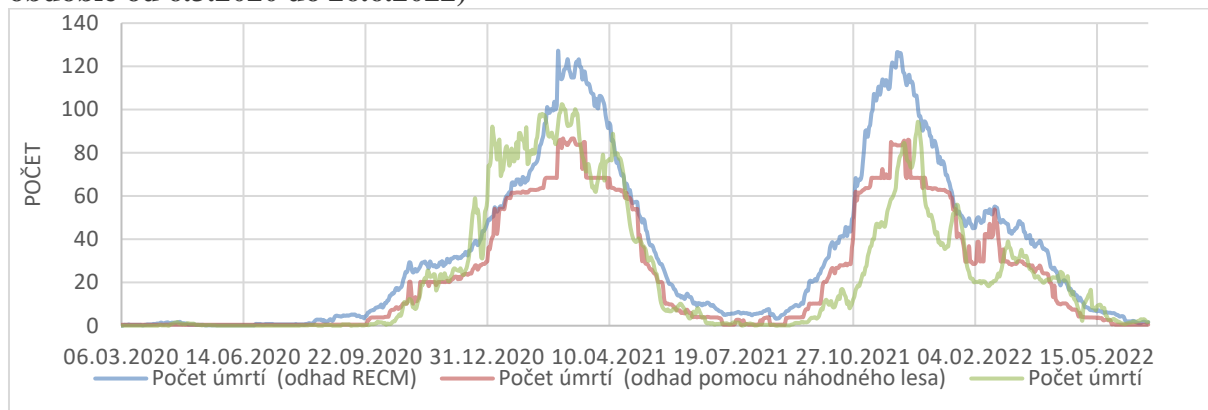
Hodnota F štatistiky je 1546 (so stupňami voľnosti 5 a 835). P hodnota je menšia ako $2,2 \cdot 10^{-16}$. To znamená, že model ako celok je vhodný. Regresný koeficient pri *ect* je záporný a menší ako nula (-0,0255). Ale nie je signifikantný (0,177), čo indikuje neprítomnosť dlhodobého kauzálneho vzťahu medzi počtom úmrtí a počtom pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti. Oba testy dlhodobého kauzálneho vzťahu zhodne zamietajú jeho existenciu v období od 6. marca 2020 do 26. júna 2022.

Koeficient determinácie pre predikciu počtu úmrtí v závislosti od počtu pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti pomocou náhodného lesa je 0,838167.

Z obrázku 3 vidíme, že v prípade prvého vrcholu počtu úmrtí na COVID-19 obe metódy dobre odhadujú počet úmrtí v období od rastu a poklesu prípadov úmrtí. V prípade samotného

prvého vrcholu úmrtí, RECM nadhodnocuje a náhodný les podhodnocuje počet úmrtí. V prípade druhého vrcholu počtu úmrtí sú odhady pomocou oboch metód neuspokojivé. Korešponduje to s poznatkami o rôznej úmrtnosti spôsobenej variantami Delta a Omicron,

Obr. 3: Počet úmrtí na Slovensku a jeho odhad pomocou RECM a náhodného lesa (za obdobie od 6.3.2020 do 26.6.2022)



Zdroj: vlastné výpočty a zobrazenie

Preto sme pre obdobie dominancie varianov Delta a Omicron sme skonštruovali nový model (údaje od 23.07.2021 do do 26. júna 2022). Na základe minimálnej hodnoty Akaikovho kritéria AIC (1301,829) sme zvolili ARDL(3,2) model.

$$D_t = -0,1482 + 0,2463D_{t-1} - 0,0555D_{t-2} - 0,2561D_{t-3} - 0,0006P_t - 0,0131P_{t-1} + 0,0204 P_{t-2} \quad (3)$$

	(0,1387)	(0,0530)	(0,0865)	(0,0504)	(0,0093)	(0,0136)	(0,0098)
<i>P</i> hodnota	0,2862	< 2.10 ⁻¹⁶	0,5214	6,16 10 ⁻⁷	0,9488	0,3330	0,0382

Model ako celok je vhodný, lebo *p* hodnota testovacej štatistiky *F* (10290; stupne voľnosti 6 a 329) je menšia ako 2,2 10⁻¹⁶. Hodnota upraveného koeficientu determinácie je 0,9946. Výsledok nám nehovorí nič o existencii dlhodobého kauzálneho vzťahu. Na overenie dlhodobého kauzálneho vzťahu sme použili Waldov *F* test. Hodnota testovacej štatistiky je 18,711. *P* hodnota Waldovho testu je 0,000001. Čiže nulovú hypotézu o neexistencii kointegrácie na hladine významnosti 0,05 zamietame.

Korešpondujúci RECM model je

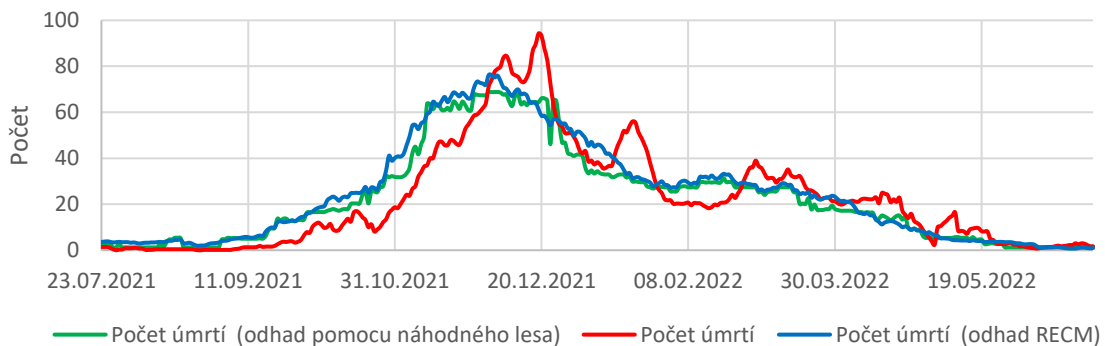
$$\Delta D_t = -0,1482 + 0,3116 \Delta D_{t-1} + 0,2561 \Delta D_{t-2} + 0,0006 \Delta P_t - 0,0204 \Delta P_{t-1} - 0,0653 \text{ ect} \quad (4)$$

	(0,0935)	(0,0507)	(0,0501)	(0,0093)	(0,0098)	(0,0107)
<i>P</i> hodnota	0,1141	2,3 10 ⁻⁹	5,4 10 ⁻⁷	0,9485	0,0377	2,55 10 ⁻⁹

Model ako celok je vhodný, lebo *p* hodnota *F* testovacej štatistiky (36,3; stupne voľnosti 5 a 330) je menšia ako 2,55 10⁻⁹. Regresný koeficient pri *ect* -0,0653 je záporný a menší ako

nula. Je signifikantný (p hodnota je $2,55 \cdot 10^{-9}$), čo indikuje prítomnosť dlhodobého kauzálneho vzťahu medzi počtom úmrtí a počtom pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti. Výsledok je v súlade s Waldovým testom v prípade ARDL(3,2) modelu. Čiže môžeme urobiť záver, že medzi a počtom pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti a počtom úmrtí na COVID-19 na Slovensku v období, keď dominovali varianty Delta a Omicron, existuje kointegrácia. Koeficient determinácie pre predikciu pomocou náhodného lesa je 0,8050. Z obrázku 4 vidíme, že odhady počtu úmrtí pomocou náhodného lesa a odhady počtu úmrtí pomocou RECM sa takmer nelíšia.

Obr. 4: Počet úmrtí a jeho odhad pomocou RECM a náhodného lesa počas dominancie variantov Delta a Omicron (za obdobie od 23.7.2021 do 26.6.2022)



Zdroj: vlastné výpočty a zobrazenie

Záver

Situácia na Slovensku v úmrtiach na COVID-19 je špecifická. V prvej vlne patrilo Slovensko medzi krajiny s najnižšou úmrtnosťou. V druhej a tretej vlne sa Slovensko zaradilo medzi krajiny s najhorším priebehom pandémie. Slovensko má štvrtú najvyššiu nadúmrtnosť z krajín OECD (po Mexiku, Poľsku a Českej republike). Aj naše výsledky potvrdzujú, že úmrtnosť v prvej vlne a druhej a tretej netvorí homogénny súbor. Výsledky za druhú a tretiu vlnu potvrdili *dlhodobú rovnováhu medzi* počtom pacientov hospitalizovaných na oddeleniach akútnej starostlivosti a úmrtnosťou na COVID. Výsledky výskumov vo svete poukazujú na to, že determinantami zdravia v širšom zmysle sú aj ekonomické podmienky, v ktorých ľudia žijú. Riešenie širších sociálno-ekonomických nerovností je preto kľúčovou súčasťou znižovania nerovností v oblasti zdravia. V každom prípade je potrebné v rámci pripravenosti, obnovy a odolnosti prostredníctvom Mechanizmu na podporu obnovy a odolnosti, programu rescEU a nového zdravotníckeho programu EU4Health pripraviť zdravotný systém Slovenska na zvládnutie podobných kritických situácií. Čo bolo na Slovensku príčinou veľmi nízkej

úmrtnosti a veľmi vysokej úmrtnosti v druhej a tretej vlne v porovnaní s inými štátmi, merané nadúmrtiami; nakoľko metodika vykazovania úmrtí na COVID-19 je v jednotlivých krajinách rôzna; čaká na rozuzlenie výskumníkov.

Pod'akovanie

Tento konferenčný príspevok je súčasťou výskumu v rámci projektu „GAAA/2022/16 Rodinné podniky a Covid-19” s podporou Grantovej agentúry Academia Aurea, Česká republika.

Referencie

- Abate, S. M., Ahmed Ali, S., Mantfardo, B., & Basu, B. (2020). Rate of Intensive Care Unit admission and outcomes among patients with coronavirus: A systematic review and Meta-analysis. *PLoS one*, 15(7), e0235653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235653>
- Cobre, A. D. F., Böger, B., Vilhena, R. D. O., Fachi, M. M., Dos Santos, J. M. M. F., & Tonin, F. S. (2020). A multivariate analysis of risk factors associated with death by Covid-19 in the USA, Italy, Spain, and Germany. *Journal of Public Health*, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s10389-020-01397-7>
- Duong, B. V., Larpruenrudee, P., Fang, T., Hossain, S. I., Saha, S. C., Gu, Y., & Islam, M. S. (2022). Is the SARS CoV-2 Omicron Variant Deadlier and More Transmissible Than Delta Variant? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4586. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084586>
- Ghysels, E., & Marcellino, M. (2018). *Applied economic forecasting using time series methods*. Oxford University Press. ISBN 9780190622015.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Vol. 2, pp. 1-758). New York: Springer. ISBN 978-0-387-21606-5.
- Charumilind, S., Craven, M., Lamb, J., Sabow, A., Singhal, S., & Matt Wilson, M. (2022, March 1). *When will the COVID-19 pandemic end?* Published online at McKinsey and Company, Retrieved August 2, 2022, from <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/when-will-the-covid-19-pandemic-end>
- Karlinsky, A., & Kobak, D. (2021). Tracking excess mortality across countries during the COVID-19 pandemic with the World Mortality Dataset. *Elife*, 10, e69336. <https://doi.org/10.7554/eLife.69336>
- 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), e81.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

- Ritchie, H., Mathieu, E., Rodés-Guirao, L., Appel, C., Giattino, Ch., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J., MacDonald, B., Beltekian, D. & Roser, M. (2020) *Coronavirus Pandemic (COVID-19)*. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved August 2, 2022, <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- Sen-Crowe, B., Sutherland, M., McKenney, M., & Elkbuli, A. (2021). A closer look into global hospital beds capacity and resource shortages during the COVID-19 pandemic. *Journal of Surgical Research*, 260, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.11.062>
- Sornette, D., Mearns, E., Schatz, M., Wu, K., & Darcet, D. (2020). Interpreting, analysing and modelling COVID-19 mortality data. *Nonlinear dynamics*, 101(3), 1751-1776. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05966-z>
- Souris, M., & Gonzalez, J. P. (2020). COVID-19: Spatial analysis of hospital case-fatality rate in France. *PLoS One*, 15(12), e0243606. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243606>
- Thorne, E. (2021) *Understanding the Covid-19 Variants of Concern*. Published online at Tony Blair Institute for global change. Retrieved August 2, 2022, <https://institute.global/sites/default/files/articles/Understanding-the-Covid-19-Variants-of-Concern.pdf>
- Wang, H., Paulson, K. R., Pease, S. A., Watson, S., Comfort, H., Zheng, P., ... & Murray, C. J. (2022). Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: a systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020–21. *The Lancet*, 399(10334), 1513-1536. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02796-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02796-3)
- WHO (2020, June 5). *How comparable is COVID-19 mortality across countries?* Retrieved August 2, 2022, from <https://analysis.covid19healthsystem.org/index.php/2020/06/04/how-comparable-is-covid-19-mortality-across-countries/>

Kontakt

Beáta Stehlíková

Paneurópska vysoká škola v Bratislave

Ústav ekonomiky, PEVŠ, Tematínska 10, 851 05 Bratislava, Slovenská republika

e-mail: stehlikovab2@gmail.com

Dávid Sklenár

Fedar, s.r.o.

Podzámska 24, Nové Zámky, Slovensko

e-mail: davids@itcom.sk

Roman Hruška

Paneurópska vysoká škola v Bratislave

Rektorát, Tomášikova 20, 820 09 Bratislava

e-mail: roman.hruska@paneurouni.com