



# Úmrtia v čase pandémie

Monitorovanie nadmerných úmrtí použitím *surveillance* v R

Zuzana Zavorská

**Monitorovanie dynamiky úmrtí je dôležitým prostriedkom sledovania stavu verejného zdravia, ktorý sa v súčasnosti na Slovensku rozsiahlo nevyužíva. Analýza týždennej mortality ukazuje pozitívnu skutočnosť, že v prvom polroku 2020 neprekročili počty úmrtí na Slovensku hornú hranicu očakávaných hodnôt ani v jednom týždni. Na Slovensku tak počas doterajšieho trvania pandémie COVID-19 neboli zaznamenané žiadne nadmerné úmrtia, na rozdiel od mnohých štátov EÚ.**

**V pretrvávajúcej neistej epidemiologickej situácii spojenej s pandemiou COVID-19 zostáva dôsledné meranie a vyhodnocovanie rozsahu šírenia ochorenia prioritou.** Objektívnosť a porovnateľnosť dát na medzinárodnej úrovni, ako aj ich včasná analýza determinuje efektívnosť národných a globálnych stratégií na zmiernenie a potlačenie ďalších prípadných vln ochorenia. Monitorovanie vykonávané slovenskými úradmi sa dnes predovšetkým zameriava na evidenciu počtu pozitívne testovaných osôb a počtu úmrtí osôb s potvrdenou infekciou COVID-19. Nedostatky takéhoto monitoringu však spočívajú v tom, že dané indikátory sú z veľkej časti funkciou testovacej kapacity či efektivity, a preto nemusia zachytávať dopady ochorenia v plnom rozsahu a nie sú medzinárodne porovnateľné.

**Kvantifikácia tzv. nadmerných úmrtí je pre väčšiu objektívnosť užitočným doplnkom k indikátorom viazaných na testovanie, a je pravidelne využívaným nástrojom pri monitorovaní epidemiologickej situácie v mnohých krajinách.** Nadmerné úmrtia možno definovať ako rozdiel medzi pozorovaným počtom úmrtí v danom mieste a období (štandardne na týždennej úrovni) a očakávaným počtom korešpondujúcim k tomuto miestu a obdobiu. Ak pozorované hodnoty dlhšie presahujú očakávania, vysielajú to signál o možnej epidémii. Rovnako, ak nadmerné úmrtia výrazne presahujú evidované počty úmrtí na COVID-19 (či iné ochorenia), odhaľujú nedostatky vo vedených štatistikách, nakoľko takéto štatistiky nezachytávajú skutočný priebeh ochorenia. Očakávané hodnoty zväčša berú do úvahy historické trendy a sezónne výkyvy v počte úmrtí. Existuje viacero metód pre ich odhad, najčastejšie založené na štatistickej kontrole procesu, regresných techník alebo ich kombinácie (Bédubourg a Strat, 2017).

Kým detekcia aberácie v úmrtiach na akútne infekčné ochorenia je primárnym cieľom analýzy nadmernej úmrtnosti, aj v krajinách s dôkladným testovaním na COVID-19 je dôležité sledovať vývoj celkovej mortality. Epidémia môže nepriamym spôsobom zvyšovať úmrtnosť na iné príčiny, v dôsledku zmien v správaní obyvateľstva spôsobenými reštriktívnymi opatreniami—odkladaním vyhľadávania lekárskej starostlivosti, zanedbanou diagnostikou, či zhoršujúcim sa duševným zdravím. No nakoľko takéto sekundárne vplyvy majú tendenciu sa prejaviť až s odstupom času, len dlhodobé monitorovanie nadmerných úmrtí umožní eventúálne vyhodnotenie týchto dopadov.

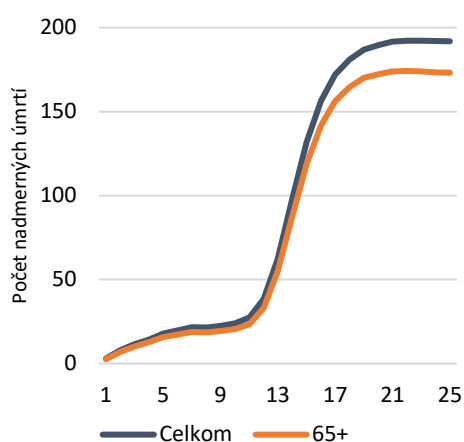
**Väčšina krajín EÚ pravidelne sleduje a reportuje svoj stav nadmerných úmrtí, obzvlášť v súčasnosti v súvislosti s COVID-19.** Projekt EuroMOMO zároveň zbiera týždenné údaje o úmrtnosti od 20 štátov<sup>1</sup> a odhaduje nadmerné úmrtia na medzinárodnej úrovni. Slovensko v projekte EuroMOMO neparticipuje. Podľa odhadov EuroMOMO bolo k 25. týždňu tohto roka

---

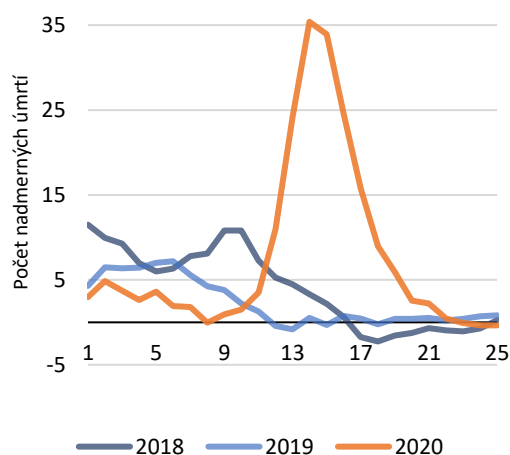
<sup>1</sup> Konkrétne ide o: Rakúsko, Belgicko, Dánsko, Estónsko, Fínsko, Francúzsko, Nemecko (Berlín a Hesensko), Grécko, Maďarsko, Írsko, Taliansko, Luxembursko, Malta, Holandsko, Nórsko, Portugalsko, Španielsko, Švédsko, Švajčiarsko a Spojené Kráľovstvo (Anglicko, Severné Írsko, Škótsko a Wales)

(t.j. do 21.6.2020) zaznamenaných vyše 190 tisíc nadmerných úmrtí v sieti participujúcich štátov, z čoho k 165 tisíc došlo v 10-týždňovom okne medzi 10. a 19. týždňom (2.3.2020 až 10.5.2020). Väčšinu z toho tvorila veková skupina 65+ (Graf 1). Exponenciálny nárast v nadmerných úmrtiach nastal až po typickom chrípkovom období a zhoduje sa s prvotným rozšírením ochorenia COVID-19 v Európe. V prvom štvrtroku 2020 boli nadmerné úmrtia najnižšie z posledných troch rokov, čiastočne dôsledkom aj obzvlášť silných chrípkových vln v 2017 a 2018. Rovnako možno vidieť aj postupnú stabilizáciu situácie spojenú s prekonaním vrcholu šírenia nákazy vo väčšine štátov EÚ od polovice mája (20. týždeň a neskôr) (Graf 2).

**Graf 1: Kumulatívne nadmerné úmrtia v krajinách zapojených do EuroMOMO (týždenne, v tisíckach)**



**Graf 2: Nadmerné úmrtia v krajinách zapojených do EuroMOMO (týždenne, v tisíckach)**



Zdroj: EuroMOMO.

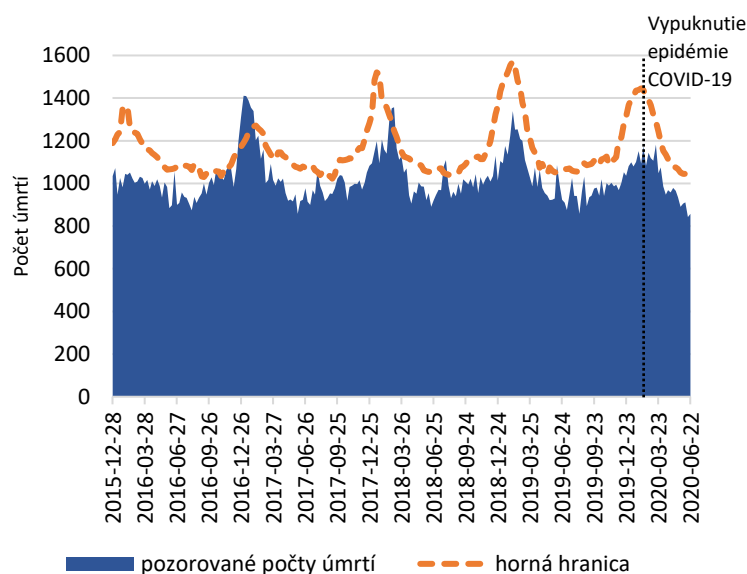
**Slovensko, na druhej strane, patrí medzi relatívne mierne zasiahnuté krajiny pandémie COVID-19, a preto by zaznamenané počty úmrtí nemali výrazne presahovať očakávané hodnoty. Prezentované odhady potvrdzujú túto hypotézu (Graf 3).** Pre kvantifikáciu hornej hranice očakávaných hodnôt bol využitý balíček *surveillance* v R založený na Poissonovom generalizovanom lineárnom modeli, ktorý využíva aj EuroMOMO (Meyer et al., 2017) (viď Box 1). Údaje o celkovom počte úmrtí na týždennú bázu po 26. týždeň 2020<sup>2</sup> boli získané z Eurostatu, a boli následne analyzované pre detekciu deviácie od historického trendu od roku 2006. Údaje sú triedené podľa skutočného dátumu úmrtia (t.j., dátum, kedy úmrtie nastalo).

Nakoľko sú údaje za rok 2020 predbežné, môžu byť neúplné kvôli oneskoreniu v evidencii. Pre túto limitáciu bola analýza následne vykonaná aj s váženými týždennými hodnotami pre rok 2020, s rôznymi odhadmi nekompletnosti. Táto analýza citlivosti ukázala relatívnu robustnosť výsledkov: až pri 10 % podhodnotení počtov úmrtí v celom období 2020 (ekvivalentné priemerne 102 nezaznamenaným úmrtiam týždenne) dochádza ku prekročeniu hraničných hodnôt, no tiež len v jednom týždni v marci a o necelých 10 prípadoch (viď Apendix A).

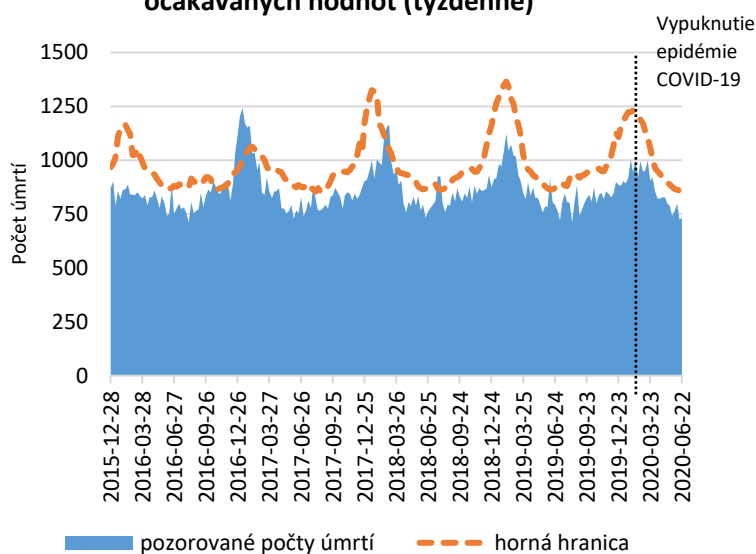
<sup>2</sup> Pri práci s týždennými údajmi bol použitý štandard ISO 8601, podľa ktorého sa 1. týždeň vníma ako ten, v ktorom je prvý štvrtok v roku. Jeden rok tak pozostáva z 52 alebo 53 celých týždňov.

Rovnako pod kontrolou sa javia aj počty úmrtí u rizikových skupín, t.j. u osôb nad 60 rokov (Graf 4). Výraznejšie odchýlky od hraničných hodnôt za posledné roky možno naopak sledovať počas chrípkovej sezóny 2016/17. Vyššiu aktivitu chrípkového vírusu na prelome roku 2016 a 2017 potvrdzuje aj Úrad verejného zdravotníctva SR (2017), podľa ktorého došlo k 9,4 % nárastu v akútnych respiračných ochoreniach oproti predchádzajúcej chrípkovej sezóne 2015/2016, čo predstavuje nárast o takmer 135 tisíc infikovaných. European Centre for Disease Prevention and Control (2017) rovnako reportuje skorší nástup chrípkovej sezóny v EÚ ako obvykle, ako aj dlhšie trvanie o takmer 5 týždňov. Signifikantné nadmerné úmrtia v prvom štvrtroku 2017 zaznamenalo aj EuroMOMO.

**Graf 3: Vývoj počtu úmrtí na Slovensku a horná hranica očakávaných hodnôt (týždenne)**



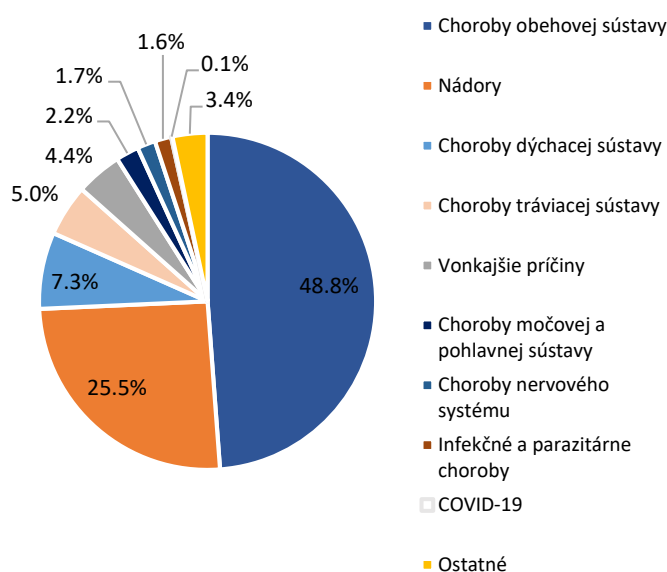
**Graf 4: Vývoj počtu úmrtí na Slovensku u osôb nad 60 rokov a horná hranica očakávaných hodnôt (týždenne)**



Zdroj: ISA, Eurostat.

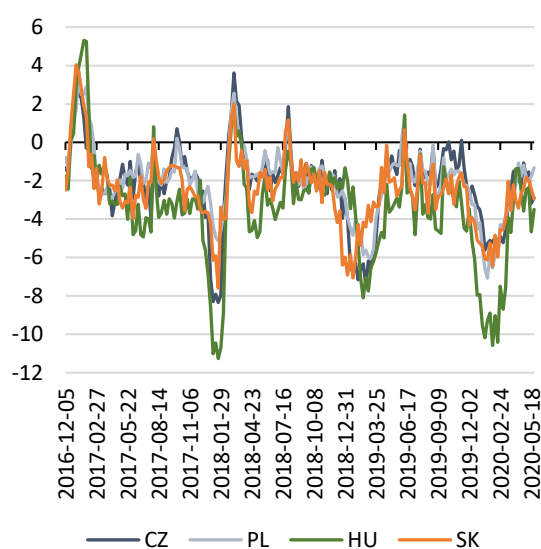
**Kardiovaskulárne ochorenia naďalej zostali najčastejšou príčinou úmrtia na Slovensku v prvých piatich mesiacoch roka 2020.** Choroby obehovej sústavy spolu s nádormi zapríčinili viac než tri štvrtiny úmrtí medzi januárom a májom tohto kalendárneho roka (Graf 5). Chronická ischemická choroba srdca a aterosklerotická choroba srdca boli pritom hlavnými nepriateľmi, zodpovední za takmer 4 400 úmrtí z celkových 22 700. 28 úmrtí na COVID-19 registrovaných v tomto období predstavovalo 0,12 % celkových úmrtí. V porovnaní s predošlými rokmi zostala distribúcia úmrtí podľa príčiny smrti približne rovnaká, a v žiadnej kategórii ochorení neboli viditeľné väčšie deviácie od historického priemeru 2016-19—inými slovami, sekundárne vplyvy pandémie nie sú zatiaľ pozorovateľné (viď Apendix B).

**Graf 5: Úmrtia v SR podľa príčiny (január-máj 2020)**



Poznámka: Predbežné údaje.

**Graf 6: Nadmerné úmrtia na 100 tisíc obyvateľov v krajinách V4 (týždenne)**



Poznámka: Pre konverziu hodnôt na 100 tisíc obyvateľov boli využité údaje o populácii jednotlivých krajín k augustu 2020 z [Worldometers.info](http://Worldometers.info).

Zdroj: ŠÚSR (Graf 5); ISA, Eurostat (Graf 6).

### Box 1: *Surveillance* a Farringtonov algoritmus

Doplňkový balíček *surveillance* v R vyvinutý kolektívom Höhle et al. je voľne dostupným nástrojom na vizualizáciu, monitorovanie a simuláciu časových radov za účelom sledovať stav verejného zdravia (pre detailný popis viď Höhle (2007), Salmon et al. (2016), či Meyer et al. (2017)). *Surveillance* v sebe zahŕňa funkcie implementujúce rozličné algoritmy detekcie aberácií a je využívaný epidemiológmi národných ústavov verejného zdravotníctva v Nemecku, Švédsku, Fínsku či Francúzsku (Salmon et al., 2016).

Primárnym cieľom *surveillance* je detekcia významných zmien v procese nastávajúcich v neznámom čase. Každé sledované obdobie je analyzované prostredníctvom referenčných



hodnôt: ak  $y_{0:t}$  definujeme ako počet prípadov zaznamenaných v týždni  $t$  v súčasnom roku (rok 0),  $b$  ako počet rokov do minulosti o koľko sa vrátiť pri určení historického trendu, a  $w$  ako počet týždňov okolo analyzovaného týždňa  $t$ , ktoré brať do úvahy spolu s týždňom  $t$  (t.j. pri  $w=3$  sa berú týždne  $t-3$  až  $t+3$ ), tak detekcia aberácií spočíva v predikcii očakávaných hodnôt  $\hat{y}_{0:t}$  na základe  $R(w, b)$  a ich porovnávaní s  $y_{0:t}$  (Höhle, 2007).

Pre účely tohto komentára bola pri odhade referenčných hodnôt a porovnaní s pozorovanými hodnotami využitá funkcia *farrington*, ktorá je v súčasnosti v súvislosti s pandémiou COVID-19 využívaná americkou CDC<sup>3</sup>, ako aj Höhle a Mazick (2010) pri odhade dánskej nadmernej mortality prostredníctvom *surveillance*. Funkcia *farrington* je založená na algoritme prezentovanom vo Farrington et al. (1996), ktorý využíva Poissonov generalizovaný lineárny model (i.e. overdispersed Poisson GLM) pre uľahčenie rutinného monitoringu infekčných chorôb ústavom verejného zdravotníctva v UK. Ak pozorovaný počet úmrtí presahuje horný limit  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  predikčného intervalu, *surveillance* generuje alarm.

Konzistentne s postupom Höhle a Mazick (2010) bola využitá hodnota  $\alpha=0,01$  pre určenie horného limitu a  $b=5$  a  $w=4$  pre generovanie referenčných hodnôt. Monitorované bolo obdobie od 1. týždňa 2016 (začínajúci 28.12.2015) do 26. týždňa 2020 (začínajúci 22.6.2020).

S postupným príchodom druhej vlny v Európe a pribúdajúcim počtom nakazených na Slovensku, ako aj v okolitých štátoch, je dôležité konštantne zlepšovať systémy sledovania šírenia ako aj dopadov COVID-19. Rutinné monitorovanie nadmerných úmrtí predstavuje osvedčený postup zo zahraničia, ktorý môže dopomôcť pri včasnej identifikácii hrozieb vo forme rôznych patogénov a môže posilniť pripravenosť Slovenska v sfére verejného zdravia. Aktívne využívanie prostriedkov ako *surveillance*, či participácia v iniciatíve EuroMOMO by predstavovali pozitívny krok vpred týmto smerom.

*Názory vyjadrené v komentári nemusia nevyhnutne predstavovať oficiálnu pozíciu Úradu vlády Slovenskej republiky. Cieľom komentárov ISA je podnecovať a zlepšovať odbornú a verejnú diskusiu na aktuálne témy. Tento príspevok neprešiel jazykovou kontrolou.*

*Komentár bol schválený Odborno-metodickou komisiou ako recenzovaný na základe posudkov Viktórie Döme (Hong Kong University of Science and Technology) a Michaely Laktišovej (ex-Inštitút zdravotnej politiky).*

*Týmto ľuďom patrí poďakovanie za ich podnetné pripomienky: Martin Hulényi, Jan Fidrmuc, Kristína Gardoňová (ISA).*

---

<sup>3</sup> [https://www.cdc.gov/nchs/nvss/vsrr/covid19/excess\\_deaths.htm#techNotes](https://www.cdc.gov/nchs/nvss/vsrr/covid19/excess_deaths.htm#techNotes)

## Bibliografia:

Bédubourg, G., & Le Strat, Y. (2017). Evaluation and comparison of statistical methods for early temporal detection of outbreaks: A simulation-based study. *PloS one*, 12(7), e0181227.

European Centre for Disease Prevention and Control. 2017. Summary of the influenza 2016–2017 season in Europe. [online]. Dostupné na: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/summary-influenza-2016-2017-season-europe#:~:text=Influenza%20in%20Europe%2C%20summary%20of%20the%20season%202016%E2%80%9317&text=The%20season%20lasted%20for%2027,%2F2016%20and%205%2F2017.>

Höhle, M., 2007. surveillance: An R package for the monitoring of infectious diseases. *Computational Statistics*, 22(4), pp.571-582.

Höhle, M. and Mazick, A., 2010. Aberration detection in R illustrated by Danish mortality monitoring. *Biosurveillance: Methods and Case Studies*, 3, pp.215-237.

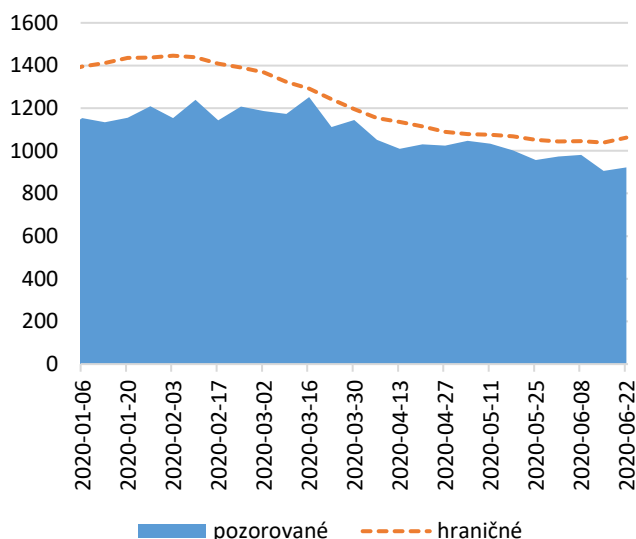
Meyer, S., Held, L. and Höhle, M., 2017. Spatio-Temporal Analysis of Epidemic Phenomena Using the R Package surveillance. *Journal of Statistical Software*, 77(11), pp. 1-55.

Salmon, M., Schumacher, D. and Höhle, M., 2016. Monitoring Count Time Series in R: Aberration Detection in Public Health Surveillance. *Journal of Statistical Software*, 70(10), pp. 1-35.

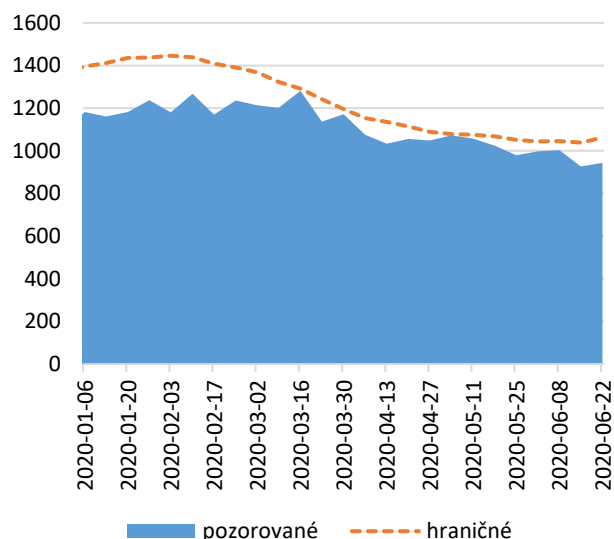
Ústredie verejného zdravotníctva. 2017. Vyhodnotenie chrípkovej sezóny 2016/2017 v Slovenskej republike. [online]. Dostupné na: [http://slovanet.sk/uvzsr/docs/info/epida/Vyhodnotenie\\_chripkovej\\_sezony\\_a\\_zaockovanosti\\_2016\\_2017.pdf](http://slovanet.sk/uvzsr/docs/info/epida/Vyhodnotenie_chripkovej_sezony_a_zaockovanosti_2016_2017.pdf).

**Appendix A: Analýza citlivosti vzhľadom na možnú neúplnosť (tzv. underreporting) predbežných dát**

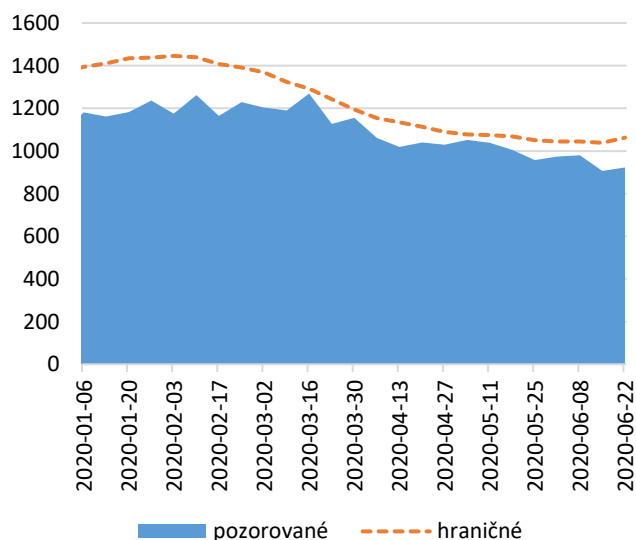
**Scenár 1:** Underreporting zvyšujúci sa v 4-týždňových intervaloch o 0,5%, od 5 % v prvých týždňoch 2020 až po 7,5 % v najaktuálnejších týždňoch



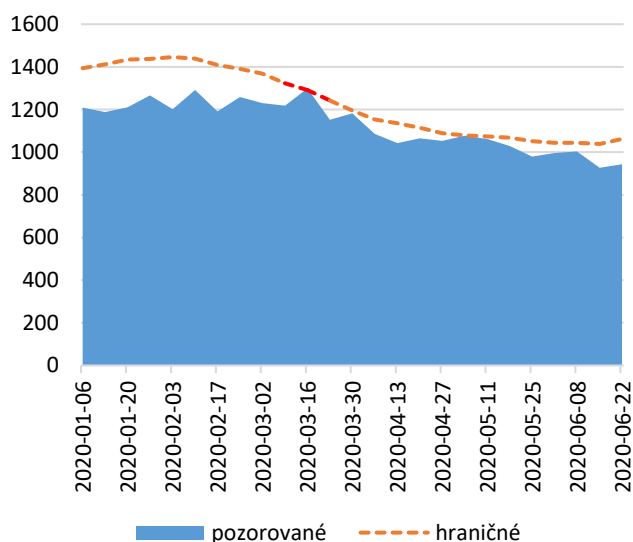
**Scenár 2:** Underreporting zvyšujúci sa v 4-týždňových intervaloch o 0,5%, od 7,5 % v prvých týždňoch 2020 až po 10 % v najaktuálnejších týždňoch



**Scenár 3:** Konštantný underreporting o 7,5 % vo všetkých týždňoch 2020



**Scenár 3:** Konštantný underreporting o 10 % vo všetkých týždňoch 2020 (červenou vyznačené prekročenie hranice)





**Apendix B: Počet úmrtí podľa príčiny (kumulatívne údaje pre január-máj) a deviácia  
tohtoročných hodnôt od historického priemeru**

<b>JANUÁR - MÁJ</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2016-19 priemer</b>	<b>Deviácia 2020 od priemeru 2016-19</b>
Duševné poruchy a poruchy správania	19	57	51	37	64	41	23
Choroby dýchacej sústavy	1569	2001	2047	2058	1665	1919	-254
Choroby krvi a krvotvorných orgánov a daktoré poruchy imunitných mechanizmov	23	14	16	17	22	18	4
Choroby močovej a pohlavnej sústavy	369	452	458	519	499	450	49
Choroby nervového systému	359	419	472	450	395	425	-30
Choroby obehovej sústavy	10521	11962	11360	11277	11061	11280	-219
Choroby svalovej a kostrovej sústavy a spojivového tkaniv	20	24	25	15	20	21	-1
Choroby tráviacej sústavy	1174	1204	1277	1207	1122	1216	-94
Choroby žliaz s vnútorným vylučovaním, výživy a premeny látok	348	340	309	331	305	332	-27
Infekčné a parazitárne choroby	220	351	361	398	357	333	25
Nádory	5717	5638	5793	5637	5770	5696	74
Niektoré choroby vznikajúce v perinatálnej perióde	55	44	49	56	49	51	-2
Subjektívne a objektívne príznaky a abnormálne klinické a laboratórne nálezy nezatriedené inde	411	392	414	443	248	415	-167
Vonkajšie príčiny chorobnosti a úmrtnosti	1100	1160	1166	1075	1001	1125	-124
Vrodené chyby, deformácie a chromozómové anomálie	56	58	65	75	51	64	-13
COVID-19					28	0	28

Zdroj: ŠÚSR.

Poznámka: Predbežné údaje pre 2020. Negatívne hodnoty môžu byť dôsledkom nekompletnosti údajov za 2020, a preto by mali byť interpretované s opatrnosťou.