

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

VPLIV COVID-19 NA MORTALITETO V SLOVENIJI

Ljubljana, september 2022

JULIJA CESAR

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Julija Cesar, študentka Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtorica predloženega dela z naslovom Vpliv COVID-19 na mortaliteto v Sloveniji, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem izr. prof. dr. Igorjem Lončarskim

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravila samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označila;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne _____

Podpis študentke: _____

KAZALO

UVOD	1
1 MODELI MORTALITETE	3
1.1 Vplivi na mortaliteto.....	3
1.2 Oznake in definicije	4
1.3 Vrste modelov.....	8
1.3.1 Klasični APC model	9
1.3.2 LC model	9
1.4 Tablice umrljivosti.....	10
1.4.1 Slovenske tablice umrljivosti.....	10
1.4.2 Uporaba tablic.....	11
2 NAPOVEDOVANJE MORTALITETE	12
2.1 Pristopi za napovedovanje mortalitete	13
2.1.1 Pričakovanje	13
2.1.2 Pojasnjevanje	13
2.1.3 Ekstrapolacija	14
2.2 Napovedovanje mortalitete z uporabo LC modela	14
2.2.1 Stohastična metoda za napovedovanje	15
2.2.2 Prednosti in slabosti LC modela.....	16
3 VPLIV BOLEZNI COVID-19 NA MORTALITETO	16
3.1 COVID-19.....	17
3.2 Presežna umrljivost	20
3.2.1 Presežek smrti v Sloveniji	21
3.2.1.1 <i>Presežek smrti po letih</i>	22
3.2.1.2 <i>Presežek smrti po tednih</i>	24
3.2.2 Primerjava s sosednjimi državami.....	27
3.3 Pričakovana življenjska doba	29
3.3.1 Priprava podatkov.....	30
3.3.2 Periodna pričakovana življenjska doba	32
3.3.3 Primerjava z napovedmi iz leta 2008	34
3.3.4 Diskusija vpliva bolezni COVID-19 na bodočo pričakovano življenjsko dobo	35

4	NAPOVEDOVANJE MORTALITETE Z LC METODO.....	36
4.1	Kalibracija podatkov in aplikacija LC metode	36
4.1.1	Parametri LC modela	37
4.1.2	Stopnja mortalitete	39
4.2	Ustreznost modela.....	41
4.2.1	Testiranje prileganja podatkov	41
4.2.1.1	<i>Delež variabilnosti, pojasnjen z modelom.....</i>	<i>42</i>
4.2.1.2	<i>Ostanki.....</i>	<i>42</i>
4.2.2	Robustnost.....	43
4.2.2.1	<i>Robustnost parametrov.....</i>	<i>43</i>
4.2.2.2	<i>Robustnost projekcij.....</i>	<i>44</i>
4.3	Razvoj pričakovane življenjske dobe z LC metodo.....	44
4.3.1	Projekcije.....	44
4.3.2	Primerjava rezultatov z napovedmi za 3 različne scenarije	45
4.3.2.1	<i>Parametri LC modela</i>	<i>46</i>
4.3.2.2	<i>Stopnja mortalitete</i>	<i>48</i>
4.3.2.3	<i>Periodna pričakovana življenjska doba</i>	<i>51</i>
SKLEP.....		52
LITERATURA IN VIRI.....		54
PRILOGE		59

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Verjetnosti smrti v tablicah umrljivosti.....	12
Tabela 2:	Struktura prebivalstva po starostnih skupinah	21
Tabela 3:	Število smrti po letih	22
Tabela 4:	Pričakovana življenjska doba ob rojstvu, ločeno po spolu.....	35
Tabela 5:	Vrednosti parametra k_t leta 2020 za tri različne scenarije, ločeno po spolu.....	47
Tabela 6:	Primerjava vrednosti parametra k_t leta 2021, ločeno po spolu.....	48
Tabela 7:	Primerjava periodne pričakovane življenjske dobe ob rojstvu za leto 2021, ločeno po spolu.....	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Funkcija preživetja za leto 2021, ločeno po spolu	5
Slika 2: »Pravokotenje« funkcije preživetja	5
Slika 3: Izpis skrajšanih tablic umrljivosti za moški spol pri starostih od 0 do 19 let, za leto 2021	11
Slika 4: Ekstrapolacija profilov mortalitete	14
Slika 5: Stohastičen pristop: od opazovanih vrednosti do prihodnjih ocen	15
Slika 6: Gostota verjetnosti slučajne spremenljivke T_0 med letoma 2015 in 2021 za starosti med 65 in 100 let	18
Slika 7: Delež smrti za leto 2020, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2, v primerjavi s preostalimi smrtmi	19
Slika 8: Delež smrti za leto 2020, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2, v primerjavi z deležem prebivalstva nad 65. letom starosti, ločeno po spolu	19
Slika 9: Presežna umrljivost v obdobju med 1. 1.–15. 4. 2020 po mestih	20
Slika 10: Primerjava vseh smrti za leta 2019–2021	23
Slika 11: Smrti po starostnih skupinah za obdobje 2015–2021	24
Slika 12: Število smrti po tednih, ločeno po letih	25
Slika 13: Smrti v letu 2020 v primerjavi s povprečjem med leti 2015–2019	25
Slika 14: Dekompozicija tedenskega števila smrti za leta 2015–2021	26
Slika 15: Napovedovanje števila umrlih po tednih za leti 2021 in 2022	27
Slika 16: Število smrti po tednih za sosednje države, ločeno po letih	28
Slika 17: Napovedovanje števila umrlih po tednih za sosednje države za leti 2021 in 2022	29
Slika 18: Logaritmira centralna stopnja smrti za obdobje 1971–2021, ločeno po spolu	31
Slika 19: Zglajena logaritmira centralna stopnja smrti za obdobje 1971–2021, ločeno po spolu	32
Slika 20: Periodna pričakovana življenjska doba v obdobju 1971–2021, ločeno po spolu	33
Slika 21: Preostala pričakovana življenjska doba za višje starosti v obdobju 2010–2021, ločeno po spolu	34
Slika 22: Ocena parametrov α_x in β_x LC modela, ločeno po spolu	37
Slika 23: Ocena parametra kt LC modela, ločeno po spolu	38
Slika 24: Modelirane vrednosti (obdobje 1971–2021) parametra kt LC modela in njegove prihodnje projekcije (obdobje 2022–2121), ločeno po spolu	38
Slika 25: Simulacije parametra kt za obdobje 2022–2121, ločeno po spolu	39
Slika 26: Pretekla logaritmira centralna stopnja smrti in njene prihodnje projekcije za obdobje 1971–2121, ločeno po spolu	39
Slika 27: Stopnja mortalitete za novorojenčke v obdobju 1971–2121, ločena po spolu	40
Slika 28: Stopnje mortalitete za različne starosti v obdobju 1971–2121, ločeno po spolu	41
Slika 29: Ostanke, ločeni po spolu	42

Slika 30: Ocena parametrov α_x , β_x in kt LC modela za obdobji 1971–2021 in 1991–2021, ločeno po spolu	43
Slika 31: Modelirane in napovedane vrednosti parametra kt LC modela za obdobji 1971–2121 in 1991–2121, ločeno po spolu	44
Slika 32: Pretekla periodna pričakovana življenjska doba s prihodnjimi projekcijami za novorojenčke v obdobju 2010–2121, ločeno po spolu	45
Slika 33: Ocena parametra kt LC modela za tri različne scenarije, ločeno po spolu.....	47
Slika 34: Modelirane vrednosti parametra kt LC modela in njegove prihodnje projekcije za tri različne scenarije (moški).....	48
Slika 35: Modelirane logaritmirane centralne stopnje smrti in njihove napovedi za leti 2020 in 2120 za tri različne scenarije, ločeno po spolu	49
Slika 36: Stopnje mortalitete za novorojenčke za tri različne scenarije, ločeno po spolu ..	50
Slika 37: Stopnje mortalitete za različne starosti za tri različne scenarije, ločeno po spolu	50
Slika 38: Periodna pričakovana življenjska doba v obdobju 1971–2120 za tri različne scenarije, ločeno po spolu	51

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Gostota verjetnosti slučajne spremenljivke T_0	1
Priloga 2: Delež prebivalstva po starostnih skupinah	2
Priloga 3: Delež COVID-19 smrti.....	3
Priloga 4: Presežek smrti po tednih.....	4
Priloga 5: Število smrti po tednih.....	5
Priloga 6: Periodna pričakovana preostala življenjska doba	6
Priloga 7: Parametri LC modela.....	10
Priloga 8: Stopnja mortalitete.....	13
Priloga 9: Napovedi periodne pričakovani življenjske dobe.....	14
Priloga 10: Primerjava parametrov LC modela za tri različne scenarije.....	15
Priloga 11: Periodna pričakovana življenjska doba za tri različne scenarije	16

SEZNAM KRATIC

angl. – angleško

AIC – (angl. Akaike Information Criterion); Akaike informacijski kriterij

APC – (angl. age-period-cohort); starost-perioda-kohorta

ARIMA – (angl. autoregressive integrated moving average); avtoregresivno integrirano drseče povprečje

ARMA – (angl. autoregressive moving average); avtoregresivno drseče povprečje

BC – brez COVID-19

CMI – (angl. Continuous Mortality Investigation)

COVID-19 – (angl. coronavirus infection disease 19); koronavirusna bolezen 19
EU – (angl. European Union); Evropska unija
GLM – (angl. generalized linear model); posplošeni linearni model
GNM – (angl. generalized non-linear model); posplošeni nelinearni model
LC – Lee-Carter
NIJZ – Nacionalni inštitut za javno zdravje
SARS-CoV-2 – (angl. severe acute respiratory syndrome coronavirus 2); hud akutni respiratorni sindrom koronavirus 2
SURS – Statistični urad Republike Slovenije
TBATS – (angl. trigonometric seasonality, Box-Cox transformation, ARMA errors, trend and seasonal components); trigonometrična sezonskost, Box-Coxova transformacija, ARMA napake, trend in sezonske komponente
WHO – (angl. World Health Organization); Svetovna zdravstvena organizacija
ZDA – Združene države Amerike

UVOD

Nepričakovani izbruh pandemije koronavirusne bolezni 19, v nadaljevanju COVID-19 (angl. coronavirus infection disease 19), je močno zaznamoval življenje po celem svetu. Prve okužbe s koronavirusom 2, ki povzroča hud akutni respiratorni sindrom, oz. krajše SARS-CoV-2 (angl. severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) so potrdili konec leta 2019 na Kitajskem. Omenjeni virus povzroča bolezen COVID-19, ki se je kaj kmalu razširil po ostalih kontinentih. Bolezen, ki se kaže z vročino, kašljem in občutkom pomanjkanja zraka, se hitro širi med populacijo z respiratornimi kapljicami. Okužba je pri nekaterih ljudeh zelo blaga ali celo brez simptomov, pri drugih pa lahko napreduje v pljučnico, sindrom akutne dihalne stiske ali celo vodi v smrt. Leta 2020 je Svetovna zdravstvena organizacija (angl. World Health Organization, v nadaljevanju WHO) zabeležila dva milijona smrti kot posledico okužbe z virusom SARS-CoV-2. V naslednjem letu je bolezen COVID-19 zahtevala 3,5 milijona novih smrti. V Sloveniji se je omenjena bolezen pojavila leta 2020. V tedenskem poročilu Nacionalnega inštituta za javno zdravje (v nadaljevanju NIJZ) z dne 4. 1. 2021 je bilo zabeleženih 2.891 smrti, pri katerih je bila okužba s SARS-CoV-2 potrjena v 28 dneh pred smrtjo. Po podatkih, objavljenih s strani NIJZ dne 3. 1. 2022, je v preteklem letu število naraslo na 6.073. Raziskave so do sedaj pokazale, da bolezen COVID-19 največ smrtnih žrtev zahteva med starejšo populacijo. Prav tako je bilo ugotovljeno, da so težjemu poteku bolezni bolj izpostavljeni moški kot ženske. Posledično je več smrti zabeleženih pri moškem delu populacije.

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (v nadaljevanju SURS) se je od leta 1991 pričakovana življenjska doba ob rojstvu podaljšala za 8 let (SURS, 2021, str. 56). V Sloveniji se je v zadnjih treh desetletjih stopnja smrtnosti zmanjševala (NIJZ, 2019, str. 2). V okviru zavarovalništva, matematike in zdravstvenih raziskav se že od leta 1662 naprej razvijajo različni modeli mortalitete. Nasprotno velja za napovedovanje mortalitete, ki se je temeljiteje začelo razvijati šele konec 20. stoletja (Booth & Tickle, 2008, str. 3). Primerne napovedi mortalitete so ključne za ponudnike finančnih instrumentov, katerih izplačila so povezana z verjetnostjo preživetja. Problem je, da osnovne metode, uporabljene pri napovedovanju mortalitete, ne zajemajo ekstremnih razmer ter njihovih posledic, kot jih je na primer povzročil COVID-19.

Namen magistrskega dela je s pomočjo domače in predvsem tuje strokovne literature preučiti vpliv bolezni COVID-19 na mortaliteto slovenskega prebivalstva. Raziskati želim, kolikšne so razlike med dejanskimi pričakovanimi življenjskimi dobami in njihovimi napovedmi. Raziskati tudi želim, kolikšen delež smrti leta 2020 in 2021 je posledica bolezni COVID-19, ter kolikšna je presežna umrljivost. Ugotoviti želim, ali je pričakovana življenjska doba slovenskega prebivalstva upadla z nastopom bolezni COVID-19. Med drugim želim raziskati potencialni razvoj projekcij za leto 2020, pri katerih vhodni podatki ne bodo vsebovali umrlih zaradi bolezni COVID-19.

Cilj magistrskega dela je ugotoviti, kakšen vpliv ima COVID-19 na mortaliteto. Želim si odgovoriti na vprašanja, kolikšna je presežna umrljivost, v katerih starostnih skupinah je le-ta najvišja, ali ima COVID-19 večji vpliv na smrtnost moških ali žensk in ali je pričakovana življenjska doba slovenskega prebivalstva leta 2020 zaradi bolezni COVID-19 upadla. S pomočjo Lee-Carterjeve (v nadaljevanju LC) metode za napovedovanje mortalitete bom raziskala, ali so se pretekle napovedi približale dejanskemu stanju.

V prvem delu magistrskega dela bom predstavila teoretično osnovo obravnavane tematike, ki bo temeljila na strokovni domači in tuji literaturi. Pri tem bom uporabljala predvsem opisno metodo ter metodo kompilacije. Pri predstavitvi modelov mortalitete ter možnih načinov napovedovanja mortalitete bom poleg prej omenjenih metod uporabila tudi komparativno metodo in metodo deskripcije. Drugi del magistrskega dela bo večinoma temeljil na statističnih metodah. Empirično bom preučila posledice bolezni COVID-19 na presežno umrljivost in pričakovano življenjsko dobo slovenskega prebivalstva. Podatki, uporabljeni pri empiričnem delu magistrskega dela, bodo pridobljeni pri SURS-u, statistični službi Evropske unije, ti. Eurostat, in NIJZ. Pri napovedovanju mortalitete za slovensko prebivalstvo bom uporabila LC metodo. Pomagala si bom s programskim jezikom R, ki že ima vgrajeno funkcijo omenjene metode.

Magistrsko delo bo sestavljeno iz štirih poglavij, v katerih bo obravnavana tematika dodatno razdelana v podpoglavja. V uvodnem poglavju bom definirala pojem mortaliteta, opisala možne vplive nanjo in vpeljala osnovne aktuarske oznake ter definicije. Opisala bom modele in nekaj več pozornosti namenila tablicam umrljivosti. V drugem poglavju se bom osredotočila na možne načine napovedovanja mortalitete, ki jih bom na kratko predstavila in opisala njihove morebitne prednosti ter slabosti. Večji poudarek bom namenila LC modelu, ki ga bom na primeru slovenskega prebivalstva tudi aplicirala v zadnjem poglavju. V tretjem poglavju se bom osredotočila na vpliv bolezni COVID-19 na mortaliteto, ki ga bom podrobneje predstavila. Dejanske podatke bom analizirala, interpretirala in primerjala s preteklimi napovedmi. Naredila bom tudi primerjavo presežnih smrti Slovenije in njenih sosednjih držav. V zadnjem, četrtem poglavju bom predstavila rezultate LC metode in ocenila robustnost uporabljenega modela. Poskušala bom napovedati, kaj lahko pričakujemo v prihodnosti in ali so napovedi, izdelane s pomočjo LC modela, smiselne. Predstavila bom morebitni razvoj pričakovane življenjske dobe za različne scenarije, ki bodo imeli različne vhodne podatke.

Na podlagi zgoraj opisanih namenov in ciljev magistrskega dela, so moja raziskovalna vprašanja sledeča:

- **R1:** ali ima COVID-19 večji vpliv na smrtnost moških ali na smrtnost žensk,
- **R2:** ali in kolikšna je presežna umrljivost ter pri katerih starostnih skupinah je največja,
- **R3:** ali in za koliko je upadla pričakovana življenjska doba slovenskega prebivalstva leta 2020 zaradi bolezni COVID-19 in

- **R4:** ali so se pretekle napovedi pričakovane življenjske dobe približale dejanskemu stanju.

V nadaljevanju bom odgovorila na zgornja vprašanja. Pri izdelavi magistrskega dela bom uporabila tudi teoretična znanja, pridobljena v okviru diplomskega in podiplomskega študija.

1 MODEL MORTALITETE

Sestava sodobne družbe se iz leta v leto naglo spreminja in je vedno bolj kompleksna. Vedno več je migracij, število prebivalcev po svetu se večja, kar ima za posledico večje število rojstev in smrti. Veda, ki se ukvarja s proučevanjem omenjenih sprememb, je demografija.

Demografija je študija o sestavi populacije in njenih spremembah. Pomembno je, da lahko sestavo družbe pravilno merimo in jo napovedujemo za prihodnost. Eden izmed temeljnih procesov, ki je predmet demografskih raziskav, je tudi mortaliteta (Hinde, 1998). Mortaliteta je proces, ki preučuje, kako pogoste so smrti v populaciji (Britannica, 2019). Pojem smrt je Malačič (2006, str. 112) opredelil kot »neizogiben in neponovljiv dogodek«. V primerjavi z ostalimi demografskimi pojavi je preučevanje mortalitete posledično enostavnejše.

John Graunt je leta 1662 objavil prvo delo, v katerem je preučeval mortaliteto prebivalcev Londona. Delo je vsebovalo statistiko o številu rojenih in umrlih s poudarkom na javno zdravstveno stanje prebivalstva. Leta 1725 je francoski matematik Abraham de Moivre predlagal model, s pomočjo katerega je modeliral mortaliteto (Rehman, 2020, str. 6). Raziskoval je enakomerno porazdelitev v modelu mortalitete in objavil Razpravo o anuitetah, v kateri je predstavil metode izračunov anuitet (Swetz, 2016). Velik preboj na področju modeliranja mortalitete se je zgodil z Gompertzovim zakonom o jakosti smrtnosti, ki so mu sledili številni drugi modeli (Booth & Tickle, 2008, str. 3).

Pri modeliranju mortalitete so predmet preučevanja časovni sistemi, t. i. modeli mortalitete, ki opisujejo variacije jakosti smrtnosti glede na vključene parametre (Brass, 1971). Modeli imajo pomembno vlogo pri napovedovanju staranja prebivalstva. Z njimi želimo določiti pričakovane stopnje mortalitete v prihodnosti. Modeli se uporabljajo za določanje višine premij pri življenjskih zavarovanjih, preverjanja trajnosti pokojninskih shem, lahko pa so v pomoč vladi pri oblikovanju zdravstvenih in ostalih storitev (Janssen, 2018).

1.1 Vplivi na mortaliteto

Na mortaliteto vplivajo različni dejavniki, ki se kažejo tako v razlikah pri merjenju mortalitete kot tudi v njenih trendih. Dejavniki se med seboj tesno prepletajo, zato jih je največkrat nemogoče povsem ločiti. Najpogosteje jih razdelimo v dve osnovni kategoriji, in sicer (Kwon & Nguyen, 2019, str. 557):

- dejavniki v povezavi z različnimi tveganji vsakega posameznika,

– zunanji dejavniki.

Dejavnike, ki vplivajo na vsakega posameznika posebej, lahko delimo na demografske, socialno-ekonomske in zdravstvene. To so spol, starost, zakonski status, stopnja dohodka, prehranjevalne navade, kajenje, uživanje alkohola, stopnja telesne aktivnosti, genetika itd. Drugo skupino dejavnikov sestavljajo vsa zunanja tveganja, ki na splošno vplivajo na izbrano območje, npr. razvoj medicine in izobraževalni sistemi zmanjšuje stopnjo smrtnosti v določeni državi. Prav tako lahko gospodarski razvoj vpliva na znižanje mortalitete. Zunanji dejavniki, ki stopnjo mortalitete lahko znatno povišajo, so npr. vojna, lakota, naravne nesreče, bolezni in epidemije (Kwon & Nguyen, 2019, str. 557).

1.2 Oznake in definicije

Poznavanje osnovnih aktuarskih pojmov je ključ za razumevanje modeliranja in napovedovanja mortalitete. V aktuarski praksi se oznake malenkost razlikujejo od oznak, ki jih srečujemo pri teoriji verjetnosti. V nadaljevanju so predstavljene aktuarske definicije in oznake, ki jih uporabljam v magistrski nalogi. Nekatere izmed njih so naknadno obrazložene v nadaljnjih poglavjih.

Življenjska doba

S slučajno spremenljivko T_0 označujemo bodočo življenjsko dobo novorojenčka. Podobno oznaka T_x predstavlja preostalo življenjsko dobo osebe stare x let, za katero velja slednje:

$$T_x = T_0 - x \mid T_0 > x. \quad (1)$$

Z drugimi besedami, smrt posameznika, starega x let, bo nastopila po $x + T_x$ letih. Preostala življenjska doba posameznika je zvezno porazdeljena na intervalu $[0, \omega - x]$. Simbol ω predstavlja mejno starost oz. največjo možno starost, ki jo posameznik lahko doseže. Pri temu velja neenakost $0 \leq x \leq \omega < \infty$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 169). Z oznako $F_x(t)$ označimo porazdelitveno funkcijo slučajne spremenljivke T_x , za katero velja

$$F_x(t) = Pr(T_x \leq t), \quad (2)$$

za $t \geq 0$. Vrednost v enačbi (2) predstavlja verjetnost, da bo oseba, ki je danes stara x let, umrla, preden doseže starost $x + t$ let. Za $F_x(t)$ predpostavimo, da je zvezna in ima gostoto verjetnosti $f_x(t) = F'_x(t)$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 200).

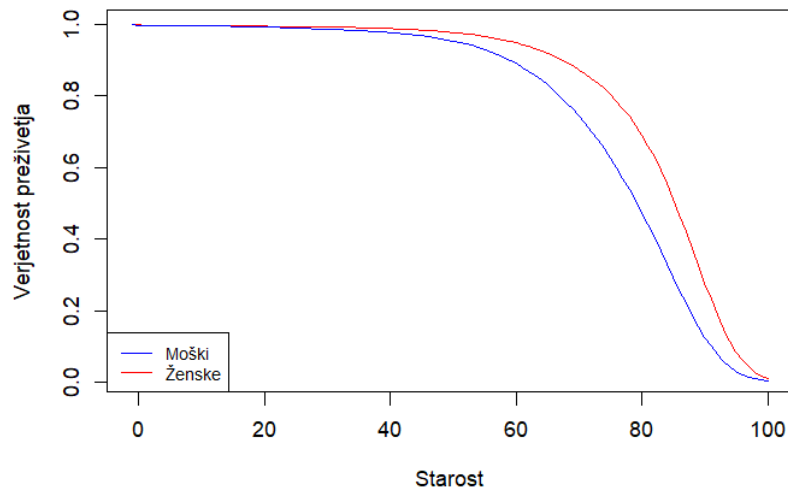
Funkcija preživetja

S pomočjo slučajne spremenljivke T_0 , ki predstavlja bodočo življenjsko dobo novorojenčka, lahko definiramo funkcijo preživetja $S_0(t)$ (v nadaljevanju $S(t)$), ki je definirana za $t \geq 0$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 198).

$$S(t) = Pr(T_0 > t) \quad (3)$$

Omenjena funkcija predstavlja verjetnost, da bo novorojenček preživel naslednjih t let. Tipična oblika grafa funkcije preživetja je prikazana na sliki 1. S slike je razvidno, da imajo moški manjšo verjetnost preživetja. Leta 2021 je bila verjetnost preživetja za ženski spol večja za vse starosti (tj. $x = 0,1, \dots, 100$).

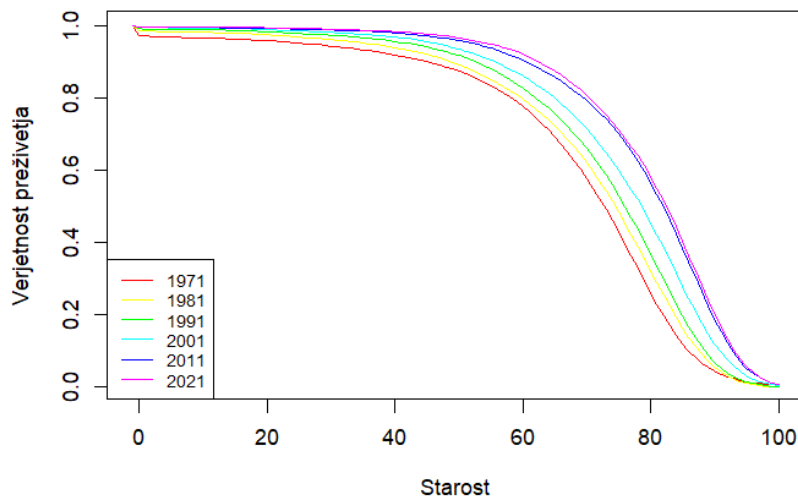
Slika 1: Funkcija preživetja za leto 2021, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Graf funkcije preživetja z leti dobiva vedno bolj oglato obliko, kar je posledica skoncentriranosti smrti pri starejših starostih. S slike 2 je razvidno, da je oblika funkcije preživetja slovenskega prebivalstva za leto 2021 veliko bolj oglata v primerjavi z letom 1971. Ta proces imenujemo »pravokotenje« funkcije preživetja (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 189).

Slika 2: »Pravokotenje« funkcije preživetja



Vir: lastno delo.

Poleg zgoraj prikazanega procesa se funkcija preživetja z leti vedno bolj razteza. Ta pojav imenujemo ekspanzija funkcije preživetja. Pri tem se mejna starost poveča z ω na ω' , pri čemer velja $\omega < \omega'$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 189).

Enačbo (3) lahko zapišemo kot $S(t) = 1 - Pr(T_0 \leq t)$. Če vanjo vstavimo enačbo (2), pri čemer je $x = 0$, dobimo enakost $S(t) = 1 - F_0(t)$. V kolikor nas zanima verjetnost preživetja osebe, stare x let, uporabimo slučajno spremenljivko T_x in njeno porazdelitveno funkcijo $F_x(t)$ kot:

$$S_x(t) = Pr(T_x > t) = 1 - Pr(T_x \leq t) = 1 - F_x(t). \quad (4)$$

V zgornji enačbi $S_x(t)$ predstavlja verjetnost, da bo oseba, stara x let, še živa čez t let, oznaka $F_x(t)$ pa verjetnost, da oseba, stara x let, ne bo dočkala starosti $x + t$ let (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 200–201).

Z aktuarsko oznako ${}_t p_x$ zapišemo verjetnost, da bo oseba, stara x let, še živa čez t let (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 198).

$${}_t p_x = Pr(T_x > t) = \frac{S(x+t)}{S(x)} \quad (5)$$

Iz enačbe (5) sledi ${}_t p_x = S_x(t)$. Na podoben način lahko izrazimo verjetnost ${}_t q_x$, tj. oseba, stara x let, bo umrla v roku t let (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 198).

$${}_t q_x = \frac{S(x) - S(x+t)}{S(x)} \quad (6)$$

S pomočjo enačb (4) in (5), enačbo (6) preoblikujemo v ${}_t q_x = 1 - {}_t p_x = 1 - S_x(t) = F_x(t)$.

V primeru, ko je $t = 1$, je notacija enoletne verjetnosti preživetja oz. smrti osebe, stare x let poenostavljena, na p_x in q_x .

Jakost smrtnosti

Jakost smrtnosti je pomemben in temeljni koncept modeliranja prihodnje življenjske dobe. Z omenjenim pojmom si lahko razlagamo trenutno stopnjo mortalitete pri osebi, stari x let. Definirana je za $x \geq 0$ kot sledi:

$$\mu_x = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{{}_t q_x}{t} \quad (7)$$

Iz zgornje enačbe izpeljemo $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{S(x) - S(x+t)}{t \cdot S(x)}$ tako, da izraz ${}_t q_x$ zamenjamo z enačbo (6). S tem dobimo ravno odvod funkcije preživetja, pomnoženega z $\frac{1}{S(x)}$, tj. $\frac{-S'(x)}{S(x)}$. V kolikor odvajamo enačbo $F_0(x) = 1 - S(x)$, vidimo, da je odvod funkcije $S(x)$ enak nasprotni

vrednosti gostoti verjetnosti, tj. $-f_0(x)$. Iz tega sledi, da je $f_0(x) = \mu_x \cdot S(x)$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 201–202). Na podoben način je definirana relacija med jakostjo smrtnosti za katerokoli starost $x + t$, kjer $t > 0$, in gostoto verjetnosti slučajne spremenljivke T_x . V tem primeru velja enakost $f_x(t) = \mu_{x+t} \cdot S_x(t)$ oz. $f_x(t) = \mu_{x+t} \cdot {}_t p_x$.

Predpostavka, ki bo v nadaljevanju upoštevana pri projiciranju mortalitete, je predpostavka o konstantni jakosti smrtnosti. V primeru, da starost ni celo število, temveč $x + t$, kjer je $0 < t < 1$, predpostavimo enakost $\mu_{x+t} = \mu_x$ (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 58).

Centralna stopnja smrti

Obnašanje funkcije jakosti smrtnosti na intervalu $(x, x + 1)$ je mogoče opisati s centralno stopnjo smrti. Označimo jo z m_x za starost x ter uporabljamo njen približek

$$m_x = \frac{\int_0^1 S(x+u) \mu_{x+u} du}{\int_0^1 S(x+u) du} = \frac{S(x) - S(x+1)}{\int_0^1 S(x+u) du} \approx \frac{S(x) - S(x+1)}{\frac{S(x) + S(x+1)}{2}} \quad (8)$$

kjer je $0 < u \leq 1$. Kot posledica enačbe (8) in predpostavke o konstantni jakosti smrtnosti velja enakost $m_x = \mu_x$ za starost x (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 57).

Pričakovana preostala življenjska doba

Pričakovana preostala življenjska doba ob rojstvu (tj. pričakovana celotna življenjska doba) je matematično upanje življenjske dobe novorojenčka. V kolikor prvi integral v enačbi (9) integriramo po delih,¹ lahko pričakovano preostalo življenjsko dobo ob rojstvu izrazimo s pomočjo funkcije preživetja.

$$\bar{e}_0 = \mathbb{E}[T_0] = \int_0^\infty t f_0(t) dt = \int_0^\infty S(t) dt \quad (9)$$

Podobno definiramo pričakovano preostalo življenjsko dobo za posameznika, starega x let.

$$\bar{e}_x = \mathbb{E}[T_x] = \int_0^\infty t f_x(t) dt = \frac{1}{S(x)} \int_0^\infty S(x+t) dt \quad (10)$$

Iz zgornje enačbe je razvidno, da ima oseba, stara x let, pričakovano starost ob smrti enako ravno $x + \bar{e}_x$ (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 203).

¹ Funkcijo $f_0(t)$ zapišemo kot produkt $\mu_t \cdot S(t)$, kjer za μ_t uporabimo enačbo (7). S tem dobimo enakost $f_0(t) = -S'(t)$. Za integracijo po delih izberemo $u = t$ in $vdv = -S'(t)$. Sledi $\int_0^\infty t \cdot (-S'(t)) dv = tS(t)|_0^\infty + \int_0^\infty S(t)dt$, kjer je $tS(t)|_0^\infty = 0$.

1.3 Vrste modelov

Za čim uspešnejše napovedovanje mortalitete je pomembna izbira ustreznega modela, s katerim se modelira pretekle podatke in izdelajo napovedi. V analizah preteklega razvoja stopenj mortalitete so velikokrat uporabljeni modeli, kjer je stopnja mortalitete v odvisnosti od starosti, obdobja in kohorte (oz. generacije). Imenujemo jih APC (angl. age-period-cohort) modeli. Tovrstne tri spremenljivke pomagajo pri razumevanju vplivov na stopnjo mortalitete. Z njimi je mogoče analizirati spremembe stopnje mortalitete, ko se posamezniki starajo in ko pride do vpliva medicinskega ter socialnega napredka. Prav tako je mogoče analizirati vseživljenjske učinke mortalitete, ki na posameznika vplivajo že od rojstva (Hunt & Blake, 2015, str. 2).

APC modeli za mortaliteto povezujejo odvisno spremenljivko z linearno ali bilinearno napovedano vrednostjo, ki je sestavljena iz vrste dejavnikov, ki so v odvisnosti s starostjo x , obdobjem t in kohorto $\tau = t - x$. Te vrste modelov posledično spadajo v razred posplošenih nelinearnih modelov oz. GNM (angl. generalized non-linear model), ki jih lahko izrazimo kot

$$\eta_{x,t} = \alpha_x + \sum_{i=1}^N \beta_x^{(i)} \kappa_t^{(i)} + \beta_x^{(0)} \gamma_\tau, \quad (11)$$

kjer komponente enačbe (11) predstavljajo (Hunt & Blake, 2015, str. 3):

- $\eta_{x,t}$ je povezovalna funkcija, ki transformira odvisno spremenljivko (to bo neka izbrana mera za stopnjo mortalitete) pri starosti x in za leto t v ustrezno obliko za modeliranje,
- α_x je statična funkcija starosti, ki zajema splošno obliko mortalitete za vse starosti in značilnosti mortalitetne krivulje, ki niso v odvisnosti s časom,
- $\beta_x^{(i)} \kappa_t^{(i)}$ je množica N starostnih-periodnih izrazov, ki so sestavljeni iz starostne funkcije $\beta_x^{(i)}$ (določa vzorec sprememb mortalitete po starosti) in periodne funkcije $\kappa_t^{(i)}$ (določa razvoj stopnje mortalitete skozi čas) in
- $\beta_x^{(0)} \gamma_\tau$ je starostno-kohortni izraz, ki je sestavljen iz starostne funkcije $\beta_x^{(0)}$ (spreminja kohortni del) in kohortnega izraza γ_τ (določa vseživljenjske učinke, ki so specifični za vsako generacijo).

Prednost večine APC modelov je, da lahko njihove komponente razlagamo v smislu bioloških, medicinskih ali socialno-ekonomskih vzrokov, ki vplivajo na spremembe v stopnji mortalitete (Hunt & Blake, 2015, str. 4).

V splošnem lahko APC modele, ki so v uporabi za napovedovanje mortalitete, delimo v tri družine modelov (Hunt & Blake, 2015, str. 5):

- klasični APC model,
- LC model in njegova neposredna razširitev in
- Cairns-Blake-Dowd oz. CBD model.

V istem vrstnem redu kot so družine navedene, so se tudi razvijale (Hunt & Blake, 2015, str. 5).

1.3.1 Klasični APC model

Klasični APC model je simetričen v vsaki od treh dimenzij starosti, obdobja in kohorte, ki ga lahko zapišemo kot

$$\ln(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \kappa_t + \gamma_{t-x} + \delta. \quad (12)$$

V kolikor v zgornji enačbi izpustimo komponento δ oz. jo vključimo v funkcijo starosti α_x , lahko APC model lažje primerjamo z LC modelom, ko modeliramo stopnje mortalitete. APC modele se velikokrat primerja z enostavnejšimi modeli $\ln(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \kappa_t$ ali $\ln(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \gamma_{t-x}$ za lažje analiziranje pomembnosti učinka obdobja oz. kohorte (Hunt & Blake, 2015, str. 9).

1.3.2 LC model

LC model opisuje logaritemsko funkcijo centralne stopnje smrti m_x kot

$$\ln(m_x(t)) = \alpha_x + \beta_x \kappa_t + \varepsilon_x(t), \quad (13)$$

kjer komponente enačbe (13) predstavljajo:

- α_x je funkcija starosti, ki predstavlja povprečje $\ln(m_x(t))$ skozi čas in zajame splošno obliko $\ln(m_x(t))$,
- $\beta_x \kappa_t$ je izraz, sestavljen iz mortalitetnega indeksa κ_t (časovna spremenljivka, ki zajame zmanjšanje oz. povečanje mortalitete skozi čas) in starostne funkcije β_x (opisuje odstopanja različnih starosti od povprečnega starostnega vzorca, ko se κ_t zmanjšuje oz. povečuje) ter
- $\varepsilon_x(t)$ je napaka (predstavlja starostno specifične historične vplive, ki jih model ne zajema) s povprečjem 0 in varianco σ_ε^2 .

Pomembno je omeniti, da je LC model različen od parametričnih modelov (npr. zakoni smrtnosti), saj je v enačbi (13) odvisnost starosti predstavljena z zaporedji α_x -ov in β_x -ov (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 171). Poleg tega na modelu ne moremo uporabiti enostavne regresije, saj so na desni strani enačbe (13) le nemerljive spremenljivke. V tem primeru je običajni postopek za ocenjevanje parametrov metoda najmanjših kvadratov, ki jih dobimo s pomočjo singularnega razcepa (Lee, 2000, str. 81).

Za zagotovitev enolične rešitve sta Lee in Carter (1992, str. 660) upoštevala dve predpostavki:

$$\sum_x \beta_x = 1 \quad (14)$$

in

$$\sum_t \kappa_t = 0. \quad (15)$$

Zgoraj navedeni predpostavki zagotovita, da je za vsako starost x člen α_x ravno povprečje logaritma od centralne stopnje smrti $\ln(m_x(t))$, za dana leta t (Lee, 2000, str. 81).

Dobljene cenilke parametrov α_x in β_x označimo kot $\hat{\alpha}_x$ in $\hat{\beta}_x$ ter jih uporabimo za izračun cenilke parametra κ_t , pri čemer mora veljati enačba

$$m_x(t) = e^{\hat{\alpha}_x + \hat{\beta}_x \kappa_t}, \quad (16)$$

ki sledi iz enačbe (13). Slednjo cenilko nato uporabimo za napovedovanje mortalitete v prihodnosti kot stohastično časovno vrsto (Lee, 2000, str. 81).

1.4 Tablice umrljivosti

Z vidika demografije so tablice umrljivosti ena izmed najstarejših oblik demografskih tablic. V tablicah umrljivosti oz. življenjskih tablicah so prikazane intenzivnost umiranja in njene razporeditve po starosti. Tovrstne vrednosti so primerljive v času in prostoru (SURS, 2020, str. 5).

1.4.1 Slovenske tablice umrljivosti

V času Jugoslavije so pobudo za izdelavo tablic umrljivosti dale zavarovalnice, saj so jih potrebovale za oblikovanje pokojninskih zavarovanj rudarjev in njihovih družin. Osnova za tovrstne tablice je sprva temeljila na pruskih ter nato na avstrijskih podatkih, saj Jugoslavija leta 1924 še ni imela ustrezne statistike. Za obdobje med letoma 1931 in 1941 je Ivo Lah želel izdelati prve jugoslovanske tablice, a na žalost je bil načrt izveden le deloma, saj je bilo veliko podatkov o starosti prebivalstva uničenih med drugo svetovno vojno. Omenjeni avtor je 31. 3. 1931 izdal prvo tablico umrljivosti slovenskega naroda na podlagi podatkov o živorojenih in umrlih med letoma 1931 in 1933. Po vojni se je povpraševanje po tablicah umrljivosti povečalo. Poleg zavarovalnic, ki so tablice umrljivosti potrebovale pri izračunih zavarovanj, so te pripomogle k hitrejšemu razvoju demografske statistike. Leta 1960 je Zvezni zavod za statistiko izdelal prve popolne tablice umrljivosti za vso državo (Šircelj, 1987, str. 7).

Leta 1987 je SURS prvič za Slovenijo objavil publikacijo Tablice umrljivosti prebivalstva Slovenije. V njihovi spletni podatkovni bazi SiStat so objavljene skrajšane tablice umrljivosti slovenskega prebivalstva. Za razliko od popolnih tablic umrljivosti, ki imajo

enoletne starostne razrede (0, 1, 2, ...), imajo te večletne (0, 1–4, 5–10, ...). Skrajšane tablice, ki jih SURS objavi vsako leto, vsebujejo podatke o surovih verjetnostih q_x , številu živih l_x , številu umrlih d_x , številu preživelih let L_x , vsoti funkcije preživetih let T_x in pričakovanem trajanju življenja e_x . Surove verjetnosti so izražene kot razmerje med opazovanim številom umrlih, starih med x in $x + 1$ let, ter opazovanim številom živih, starih x let. Funkcija l_x predstavlja število še živečih oseb, starih x let, ob vsakokratnem rojstnem dnevu od 100.000 živorojenih. Razlika med dvema zaporednima vrednostma funkcije l_x , tj. $l_x - l_{x+1}$, predstavlja število umrlih d_x . Oznaka L_x predstavlja skupno število let, preživetih za starost x . Navadno se število izračuna kot povprečje dveh zaporednih vrednosti funkcije l_x , tj. $L_x = \frac{l_x + l_{x+1}}{2}$. Izjema so novorojene osebe, za katere je umrljivost višja v primerjavi z nadaljnjimi starostmi. V tem primeru se preživeta leta izračunajo z enačbo $L_0 = 0,1 \cdot l_0 + 0,9 \cdot l_1$. Število let, ki jih oseba, stara x let, preživi do smrti, je izračunano kot vsota vseh preživetih let $T_x = \sum_x^{\omega} L_x$. Pričakovano preostalo življenjsko dobo za osebo, staro x let, izračunajo kot $e_x = \frac{T_x}{l_x}$. Pri tem je predpostavljeno, da bo umrljivost ostala nespremenjena za izbrano starost od opazovanega leta dalje (SURs, 2020, str. 6–7). Slika 3 prikazuje del skrajšanih tablic umrljivosti, ki jih je objavil SURs. Izpisan je del tablic za starostne skupine od 0 do 19 let za moški spol, za leto 2021.

Slika 3: Izpis skrajšanih tablic umrljivosti za moški spol pri starostih od 0 do 19 let, za leto 2021

Skrajšane tablice umrljivosti prebivalstva po spolu, Slovenija, letno

Skrajšane tablice umrljivosti prebivalstva po: LETO, SPOL, STAROSTNE SKUPINE, SKRAJŠANE TABLICE UMRLJIVOSTI

		Surova verjetnost smrti (q_x)	Število živih (l_x)	Število umrlih (d_x)	Preživeta leta (L_x)	Vsotna funkcija preživetih let (T_x)	Pričakovano trajanje življenja (e_x)	
2021	Moški	0 let	0,002240	100.000	224	99.798	7.763.219	77,63
		1-4 let	0,000396	99.776	39	399.004	7.663.420	76,81
		5-9 let	0,000086	99.736	9	498.670	7.264.416	72,84
		10-14 let	0,000086	99.728	9	498.610	6.765.747	67,84
		15-19 let	0,002271	99.719	226	498.197	6.267.137	62,85

Vir: SURS (2022).

1.4.2 Uporaba tablic

Tablice umrljivosti zapišemo kot matriko (razvidno iz tabele 1), kjer $q_x(t)$ predstavlja verjetnost, da bo posameznik, star x let, v koledarskem letu t umrl v roku enega leta (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 190).

Tabela 1: Verjetnosti smrti v tablicah umrljivosti

	...	$t - 1$	t	$t + 1$	...
0	...	$q_0(t - 1)$	$q_0(t)$	$q_0(t + 1)$	...
1	...	$q_1(t - 1)$	$q_1(t)$	$q_1(t + 1)$	...
\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots	...
x	...	$q_x(t - 1)$	$q_x(t)$	$q_x(t + 1)$	...
$x + 1$	...	$q_{x+1}(t - 1)$	$q_{x+1}(t)$	$q_{x+1}(t + 1)$	...
\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots	...
ω	...	$q_\omega(t - 1)$	$q_\omega(t)$	$q_\omega(t + 1)$	...

Vir: Olivieri & Pitacco (2015).

Elemente matrike lahko razberemo na tri možne načine (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 190):

- 1.) po vrsticah (t. i. *horizontalni način*), kjer se $\dots, q_x(t - 1), q_x(t), q_x(t + 1) \dots$ nanašajo na profile mortalitete, pri čemer se vsak profil nanaša na dano starost x ,
- 2.) po diagonalah (t. i. *diagonalni način*), kjer se $q_0(t), q_1(t + 1), \dots, q_x(t + x) \dots$ nanašajo na zaporedje kohortnih tablic umrljivosti, pri čemer se vsaka tablica nanaša na dano leto rojstva t kohorte in
- 3.) po stolpcih (t. i. *vertikalni način*), kjer se $q_0(t), q_1(t), \dots, q_x(t) \dots$ nanašajo na zaporedje periodnih tablic smrtnosti, pri čemer se vsaka tablica nanaša na dano koledarsko leto t .

Na podlagi danih podatkov iz tablic umrljivosti je mogoče sestaviti tudi projekcije oz. pričakovane stopnje mortalitete za prihodnost. Projicirane stopnje mortalitete za leta $t_n + 1, t_n + 2, \dots, t^*$, kjer je t_n zadnje leto, za katerega so razpoložljivi podatki, in t^* zadnje leto, za katerega so izdelane projekcije, so del t. i. projiciranih tablic umrljivosti (Olivieri & Pitacco, 2015, str. 191).

2 NAPOVEDOVANJE MORTALITETE

Izbor modela za modeliranje mortalitete je odvisen od več dejavnikov. Kot prvo se je treba vprašati, katera vrednost se bo modelirala, saj je lahko to odvisno od namena napovedi in razpoložljivosti podatkov. V večini primerov so predmet raziskovanja starostnospecifične stopnje mortalitete ali pa verjetnosti smrti. V primeru, ko se zanimamo le za napovedi življenjske dobe, so navadno v uporabi življenjske tablice s starostnospecifičnimi podatki. V kolikor želimo napovedati število smrti, je to najboljše izračunati na podlagi napovedi mortalitetnih stopenj preko populacijskih napovedi (Booth & Tickle, 2008, str. 5).

Po izboru modela za modeliranje mortalitete sledi določitev pristopa (pričakovanje, pojasnjevanje ali ekstrapolacija) in metode za napovedovanje. Pri tem je treba vzeti v obzir razpoložljivost podatkov, namen napovedi in obseg napovedi. Za dolgoročne napovedi sta navadno v uporabi pristop ekstrapolacije in metoda časovnih vrst. Natančnost metode za

napovedovanje je prav tako pomemben dejavnik. Treba je razlikovati med prileganjem modela na pretekle podatke in natančnostjo napovedi. Namreč, odstopanja oz. napake modela za prilagajanje preteklih podatkov niso dober indikator za natančnost napovedi (Booth & Tickle, 2008, str. 7).

V nadaljevanju bom predstavila tri pristope za napovedovanje mortalitete. Zatem bom podrobneje opisala stohastično metodo za napovedovanje mortalitete, in sicer LC metodo.

2.1 Pristopi za napovedovanje mortalitete

Odkar se pričakovana življenjska doba podaljšuje, je povpraševanje po napovedih mortalitete močno v porastu. Od leta 1980, ko je prišlo do bistvenega napredka v napovedovanju mortalitete, se za napovedovanje mortalitete uporabljajo trije različni pristopi, in sicer pričakovanje, pojasnjevanje ter ekstrapolacija (Booth & Tickle, 2008, str. 3).

2.1.1 Pričakovanje

Napovedi mortalitete je mogoče narediti na podlagi pričakovanj. Pričakovanje kot pristop za napovedovanje mortalitete je metoda, ki temelji na subjektivni presoji strokovnjakov. To je tudi glavni vzrok, da v napovedih prihaja do pristranskosti. Posledično tovrstni pristop ni najprimernejši za napovedovanje mortalitete. Omenjeni pristop se je uporabljal predvsem v preteklosti za dolgoročna napovedovanja. Pri pričakovanju je temelj za napovedovanje mortalitete vedenje prebivalstva na podlagi preteklih podatkov in raziskav. Prednost omenjenega pristopa je vključitev različnih demografskih, epidemioloških in ostalih relevantnih znanj pri napovedovanju mortalitete. Pričakovanja se lahko uporabljajo tudi za kratkoročne napovedi posameznikovega zdravja, na podlagi katerega je mogoče napovedati smrt. V preteklosti se je izkazalo, da so tovrstne osebne ocene verjetnosti preživetja do določene starosti v skladu z ocenami življenjske dobe iz tablic umrljivosti (Booth & Tickle, 2008, str. 9).

2.1.2 Pojasnjevanje

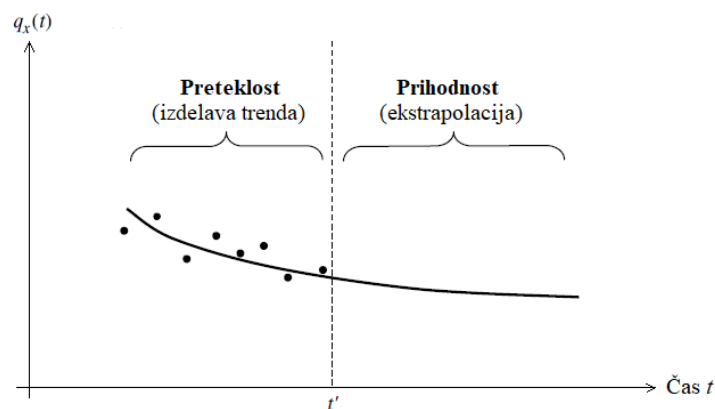
Napovedovanje mortalitete s pojasnjevanjem je pristop, pri katerem so napovedi narejene na podlagi vzrokov smrti. Napovedi temeljijo na epidemioloških modelih, ki preučujejo določene vzroke smrti z znanimi dejavniki tveganja in razvojem bolezni. Ravno iz tega izhajajo težave, saj je napovedovanje omejeno le na znane vzroke in dejavnike. Poleg tega so lahko podatki o vzrokih smrti med seboj odvisni. Za uporabo tovrstnega pristopa je potrebnih veliko informacij in znanja s področja vedenjskih in okoliških sprememb ter medicine. Modeli, ki so velikokrat uporabljeni pri napovedovanju, temeljijo na regresiji in sodijo med posplošene linearne modele oz. GLM (angl. generalized linear model) modele. Dejavniki tveganja so uporabljeni kot pojasnjevalne spremenljivke, ki so uporabljene ali za

napovedovanje ali pa so pri napovedi odložene. Glede na to, da je na dolgi rok raziskovanje vzrokov smrti in dejavnikov tveganja kompleksno, se omenjeni pristop uporablja le pri kratkoročnih napovedih mortalitete (Booth & Tickle, 2008, str. 12).

2.1.3 Ekstrapolacija

Ekstrapolacija je napovedovanje prihodnje mortalitete na podlagi preteklih vzorcev. Na sliki 4 je prikazana ekstrapolacija verjetnosti smrti posameznika, starega x let, v odvisnosti od časa. Pri ekstrapolaciji moramo biti pozorni na to, s kakšnimi podatki imamo opravka oz. kako jih interpretiramo ter kako dobljene (točkovne) ocene prihodnje mortalitete posplošimo na ocene intervalov. V kolikor razpolagamo s podatki, ki jih interpretiramo enostavno kot (navadne) številke, pri ekstrapolaciji ni mogoče preveriti statističnih značilnosti teh podatkov (npr. zanesljivost podatkov). Nasprotno velja za podatke, na katere gledamo kot na naključne spremenljivke. V tem primeru se mora postopek ekstrapolacije zanašati na statistične predpostavke. Posledično velja, da lahko ocene prihodnje mortalitete predstavimo bodisi kot točke bodisi kot intervale (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 141).

Slika 4: Ekstrapolacija profilov mortalitete



Prirejeno po Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri (2009).

Pri napovedovanju mortalitete z ekstrapolacijo se pogosto uporabljajo časovne vrste. Njihova glavna prednost je, da so stohastične in s tem omogočajo izračun predvidenega intervala z verjetnostmi za napovedano vrednost (Booth & Tickle, 2008, str. 9).

2.2 Napovedovanje mortalitete z uporabo LC modela

V podglavju 1.3.2 smo spoznali enačbo, s katero LC model opisuje centralno stopnjo smrti. V nadaljevanju bom predstavila proces napovedovanje mortalitete z uporabo LC modela. Poleg tega bom izpostavila glavne prednosti ter slabosti omenjenega modela za modeliranje in napovedovanje mortalitete.

2.2.1 Stohastična metoda za napovedovanje

Prednost LC modela je, da se pri napovedovanju mortalitete uporablja stohastični pristop. Ko govorimo o stohastičnem modelu za napovedovanje, je treba poudariti, da so (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 169):

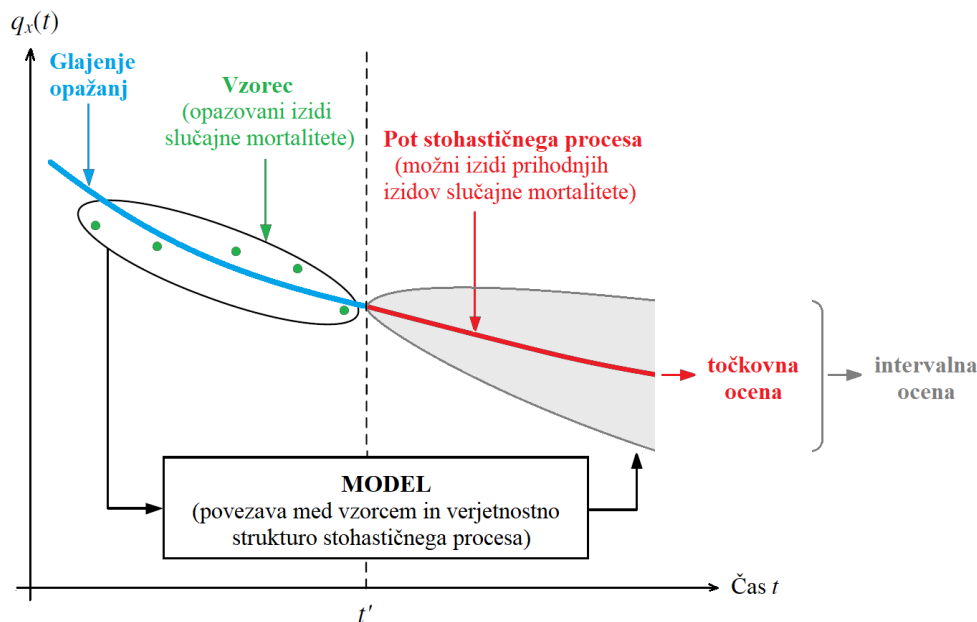
- opazovane stopnje mortalitete ravno izidi slučajne spremenljivke, ki predstavlja preteklo mortaliteto, in
- napovedane stopnje mortalitete so ocene slučajnih spremenljivk, ki predstavljajo prihodnjo mortaliteto.

Torej moramo upoštevati stohastične predpostavke glede mortalitete, kar je razvidno tudi s slike 5. Ti dve predpostavki sta (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 169):

- 1.) število smrti se da predstaviti z verjetnostno porazdelitvijo in
- 2.) statistična struktura, ki povezuje opazovanja z napovedmi, mora biti navedena.

Pri uporabi stohastičnega pristopa lahko kot rezultat dobimo bodisi točkovno bodisi intervalno oceno prihodnje stopnje mortalitete (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 169). Omenjeno je uprizorjeno na sliki 5.

Slika 5: Stohastičen pristop: od opazovanih vrednosti do prihodnjih ocen



Prirejeno po Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri (2009).

Za napovedovanje parametra κ_t je v uporabi avtoregresivno integrirano drseče povprečje (angl. autoregressive integrated moving average) oz. krajše ARIMA metoda. V objavi svojega dela sta Lee in Carter uporabila metodo naključnega sprehoda z zdrsom, ki je bila za njune podatke najbolj primerna (Lee & Carter, 1992). Le-to lahko izrazimo z enačbo

$$\hat{\kappa}_t = \hat{\kappa}_{t-1} + \theta + \xi_t, \quad (17)$$

kjer θ predstavlja parameter zdrsa in ξ_t napako z normalno porazdelitvijo, tj. s povprečjem 0 in varianco σ_ξ^2 . Cenilko parametra zdrsa $\hat{\theta}$ izračunamo z metodo največjega verjetja, kot sledi v enačbi (18) (Giroso & King, 2007, str. 4):

$$\hat{\theta} = \frac{(\hat{\kappa}_{t_n} - \hat{\kappa}_{t_1})}{t_n - t_1}. \quad (18)$$

Glede na to, da κ_t izračunamo s pomočjo stohastične časovne vrste, je posledično tudi centralna stopnja smrti $m_x(t)$ modelirana kot stohastični proces. Napovedi centralne stopnje smrti z začetnim letom t' (velja $t > t'$) izračunamo s pomočjo enačbe (19) (Pitacco, Denuit, Haberman & Olivieri, 2009, str. 171).

$$m_x(t) = e^{\hat{\alpha}_x + \hat{\beta}_x \kappa_t} = m_x(t') e^{\hat{\beta}_x (\kappa_t - \hat{\kappa}_{t'})} \quad (19)$$

2.2.2 Prednosti in slabosti LC modela

Ključna prednost LC modela leži v njegovi preprosti uporabi in robustnosti. Poleg tega je število parametrov majhno in se jih da enostavno interpretirati. Model ima zmožnost dobrega prilagajanja za širok obseg starostnih podatkov. Lee je v naknadno objavljenem delu leta 2000 izpostavil, da je prednost LC modela tudi popolna korelacija razlik med $\ln(m_x(t))$, v kolikor je člen $\varepsilon_x(t)$ zanemarljiv. Popolna korelacija je uporabna, saj se lahko na podlagi mej verjetnosti za napovedi κ_t izračuna meje verjetnosti za vse funkcije, uporabljene v tablicah umrljivosti. Omeniti je treba, da starostnospecifične stopnje smrti v LC modelu ne bodo nikoli negativne. To pri modeliranju zagotovi logaritem, kar je prednost pri napovedovanju mortalitete (Lee, 2000).

Kljub številnim prednostim ima LC model tudi svoje šibke točke. Upad mortalitete ni vedno enak, kot to prikazuje κ_t , pri čemer se začne porajati vprašanje, ali bodo napovedi o mortaliteti glede na pretekle vzorce ustrezne. Poleg tega LC model predpostavlja, da stopnja odstopanja β_x pri različnih starostih x ostaja skozi čas enaka, kar pa se v praksi ne dogaja. Lee je izrazil tudi pomislek o tem, ali se bo hitrost prihodnjih trendov spreminjala enako hitro kot v preteklosti. Za prihodnost je namreč težko predpostaviti, da se bodo trendi gibal enako kot v preteklosti (Lee, 2000).

3 VPLIV BOLEZNI COVID-19 NA MORTALITETO

Ljudje so se začeli v času pandemije COVID-19 srečevati s številnimi negotovostmi v skoraj vseh vidikih vsakdanjega življenja. Ena izmed ključnih vprašanj, ki so se in se še porajajo vsem nam, so, kako hitro se virus širi, koliko različic prvotnega virusa se še bo pojavilo, predvsem pa koliko smrtnih žrtev bo bolezen zahtevala na koncu. Kakšen vpliv bo imel

COVID-19 na mortaliteto prebivalstva, je eno izmed ključnih vprašanj, na katerega poskuša odgovoriti tudi zdravstvena oz. medicinska stroka.

Na temo vpliva bolezni COVID-19 na mortaliteto je veliko aktivnih raziskav. Prav tako je veliko zanimanja za vpliv omenjene bolezni na mortaliteto v zavarovalniški industriji, saj le-ta posredno vpliva tudi na vrednosti tablic umrljivosti. Edwards (2020) je že na začetku pandemije v Združenih državah Amerike (v nadaljevanju ZDA) izpostavil morebitne vplive COVIDA-19 na zavarovalnice. Napovedal je, da bodo zavarovalnice, ki prodajajo rente, opazile nenadno povišanje števila smrti pri starejših zavarovancih. Izrazil je tudi pomislek, da bodo lahko v težavah pristali ponudniki vseživljenjskih zavarovanj z nizkim deležem pozavarovanja. Avtor je menil, da bi COVID-19 lahko imel materialni vpliv na mortaliteto in posledično na dobičkonosnost zavarovalnih polic vseživljenjskih zavarovanj, kjer so zavarovanci stari med 50 in 60 let.

3.1 COVID-19

Pretekle izkušnje kažejo na to, da se izbruhi pandemij pojavijo na bolj ali manj vsakih 40 let. V povprečju te izzvenijo v obdobju 1–1,5 leta. V preteklem stoletju so bile zabeležene tri večje pandemije oz. gripe, in sicer španska gripa leta 1918, azijska gripa leta 1957 in hongkonška gripa leta 1968. V vseh treh primerih se je gripa hitro razširila po vsem svetu, vsaka od njih pa je zahtevala vsaj milijon žrtev. Van Broekhoven, Alm, Tuominen, Hellman & Dziworski (2006, str. 6), strokovnjaki s področja aktuarstva, se v svojem delu niso spraševali, ali bo prišlo do nove pandemije, temveč kdaj bo prišlo do izbruha nove pandemije in v kolikšni meri bo ta vplivala na zavarovalniško industrijo. Glede na to, da je bilo leto 2006 že 38. leto zapored brez pandemije, so statistični izračuni kazali na to, da se bo ta slej kot prej ponovno pojavila. Takratni teoretični izračuni so pokazali, da je verjetnost, da se pandemija ne bo pojavila do leta 2015, manjša od 20 %.

Konec leta 2019 so na Kitajskem potrdili prve okužbe z novim koronavirusom SARS-CoV-2. Omenjeni virus, ki povzroča bolezen COVID-19, se je hitro začel širiti med prebivalstvom po celem svetu. WHO je 11. marca 2020 razglasila pandemijo. Bolezen COVID-19 je namreč ustrezala vsem trem pogojem, ki morajo biti izpolnjeni za razglasitev pandemije (WHO, 2020):

- bolezen je nova,
- bolezen povzroča resne zdravstvene težave in
- bolezen se hitro širi med prebivalstvom.

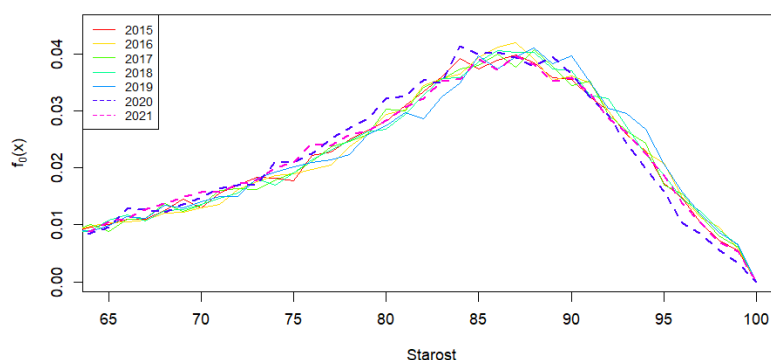
V Sloveniji je bila prva okužba z virusom SARS-CoV-2 potrjena 4. marca 2020. 12. marca 2020 je bila razglašena epidemija, dva dni kasneje pa je bolezen zahtevala prvo smrtno žrtev pri nas. Leta 2020 je zaradi COVIDA-19 umrlo 3.024 slovenskih prebivalcev. S tem je omenjena bolezen pristala na prvem mestu glede števila smrti po osnovnem vzroku. Pri tem je treba omeniti, da pozitiven test na SARS-CoV-2 ni nujno tudi pogoj za določitev

COVIDA-19 kot osnovnega vzroka smrti (npr. pri nekom, ki je pozitiven na testu za virusom SARS-CoV-2, a umre v avtomobilski nesreči, se smrt ne bo štela pod kategorijo, kjer je osnovni vzrok smrti COVID-19) (NIJZ, 2021a).

V nadaljevanju bom uporabljala podatke o umrlih z okužbo SARS-CoV-2, potrjeno 28 dni pred nastopom smrti, pridobljene s strani NIJZ. Zanje bom v nadaljevanju uporabljala izraz COVID-19 smrti. Podatki vsebujejo smrti, ločene glede na starost (tj. 0 let, 1 leto, 2 leti ...) in spol za leto 2020, za katere sem osebno zaprosila v njihovi statistični službi in niso prosto dostopni. Podatki, dostopni na internetni strani NIJZ, namreč vsebujejo le smrti po starostnih skupinah in spolu. Pri tovrstnih podatkih je treba upoštevati nekaj dejstev. V začetku epidemije v Sloveniji testiranje za COVID-19 ni potekalo tako gladko kot danes. Število testov je bilo omejeno. Poleg tega se je na izvide čakalo dlje časa. Posledično prav gotovo niso bile zabeležene vse smrti, pri katerih je umrli imel potrjeno okužbo z virusom SARS-CoV-2. Tovrstni podatki zajemajo le smrti, pri katerih je imela bolezen direkten vpliv na mortaliteto. Torej, v nadaljnjih analizah, pri katerih bom COVID-19 smrti ločevala od preostalih smrti, ne bodo zajeti indirektni vplivi na mortaliteto (npr. omejitev preventivnih pregledov). Za leto 2021 sem podatke o umrlih s potrjeno okužbo SARS-CoV-2 28 dni pred nastopom smrti pridobila 16. 6. 2021 s spletne strani NIJZ. Podatki za omenjeno leto so ločeni po spolu in starostnih skupinah (0–4 let, 5–14 let, ..., 85+ let).

Za lažje razumevanje nadaljnje analize sem najprej preverila, kako se giba gostota smrtnosti slučajne spremenljivke T_0 (tj. pričakovana življenjska doba novorojenčka) v zadnjih letih. S slike 1 v prilogi 1 je razvidno, da se krivulje premikajo vedno bolj v desno za obdobje 1971–2021. Poleg tega je razvidno tudi oženje omenjene krivulje. Razlog za to je lahko višja starost umiranja, staranje slovenskega prebivalstva, migracije ipd. Slika 6 prikazuje del gostote verjetnosti slučajne spremenljivke T_0 za leta $t = 2015, \dots, 2021$. V tem obdobju ne prihaja do opaznih razlik med gostotami smrtnosti. Zanimivo je omeniti, da se krivulja za leto 2020 pri starostih od 74 do 100 let nahaja nekoliko bolj na levi strani preostalih krivulj. Glede na pretekle premike bi pričakovali, da bi se krivulji za leti 2020 in 2021 prav tako premaknili v desno. Na tem mestu se zato vprašam, ali je to posledica COVIDA-19.

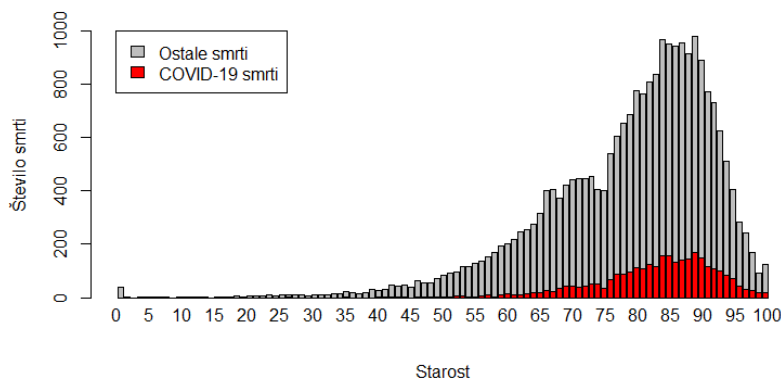
Slika 6: Gostota verjetnosti slučajne spremenljivke T_0 med letoma 2015 in 2021 za starosti med 65 in 100 let



Vir: lastno delo.

V povezavi s COVID-19 smrtmi sem kot prvo želela raziskati, kolikšen delež vseh smrti le-te predstavljajo. Slika 7 prikazuje absolutno število smrti za leto 2020 po letih starosti. Največ ljudi je umrlo v 90. letu starosti. Rdeči deli stolpičnega grafa predstavljajo smrti, pri katerih so umrli imeli potrjeno okužbo z virusom SARS-CoV-2. Največji delež COVID-19 smrti znaša kar 19,57 % pri starosti 99 let. Delež COVID-19 smrti je večji od 9 % za vse starosti nad 69 let.

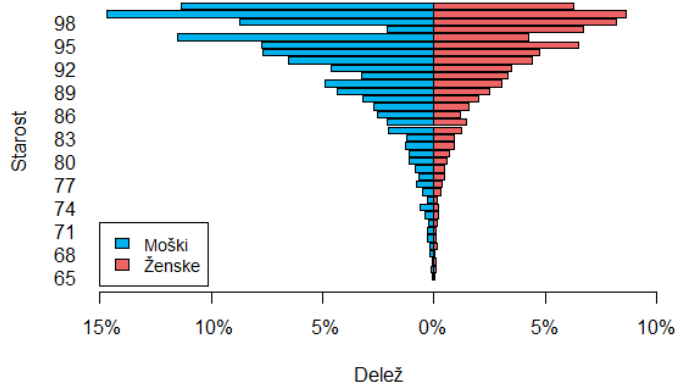
Slika 7: Delež smrti za leto 2020, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2, v primerjavi s preostalimi smrtmi



Vir: lastno delo.

Leta 2020 je bila najmlajša smrtna žrtev ženska, stara 26 let. Najmlajši moški, ki je imel potrjeno okužbo z virusom SARS-CoV-2 in umrl, je bil star 35 let. Za omenjeno leto sem izračunala delež COVID-19 smrti v primerjavi z deležem prebivalstva, ločeno po spolu in starosti. Prišla sem do zaključka, da je frekvenca smrtnosti zaradi SARS-CoV-2 višja pri moških kot pri ženskah. S tem sem odgovorila na raziskovalno vprašanje 1, tj. COVID-19 ima večji vpliv na smrtnost moških. Poleg tega je izračunan delež COVID-19 smrti leta 2020 večji pri višjih starosti, s čimer lahko trdim, da je bolezen bolj nevarna za starejše ljudi. To sem ponazorila s spodnjim grafom.

Slika 8: Delež smrti za leto 2020, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2, v primerjavi z deležem prebivalstva nad 65. letom starosti, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

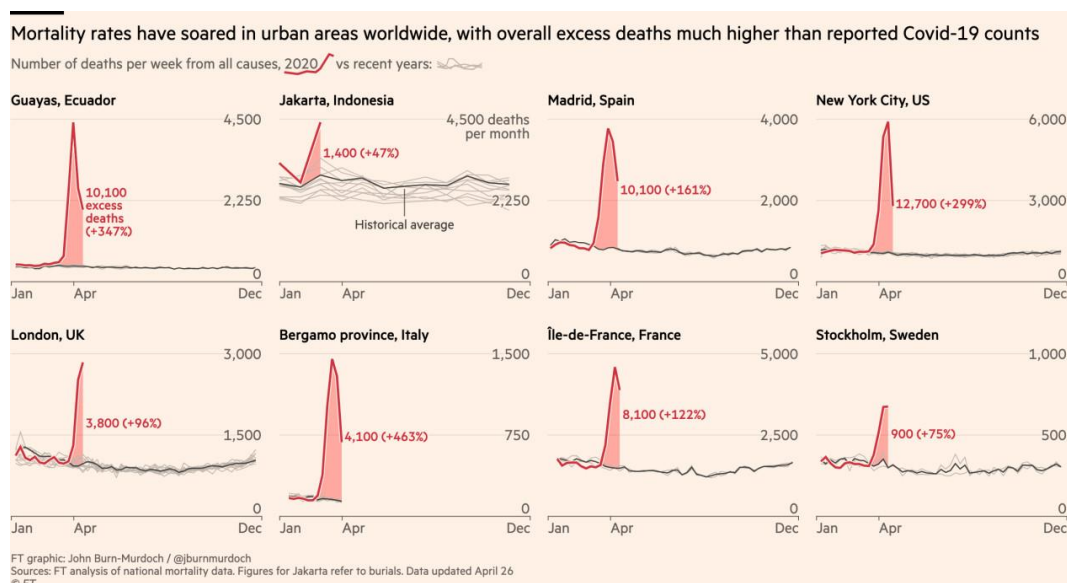
Ne glede na spol je delež smrti za osebe, stare do 65 let, manjši od 0,1 %. Pri moških je največji delež znašal 14,71 % pri 99. letu starosti. Pri isti starosti je bil največji delež tudi pri ženskah, kjer je znašal 8,61 %. S primerjavo smrti z deležem prebivalstva, dobimo predstavo, kolikšna je umrljivost zaradi bolezni COVID-19 glede na število prebivalcev Slovenije leta 2020. Podatki za starosti od 65 do 100 let so v tabeli v prilogi 3 (tabela 1).

3.2 Presežna umrljivost

Eden izmed kazalnikov umrljivosti, pri katerem ni treba razpravljati o vzroku smrti, je presežna umrljivost. S tem izvemo, kolikšen je presežek števila umrlih oseb v primerjavi s povprečnim številom umrlih za izbrana pretekla leta (npr. 5 let) in območje v istem obdobju. Prednost omenjenega kazalnika je ta, da pokaže posledice epidemije v celoti na mortaliteto. Z drugimi besedami, presežna umrljivost poleg vpliva bolezni COVID-19 odraža tudi vzporedne omejitve in ukrepe za zajezitev širjenja okužb (Sledilnik.org, 2021).

Posledično je presežna umrljivost edina nepristranska primerjava, ki jo je mogoče narediti med državami, saj se ne osredotoča na vzroke smrti. Po svetu imajo države različne ukrepe in načine preverjanja prisotnosti SARS-CoV-2 med prebivalstvom. Na primer, ekvadorska provinca Guayas, ki ima cca. 3,6 milijona prebivalcev, je v obdobju med 1. 3. 2020 in 15. 4. 2020 zabeležila le 245 smrti, povezanih z boleznijo COVID-19. Ko pa primerjam število vseh smrti leta 2020 s povprečjem smrti med letoma 2015 in 2019, lahko s slike 9 vidimo, da je v istem obdobju umrlo kar 10.100 ljudi več. Število smrti se je v omenjenem obdobju povečalo za kar 350 %. Iz tega je razvidno, da je bilo število smrti, povezanih s COVIDOM-19, močno podcenjeno (Burn-Murdoch, Romei & Giles, 2020).

Slika 9: Presežna umrljivost v obdobju med 1. 1.–15. 4. 2020 po mestih



Vir: Burn-Murdoch, Romei & Giles (2020).

Kot že omenjeno, nam presežna umrljivost omogoča grob vpogled v to, za koliko je bilo število smrti kot posledice bolezni COVID-19 podcenjeno. Pri tem ne moremo reči, da gre za natančno oceno, saj na dvig oz. padec mortalitete neposredno vplivajo tudi drugi dejavniki. Leta 2020 smo pri nekaterih boleznih, poleg COVIDA-19, zabeležili porast. To so npr. bolezni ožilja, Alzheimerjeva bolezen, demenca, respiratorne bolezni. Do dviga mortalitete je prišlo tudi zaradi smrti, na katere pandemija ni direktno vplivala (npr. zmanjšanje preventivnih zdravstvenih pregledov). V času epidemije pa je prišlo tudi do upada mortalitete za določene vzroke smrti. Npr. zaradi zaprtja javnega življenja je več ljudi delalo od doma, kar je pomenilo zmanjšanje prometa in posledično zmanjšanje števila prometnih nesreč. Še ena pomanjkljivost tovrstnega kazalnika pa je ta, da ne zajema sprememb v starostni strukturi prebivalstva (Rossen, Branum, Ahmad, Sutton & Anderson, 2020).

Tako v Sloveniji kot tudi v mnogih drugih evropskih državah se prebivalstvo stara. Tovrstni proces je posledica manjšega števila novorojenčkov, daljšanja življenjske dobe in zmanjšanja stopnje mortalitete (Vertot, 2010). Za države, v katerih se populacija stara, je posledično iz leta v leto višje pričakovano število smrti. Poleg tega pa se življenjska doba daljša in stopnja mortalitete manjša. Z drugimi besedami, neka oseba, stara x let, ima danes večjo preostalo pričakovano življenjsko dobo kot pred 20 leti. Za najbolj natančen izračun presežka smrti bi torej morali skonstruirati model, s katerim bi napovedali pričakovano število smrti in ki bi vzel v obzir tudi starostno strukturo populacije (Sledilnik.org, 2021).

3.2.1 Presežek smrti v Sloveniji

V nadaljevanju bom predstavila analizo presežnih smrti v Sloveniji, ločeno po letih in mesecih. Kot že omenjeno, se slovensko prebivalstvo stara. Zato moramo najprej preveriti njegovo strukturo, ki jo bom v nadaljevanju upoštevala ob interpretaciji rezultatov.

Za začetek sem analizirala strukturo prebivalstva med letoma 2015 in 2021 ločeno po 5-letnih starostnih skupinah (0–4 let, 5–14 let, 15–24 let, ..., 85 let ali več). Iz tabele 2 je razvidno, da se struktura prebivalstva v izbranem obdobju ni bistveno spremenila. Vidimo lahko, da se delež starejšega prebivalstva počasi povečuje, delež mlajšega prebivalstva pa posledično zmanjšuje. Opisani proces je uprizorjen na grafu v prilogi 2 (slika 2).

Tabela 2: Struktura prebivalstva po starostnih skupinah

Starost	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0–4 let	5,30 %	5,20 %	5,10 %	5,01 %	4,92 %	4,81 %	4,71 %
5–9 let	5,01 %	5,21 %	5,33 %	5,40 %	5,32 %	5,26 %	5,16 %
10–14 let	4,44 %	4,44 %	4,50 %	4,63 %	4,84 %	5,00 %	5,19 %
15–19 let	4,60 %	4,59 %	4,53 %	4,50 %	4,46 %	4,47 %	4,45 %

se nadaljuje

Tabela 2: Struktura prebivalstva po starostnih skupinah (nad.)

Starost	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
20–24 let	5,22 %	5,06 %	4,95 %	4,89 %	4,90 %	4,92 %	4,92 %
25–29 let	6,44 %	6,21 %	5,99 %	5,70 %	5,51 %	5,43 %	5,36 %
30–34 let	7,24 %	7,04 %	6,82 %	6,67 %	6,62 %	6,50 %	6,34 %
35–39 let	7,61 %	7,63 %	7,59 %	7,52 %	7,41 %	7,28 %	7,12 %
40–44 let	7,16 %	7,27 %	7,39 %	7,45 %	7,52 %	7,62 %	7,67 %
45–49 let	7,43 %	7,24 %	7,10 %	7,05 %	7,07 %	7,11 %	7,24 %
50–54 let	7,43 %	7,49 %	7,51 %	7,49 %	7,41 %	7,29 %	7,10 %
55–59 let	7,30 %	7,24 %	7,19 %	7,19 %	7,19 %	7,17 %	7,22 %
60–64 let	6,91 %	6,98 %	7,09 %	7,09 %	6,99 %	6,91 %	6,85 %
65–69 let	5,07 %	5,62 %	5,87 %	6,11 %	6,30 %	6,40 %	6,47 %
70–74 let	4,38 %	4,15 %	4,19 %	4,27 %	4,37 %	4,60 %	5,11 %
75–79 let	3,63 %	3,68 %	3,72 %	3,80 %	3,85 %	3,78 %	3,59 %
80–84 let	2,72 %	2,73 %	2,78 %	2,80 %	2,82 %	2,86 %	2,89 %
85 + let	2,10 %	2,24 %	2,34 %	2,44 %	2,51 %	2,58 %	2,59 %

Vir: SURS (2022).

3.2.1.1 Presežek smrti po letih

V Sloveniji je leta 2020 umrlo 24.016 ljudi (tabela 3). Glede na povprečno število smrti med letoma 2015 in 2019 je leta 2020 umrlo 3.795 ljudi več. Odstopanje od petletnega povprečja znaša 18,77 %. V primerjavi z letom 2019 je presežek znašal 3.428 oz. 16,65 %. Kot je razvidno iz spodnje tabele, se število smrti med letoma 2015 in 2019 ni tako močno spreminjalo, kot se je to zgodilo leta 2020. Leta 2021 je bil presežek smrti v primerjavi z letom 2020 glede na povprečno število smrti med 2015 in 2019 nekoliko manjši. Znašal je 15,03 % oz. 3.040 smrti.

Tabela 3: Število smrti po letih

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Število smrti	19.834	19.689	20.509	20.485	20.588	24.016	23.261
	Povprečno število smrti 2015–2019: 20.221					Presežek: +3.795 (+18,77 %)	Presežek: +3.040 (+15,03 %)

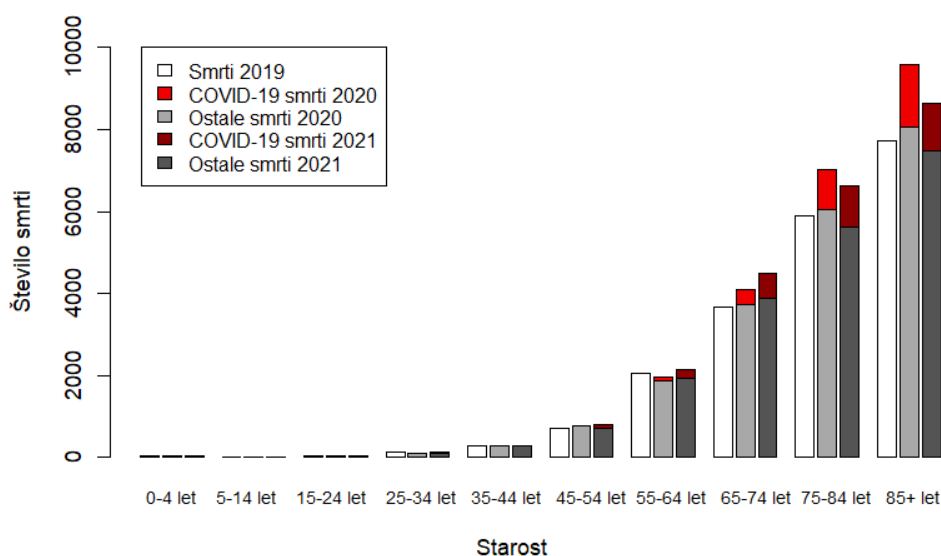
Vir: SURS (2022).

NIJZ je leta 2020 zabeležil 3.024 smrti oseb, ki so bile v roku 28 dni pred smrtjo pozitivne na virusom SARS-CoV-2. Ko to število primerjamo s presežkom smrti za isto leto, tj. 3.795, vidimo, da predstavljajo COVID-19 smrti približno dobre tri četrtine vseh presežnih smrti. Če pogledamo število smrti po spolu leta 2020, je bilo le-to večje za 2.017 (19,64 %) pri ženskah in 1.778 (17,87 %) pri moških glede na povprečje obdobja 2015–2019. Po podatkih,

pridobljenih s spletne strani NIJZ dne 16. 6. 2022, je leta 2021 umrlo 3.109 ljudi z okužbo SARS-CoV-2. V preteklem letu je razlika med presežkom smrti glede na povprečje 2015–2019 in številom umrlih z boleznijo COVID-19 manjša kot leta 2020. V primerjavi z letom 2020 je absolutno število smrti z omenjeno okužbo SARS-CoV-2 naraslo za 85.

Delež umrlih za boleznijo COVID-19 leta 2020 se po starostnih skupinah večinoma veča, kar je tudi razvidno iz tabele 2 (priloga 3). Izjema je le starostna skupina od 45. do 54. leta starosti, pri kateri je delež umrlih z boleznijo COVID-19 manjši kot za starostno skupino od 35. do 44. leta starosti. Največ slovenskih prebivalcev leta 2020, ki so umrli s potrjeno okužbo za virusom SARS-CoV-2, je starih nad 85 let. Umrlo jih je 1.517 (tj. 15,83 % vseh smrti v tej starostni skupini). Istega leta je v omenjeni starostni skupini poleg oseb, ki so umrle zaradi boleznijo COVID-19, umrlo še 8.069 ljudi (tj. v celem letu 9.586 ljudi). Ko primerjamo število smrti za omenjeno starostno skupino z letom 2019, ko je umrlo 7.727 ljudi, vidimo, da je število smrti leta 2020 naraslo za 24,06 %. Razvidno je, da velik del presežka smrti predstavljajo smrti oseb, pri katerih je bil potrjen virus SARS-CoV-2. Leta 2021 je največji delež COVID-19 smrti znašal 15,25 % (tj. 1.010 COVID-19 smrti izmed vseh 6.622 smrti) v starostni skupini od 75 do 84 let.

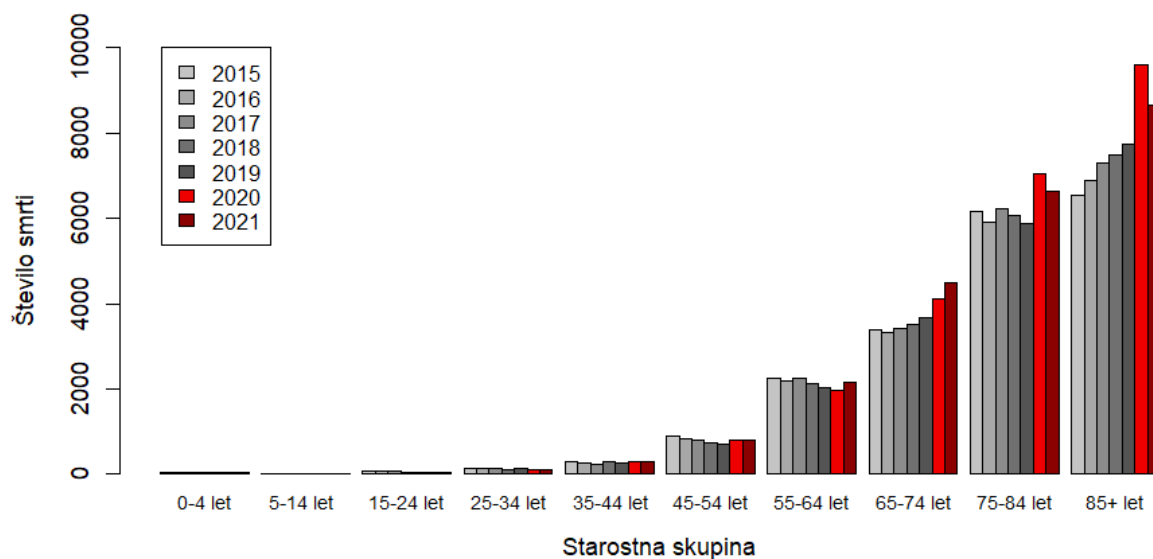
Slika 10: Primerjava vseh smrti za leta 2019–2021



Vir: lastno delo.

Na sliki 11 sem prikazala absolutno število smrti po starostnih skupinah. Le-te lahko primerjamo med seboj za leta 2015–2021, saj se delež prebivalstva po njih ni bistveno spremenil. Ko opazujemo število smrti po starostnih skupinah med letoma 2015 in 2020, lahko vidimo, da je število smrti leta 2020 za starostne skupine 65–74 let, 75–84 let in nad 85 let opazno večje kot v preteklih letih. Npr., za starostno skupino 75–84 let je leta 2020 delež smrti umrlih s potrjeno okužbo na SARS-CoV-2 znašal 14,02 %. V omenjeni skupini je število smrti znašalo 7.038 (od tega jih je 987 imelo ob smrti potrjen COVID-19), medtem ko je bilo povprečno število smrti za obdobje 2015–2019 enako 6.056. V tem primeru je presežek smrti znašal 982 oz. 16,22 %.

Slika 11: Smrti po starostnih skupinah za obdobje 2015–2021



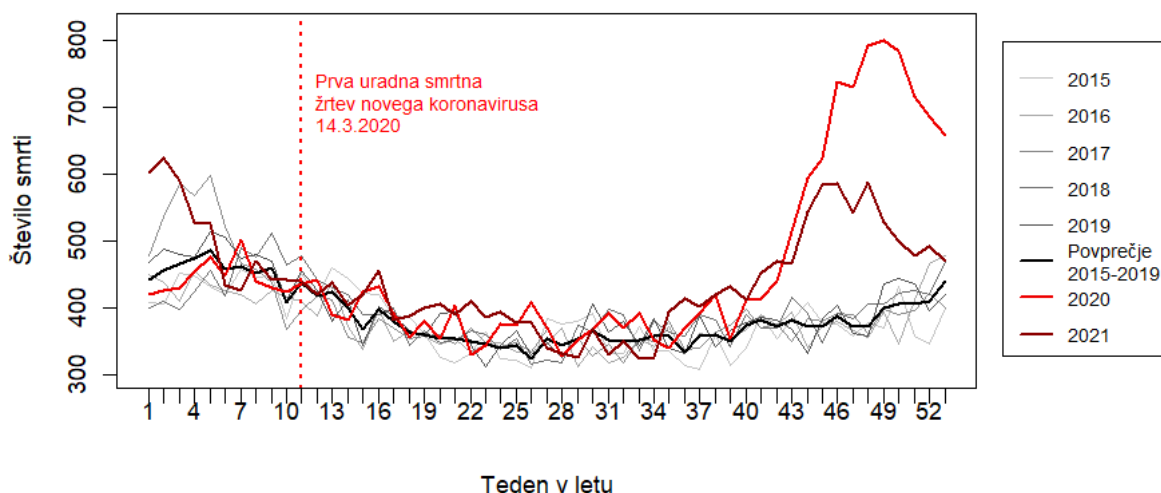
Vir: lastno delo.

Glede na to, da je primerjava absolutnega števila smrti zaradi demografskih sprememb in staranja prebivalstva omejeno primerljiva, ne morem natančno odgovoriti na raziskovalno vprašanje 2, tj. do kolikšne presežne umrljivosti je prišlo pri izbranih starostnih skupinah. Na podlagi absolutnega števila smrti po starostnih skupinah lahko le potrdim, da je prišlo do presežnih smrti v starejših starostnih skupinah.

3.2.1.2 Presežek smrti po tednih

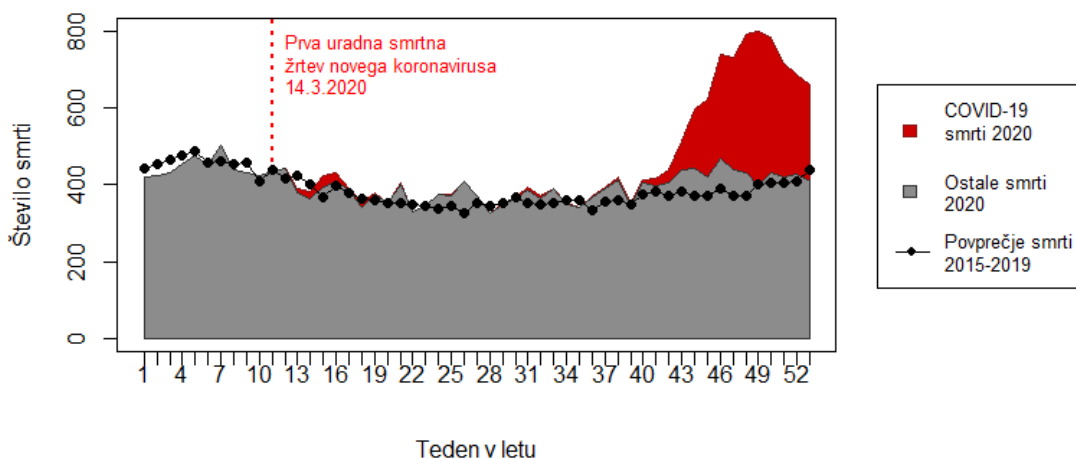
Prikaz števila smrti celotnega slovenskega prebivalstva po tednih je dober indikator posledic epidemije. Epidemija v Sloveniji je povzročila precejšnje število presežnih smrti v drugi polovici leta 2020. Na sliki 12 sive črte prikazujejo število smrti med letoma 2015 in 2019, črna črta pa prikazuje povprečno število umrlih za isto obdobje. Sveto rdeča črta prikazuje število smrti leta 2020, ko se je v Sloveniji 4. marca pojavila tudi prva uradna okužba za virusom SARS-CoV-2. Z grafom sem želela prikazati, da je število smrti po tednih leta 2020 večje kot pa povprečno število smrti za obdobje med letoma 2015 in 2019. Pri tem je treba opozoriti, da moramo podatke opazovati od 11. tedna naprej, saj je bila takrat uradno potrjena prva smrtna žrtev virusa SARS-CoV-2 v Sloveniji. Z grafa je razvidno, da leta 2020 število smrti hitro narašča od 38. do 49. tedna, ko je bilo opazno več umrlih v primerjavi s preteklimi leti. Vrh je bil dosežen v 49. tednu, ko smo zabeležili kar 801 smrti v enem tednu. V primerjavi s preteklimi petimi leti je to predstavljalo še enkrat več smrti. Za leto 2021 sem uporabilačasne podatke, pridobljene s spletne podatkovne baze Eurostat na dan 16. 6. 2022. Leta 2021 je prišlo do največjega presežka smrti v 2. tednu. V primerjavi s povprečjem med letoma 2015 in 2019 je v omenjenem tednu prišlo do povečanja števila smrti za kar 37 % (tj. 168 ljudi). Opaznejši presežek smrti se ponovno pojavi v zadnji četrtini leta, ki pa ni tako velik kot v zadnji četrtini leta 2020.

Slika 12: Število smrti po tednih, ločeno po letih



Za lažjo vizualizacijo presežnih smrti po tednih v Sloveniji sem naredila stolpična grafa, ki vsebujeta presežne smrti po tednih za leti 2020 in 2021. Z njima sem želela prikazati, v koliko tednih je prišlo do presežka smrti in koliko je le-ta znašal glede na preteklih 5 let. Grafa sta v prilogi 4 (slika 3 in slika 4). Mogoče je nekoliko bolj reprezentativen spodnji graf (slika 13), v katerem sem število smrti za leto 2020 uprizorila na ploščinskem grafikonu. Poleg tega sem na grafu prikazala povprečno število smrti po tednih za obdobje 2015–2019. Z grafom sem želela preveriti, ali vzrok za presežne smrti lahko pripisujemo virusu SARS-CoV-2. Od 11. tedna naprej je po večini število smrti nad povprečjem (razvidno iz grafa v prilogi 4 (slika 3)). Do prvega opaznega presežka z večjim številom COVID-19 smrti pride med 14. in 17. tednom. Od 40. tedna naprej število smrti strmo narašča in privede celo do tega, da število smrti s potrjenim virusom SARS-CoV-2 predstavlja slabo polovico vseh smrti. Posledično je v omenjenem obdobju trend števila smrti za leto 2020 visoko nad povprečjem let 2015–2019.

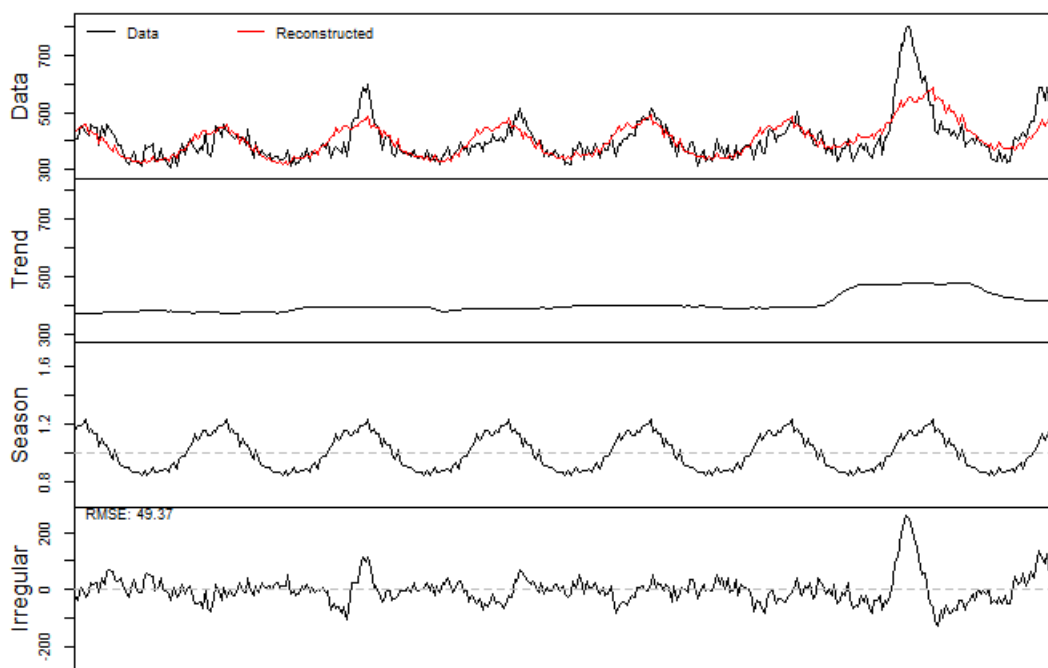
Slika 13: Smrti v letu 2020 v primerjavi s povprečjem med leti 2015–2019



Na podlagi zgornjega grafa lahko zaključim, da v Sloveniji relativno dobro štejemo COVID-19 smrti, saj predstavljajo večino presežnih smrti leta 2020.

Z grafa na sliki 12 je razvidno, da prihaja v določenih tednih do porasta oz. upada števila smrti. Na to nakazuje tudi povprečje med letoma 2015 in 2019, ki je višje v prvi in zadnji četrtini leta. Prav tako je bilo več smrti na začetku in koncu let 2020 in 2021, ko je bil prisoten tudi virus SARS-CoV-2. Tako lahko ugotovimo, da prihaja do sezonskega nihanja s povečanim številom smrti v zimskih mesecih. S funkcijo *decomp*, ki naredi dekompozicijo časovne vrste na sezonsko komponento, napake in trend, sem želela prikazati omenjena nihanja. Časovna vrsta je vsebovala podatke o številu smrti po tednih od začetka leta 2015 do konca leta 2021. Prvi del grafa s slike 14 predstavlja podatke o številu smrti po tednih. V drugem delu grafa vidimo, kako se giblje trend. Razvidno je, da je le-ta naraščajoč do leta 2020, ko pride do opaznejšega povečanja in nato manjšega padca z letom 2021. Spodnja dva grafa prikazujeta sezonsko komponento in kakšna so odstopanja dejanskega števila smrti od izračunane sezonske umrljivosti. Ponovno je vidno večje odstopanje leta 2020.

Slika 14: Dekompozicija tedenskega števila smrti za leta 2015–2021

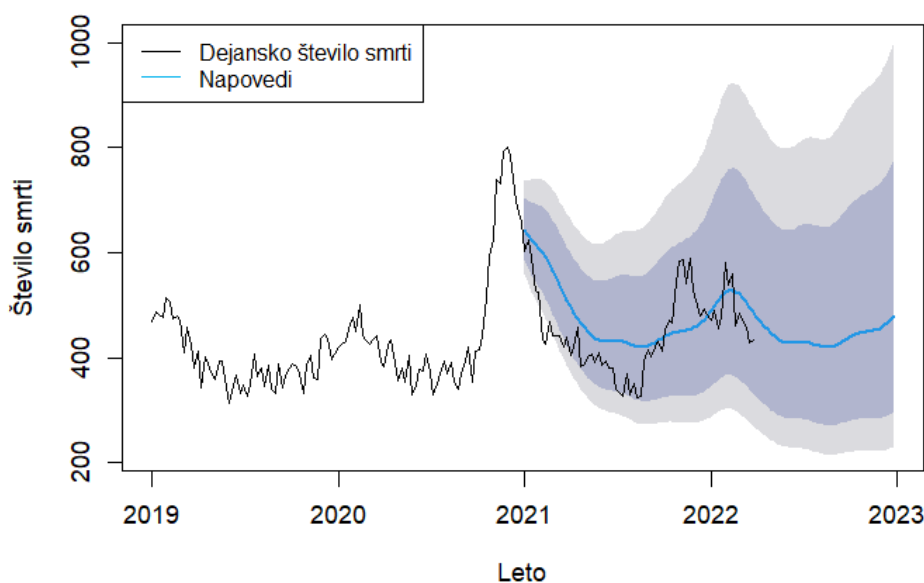


Vir: lastno delo.

S pomočjo programa R sem želela napovedati gibanje tedenskega števila smrti za leti 2021 in 2022. Želela sem pokazati, da je na podlagi preteklih podatkov o številu smrti težko izdelati napovedi za preteklo in letošnje leto. Glede na to, da je v mojem primeru časovne vrste frekvenca enaka številu tednov, je treba za napovedovanje uporabiti pristop, ki bo zajel sezonska gibanja. Preden sem se lotila napovedovanja, sem najprej analizirala podatke od leta 2000 do 20. tedna leta 2022. Omenjeni podatki so bili pridobljeni s spletne strani Eurostat in so za leti 2020 in 2021 začasni. Na sliki 5 v prilogi 5 je prikazano število umrlih od 1. tedna leta 2000 do vključno 20. tedna leta 2022. Z grafa je razvidno, da se sezonska

umrljivost skozi leta spreminja oz. ni konstantna, kot je prikazano na sliki 14. Posledično sem se za napovedovanje števila smrti po tednih odločila za model TBATS (angl. trigonometric seasonality, Box-Cox transformation, ARMA² errors, trend and seasonal components). Omenjeni model dopušča spremembe sezonskega gibanja (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). R-ova funkcija *tabts* preuči časovno vrsto in določi model, ki se podatkom najbolj prilega na podlagi informacijskega kriterija Akaike (krajše AIC). Slika 15 prikazuje dejansko število smrti od 1. tedna leta 2017 do 20. tedna leta 2022. Za leti 2021 in 2022 so izrisane napovedi števila smrti po tednih z 80 % in 95 % intervalom zaupanja. Z grafa lahko vidimo, da dejansko število smrti po večini pade v notranjost 80 % intervala zaupanja.

Slika 15: Napovedovanje števila umrlih po tednih za leti 2021 in 2022



Vir: lastno delo.

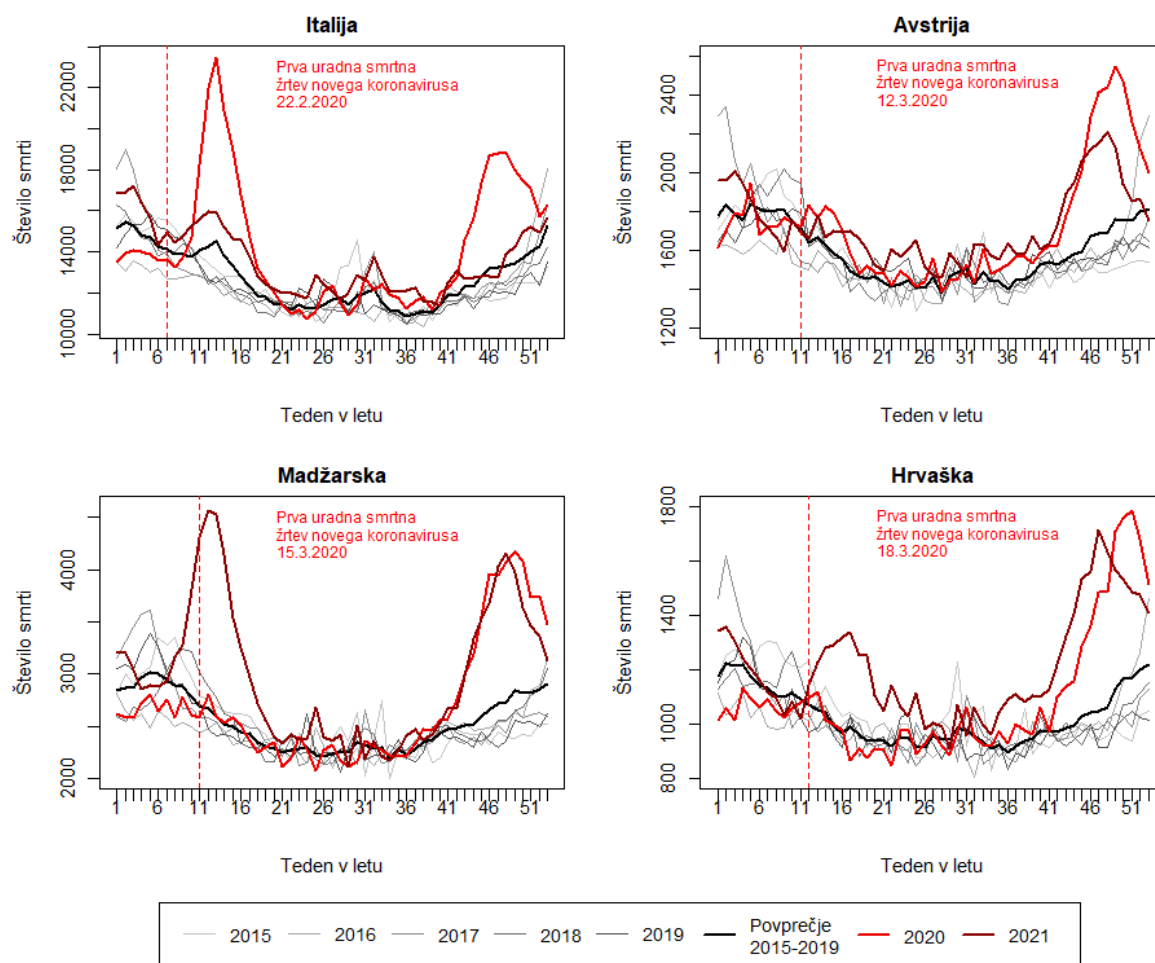
3.2.2 Primerjava s sosodnjimi državami

Na enak način kot pri grafu s slike 15 sem prikazala število smrti po tednih med letoma 2015 in 2021 za sosodnje države Italijo, Avstrijo, Madžarsko in Hrvaško. V vseh omenjenih državah so bili prve uradne smrtne žrtve virusa SARS-CoV-2 moški, stari med 69 in 78 let. S spodnjih grafov (slika 16) je razvidno, da je tako kot v Sloveniji, pri vseh štirih sosodnjih državah prišlo do opaznega presežka števila smrti v zadnji četrtini leta 2020. V Avstriji je opazen tudi presežek smrti med 11. in 18. tednom leta 2020. Istega leta so pri naši zahodni sosedi Italiji največ smrti po tednih zabeležili ravno med 8. in 20. tednom. To je posledica dejstva, da je bila Italija ena izmed prvih evropskih držav, v kateri so potrdili okužbe z virusom SARS-CoV-2. Leta 2021 Italija ni imela izrazitejših presežkov smrti glede na povprečje med letoma 2015 in 2019. Preostale tri države so imele istega leta porast števila

² ARMA (angl. autoregressive moving average) je kratica za avtoregresivno drseče povprečje.

smrti v zadnji četrtini leta. Madžarska je imela največji porast števila smrti leta 2021 med 11. in 14. tednom.

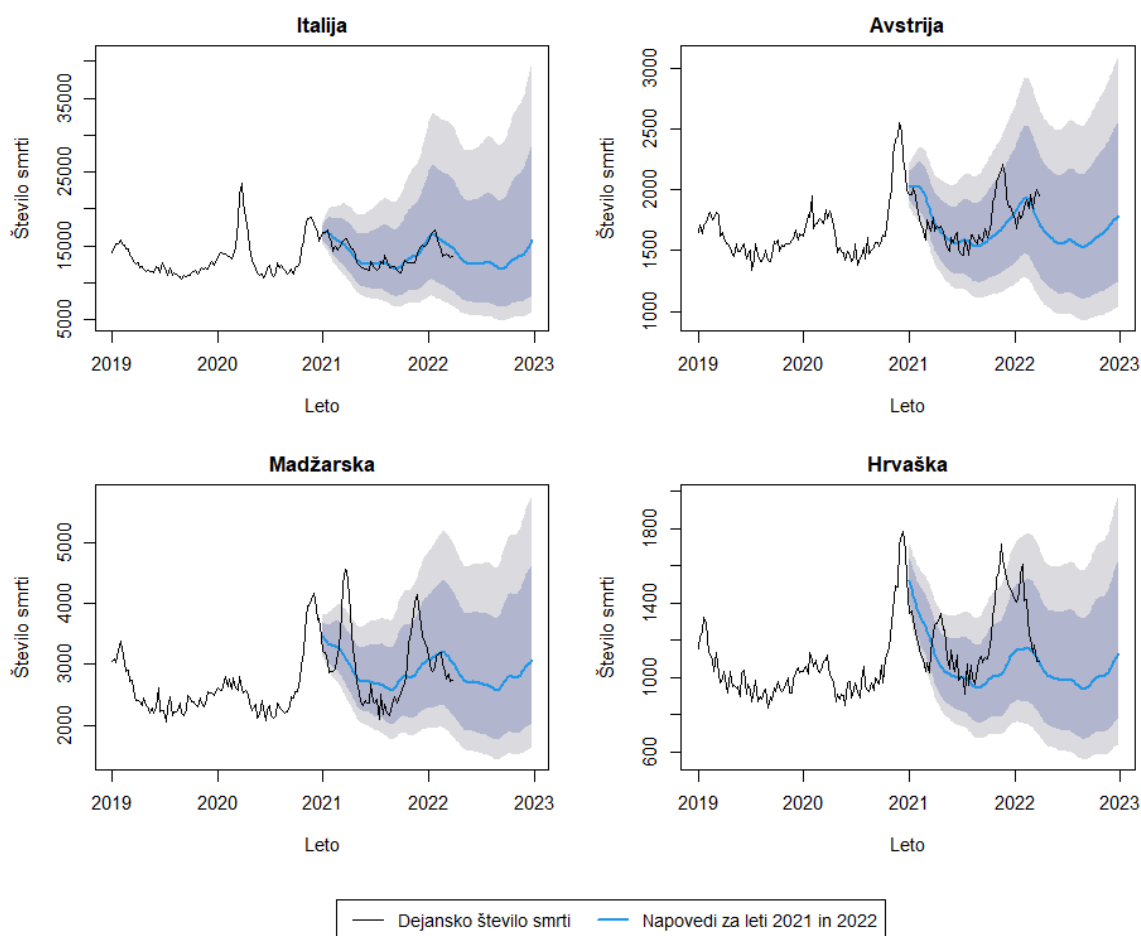
Slika 16: Število smrti po tednih za sosednje države, ločeno po letih



Vir: lastno delo.

Kot za Slovenijo sem tudi za njene sosednje države naredila napovedi števila umrlih po tednih za leti 2021 in 2022. V primeru Italije so se napovedi najbolj približale dejanskim številkam. Tako za Slovenijo kot Avstrijo 80 % interval zaupanja zajema večino dejanskih podatkov. TBATS pristop za napovedovanje števila smrti po tednih se je nekoliko slabše odrezal pri napovedih za Madžarsko in Hrvaško. Pri teh dveh državah so dejanski podatki večkrat prekoračili meje 80 % in celo 95 % intervala zaupanja.

Slika 17: Napovedovanje števila umrlih po tednih za sosednje države za leti 2021 in 2022



Vir: lastno delo.

3.3 Pričakovana življenjska doba

Leto po nastopu virusa SARS-CoV-2 so različni viri kmalu začeli objavljati članke o morebitnih vplivih na pričakovano življenjsko dobo. Arias, Tejada-Vera in Ahmad (2021) so objavile izračune začasnih ocen periodne pričakovane življenjske dobe v ZDA za prvo polovico leta 2020. Izkazalo se je, da se je življenjska doba skrajšala tako pri obeh spolih kot pri različnih rasah. Ugotovile so, da je prišlo do največje spremembe (upad za 3 leta) v periodni pričakovani življenjski dobi pri Afroameričanih. Sledili so jim Latinoameričani, Afroameričanke in Latinoameričanke. Na osebe bele rase je imela pandemija COVID-19 najmanj vpliva (pri moških se je pričakovana doba skrajšala za 0,8 leta, pri ženskah pa za 0,7 leta).

Pri preučevanju vpliva virusa SARS-CoV-2 na pričakovano dobo slovenskega prebivalstva sem si zastavila vprašanje, ali se bodo posledice odražale kot upad pričakovane življenjske dobe. Pri interpretaciji tovrstnih podatkov je treba biti kritičen, saj imajo posledice virusa SARS-CoV-2 večji vpliv na starejše prebivalstvo, zato obstaja večja verjetnost, da starejše prebivalstvo umre za posledicami bolezni COVID-19. Flanagan (2021) meni, da je prišlo do

zmanjšanja pričakovane življenjske dobe ob rojstvu za 0,41 leta. Zmotno je misliti, da se bo pričakovana življenjska doba oseb, rojenih leta 2020, zmanjšala za skoraj 5 mesecev, saj novorojenčki zelo redko umirajo za posledicami COVIDA-19. Drži pa, da je prišlo do negativnega vpliva na pričakovano življenjsko dobo starejših generacij (npr. osebe, rojene leta 1945). Na tem mestu je treba poudariti, da govorim o vplivu trenutnega števila smrti kot posledice bolezni COVID-19. Kakšen vpliv pa bo bolezen pustila na ljudeh, ki so jo npr. preboleli in bodo posledice bolezni vplivale na njihovo življenjsko dobo, je trenutno nemogoče oceniti.

3.3.1 Priprava podatkov

Za čimbolj natančno in kvalitetno analizo so potrebni statistično primerni podatki za obdobje več let. Podatke, ki sem jih potrebovala za svojo analizo, sem pridobila s prosto dostopnih spletnih strani SURS-a in Eurostata. Za zelene izračune sem potrebovala letne podatke o številu smrti in številu živečih prebivalcev na 1. julija vsakega izbranega leta. Moj nabor podatkov zajema obdobje $t \in \{1971, 1972, \dots, 2021\}$. Podatki so ločeni po spolu (tj. ženski, moški ali oba skupaj) in starosti $x \in \{0, 1, \dots, 100+\}$. Prvi starostni razred (tj. $x = 0$) predstavlja vse otroke, ki še niso dopolnili prvega leta starosti. Zadnji starostni razred zajema vse prebivalce, ki so stari 100 let ali več. Na strani Eurostat sem dobila podatke o številu umrlih oseb. Spletna stran SURS ponuja v svoji podatkovni bazi SiStat podatke o številu prebivalcev na 1. julija za obdobje od leta 2008 do leta 2020. Enake podatke za manjkajoče obdobje od leta 1971 do leta 2007 sem pridobila od dr. Darka Medveda, ki jih je sam uporabil v lastnem delu *Slovenian Annuity Tables* (2012). Pri tem je pomembno omeniti, da so enoletne starosti od 85. leta naprej, za obdobje med letoma 1971 in 1980, ocene SURS-a na podlagi vsote podatkov živečih oseb, starih 85 let ali več.

Za izračun pričakovane življenjske dobe je naprej treba izračunati centralno stopnjo smrti $m_x(t)$ za vse $x \in \{0, 1, \dots, 100+\}$, $t \in \{1971, 1972, \dots, 2021\}$. Centralno stopnjo smrti izračunam po enačbi

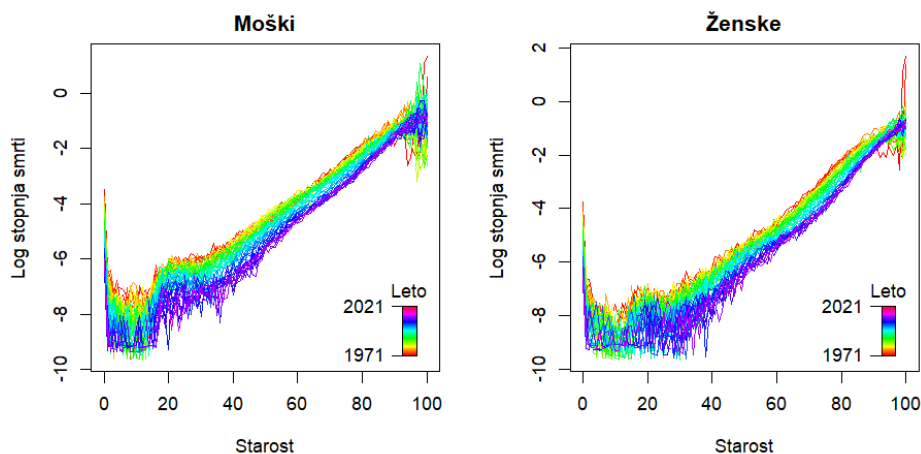
$$m_x = \frac{d_x(t)}{ETR_x(t)}. \quad (20)$$

Oznaka $d_x(t)$ predstavlja število smrti za starost x leta t . Izpostavljenost tveganju (angl. exposure to risk), pri starosti x leta t , označeno s $ETR_x(t)$, nam pove, kakšno je skupno število ljudi, ki so doživeli starost x do sredine leta t (tj. število vseh ljudi, ki so dosegli starost x med 1. 7. in 30. 6. predhodnega leta $t - 1$).

V spodnjem grafu na sliki 18 so predstavljene logaritmirane centralne stopnje smrti v odvisnosti od starosti. Za vizualizacijo sem izbrala logaritme, saj z njimi do neke mere stabiliziram visoke variance za starejša leta in je boljše razvidno, kaj se dogaja pri nižjih starostih. Z grafa je vidna izboljšava stopnje smrti v obdobju med letoma 1971 in 2021. Tako pri moških kot pri ženskah je do večje izboljšave centralne stopnje smrti prišlo v mlajših

letih. Tako pri moškem kot pri ženskem delu populacije vidimo poskok logaritmirane stopnje smrti pri starostih med 18 in 20 let. Le-ta je bolj izrazit pri moški populaciji. V majhnih populacijah se lahko zgodi, da stopnja smrti preseže vrednost 1. Z drugimi besedami, v nekem letu t je prišlo do scenarija, kjer je bilo število smrti oseb, starih x let, večje od števila oseb iste starosti na 1. julija leta t . S slike 18 vidimo, da se to pojavi pri obeh spolih.

Slika 18: Logaritmirana centralna stopnja smrti za obdobje 1971–2021, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

V primeru majhnih populacij moramo podatke naprej prilagoditi, da se izognemo nepravilnostim pri nadaljnjih izračunih ter napovedovanju. V primeru slovenskega prebivalstva se velikokrat zgodi, da pri nižjih starostih ne pride do nobene smrti. Posledično je $m_x(t) = 0$. Poleg tega opazimo, da so tako pri višjih kot nižjih starostih vrednosti $m_x(t)$ zelo variabilne. Posledično je treba uporabiti tehniko, ki nam bo te stopnje zgladila in nam s tem podala boljše izhodišče. Na mojih podatkih sem uporabila metodo, ki sta jo predlaga Hyndman in Ullah (2007, str. 4943). V svojem delu sta predpostavila, da obstaja gladka funkcija (tj. zvezno odvedljiva funkcija) $f_t(x)$, kjer za točke $(x, \ln(m_x(t)))$ velja enakost

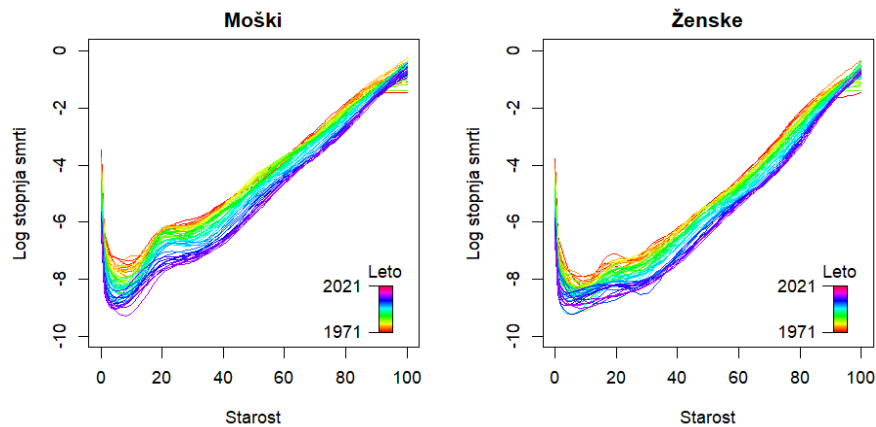
$$\ln(m_x(t)) = f_t(x) + \sigma_t(x)\varepsilon_{t,x}. \quad (21)$$

V enačbi (21) $\varepsilon_{t,x}$ predstavlja standardno normalno naključno spremenljivko. S $\sigma_t(x)$ je omogočeno, da se količina šuma spreminja s časom. Neparometrična metoda, t. i. uteženi regresijski zlepci s kaznovanjem (angl. weighted penalized regression splines), zgladi podatke za vsako leto t . S tem dobimo oceno $f_t(x)$ za vsak x iz množice vseh točk $\{x, \ln(m_x(t))\}$. Z utežmi odpravimo heterogenost, ki izhaja iz $\sigma_t(x)$. Da zmanjšamo šum pri višjih starostih, še predpostavimo, da funkcija $f_t(x)$ monotono narašča za $x > c$ (v mojem primeru: $c = 60$ let).

Rezultat zgoraj opisane metode je viden na sliki 19. Metoda je implementirana v R-ovem paketu *demography*, katerega avtor je Rob J. Hyndman. Z glajenjem je odpravljena variacija stopnje smrti, predvsem pri nižjih in višjih starostih. Pri moških, starih okoli 20 let, lahko opazimo, da je stopnja smrti višja kot pri ženskah. To se odraža kot posledica različnih

nezgodnih smrti (npr. nesreče pri adrenalinskih športih). V primerjavi s sliko 18 lahko sedaj opazimo še bolj izrazit trend zmanjševanja mortalitete.

Slika 19: Zglajena logaritmirana centralna stopnja smrti za obdobje 1971–2021, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

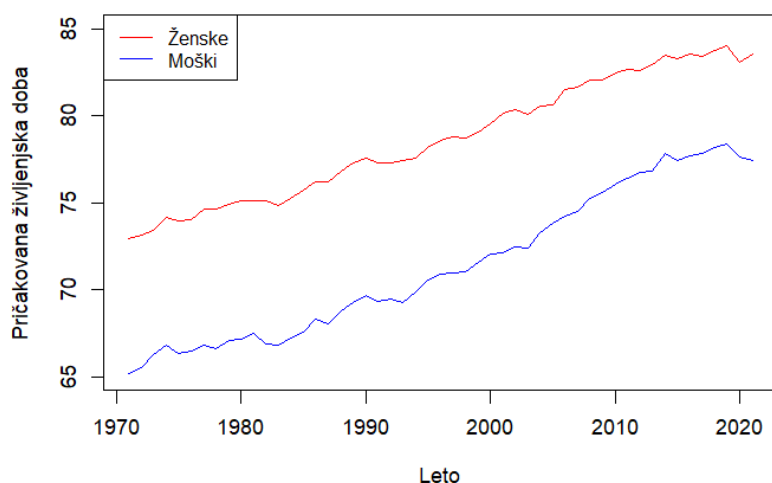
3.3.2 Periodna pričakovana življenjska doba

Periodna pričakovana življenjska doba je eden izmed pogosteje uporabljenih kazalnikov zdravja prebivalstva. Omenjeno dobo si lahko predstavljamo kot povprečno število let, ki bi jih novorojenčki preživel v določenem obdobju ob predpostavki, da se starostnospecifične stopnje mortalitete v prihodnje ne bi spreminjale. S tem se neposredno odražajo vplivi na mortaliteto v določenem obdobju. Ob tem je pomembno omeniti, da ni nujno, da se bodo posledice vplivov pokazale že isto leto. To velja samo v primeru ekstremnih dogodkov (npr. epidemija, vojna, naravna katastrofa ipd.). Vplive higiene, cepljenja, novih zdravil ipd. pa lahko opazimo šele v naslednjih letih (Luy, Di Giulio, Di Lego, Lazarevič & Sauerberg, 2019, str. 95).

V magistrskem delu sem za izračun pričakovanih življenjskih dob uporabila R-ovo funkcijo *life expectancy* iz paketa *demography*. Omenjena funkcija izračuna pričakovano življenjsko dobo s pomočjo tablic umrljivosti. V tem primeru sem vrsto funkcije nastavila na *'period'*. Pričakovala sem odraz epidemije na mortaliteto, ki je vidna kot padec pričakovane življenjske dobe za višje starosti. Rezultati o periodni pričakovani življenjski dobi za novorojenčke so pokazali, da je po pričakovanjih trend naraščajoč. Vrednosti za različna leta so podane v tabeli 3 (priloga 6). V obdobju 1971–2021 se je pričakovana življenjska doba za ženske dvignila z 72,95 na 83,55 leta (tj. porast za 10,6 leta). Pri moških je prišlo do še večjega zvišanja življenjske dobe. Le-to je znašalo kar 12,33 leta (s 65,21 na 77,45 leta). Glede na to, da razpolagam s podatki o državi z manjšim številom prebivalstva, pride pri nekaterih letih do manjšega upada v življenjski dobi. Pred nastopom virusa SARS-CoV-2 je največji upad pri moških znašal 0,59 leta oz. 214 dni. To se je zgodilo leta 1981. Pri ženskah je to nastopilo nekoliko kasneje, in sicer leta 1990, ko je upad znašal 0,32 leta oz. 117 dni.

S pomočjo slike 20 odgovorim na raziskovalno vprašanje 3. Leta 2020 pride do opaznega upada pričakovane življenjske dobe pri obeh spolih. Pri moških je upad znašal 0,73 leta oz. 266 dni, pri ženskah pa 0,9 leta oz. 323 dni. Približno tako nizka periodna pričakovana življenjska doba je pri moških znašala leta 2016, pri ženskah pa leta 2015. Sklepam, da opazen padec lahko označimo kot posledico bolezni COVID-19. Pri moškem spolu se je upad periodne pričakovane življenjske dobe nadaljeval tudi leta 2021. V preteklem letu se je le-ta zmanjšala še za 0,2 leta oz. 73 dni. Pri ženskem spolu istega leta pride do majhnega porasta v pričakovani življenjski dobi in sicer znaša 0,43 leta oz. 157 dni.

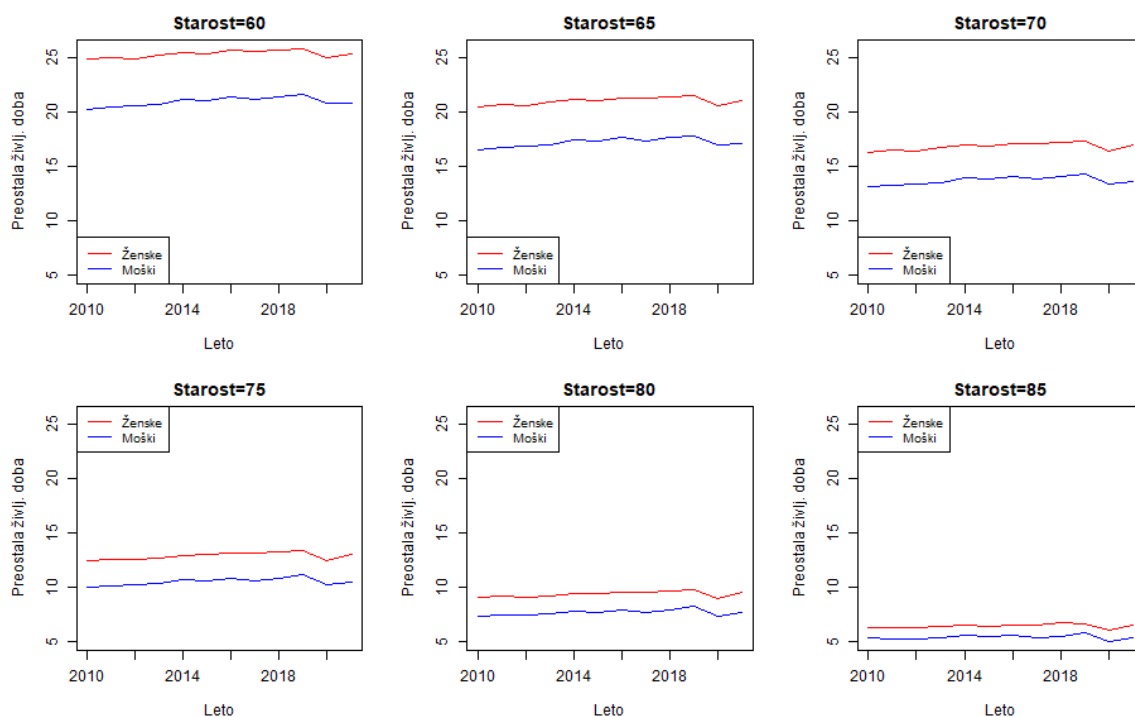
Slika 20: Periodna pričakovana življenjska doba v obdobju 1971–2021, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Ker bolezen COVID-19 vpliva na mortaliteto predvsem pri starejši populaciji, pride do upada periodne pričakovane preostale življenjske dobe leta 2020 pri vseh starostih. V tabeli 4 in tabeli 5 (priloga 6) so prikazane periodne pričakovane preostale življenjske dobe za starosti od 60 do 100 let v obdobju 2010–2021, ločeno glede na spol. Tako pri moških kot pri ženskah, mlajših od 90 let, pride v določenih letih do manjšega upada preostale življenjske dobe. Le-ti so manjši v primerjavi z upadom leta 2020. Za starosti nad 90 let prihaja do večjih in pogostejših nihanj v primerjavi s preostalimi starostmi, saj je pri omenjenih starostih živih manj ljudi. Leta 2021 je za starosti, višje od 60 let, ponoven porast v preostali življenjski dobi pri obeh spolih. S slike 21 je mogoče razbrati, da je pri ženskem spolu leta 2021 opaznejše povečanje preostale življenjske dobe v primerjavi s preteklimi leti, v katerih pride do porasta.

Slika 21: Preostala pričakovana življenjska doba za višje starosti v obdobju 2010–2021, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

3.3.3 Primerjava z napovedmi iz leta 2008

Medved, Ahčan in Sambt (2012) so med drugim objavili napovedi trajanja življenjske dobe ob rojstvu. Pričakovano življenjsko dobo so izračunali s pomočjo ekstrapolacije klasične LC metode ob uporabi projekcij parametra κ_t narejenih z ARIMA modelom. Pri tem so uporabili podatke iz obdobja 1971–2007 za slovensko prebivalstvo. Rezultati njihovih napovedi za obdobje 2010–2065 so v prilogi 6 (slika 6). Vrednosti v vrsticah »LOW« in »HIGH« predstavljajo scenarija, pri katerih je mortaliteta nižja oz. višja od pričakovane. V zvezi z raziskovalnim vprašanjem 4 sem rezultate iz njihovega »MEDIUM« oz. srednjega scenarija primerjala s svojimi izračuni pričakovane življenjske dobe ter z izračuni, ki jih je objavil SURS. V tabeli 4 lahko vidimo, da prihaja do manjših razlik med mojimi izračuni in izračuni SURS-a. Ko primerjam napovedi iz leta 2008 z mojimi izračuni ločeno po spolu, opazim, da so razlike za leti 2010 in 2015 podobnih vrednosti. Leta 2020, ko se je pojavila bolezen COVID-19, se pri moškem spolu razlika med napovedmi in izračuni zmanjša za 0,2 leta. Pri ženskem spolu pa se razlika poveča na kar 1,3 leta. Z drugimi besedami, pri moških so se napovedi približale dejanskemu stanju, medtem ko so se pri ženskah oddaljile. Glede na razlike v letih 2010 in 2015, sklepam, da temu ne bi bilo tako, če ne bi prišlo do epidemije. Pri ženskah za leti 2010 in 2015 razlika med napovedmi in mojimi izračuni ni bila tako velika v primerjavi z moškim spolom, leta 2020 pa se občutno poveča.

Tabela 4: Pričakovana življenjska doba ob rojstvu, ločeno po spolu

Leto	Napovedi	MOŠKI		Napovedi	ŽENSKE	
		Moji izračuni	SURS izračuni		Moji izračuni	SURS izračuni
2010	75,20	76,08	76,30	82,80	82,50	82,65
2015	76,40	77,47	77,59	83,60	83,28	83,51
2020	77,50	77,66	77,81	84,40	83,12	83,39

Vir: lastno delo.

3.3.4 Diskusija vpliva bolezni COVID-19 na bodočo pričakovano življenjsko dobo

Virus SARS-CoV-2 je imel in še vedno ima vpliv na mortaliteto. Ob tem je treba upoštevati, da ima virus bolj in manj izrazite vplive v različnih obdobjih. Na to vpliva veliko dejavnikov – ukrepi vlade, pripravljenost in zmogljivost zdravstvenega sistema, razvoj cepiv, mutacije virusa, ustrezna higiena, obnašanje ljudi ipd. V preteklih dveh letih smo spoznali, da porasti okužb prihajajo v valovih. Poleg mutacije virusa imajo tu veliko vlogo letni čas, sproščanje ukrepov v nepravem trenutku, prepozno zaostrovanje ukrepov, slaba precepljenost prebivalstva, odprtje šol itd. (Institute and Faculty of Actuaries, 2020). S povečevanjem števila okužb pride tudi do porasta smrti za boleznijo COVID-19. Kljub vsemu znanemu o virusu SARS-CoV-2 je vedno znova težko preprečiti ogromne poraste števila okužb po celi državi ter smrti kot posledice zapletov bolezni.

Več kot očitno je, da je izjemno težko napovedati kratkoročne in dolgoročne posledice epidemije v Sloveniji na mortaliteto. Poleg tega ima lahko epidemija direktno ali indirektno negativen kot tudi pozitiven vpliv na mortaliteto. Delovna skupina za COVID-19 v Continuous Mortality Investigation (krajše CMI), ki britanskim zavarovalnicam posreduje svoje analize in ugotovitve o mortaliteti Združenega kraljestva, je v svojem delu (2020, str. 15) izpostavila vplive bolezni COVID-19 na življenjsko dobo. Vplive je razdelila na direktne in indirektno. Eni izmed njih zvišujejo življenjsko dobo, spet drugi znižujejo, za nekatere pa še ni znano, kakšne bodo njihove posledice na mortaliteto. Direktne vplive epidemije so smrti, pri katerih so osebe umrle za posledicami bolezni COVID-19. Pri tem pride do znižanja življenjske dobe. Podobne okoliščine veljajo za preživele, ki so imele dolgotrajen COVID-19 (tj. znaki in simptomi omenjene bolezni se nadaljujejo več tednov ali mesecev). Pri tej obliki bolezni imajo ljudje težave z vrtoglavico, ekstremno utrujenostjo, težave s spominom, poslabšanje stanja po naporu, bolečine v mišicah, povišano telesno temperaturo, izpuščaje itd. Preživeli so imeli tako blage oblike dolgoročnega COVIDA-19 kot tudi težje zaplete, ki so zahtevali hospitalizacijo. V nekaterih primerih je to vodilo celo v smrt. Med direktne vplive omenjene bolezni, ki zvišujejo življenjsko dobo, je odpornost preživelih na morebitne prihodnje valove epidemije. Enak učinek ima t. i. učinek selekcije. V tem primeru imajo preživeli daljšo pričakovano življenjsko dobo kot pa tisti, ki so umrli. Pandemija je prav gotovo pospešila nekatere smrti, ki bi se sicer zgodile v bližnji prihodnosti (npr. srčni

bolniki, ki so umrli s COVIDOM-19). V kolikor bi bila večina smrti povezana že s prehodnim zdravstvenim stanjem, bi bilo mogoče pričakovati, da se bo življenjska doba preostale populacije podaljšala po pandemiji. Med indirektno vplive, ki zvišujejo življenjsko dobo, spada manjša pojavnost drugih okužb. Npr. redno umivanje in razkuževanje rok ter nošenje mask so zagotovo pripomogla k zmanjšanju okužb zaradi gripe. V Sloveniji so šele 10. decembra 2021 zabeležili prvi potrjeni primer gripe v sezoni 2021/2022 (tj. od 40. tedna leta 2021 dalje) (NIJZ, 2021b). Za primerjavo lahko vzamemo število okužb v obdobju med 30. septembrom 2019 in 5. januarjem 2020, v katerem je bilo potrjenih 304 primerov gripe (NIJZ, 2020). V času pandemije so se ljudje začeli tudi bolj ozaveščati o zdravju. Tovrstni indirektni vpliv bi lahko prispeval k podaljšanju življenjske dobe. Kot sem že omenila, med indirektno vplive, ki znižujejo življenjsko dobo, sodijo zakasnitve v diagnozah in zdravljenju, odlaganje preventivnih pregledov ipd. Našteta dejanja so bila izvedena z namenom razbremenitve zdravstvenega sistema, ki se je spopadal z okužbami virusa SARS-CoV-2. Poleg tega tudi veliko ljudi ni želelo hoditi v zdravstvene ustanove, saj so se bali, da se bodo okužili. Pri indirektnih vplivih na življenjsko dobo prebivalstva ostaja še veliko odprtih vprašanj. Med drugim še ni znano, kakšen bo vpliv zastoja v gospodarstvu. Ali se bo morda povišala stopnja samomorilnosti? Ali se bo povečalo število privatnih zdravnikov in s tem otežil dostop do njih tistim, ki imajo nižji dohodek? Pomemben indirektni vpliv ima tudi politika zdravstvenega in socialnega varstva. Odločitve vlade, v kolikšni meri bo financirala zdravstvo iz svojega letnega proračuna, bo vplivala na prihodnje izboljšave moralitete in obolevnosti. Poleg tega lahko spremembe politike, zlasti glede socialnega varstva, vplivajo na moraliteto starostnikov (CMI: COVID-19 Working Party, 2020, str. 15).

4 NAPOVEDOVANJE MORTALITETE Z LC METODO

V tem poglavju se bom posvetila uporabi LC modela, s katerim bom podala projekcije prihodnjih stopenj mortalitete, verjetnosti smrti in pričakovanih življenjskih dob slovenske populacije. LC model je pogostokrat uporabljen za napovedovanje mortalitete v literaturi. Razlog za izbiro omenjenega modela oz. metode leži v tem, da je enostaven za uporabo in interpretacijo njegovih parametrov ter dopušča možnost negotovosti pri napovedovanju prihodnjih trendov mortalitete.

4.1 Kalibracija podatkov in aplikacija LC metode

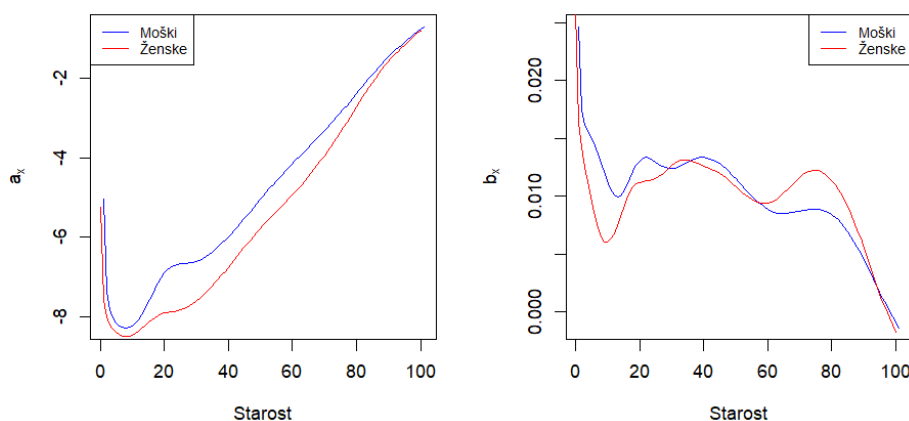
LC model, ki je predstavljen v nadaljevanju, za vhodne podatke vzame matriko centralnih stopenj smrti $m_x(t)$, ločenih po spolu za obdobje $t \in \{1971, 1972, \dots, 2021\}$. Pri tem upoštevam predpostavko $\mu_x(t) = m_x(t)$. Kot pri izračunu pričakovane življenjske dobe je tudi pri napovedovanju mortalitete zaželeno, da so razlike med stopnjami mortalitete prebivalstva čim manjše. Zato sem za vhodne podatke vzela enake podatke kot v poglavju 3.3.1, izračunala centralne stopnje smrti ter jih zgladila po enaki metodi. Pri napovedovanju

mortalitete sem si ponovno pomagala z R-ovim paketom *demography*. S funkcijo *lca* sem zgradila dva LC modela: za ženske in moške posebej.

4.1.1 Parametri LC modela

Na spodnjem grafu lahko vidimo ocene parametrov α_x in β_x v odvisnosti od starosti, ki sem ju ločila po spolu. Graf na levi strani je po obliki zelo podoben grafu s slike 19, saj parameter α_x predstavlja ravno povprečje logaritmov centralnih stopenj smrti. Pri moškem spolu vidimo poskok okoli 20. leta starosti, ki je povezan s povečanim številom nezgodnih smrti. Na desnem grafu slike 22 vidimo oceno parametra β_x , s pomočjo katere si razlagamo, do kolikšnih sprememb prihaja v mortaliteti po starosti ob zvišanju oz. znižanju parametra κ_t . Tako pri moških kot ženskah lahko vidimo velik padec parametra α_x do 10. leta starosti. Na parametru β_x se to odraža tako, da se njegove vrednosti višje, tj. stopnja mortalitete se hitreje spreminja oz. v tem primeru hitreje upada. Obratno velja, ko ima parameter β_x manjšo vrednost. Npr. med 80. in 100. letom starosti je vrednost parametra β_x vedno nižja, saj so tudi spremembe v mortaliteti manjše. Na njih vpliva predvsem napredek v zdravstvu. Vrednosti parametrov α_x in β_x so shranjene v tabeli 6 in tabeli 7 (priloga 7).

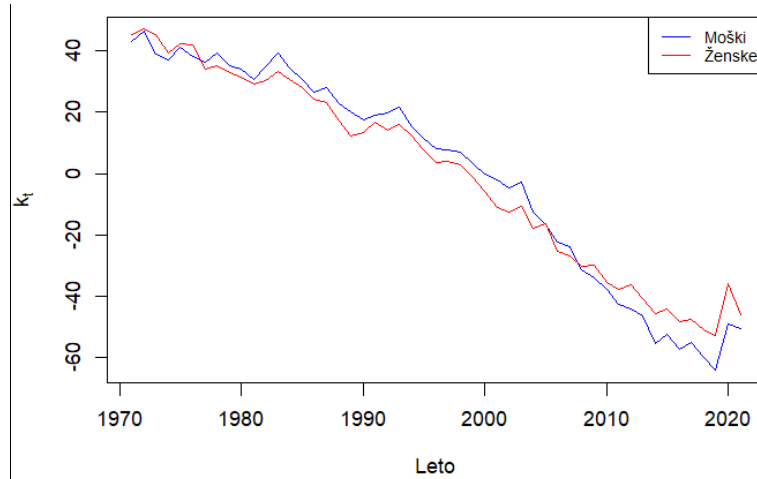
Slika 22: Ocena parametrov α_x in β_x LC modela, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Slika 23 opisuje gibanje vrednosti parametra κ_t v odvisnosti od časa $t = 1971, \dots, 2021$. Omenjeni parameter predstavlja trend izboljšave mortalitete skozi čas. S spodnjega grafa je razvidno, da le-ta v večini let pada. Trend parametra je padajoč. Do nekoliko nenavadnega poskoka glede na trend padanja pride z leta 2019 na 2020. Pri tem se lahko vprašamo, ali je to posledica epidemije. V nadaljevanju bom to tudi potrdila in podprla z nadaljnjo analizo. Leta 2021 pri obeh spolih pride do ponovnega upada vrednosti κ_t . Le-ta je večji pri ženskem spolu. Vrednosti parametra κ_t so podane v tabeli 8 (priloga 7).

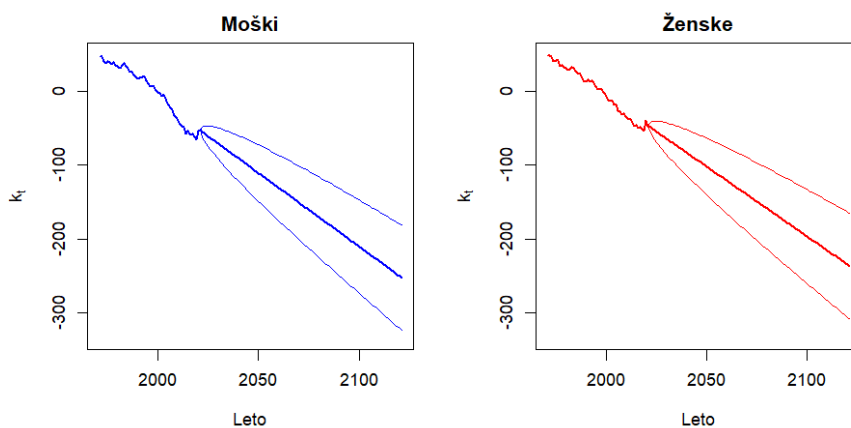
Slika 23: Ocena parametra κ_t LC modela, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Za napovedovanje vrednosti stohastične komponente LC modela, tj. κ_t , sem uporabila ARIMA model. Tako kot Lee in Carter (1992, str. 663) sem tudi sama uporabila metodo naključnega sprehoda z zdrsom. Omenjena metoda je implementirana v programu R kot funkcija *forecast.lca*. Pri tem se napovedi parametra κ_t pomnožijo z β_x -i z namenom, da dobimo krivuljo napovedi stopnje mortalitete. Vrednosti parametra κ_t sem napovedala za nadaljnjih 100 let, tj. do leta 2121. Na sliki 24 so prikazane vrednosti parametra κ_t za oba spola. Od leta 2021 naprej imamo za vsak spol 3 krivulje. Pri obeh spolih zgornja in spodnja krivulja predstavljata meje 95 % intervala zaupanja. Sredinska črta ponazarja najbolj verjeten scenarij gibanja parametra κ_t . Trend omenjenega parametra je padajoč do leta 2021. Posledično padajo njegove napovedi kljub vmesnim porastom v posameznih letih.

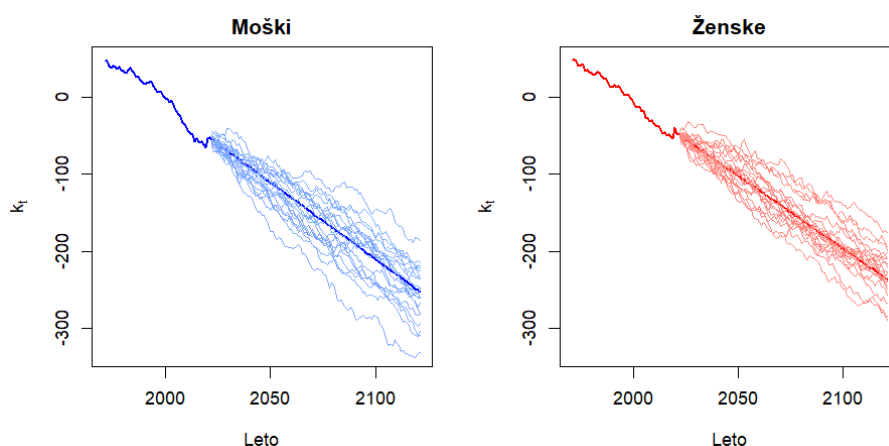
Slika 24: Modelirane vrednosti (obdobje 1971–2021) parametra κ_t LC modela in njegove prihodnje projekcije (obdobje 2022–2121), ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

R-ov paket *StMoMo* vsebuje funkcijo *simulate*, s katero je mogoče narediti simulacijo projekcij izbranega mortalitetnega modela. Na sliki 25 je prikazano po 100 simulacij parametra κ_t za oba spola.

Slika 25: Simulacije parametra κ_t za obdobje 2022–2121, ločeno po spolu

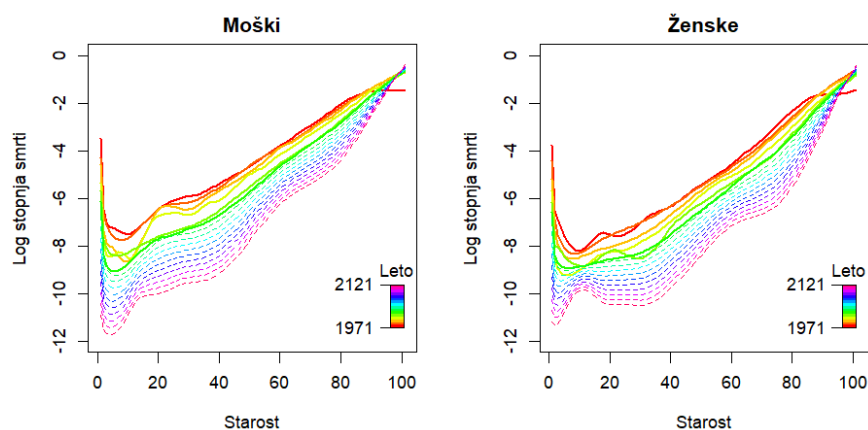


Vir: lastno delo.

4.1.2 Stopnja mortalitete

Z danimi ocenami prihodnjega trenda parametra κ_t sem nato izračunala še najbolj verjetne prihodnje centralne stopnje smrti za ženske in moške. Te sem združila s preteklimi, vzela vsako 10. leto in jih uprizorila na sliki 26. Debelejše, polne črte predstavljajo pretekle $\ln(m_x(t))$ za $t \in \{1971, 1981, \dots, 2021\}$, medtem ko črtkane črte predstavljajo $\ln(m_x(t))$ za prihajajoča leta $t \in \{2031, 2041, \dots, 2121\}$. Na grafu vidimo, da naj bi se v prihodnosti centralne stopnje smrti zmanjševale. Pri moškem spolu naj bi do večjega upada prišlo do 15. leta starosti, pri ženskah pa do 10. leta in med 20. ter 40. letom starosti.

Slika 26: Pretekla logaritmizirana centralna stopnja smrti in njene prihodnje projekcije za obdobje 1971–2121, ločeno po spolu

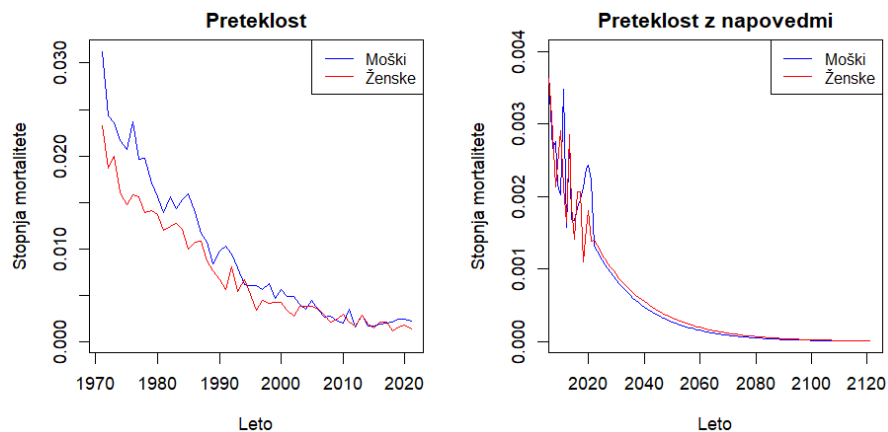


Vir: lastno delo.

Izboljšave stopnje mortalitete je mogoče opazovati tudi za posamezne starosti skozi čas. Na sliki 27 je razvidno, da je prišlo v obdobju med letoma 1971 in 2000 do znatnega izboljšanja stopnje mortalitete novorojenčkov pri obeh spolih. Leta 2020 pri obeh spolih pride do zvišanja stopnje mortalitete, leta 2021 pa ponovno do zmanjšanja. Omenjeno je razvidno z levega spodnjega grafa (slika 27). Desni graf na sliki 27 vsebuje pretekle stopnje mortalitete

za obdobje 2010–2021 in napovedi, ki segajo vse do leta 2121. Kljub temu, da so pretekle stopnje mortalitete ob rojstvu bile po večini višje za dečke, napovedi kažejo na to, da bo v obdobju 2022–2121 stopnja mortalitete za deklice višja. Kot pri projekcijah parametra κ_t lahko tudi pri stopnji mortalitete simuliramo prihodnje vrednosti. V prilogi 8 slika 7 je s pomočjo simulacij izrisan R graf tipa *fan*, ki vsebuje 95 %, 80 % in 50 % intervale zaupanja.

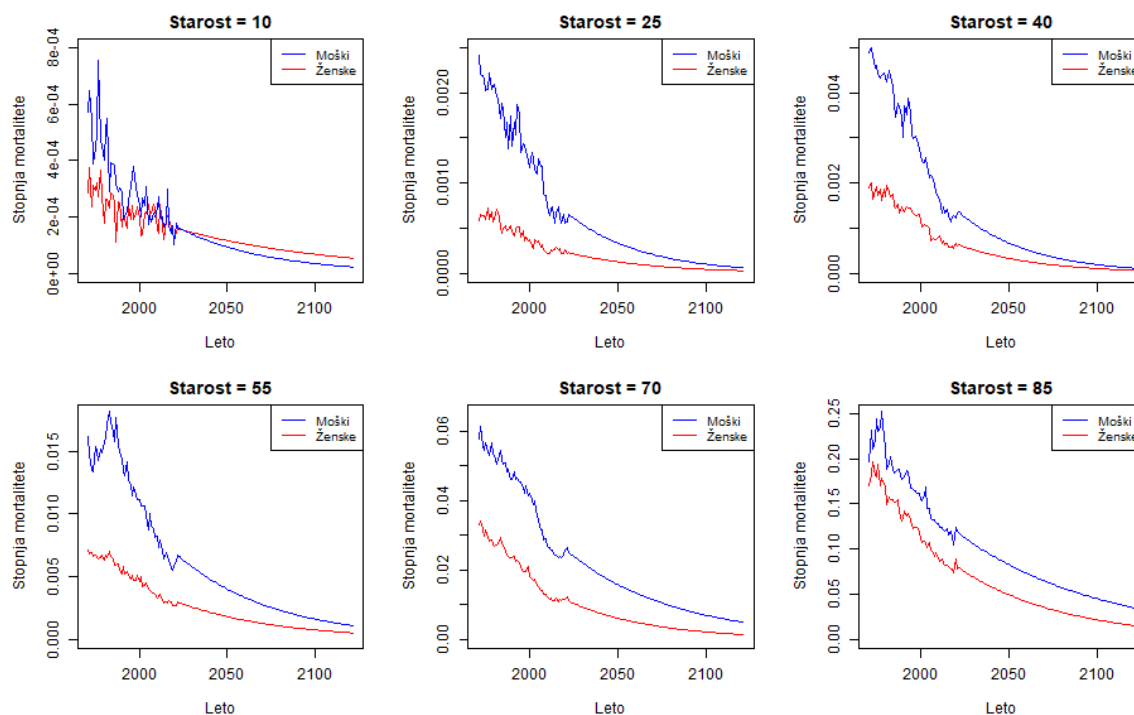
Slika 27: Stopnja mortalitete za novorojenčke v obdobju 1971–2121, ločena po spolu



Vir: lastno delo.

V nadaljevanju sem analizirala stopnje mortalitete za različne starosti $x \in \{10,25,40,55,70,85\}$. Poleg tega sem pri napovedih vključila najbolj verjeten scenarij stopnje mortalitete od leta 2022 naprej. Z grafov na sliki 28 lahko razberemo, da se stopnji mortalitete pri obeh spolih zmanjšujeta in sta si vedno bližje. Prihodnje projekcije kažejo na to, da bo pri večini starosti stopnja mortalitete pri ženskah nižja. Do izjeme pride pri 10. letu starosti, pri katerem imajo deklice višjo stopnjo mortalitete. Med letoma 1991 in 2019 se stopnji mortalitete za deklice in dečke, stare 10 let, med seboj izmenjujeta oz. večkrat sekata. To je bolj razvidno s slike 8 v prilogi 8, kjer sta stopnji za omenjeno starost prikazani v večjem formatu.

Slika 28: Stopnje mortalitete za različne starosti v obdobju 1971–2121, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

4.2 Ustreznost modela

Pri izbiri stohastičnega modela mortalitete je zaželeno, da je ta enostaven, transparenten in sposoben generiranja naključnih sprehodov. Pri implementaciji modela na dejanske podatke je zaželeno slednje (Cairns in drugi, 2009, str. 12):

- model se dobro prilega historičnim podatkom,
- model producira biološko smiselne napovedi skladne s podatki, ki se jih da testirati, in
- ocene parametrov ter projekcij so robustne.

Ustreznost modela je mogoče preveriti z različnimi metodami. V nadaljevanju bom predstavila nekatere izmed njih, s katerimi sem preverjala ustreznost izbranega LC modela.

4.2.1 Testiranje prileganja podatkov

Preverjanje ustreznosti prileganja podatkov (angl. goodness of fit) lahko izvedemo z različnimi metodami, kot so npr. delež variabilnosti, pojasnjen z modelom, povprečne napake meritev, AIC, Bayesov informacijski kriterij, ostanki ipd. Če imamo več različnih modelov mortalitete, je smiselno, da izberemo tistega, ki najbolj ustreza želenim kriterijem. V mojem primeru to ne bo mogoče, saj imam samo en model, tj. LC model, ki je ločen za ženske in moške. Zato bom v nadaljevanju teoretično predstavila dva kriterija za testiranje

ustreznosti prileganja podatkov ter praktično preverila, ali se model bolje prilega moški ali ženski populaciji.

4.2.1.1 Delež variabilnosti, pojasnjen z modelom

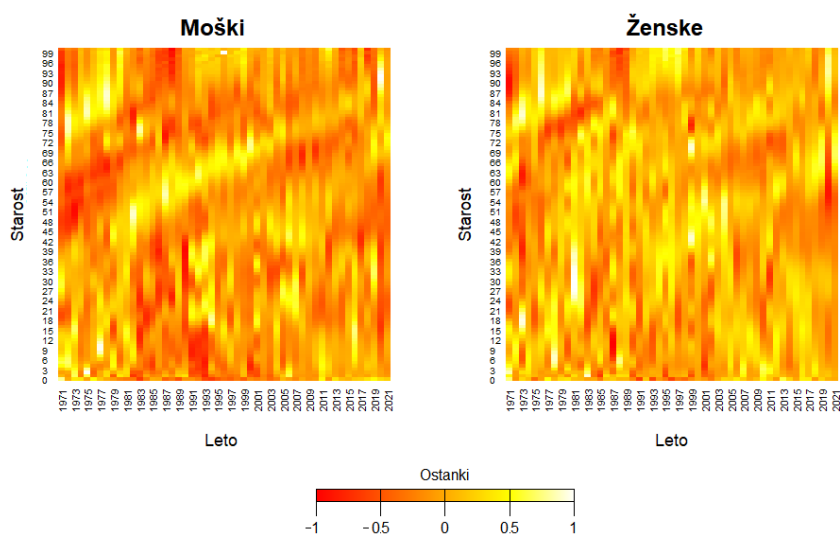
Najprej sem preverila velikost deleža variabilnosti, zajetega iz mojih podatkov. LC model uspe za moški del populacije razložiti kar 90,9 % vseh variacij. Visok delež odraža dobro prileganja modela podatkom. S tem je zajeta večina variabilnosti podatkov, ta pa bo upoštevana tudi v napovedih. Pri ženskem LC modelu je delež zajete variacije nekoliko nižji, in sicer 87,9 %.

4.2.1.2 Ostanke

Kriterij, ki sem ga prav tako uporabila za namen ugotavljanja ustreznosti prileganja podatkov, so ostanke (angl. residuals). Preverila sem, kolikšne so razlike med opazovanimi vrednostmi stopnje mortalitete in med ocenjenimi vrednostmi, dobljene s LC modelom.

Primerjala sem, do kakšnih odstopanj pride pri stopnji mortalitete glede na starost in koledarsko leto hkrati. Za ponazoritve le-teh sem uporabila graf *heatmap*. Na sliki 29 temnejša oz. rdeča območja predstavljajo ostanke, ki so veliki med -1 in $-0,5$. Svetlejša oz. rumena območja predstavljajo ostanke z vrednostmi med $0,5$ in 1 . Oranžna območja zajemajo ostanke, ki so manjši kot drugod. Tu se ocene modela ne razlikujejo veliko od dejanskih vrednosti. Pri moških so nekoliko bolj vidna obarvana območja po diagonalah. Tovrstna območja predstavljajo kohorte, ki so ponekod precenjene, drugod pa podcenjene.

Slika 29: Ostanke, ločeni po spolu



Vir: lastno delo.

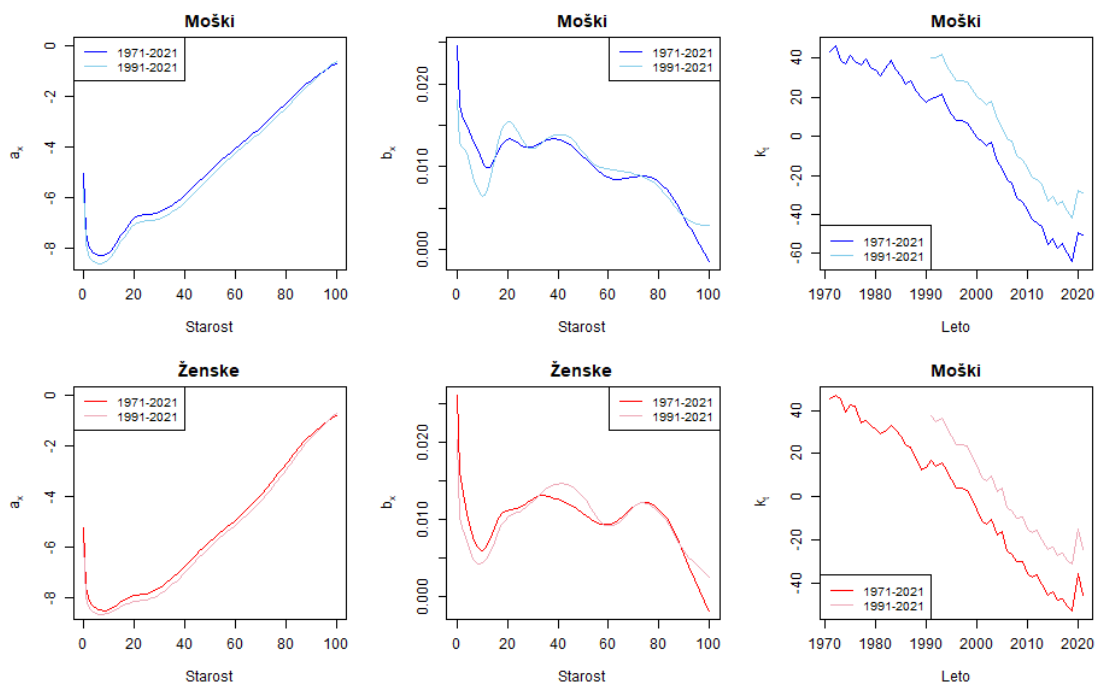
4.2.2 Robustnost

Izraz robustnost se nanaša na moč oz. trdnost uporabljenega modela. Model je robusten, ko so robustni njegovi ocenjeni parametri ter njegove projekcije. O robustnosti ocenjenih parametrov govorimo, ko se majhne spremembe pri naboru let ali starosti le minimalno odražajo v ocenah parametrov modela (Cairns in drugi, 2009, str. 18). Podobno velja za robustnost projekcij. V kolikor pride do majhne spremembe pri razponu izbranih let ali starosti, se projekcije modela le za malenkost spremenijo (Cairns in drugi, 2011, str. 356). V mojem primeru sem robustnost modela preverjala tako, da sem med seboj primerjala podatke za obdobja med letoma 1971 in 2021 ter letoma 1991 in 2021.

4.2.2.1 Robustnost parametrov

Robustnost ocenjenih parametrov sem preverila tako, da sem za podatke tako med letoma 1991 in 2021 kot tudi med letoma 1971 in 2021 zmodelirala dva LC modela, ločena glede na spol. S spodnjih grafov na sliki 30 je razvidno, da so razlike med omenjenimi obdobji za oba spola zelo majhne pri parametru α_x . Pri ocenah parametra β_x pride do večjih razlik pri obeh spolih. Pri obeh spolih pride do nekoliko večjih odstopanj od rojstva do 30. leta starosti ter nad 90. letom starosti. Poleg tega je bila pri ženskah nekoliko večja razlika tudi med 30. in 60. letom starosti. Kot pričakovano, ima parameter κ_t enako obliko krivulje. Vrednost parametra κ_t je za obdobje med letoma 1991 in 2021 višja, saj se je tudi stopnja mortalitete za to obdobje zmanjšala.

Slika 30: Ocena parametrov α_x , β_x in κ_t LC modela za obdobji 1971–2021 in 1991–2021, ločeno po spolu

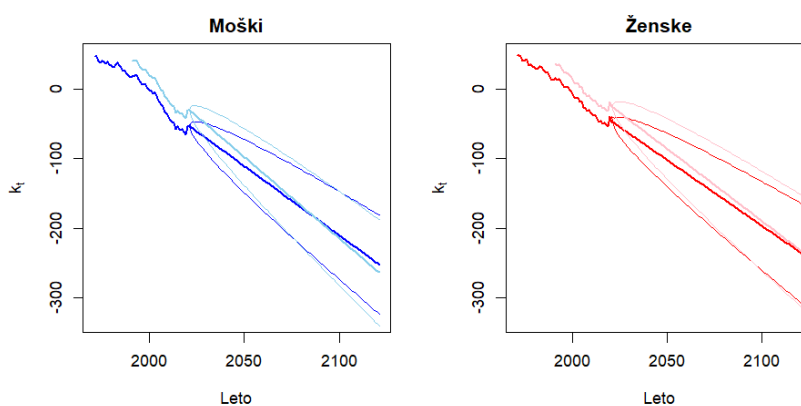


Vir: lastno delo.

4.2.2.2 Robustnost projekcij

Robustnost projekcij sem preverila na podoben način kot robustnost ocenjenih parametrov. Izračunala sem prihodnje vrednosti parametra κ_t , ki sem jih dobila na podlagi podatkov za obdobje med letoma 1991 in 2021, ter jih primerjala s projekcijami s slike 24. Prihodnje vrednosti parametra so pri obeh spolih prikazane s 95 % intervalom zaupanja. Tako pri moških kot pri ženskah širina območja intervala zaupanja ostaja približno enaka. To pomeni, da se volatilitnost podatkov za leta 1991–2021 ne razlikuje prav veliko od volatilitnosti podatkov za leta 1971–2021. S tem ne pride do večjih sprememb v negotovost projekcij prihodnjih stopenj mortalitete. Pri obeh spolih trend parametra κ_t hitreje pada v obdobju 1991–2021.

Slika 31: Modelirane in napovedane vrednosti parametra κ_t LC modela za obdobji 1971–2121 in 1991–2121, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

4.3 Razvoj pričakovane življenjske dobe z LC metodo

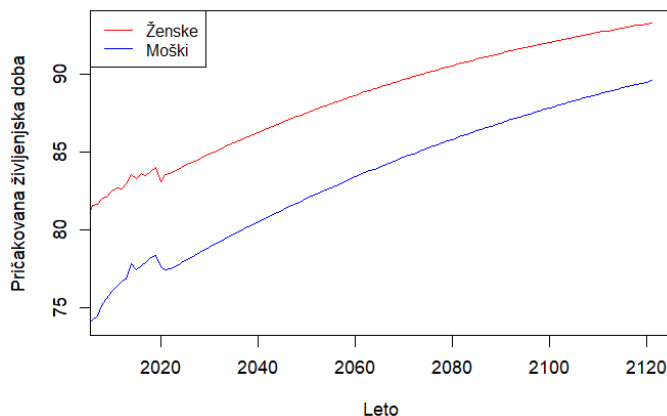
V nadaljevanju poglavja bom predstavila napovedi pričakovane življenjske dobe, ki sem jih naredila na podlagi projekcij centralnih stopenj smrti m_x iz poglavja 4.1.

4.3.1 Projekcije

Pri izdelavi napovedi pričakovane preostale življenjske dobe za obdobje 2022–2121 sem ponovno uporabila R-ovo funkcijo *life.expectancy*. Kot že omenjeno, je leta 2020 prišlo do upada v periodni pričakovani življenjski dobi, ki se je pri moškem spolu nadaljeval tudi leta 2021. Za leto 2022, za katerega so vrednosti pričakovane življenjske dobe izračunane na podlagi projekcij, se pri obeh spolih le-te povečajo. Pri ženskem spolu se pričakovana življenjska doba ob rojstvu poveča s 83,55 leta na 83,65 leta (tj. 36,5 dni). Pri moškem spolu je ta sprememba za pol manjša kot pri ženskah (s 77,45 leta na 77,5 leta). Iz slike 32 je razvidno, da napovedi za obdobje 2022–2121 kažejo na povišanje pričakovane dobe. V tem obdobju se razlike med moškimi in ženskami počasi zmanjšujejo. Z drugimi besedami, med

letoma 2022 in 2121 je prišlo pri ženskah do manjšega povišanja pričakovane življenjske dobe ob rojstvu. Vrednosti napovedi za leta $t \in \{2025, 2030, 2035, \dots, 2120\}$ so prikazane v prilogi 9 (tabela 9).

Slika 32: Pretekla periodna pričakovana življenjska doba s prihodnjimi projekcijami za novorojenčke v obdobju 2010–2121, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Poleg pričakovane življenjske dobe ob rojstvu sem preverila tudi, kako se gibljejo projekcije pričakovane preostale življenjske dobe za starosti $x \in \{10, 25, 40, 55, 70, 85\}$. Krivulje so izrisane za obdobje 2010–2121 v prilogi 9 na sliki 9. Podobno gibanje krivulje kot na sliki 32 se pojavi pri starostih 10, 25, 40 in 55 let. Za starosti 70 in 85 let se pri obeh spolih pojavi zvišanje pričakovane preostale življenjske dobe leta 2021, ki se nato nadaljuje v prihodnosti. Tovrstni pojav je zanimiv z vidika bolezni COVID-19, ki je bolj smrtonosna za starejšo populacijo. Posledično lahko sklepamo, da bi se pričakovana preostala življenjska doba za starejše ljudi zmanjšala. Prav tako je zanimivo omeniti, da se projekcije preostale življenjske dobe pri moških in ženskah, starih 85 let, ne približujejo ene drugimi, ampak se med njimi razlika povečuje.

4.3.2 Primerjava rezultatov z napovedmi za 3 različne scenarije

Na projekcije mortalitete vpliva vrsta različnih dejavnikov. Ali so te vsaj približen odraz realnosti, bo mogoče ugotoviti, ko bodo na voljo dejanski podatki o smrtih. Iz prej dobljenih rezultatov lahko zaključim, da je COVID-19 zagotovo vplival na mortaliteto v Sloveniji. Ob tem sem si postavila vprašanje, kolikšna bi bila mortaliteta za leto 2020, če ne bi prišlo do izbruha virusa SARS-CoV-2. Poleg tega me tudi zanima, ali se napovedi za leto 2021 približajo dejanskemu stanju oz. izračunom iz prejšnjih poglavij.

V tem poglavju bom predstavila rezultate analize, s katero sem raziskovala, kakšne so bile pretekle napovedi mortalitete slovenskega prebivalstva za leto 2020, ko obstoj virusa SARS-CoV-2 še ni bil znan oz. predviden. Pri tem sem si zadala tri različne scenarije, in sicer:

- **scenarij 1:** podatki za obdobje 1971–2020,

- **scenarij 2:** podatki za obdobje 1971–2019 in
- **scenarij 3:** podatki za obdobje 1971–2020 brez COVID-19 smrti (v nadaljevanju BC podatki).

Vsi trije scenariji vsebujejo enake podatke za obdobje 1971–2019. To so podatki o številu smrti in številu živečih ljudi na 1. 7., ločeni po spolu in starosti za vsako leto. Scenarij 1 zajema podatke, s katerimi sem razpolagala v prejšnjih poglavjih, le da ne zajemajo leta 2021. Scenarij 2 zajeme enake podatke kot scenarij 1, le da ne vsebuje podatkov za leto 2020. Z analizo tovrstnih podatkov dobim dobro idejo o tem, kakšne naj bi bile napovedane stopnje mortalitete leta 2020, če ne bi bilo pandemije. Scenarij 3 zajema dejanske podatke za obdobje 1971–2019. Podatki vsebujejo tudi leto 2020, iz katerega pa sem izključila podatke o smrtih oseb, ki so bile 28 dni pred nastopom smrti pozitivne na SARS-CoV-2. V tem primeru sem predpostavila, da so vse osebe s pozitivnim testom na virus SARS-CoV-2 umrle zaradi posledic bolezni COVID-19. Z drugimi besedami, podatki o umrlih, ki 28 dni pred smrtjo niso imeli pozitivnega testa na SARS-CoV-2, predstavljajo preostale smrti. Scenarij 3 torej ni popolnoma realen odraz življenja brez bolezni COVID-19. Podatki o smrtih BC so grob približek tistih smrti leta 2020, pri katerih bolezen COVID-19 ni bila osnovni vzrok. Posledično sem bila pri obravnavi tovrstnega scenarija bolj kritična.

Za zgoraj opisane scenarije sem za vhodne podatke prav tako vzela centralne stopnje smrti, ki sem jih izračunala po formuli (20) in jih nato zgladila po opisani metodi iz poglavju 4.1. Nadaljnja primerjava treh različnih scenarijev poleg projekcij pričakovane življenjske dobe zajema tudi primerjavo parametrov LC modela in stopenj mortalitete.

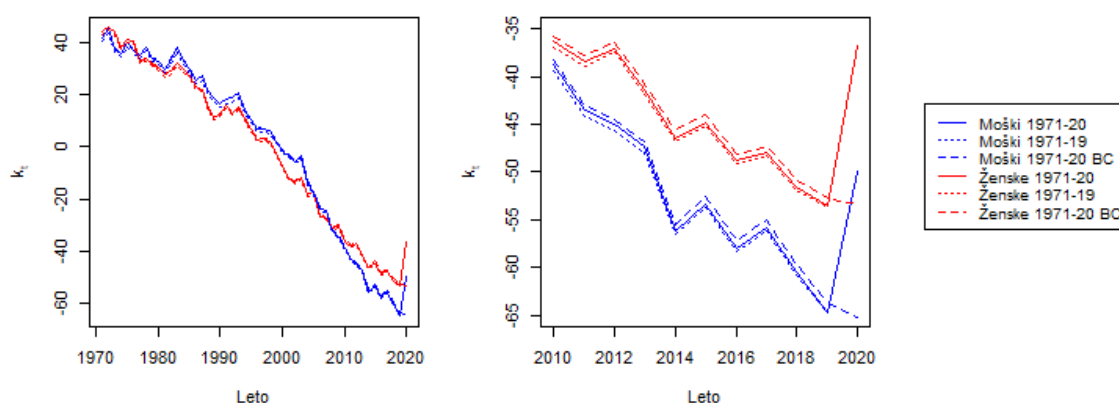
4.3.2.1 Parametri LC modela

V zgoraj definiranih scenarijih sem raziskovala, do kolikšnih razlik prihaja tako za modelirane vrednosti preteklih podatkov kot za napovedi. Za začetek sem primerjala razlike med parametri LC modela, ločene po spolu. Na sliki 10 (priloga 10) so prikazane krivulje starostnih parametrov α_x in β_x za tri različne scenarije. Preverjala sem, do kolikšnih razlik pride med scenarijema 1 in 2 ter 1 in 3. Ugotovila sem, da so razlike zanemarljivo majhne. Za ženski del populacije so razlike pri obeh parametrih manjše kot pri moških, kar je tudi razvidno z grafa. Zanimivo je omeniti, da so v povprečju razlike med scenarijema 1 in 3 manjše pri obeh parametrih, ne glede na spol. Če vse tri scenarije za leto 2021 primerjam z dejanskimi izračuni, ugotovim, da je v primeru parametra α_x najmanj razlik s scenarijem 3. Pri primerjavi razlik za parameter β_x med dejanskimi izračuni in napovedmi iz scenarijev ugotovim, da so le-te najmanjše s scenarijem 1.

Na sliki 33 so prikazani različni scenariji za gibanje parametra κ_t . Na levem grafu je prikazano gibanje omenjenega parametra za tri različne scenarije v obdobju 1971–2020 (oz. 1971–2019 za scenarij 2). Desni graf prikazuje gibanje parametra κ_t od leta 2015 naprej in je povečava levega grafa. Na njem so boljše vidne razlike. Za obdobje 1971–2019 ima

parameter κ_t v scenariju 3 pri obeh spolih največjo vrednost, medtem ko ima v scenariju 1 najmanjšo vrednost. Razlike med scenarijema 1 in 3 so večje kot pri 1 in 2. Zanimivo je omeniti, da za obdobje 1971–2019 velikost razlik med scenarijem 1 in 2 upada z leti, medtem ko velikost razlik med scenarijema 1 in 3 rastejo. Leta 2020 lahko modelirane vrednosti parametra κ_t primerjamo le med scenarijema 1 in 3. S slike 33 je razvidno, da tako pri moških kot pri ženskah pride do velike razlike (pri moških znaša 15,25, pri ženskah pa 16,64). Omenjena razlika je posledica bolezni COVID-19. V nadaljevanju bom pokazala, kolikšna bi bila vrednost parametra κ_t , če bi napovedovali njegovo vrednost na podlagi podatkov za obdobje 1971–2020 (tj. scenarij 2).

Slika 33: Ocena parametra κ_t LC modela za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Poleg odstopanj v modeliranih vrednosti na izbranih podatkih me je zanimalo tudi, do kakšnih razlik bo prihajalo pri napovedih. Za scenarija 1 in 3 sem projicirala vrednosti za prihodnja leta 2021–2120. V scenariju 2, v katerem imam za eno leto manj dejanskih podatkov, sem napovedi naredila za nadaljnje 101 leto (tj. obdobje 2020–2120). Za začetek sem med seboj primerjala napovedi parametra κ_t ter njegove 95 % intervale zaupanja. Glede na prej videno gibanje modelirane vrednosti κ_t (slika 33), je bilo moč sklepati, da bodo vrednosti napovedi za scenarij 1 večje od vrednosti napovedi v scenariju 3. Leta 2020 je bila napoved vrednosti parametra κ_t v scenariju 2 še nižja kot za modelirane vrednosti iz scenarija 3.

Tabela 5: Vrednosti parametra κ_t leta 2020 za tri različne scenarije, ločeno po spolu

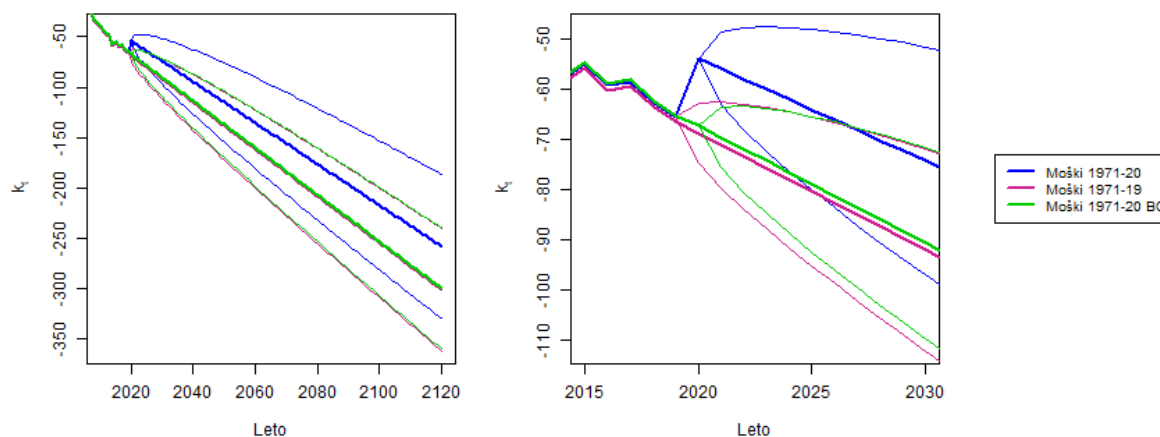
Spol	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Moški	-53,95	-68,83	-67,4
Ženske	-40	-56,61	53,71

Vir: lastno delo.

Slika 34 vsebuje dva grafa, ki prikazujeta modelirane pretekle vrednosti parametra κ_t in njegove napovedi. Vidimo lahko, kako blizu so si vrednosti iz scenarijev 2 in 3, ki se na levem grafu praktično prekrivajo. Prav tako vidimo, da je trend projekcij za scenarij 1 višji

in se počasi oddaljuje od trendov za scenarija 2 ter 3. Desni graf je povečava levega za obdobje 2015–2030. Na njem se jasno vidi, da so vrednosti projekcij za scenarij 3 malenkost višje od vrednosti projekcij scenarija 2. Glede na to, da so razlike med njimi majhne, lahko trdim, da bi napovedi na podlagi obdobja 1971–2019 bile dober približek realnih vrednosti parametra κ_t , če ne upoštevamo COVID-19 smrti. V prilogi 10 (slika 11) sta prikazana tudi grafa za ženski del populacije.

Slika 34: Modelirane vrednosti parametra κ_t LC modela in njegove prihodnje projekcije za tri različne scenarije (moški)



Vir: lastno delo.

Če primerjam napovedi parametra κ_t z dejanskimi vrednostmi za leto 2021, opazim, da se napovedi iz scenarija 1 najbolj približajo dejanskemu stanju. Za moški spol so napovedi iz scenarija 1 manjše od dejanskih vrednosti, medtem ko so bile pri ženskah višje. Vrednosti LC parametra κ_t za leto 2021 so izpisane v spodnji tabeli.

Tabela 6: Primerjava vrednosti parametra κ_t leta 2021, ločeno po spolu

Spol	Dejanske vrednosti	Napovedi Scenarij 1	Napovedi Scenarij 2	Napovedi Scenarij 3
Moški	-52,75	-55,99	-71,15	-69,72
Ženske	-46,71	-41,78	-58,71	-55,77

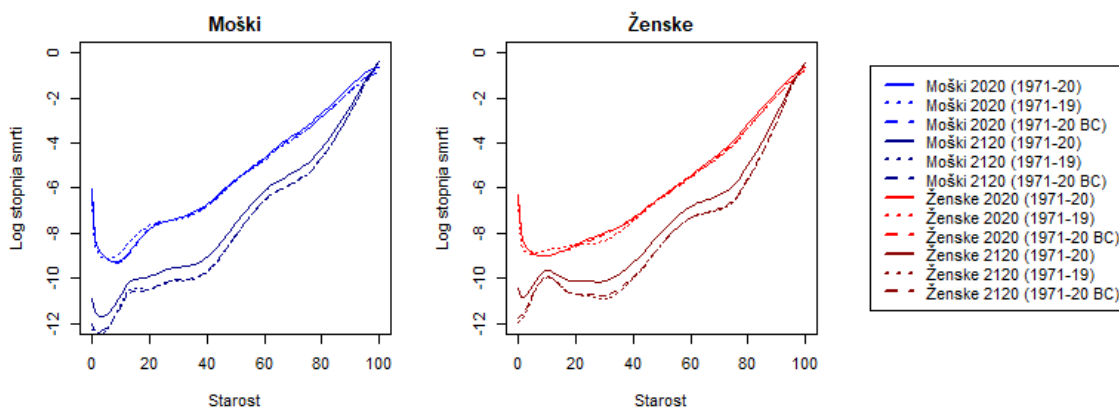
Vir: lastno delo.

4.3.2.2 Stopnja mortalitete

Slika 35 prikazuje krivulje dejanskih in napovedanih vrednosti logaritmirane centralne stopnje za dve izbrani leti, 2020 in 2120. V scenarijih 1 in 3 so vrednosti $\log(m_x)$ izračunane na podlagi dejanskih podatkov. Scenarij 2 ima omenjeno vrednost leta 2020 že projicirano napoved. V primerjavi s projekcijami parametra κ_t , vrednosti logaritmov centralne stopnje smrti ne bodo za vsa leta manjše oz. večje, ko jih bom primerjala med scenariji. Razlike med krivuljama za scenarija 1 in 2 so v povprečju večje kot pri scenarijih 1 in 3, ne glede na spol.

Med scenarijema 1 in 3 pri obeh spolih velja, da so razlike majhne. Ko sem raziskovala povprečne vrednosti odstopanj med scenarijema 1 in 2, 1 in 3 ter 2 in 3, sem ugotovila, da so le-ta najmanjša med scenarijema 2 in 3. To se ohrani tudi pri projekcijah za leto 2120. Z grafov za moške in ženske (slika 35) je razvidno, da se krivulja za scenarij 1 oddalji od krivulj za scenarija 2 in 3.

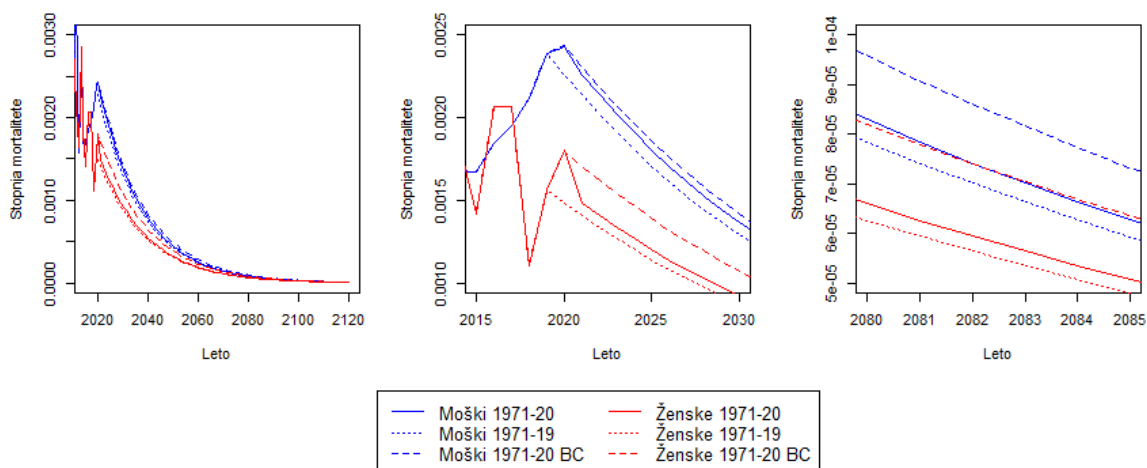
Slika 35: Modelirane logaritmizirane centralne stopnje smrti in njihove napovedi za leti 2020 in 2120 za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Primerjave stopnje mortalitete za tri različne scenarije so pokazale, da stopnja mortalitete ni nujno najvišja pri scenariju 1, kar bi zaradi vpliva COVIDA-19 lahko morebiti upravičeno sklepali. Stopnja mortalitete je bila tako pri nekaterih starostih najvišja v drugih dveh scenarijih. V podpoglavju 3.2 sem predstavila ugotovitve o stopnji mortalitete novorojenčkov. Levi graf na sliki 36 prikazuje pretekle stopnje mortalitete od leta 2015 naprej ter njene projekcije do leta 2120. Od leta 2018 naprej je prišlo do rahlega porasta v stopnji mortalitete tako pri dečkih kot pri deklicah. Z leta 2019 na 2020 je stopnja mortalitete nadaljevala svojo rast. Projekcije iz scenarija 2 na sliki 36 (najbolje razvidno iz sredinskega grafa) prikazujejo že upad leta 2020. S tem je stopnja mortalitete iz scenarija 2 za oba spola najnižja tudi za vsa nadaljnja leta v primerjavi s preostalima dvema scenarijema. Do najvišjih stopenj mortalitete prihaja v scenariju 3, ne glede na spol. Za vse tri scenarije velja, da so vrednosti višje pri moških. Ko primerjam scenarija 1 in 3, vidim, da so vrednosti stopnje mortalitete pri obeh spolih višje za scenarij 3. Na prvi pogled se to zdi nelogično, saj v omenjenem scenariju razpolagam s smrtmi brez COVIDA-19. Tu je treba poudariti, da virus SARS-CoV-2 nima vpliva na stopnjo mortalitete novorojenčkov, saj leta 2020 ni bilo zabeležene nobene smrti novorojenčka, ki bi bila posledica bolezni COVID-19. Pri primerjavi napovedi iz treh različnih scenarijev z dejanskimi stopnjami mortalitete za novorojenčke leta 2021 opazim, da pri moškem spolu scenarij 1 najmanj odstopa. Pri ženskem spolu se zgodi ravno obratno, tj. scenarij 1 se najbolj razlikuje od dejanske stopnje mortalitete. Najmanjša pa je razlika s scenarijem 3.

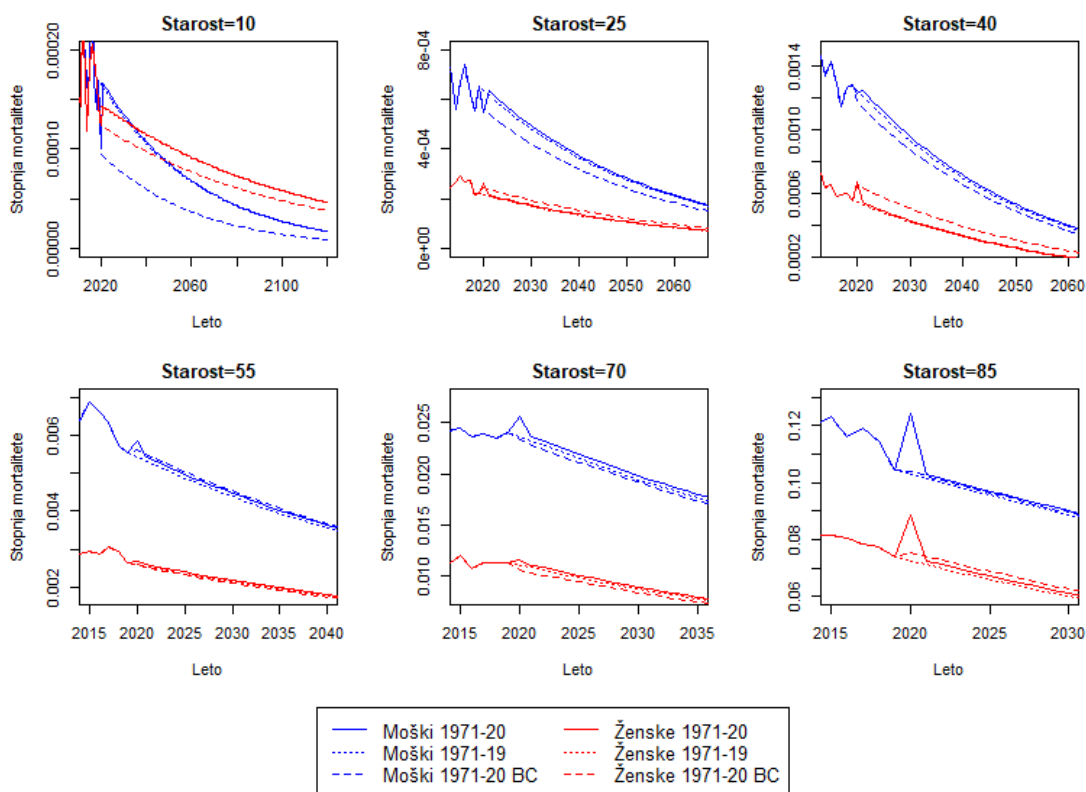
Slika 36: Stopnje mortalitete za novorojenčke za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

V nadaljevanju sem primerjala stopnje mortalitete za starosti $x \in \{10,25,40,55,70,85\}$. Kot pri novorojenčkih sem tudi v tem delu analize ugotovila, da si s projekcijami stopnje mortalitete ni mogoče razlagati vpliva bolezni COVID-19 na mortaliteto. To je razvidno s slike 37. Poleg tega se razlike med napovedmi za tri različne scenarije in dejanskimi stopnjami mortalitete za leto 2021 razlikujejo od primera do primera. Pri nekaterih starostih in spolu je razlika najmanjša s scenarijem 1, pri drugih pa s scenarijem 3.

Slika 37: Stopnje mortalitete za različne starosti za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

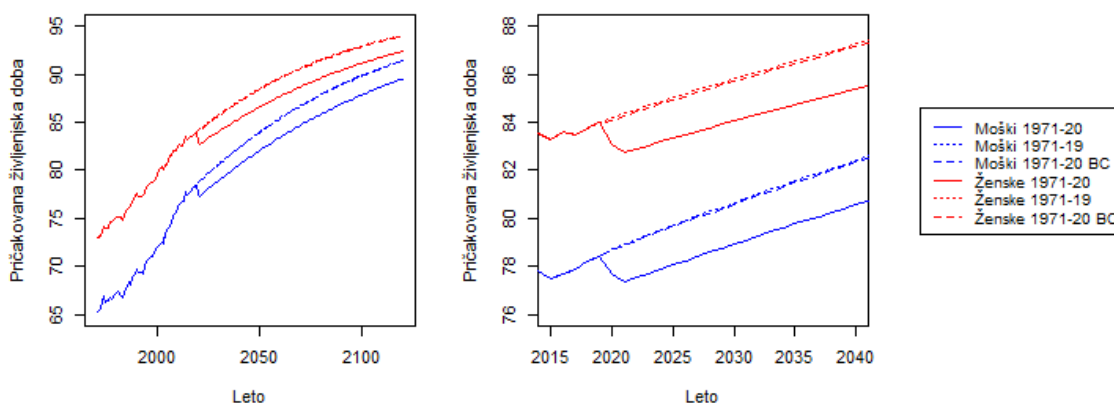
Pri analizi stopnje mortalitete za tri različne scenarije lahko zaključim, da projekcije ne odražajo najbolje vpliva COVID-19 na mortaliteto. Edine vrednosti, ki bi jih bilo morda smiselno primerjati med seboj, so stopnje mortalitete za scenarije 1 in 3 v letu 2020. V omenjenih primerih ne primerjamo projekcij, ampak dejanske vrednosti. Poleg tega je potrebno v analizo zajeti le tiste starosti in spol, pri katerih je COVID-19 bil naveden kot vzrok smrti. Opisane podatke sem med seboj primerjala in ugotovila, da je pri vseh starostih, kjer je bila potrjena vsaj ena smrt z COVID-19, stopnja mortalitete iz scenarija 1 višja. Poleg tega se razlike pri obeh spolih višajo s starostjo. Za moški del populacije so omenjene stopnje po starostih višje kot pri ženskah.

4.3.2.3 Periodna pričakovana življenjska doba

Zadnja vrednost, ki sem jo analizirala v treh različnih scenarijih, je periodna pričakovana preostala življenjska doba.

V prejšnjem podpoglavju sem grafično predstavila rezultate, ki so pokazali občuten padec v pričakovani življenjski dobi za različne starosti. Z izbiro treh različnih scenarijev sem želela potrditi, da razlog za omenjeni padec leži v vplivu bolezni COVID-19. To sem želela dokazati s tem, da ne bi bilo upada v periodni pričakovani (preostali) življenjski dobi za različne starosti. Dopusčala sem tudi možnost, da bi lahko prišlo do majhnega zmanjšanja, saj podatki za preteklo obdobje 1971–2020 (slika 20) kažejo, da v posameznih letih pride tudi do manjših padcev. Pri analiziranju periodne pričakovane življenjske dobe za scenarija 2 in 3 se je izkazalo, da leta 2020 ni bilo upada. Slika 38 prikazuje, kako se je pri obeh spolih za oba scenarija življenjska doba v letih 2020–2120 zviševala. Tako pri moških kot pri ženskah je scenarij 2 vseboval daljšo pričakovano življenjsko dobo. Pri tem je treba omeniti, da so bile razlike med scenarijema 2 in 3 pri obeh spolih zelo majhne. Tako kot za scenarij 1 velja tudi za scenarija 2 in 3, da so prihodnje projekcije spolov vedno bližje.

Slika 38: Periodna pričakovana življenjska doba v obdobju 1971–2120 za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Vrednosti periodne pričakovane življenjske dobe za oba spola so prikazane tudi v tabeli 10 (priloga 11) za izbrana prihodnja leta. Z zgornjih dveh grafov je razvidno, da so razlike med scenarijema 1 in 2 ter 1 in 3 velike. Leta 2020 je moška pričakovana življenjska doba za scenarij 2 znašala 78,73 leta (tj. 1,07 leta več v primerjavi s scenarijem 1) in 78,65 leta za scenarij 3 (tj. 0,99 leta več v primerjavi s scenarijem 1). Omenjena doba je istega leta pri ženskah znašala 84,22 leta za scenarij 2 (tj. 1,1 leta več v primerjavi s scenarijem 1) in 84,07 leta za scenarij 3 (tj. 0,96 leta več v primerjavi s scenarijem 1).

Če primerjam napovedi treh različnih scenarijev z dejansko povprečno življenjsko dobo leta 2021 za moški spol, opazim, da se je dejanskim vrednostim najbolj približal scenarij 1. Pri ženskem spolu je razlika med dejansko in napovedano vrednostjo povprečne življenjske dobe najmanjša pri scenariju 3. V spodnji tabeli so prikazani izračuni periodne pričakovane življenjske dobe na podlagi dejanskih podatkov in napovedi.

Tabela 7: Primerjava periodne pričakovane življenjske dobe ob rojstvu za leto 2021, ločeno po spolu

Spol	Dejanska $e_0(2021)$	Napovedi Scenarij 1	Napovedi Scenarij 2	Napovedi Scenarij 3
Moški	77,45	77,35	78,93	78,86
Ženske	83,55	82,74	84,38	84,27

Vir: lastno delo.

Krivulje periodne pričakovane preostale življenjske dobe za različne starosti $x \in \{10,25,40,55,70,85\}$ se v večini gibajo podobno kot krivulji za novorojenčke. Malenkost drugačno je gibanje krivulj za osebe, stare 85 let, pri katerih se projekcije napovedi med spoloma med seboj s časom ponovno oddaljujejo, ne glede na scenarij. Prav tako se pri obeh spolih povečujejo razlike med scenarijema 1 in 2, 1 in 3 ter 2 in 3. Grafe za starosti $x \in \{10,25,40,55,70,85\}$ sem priložila v prilogi 11 (slika 12). Kot pri novorojenčkih je tudi razlika med dejansko preostalo življenjsko dobo za moške različnih starosti in napovedmi za leto 2021 najmanjša v primeru scenarija 1. Enako velja za ženske, stare 25, 40, 55 in 70 let. V primeru žensk, starih 10 in 85 let, je najmanjša razlika med napovedmi in dejansko $e_x(2021)$ pri scenariju 3. Vrednosti periodne preostale življenjske dobe za različne starosti so shranjene v tabeli 11 in tabeli 12 (priloga 11).

SKLEP

Pandemija COVID-19 ima posredni in neposredni vpliv na mortaliteto. Koliko življenj je terjala omenjena bolezen, najbrž nikoli ne bo zagotovo znano, saj države podatke o umrlih zbirajo na različne načine, to pa otežuje primerjavo med državami. Pri analiziranju podatkov se posamezne države soočajo z izzivi oz. težavami, kot so premalo informacij in primernih sredstev ob izbruhu epidemije, zakasneli podatki, različno definiranje vzroka smrti ipd.

Analizo otežujejo tudi mutacije virusa SARS-CoV-2, ki se različno hitro širijo in predstavljajo različno nevarnost za zaplete pri bolezni COVID-19, ki lahko vodijo v smrt. Kljub vsem izzivom strokovnjaki z različnih področij poskušajo izdelati ustrezne in čim bolj natančne kazalnike umrljivosti, s katerimi bi razložili vplive epidemije na mortaliteto.

Ob izbruhu COVIDA-19 so že prve raziskave pokazale, da ima bolezen večji vpliv na mortaliteto starejše populacije. Prav tako se je izkazalo, da je več smrtnih žrtev bolezni terjala pri moškem spolu. V svojem magistrskem delu sem želela preveriti, ali ti dve dejstvi veljata tudi za slovensko prebivalstvo. Želela sem raziskati, ali je pričakovana življenjska doba zaradi bolezni COVID-19 upadla. Odgovoriti sem želela tudi na vprašanje, ali so se pretekle napovedi pričakovane življenjske dobe kljub izbruhu epidemije približale dejanskemu stanju. Pri tem sem si zadala, da bom analize trenutnih razpoložljivih podatkov o mortaliteti in nadaljnje napovedi izdelala s pomočjo tablic umrljivosti in LC modela.

V magistrskem delu sem ugotovila, da je delež smrti, pri katerih je bila oseba 28 dni pred nastopom smrti pozitivna na virus SARS-CoV-2, višji pri moškem spolu in celotni starejši populaciji. Visok delež smrti pa se lahko pojavi tudi pri nekaterih mlajših starostih oz. starostnih skupinah, kar pa je posledica majhnega števila vseh smrti v omenjenih starostnih skupinah. Dober vpogled v razvoj epidemije v Sloveniji sem dobila z analizo presežnih smrti. Presežna umrljivost je dober odraz posledic epidemije v celoti (posredne in neposredne smrti, omejitve, ukrepi za zaježitev širjenja okužb ipd.). Poleg tega mi je omogočila nepristransko primerjavo s sosednjimi državami. Pri analiziranju presežnih smrti za leti 2020 in 2021, glede na povprečje med letoma 2015 in 2019, sem ugotovila, da je število COVID-19 smrti malenkost podcenjeno. Ugotovila sem, da je v preteklih dveh letih prišlo do občutnega povečanja števila smrti pri osebah nad 65. letom starosti. Analiza presežka smrti po tednih je pokazala, da je v zadnji četrtini leta 2020 vrh števila smrti znašal še enkrat več kot povprečje v istem delu leta v obdobju 2015–2019. Večino presežka smrti so v zadnjih tednih leta 2020 predstavljale COVID-19 smrti, kar pomeni, da je štetje COVID-19 smrti napram nekaterim drugim državam učinkovito. Leta 2021 je do večjega presežka smrti po tednih prišlo na začetku ter ob koncu leta. Za leti 2021 in 2022 sem izdelala napovedi gibanja prihodnjega števila smrti po tednih. Dejanske vrednosti sicer padejo v 80 % interval zaupanja, vendar pa je gibanje prihodnjega števila smrti po tednih težko natančno napovedati, saj se število okužb in smrti giblje v nepričakovanih valovih. To je posledica novih različic virusa, razvoja cepiv, uvajanja novih zaščitnih ukrepov ipd.

V Sloveniji se pričakovana življenjska doba ob rojstvu postopoma podaljšuje. Pri preučevanju pričakovane življenjske dobe za leti 2020 in 2021 sem ugotovila, da je nanjo vplivala bolezen COVID-19. Pri tem sem morala biti kritična, saj ima COVID-19 večji vpliv na starejše prebivalstvo, kar negativno vpliva na njihovo pričakovano preostalo življenjsko dobo. S pomočjo programa R sem na podlagi tablic umrljivosti izračunala periodno pričakovano življenjsko dobo. S tem sem dobila vpogled na trenutni vpliv števila smrti, ki so posledice COVIDA-19. Leta 2020 je prišlo do upada pričakovane življenjske dobe novorojene osebe pri obeh spolih. Pri moških je upad znašal 0,73 leta (z 78,39 leta na 77,66

leta), pri ženskah pa 0,9 leta (z 84,02 leta na 83,12 leta). Leta 2021 se je padec nadaljeval za moški spol. Pričakovana življenjska doba novorojenega dečka je padla še za 0,2 leta, medtem ko je pri deklicah narasla za 0,43 leta. Projekcije prihodnje pričakovane življenjske dobe, ki sem jih izdelala s pomočjo LC modela, imajo od leta 2022 naprej naraščajoč trend. Svoje izračune, ki so narejeni na podlagi preteklih podatkov, sem primerjala tudi z izračuni SURS-a in napovedmi iz leta 2008, objavljene v članku *Testing the sustainability of the Slovenian (PAYG) pension system using the Lee-Carter method*. Ugotovila sem, da se napovedi pričakovane življenjske dobe za ženski spol bolj približajo mojim izračunom. Poleg tega se pri obeh spolih velikost odstopanj napovedi od izračunov za leto 2020 razlikuje s predhodnimi leti, saj napovedi ne predvidevajo pojava epidemije. Na podlagi različnih vhodnih podatkov za LC model sem želela preveriti, do kakšnih odstopanj pride pri napovedovanju življenjske dobe z omenjenim modelom, če pride do ekstremnega dogodka, kot je epidemija. Pri tem se je izkazalo, da model povečanje mortalitete z leta 2020 prenese na vse prihodnje projekcije, medtem ko je dejanski vpliv bolezni COVID-19 viden le kot manjši padec leta 2020 pri obeh spolih ter leta 2021 pri moškem spolu. Zaključim lahko, da LC model ni najprimernejši za napovedovanje potencialnega razvoja pričakovane življenjske dobe v času epidemije.

Magistrsko delo ponuja poglobljeno analizo smrti za obdobje 1971–2021. Za leti 2020 in 2021 sem preučila vpliv bolezni COVID-19 na mortaliteto slovenskega prebivalstva. Vsebina dela predstavlja tematiko, pri kateri je in bo tudi v prihodnje odprtih veliko analiz in diskusij. Razne raziskave o vplivu bolezni COVID-19 na pričakovano življenjsko dobo trenutno vsebujejo le direktne vplive. Posledice indirektnih vplivov bodo znane šele čez nekaj let. Izdelava napovedi prihodnjega gibanja mortalitete na trenutnih podatkih je zahtevna. Predstavlja izziv, saj morebiten razvoj širjenja okužb virusa SARS-CoV-2 ter njegove smrtnosti zaenkrat še ni znan, verjetno pa bo v prihodnosti še vedno vplival na mortaliteto prebivalstva. Zaključim lahko, da bodo imele prihodnje raziskave o vplivu bolezni COVID-19 na mortaliteto v Sloveniji in drugod po svetu možnost izdelave bolj natančnih analiz, ki bodo zagotovo pripomogle k razumevanju razvoja pandemije in njenih posledic.

LITERATURA IN VIRI

1. Arias, E., Tejada-Vera, B. & Ahmad, F. (2021). *Provisional Life Expectancy Estimates for January through June, 2020*. Vital Statistics Rapis Release. Report No. 010. Pridobljeno 8. marca 2021 iz <https://www.cdc.gov/nchs/data/vsrr/VSRR10-508.pdf>
2. Booth, H. & Tickle, L. (2008). Mortality modelling and forecasting: A Review of Methods. *Annals of Actuarial Science*, 3(I/II), 3-43. Pridobljeno 10. marca 2021 iz https://www.researchgate.net/publication/230676938_Mortality_Modelling_and_Forecasting_a_Review_of_Methods
3. Brass, W. (1971). Mortality Model and their uses in demography [with discussion]. *Transactions of the Faculty of Actuaries*, 33(239), 123-142.

4. Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2019, 13. junij). *Mortality*. V *Encyclopedia Britannica*. Pridobljeno 28. februarja 2022 iz <https://www.britannica.com/science/mortality-demography>
5. Burn-Murdoch, J., Romei, V. & Giles, C. (2020, 26. april). Global coronavirus death toll could be 60 % higher than reported. *Financial Times*. Pridobljeno 6. februarja 2021 iz <https://www.ft.com/content/6bd88b7d-3386-4543-b2e9-0d5c6fac846c>
6. Cairns, A. J. G., Blake, D., Dowd, K., Coughlan, G. D., Epstein, D., Ong, A. & Balevich, I. (2009). A Quantitative Comparison of Stochastic Mortality Models Using Data From England & Wales and the United States. *North American Actuarial Journal*, 13(1), 1-35.
7. Cairns, A. J. G., Blake, D., Dowd, K., Coughlan, G. D., Epstein, D. & Khalaf-Allah, M. (2011). Mortality density forecasts: An analysis of six stochastic mortality models. *Insurance: Mathematics and Economics*, 48(3), 355-367.
8. Continuous Mortality Investigation: COVID-19 Working Party. (2020). Institute and Faculty of Actuaries. *Working Paper 139: Considerations relating to COVID-19 for mortality and morbidity assumptions*. Pridobljeno 8. februarja 2021 iz <https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/CMI-WP139-v01-2020-10-05-COVID-19-Working-Party.pdf>
9. Edwards, M. (2020, 9. marec). Willis Towers Watson. *COVID-19 (coronavirus): An actuary's perspective*. Pridobljeno 6. februarja 2021 iz <https://www.willistowerswatson.com/en-US/Insights/2020/03/COVID-19-coronavirus-an-actuaries-perspective>
10. Eurostat. (brez datuma a). *Deaths by age and sex*. European Commission. Pridobljeno dne 8. marca 2021 iz <https://ec.europa.eu/eurostat/web/population-demography-migration-projections/data/database>
11. Eurostat. (brez datuma b). *Population on 1 January by age and sex*. European Commission. Pridobljeno 8. marca 2021 iz <https://ec.europa.eu/eurostat/web/population-demography-migration-projections/data/database>
12. Flanagan, R. (2021, 2. junij). Pandemic cut short Canadian life expectancy by 5 months, StatCan says. *CTV News*. Pridobljeno 8. avgusta 2021 iz <https://www.ctvnews.ca/health/coronavirus/pandemic-cut-short-canadian-life-expectancy-by-5-months-statcan-says-1.5452901>
13. Girosi, F. & King, G. (2007). *Understanding the Lee-Carter Mortality Forecasting Method*. Pridobljeno 2. septembra 2021 iz <https://gking.harvard.edu/files/lc.pdf>
14. Hinde, A. (1998). *Demographic Methods*. London: Arnold Publishers.
15. Hunt, A. & Blake, D. (2015). On the Structure and Classification of Mortality Models. *North American Actuarial Journal*, 25(1), 1-20.
16. Hyndman, R. J. & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice* (2. izd.). OTexts: Melbourne, Australia.
17. Hyndman, R. J. & Ullah, M. S. (2007). Robust forecasting of mortality and fertility rates: a functional data approach. *Computational Statistics & Data Analysis*, 02/2007, 51(10), 4942-4956.

18. Institute and Faculty of Actuaries. (2020). *Longevity Bulletin: The coronavirus issue (Issue 13)*. Pridobljeno 8. marca 2021 iz <https://www.actuaries.org.uk/learn-and-develop/research-and-knowledge/our-journals-and-research-publications/longevity-bulletin/longevity-bulletin-coronavirus-issue-issue-13>
19. Janssen, F. (2018). Advances in mortality forecasting: introduction. *Genus*, 74(1), 21.
20. Kwon, H. S. & Nguyen, V. H. (2019). Analysis of cause-of-death mortality and actuarial implications. *Communications for Statistical Applications and Methods* 2019, 26, 557-573.
21. Lee, R. D. (2000). The Lee-Carter Method for Forecasting Mortality, with Various Extensions and Applications. *North American Actuarial Journal* 4(1), 80-91.
22. Lee, R. D. & Carter, L. R. (1992). Modeling and forecasting U.S. mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419), 659-671.
23. Luy, M., Di Giulio, P., Di Lego, V., Lazarevič, P. & Sauerberg, M. (2019). Life Expectancy: Frequently Used, but Hardly Understood. *Gerontology* 2020, 66, 95-104. Pridobljeno dne 29. november 2021 iz <https://www.karger.com/Article/Fulltext/500955>
24. Malačič, J. (2006). *Demografija: teorija, analiza, metode in modeli* (6. izd.). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
25. Medved, D., Ahčan, A. & Sambt, J. (2012). Testing the sustainability of the Slovenian (PAYG) pension system using the Lee-Carter method. *International Journal of Sustainable Economy* 4, 17-34.
26. Nacionalni inštitut za javno zdravje. (2019). *Zdravstveno stanje prebivalstva*. Pridobljeno 3. februarja 2022 iz https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/publikacije/letopisi/2019/2.1_umrljivost_2019.pdf
27. Nacionalni inštitut za javno zdravje. (2020, 13. januar). *Sezona gripe 2019/2020*. Pridobljeno 20. decembra 2021 iz <https://www.nijz.si/sl/sezona-gripe-20192020>
28. Nacionalni inštitut za javno zdravje. (2021a). *Prva objava: Vzroki smrti v letu 2020*. Pridobljeno 25. septembra 2021 iz https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/podatki/objave/Umrljivost/prva_objava_umrli_2020.pdf
29. Nacionalni inštitut za javno zdravje. (2021b, 10. decemer). *Zabeležili smo prvi potrjen primer gripe v sezoni 2021/2022*. Pridobljeno 20. decembra 2021 iz <https://www.nijz.si/sl/zabelezili-smo-prvi-potrjen-primer-gripe-v-sezoni-20212022>
30. Nacionalni inštitut za javno zdravje. (brez datuma). *Umrlijivost v tedenskih številkah*. Pridobljeno 18. marca 2021 iz <https://www.nijz.si/sl/dnevno-spremljanje-okuzb-s-sars-cov-2-covid-19>
31. Olivieri, A. & Pitacco, E. (2015). Introduction to insurance mathematics : technical and financial features of risk transfers. Springer.
32. Pitacco, E., Denuit, M., Haberman, S. & Olivieri, A. (2009). *Modelling Longevity Dynamics for Pensions and Annuity Business*. Oxford: Oxford University Press.
33. Rehman, S. A. (2020). *Probabilistic Projection Models for Mortality*. Pridobljeno 10. marca 2021 iz

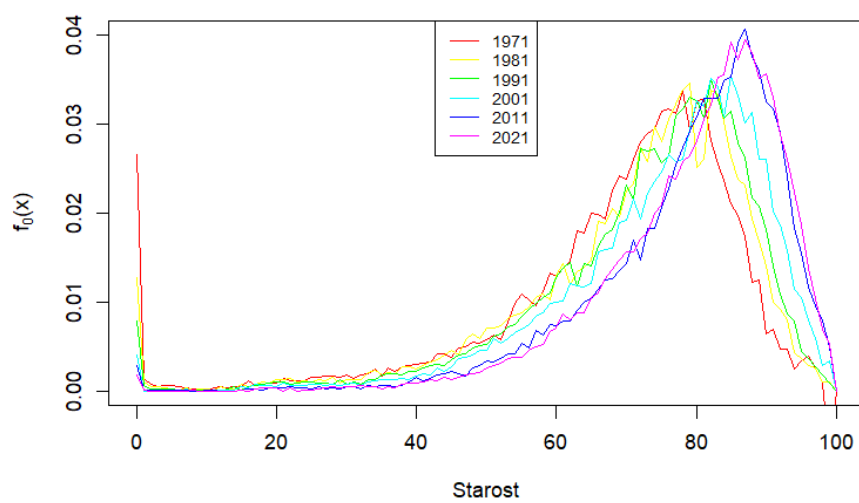
https://www.researchgate.net/publication/347937280_PROBABILISTIC_PROJECTION_MODELS_FOR_MORTALITY

34. Rossen, L. M., Branum, A. M., Ahmad, F. B., Sutton, P. & Anderson, R. N. (2020). Excess Deaths Associated with COVID-19, by Age and Race and Ethnicity — United States, January 26–October 3, 2020. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 2020, 69, 1522-1527. Pridobljeno 8. marca 2021 iz <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6942e2.htm>
35. Sledilnik.org. (2021). *Presežna umrljivost v letu 2020*. Medium. Pridobljeno 10. septembra 2021 iz <https://medium.com/sledilnik/prese-%C5%BEena-smrtnost-v-letu-2020-99840508e337>
36. Statistični urad Republike Slovenije. (2020). *Umrlji*. Pridobljeno 26. aprila 2022 iz <https://www.stat.si/statweb/File/DocSysFile/9513>
37. Statistični urad Republike Slovenije. (2021). *Slovenija od 1991 do danes, pregled statističnih podatkov*. Pridobljeno 27. januarja 2022 iz <https://www.stat.si/StatWeb/File/DocSysFile/11463>
38. Swetz, F. J. (2016, junij). Mathematical Association of America. *Mathematical Treasure: De Moivre's Annuities on Lives*. Pridobljeno 28. februarja 2022 iz <https://www.maa.org/press/periodicals/convergence/mathematical-treasure-de-moivre-s-annuities-on-lives>
39. Šircelj, M. (1987). *Tablice umrljivosti prebivalstva Slovenije*. Ljubljana: Zavod SR Slovenije za statistiko.
40. van Broekhoven, H., Alm, E., Tuominen, T., Hellman, A. & Dziworski, W. (2006). *Actuarial reflections on pandemic risk and its consequences*. Oxford: European Actuarial Consultative Group.
41. Vertot, N. (2010). *Starejše prebivalstvo v Sloveniji*. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije.
42. World Health Organization. (2020). *Rolling updates on coronavirus disease (COVID-19)*. Pridobljeno 20. oktobra 2021 iz <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happ>

PRILOGE

Priloga 1: Gostota verjetnosti slučajne spremenljivke T_0

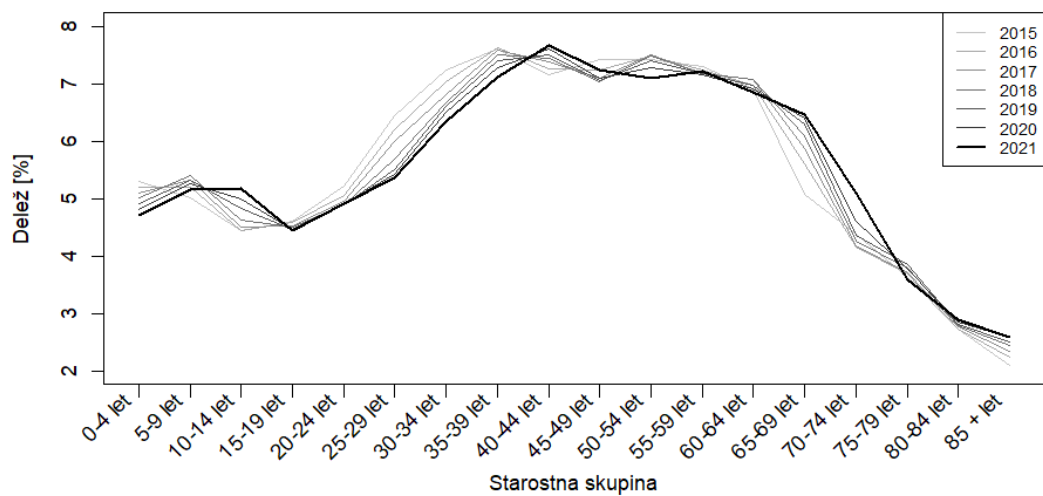
Slika 1: Gostota verjetnosti slučajne spremenljivke T_0 slovenskega prebivalstva v obdobju 1971–2021 za izbrana leta



Vir: lastno delo.

Priloga 2: Delež prebivalstva po starostnih skupinah

Slika 2: Delež prebivalstva po starostnih skupinah za obdobje 1971–2021



Vir: lastno delo.

Priloga 3: Delež COVID-19 smrti

Tabela 1: Delež smrti v Sloveniji za leto 2020, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2 za starosti na 65 let, ločeno po spol

Starost	Moški	Ženske	Starost	Moški	Ženske
65 let	0,09 %	0,04 %	83 let	1,22 %	0,9 %
66 let	0,12 %	0,08 %	84 let	2,05 %	1,23 %
67 let	0,1 %	0,08 %	85 let	2,11 %	1,47 %
68 let	0,2 %	0,06 %	86 let	2,53 %	1,17 %
69 let	0,2 %	0,13 %	87 let	2,71 %	1,57 %
70 let	0,32 %	0,07 %	88 let	3,22 %	1,98 %
71 let	0,28 %	0,1 %	89 let	4,36 %	2,51 %
72 let	0,26 %	0,16 %	90 let	4,9 %	3,03 %
73 let	0,4 %	0,2 %	91 let	3,23 %	3,33 %
74 let	0,62 %	0,22 %	92 let	4,63 %	3,5 %
75 let	0,29 %	0,15 %	93 let	6,53 %	4,43 %
76 let	0,54 %	0,3 %	94 let	7,67 %	4,76 %
77 let	0,77 %	0,37 %	95 let	7,73 %	6,51 %
78 let	0,69 %	0,47 %	96 let	11,51 %	4,27 %
79 let	0,86 %	0,48 %	97 let	2,08 %	6,7 %
80 let	1,09 %	0,6 %	98 let	8,7 %	8,21 %
81 let	1,13 %	0,68 %	99 let	14,71 %	8,61 %
82 let	1,26 %	0,93 %	100+ let	11,36 %	6,25 %

Vir: lastno delo.

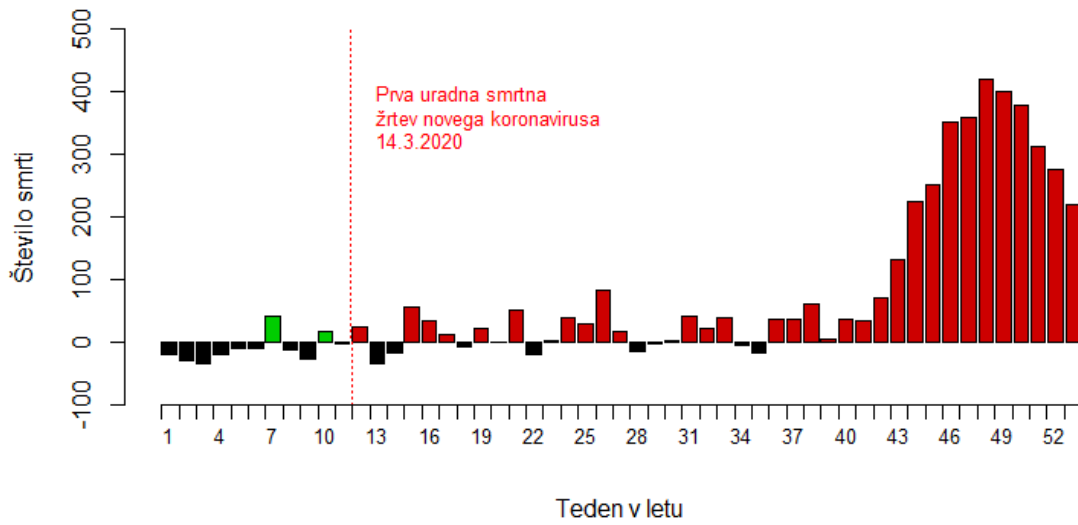
Tabela 2: Delež smrti v Sloveniji za leti 2020 in 2021, pri katerih je bila 28 dni pred smrtjo potrjena okužba s SARS-CoV-2 glede na starostne skupine in spol

Starost	2020			2021		
	Moški	Ženske	Skupaj	Moški	Ženske	Skupaj
0-4 let	0 %	0 %	0 %	3,85 %	0 %	2,27 %
5-14 let	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
15-24 let	0 %	0 %	0 %	2,38 %	9,09 %	3,77 %
25-34 let	0 %	3,7 %	0,91 %	4,08 %	3,85 %	4,03 %
35-44 let	4,43 %	5,38 %	4,73 %	5,21 %	7,69 %	5,96 %
45-54 let	2,7 %	4,68 %	3,29 %	9,11 %	7,33 %	8,59 %
55-64 let	5,72 %	4,23 %	5,26 %	11,02 %	10,08 %	10,74 %
65-74 let	9,14 %	9,16 %	9,15 %	13,83 %	13,32 %	13,66 %
75-84 let	13,96 %	14,07 %	14,01 %	16,15 %	14,21 %	15,25 %
85+ let	17,33 %	15,11 %	15,83 %	15,55 %	12,32 %	13,39 %

Vir: lastno delo.

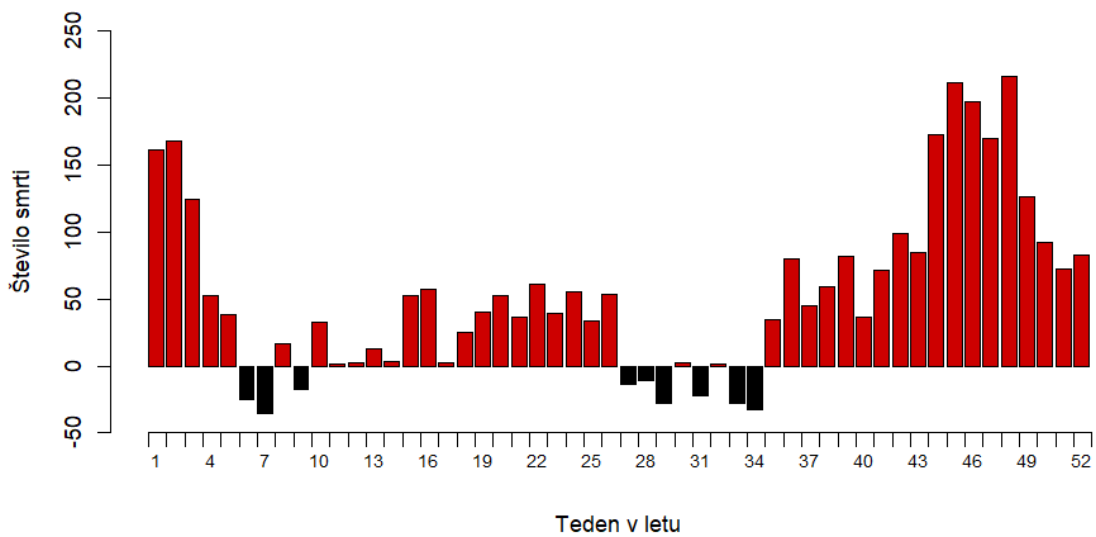
Priloga 4: Presežek smrti po tednih

Slika 3: Presežki smrti po tednih leta 2020 v primerjavi s povprečjem v obdobju 2015–2019



Vir: lastno delo.

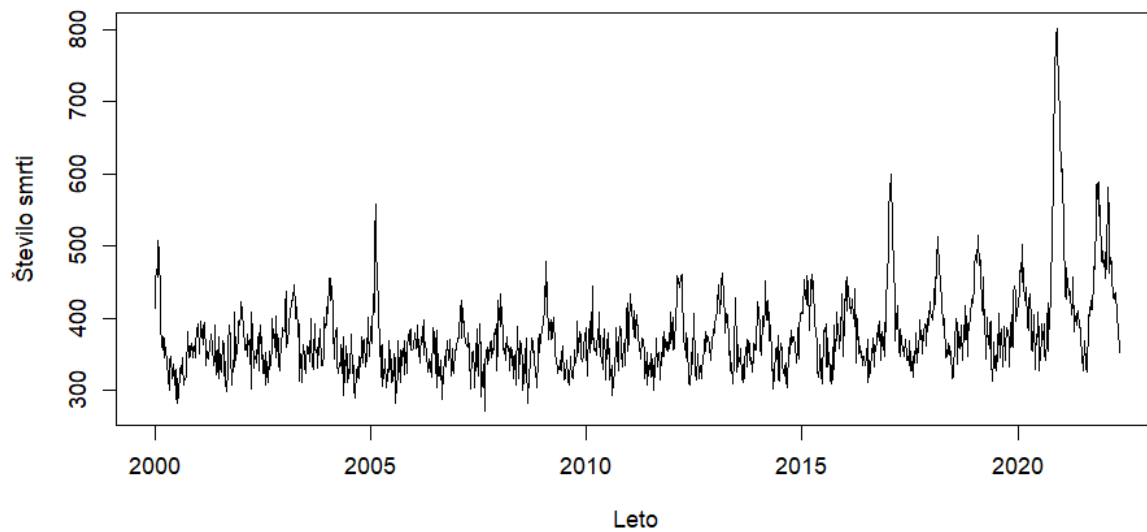
Slika 4: Presežki smrti po tednih leta 2021 v primerjavi s povprečjem v obdobju 2015–2019



Vir: lastno delo.

Priloga 5: Število smrti po tednih

Slika 5: Število smrti po tednih od 1. tedna leta 2000 do vključno 20. tedna leta 2022



Vir: lastno delo.

Priloga 6: Periodna pričakovana preostala življenjska doba

Tabela 3: Periodna pričakovana življenjska doba za obdobje 1971–2021, ločeno po spolu

Leto	Moški	Ženske	Leto	Moški	Ženske
1971	65,21	72,95	1997	70,95	78,81
1972	65,53	73,17	1998	71,02	78,77
1973	66,28	73,42	1999	71,62	79,09
1974	66,83	74,15	2000	72,03	79,58
1975	66,32	73,99	2001	72,13	80,16
1976	66,47	74,04	2002	72,45	80,37
1977	66,8	74,67	2003	72,39	80,12
1978	66,6	74,64	2004	73,31	80,59
1979	67,11	74,9	2005	73,84	80,65
1980	67,17	75,13	2006	74,22	81,56
1981	67,47	75,15	2007	74,49	81,64
1982	66,88	75,15	2008	75,29	82,07
1983	66,79	74,87	2009	75,64	82,1
1984	67,21	75,29	2010	76,08	82,5
1985	67,6	75,78	2011	76,42	82,72
1986	68,33	76,2	2012	76,76	82,6
1987	68,08	76,25	2013	76,86	82,97
1988	68,83	76,85	2014	77,84	83,52
1989	69,25	77,31	2015	77,47	83,28
1990	69,71	77,61	2016	77,71	83,6
1991	69,36	77,29	2017	77,88	83,46
1992	69,46	77,34	2018	78,22	83,77
1993	69,27	77,43	2019	78,39	84,02
1994	69,88	77,61	2020	77,66	83,12
1995	70,59	78,21	2021	77,45	83,55
1996	70,91	78,63			

Vir: lastno delo.

Tabela 4: Periodna pričakovana preostala življenjska doba za starosti od 60. leta naprej v obdobju 2010–2021 (moški)

Starost	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
60	20,22	20,46	20,59	20,66	21,19	21,08	21,4	21,17	21,42	21,65	20,8	20,82
61	19,47	19,69	19,83	19,9	20,41	20,31	20,62	20,38	20,63	20,85	19,99	20,04
62	18,73	18,93	19,07	19,15	19,65	19,55	19,85	19,61	19,85	20,07	19,2	19,26
63	18	18,18	18,33	18,4	18,9	18,8	19,09	18,85	19,09	19,3	18,42	18,51
64	17,27	17,45	17,59	17,67	18,15	18,06	18,35	18,09	18,34	18,55	17,66	17,76
65	16,55	16,72	16,86	16,95	17,42	17,32	17,61	17,35	17,6	17,8	16,91	17,02
66	15,84	16	16,14	16,24	16,7	16,59	16,88	16,62	16,88	17,08	16,18	16,3
67	15,13	15,3	15,43	15,54	15,98	15,87	16,17	15,9	16,16	16,36	15,46	15,59
68	14,43	14,6	14,73	14,85	15,28	15,16	15,46	15,19	15,46	15,66	14,76	14,89
69	13,75	13,92	14,04	14,17	14,59	14,45	14,76	14,49	14,76	14,97	14,08	14,21
70	13,07	13,25	13,36	13,5	13,9	13,77	14,08	13,8	14,07	14,3	13,4	13,54
71	12,41	12,6	12,7	12,83	13,23	13,1	13,4	13,13	13,4	13,63	12,74	12,89
72	11,77	11,95	12,05	12,18	12,57	12,44	12,74	12,46	12,73	12,98	12,08	12,25
73	11,14	11,32	11,41	11,54	11,92	11,8	12,08	11,81	12,08	12,34	11,44	11,63
74	10,54	10,71	10,79	10,92	11,28	11,17	11,44	11,16	11,44	11,72	10,8	11,02
75	9,95	10,12	10,18	10,31	10,65	10,56	10,81	10,53	10,81	11,1	10,18	10,42
76	9,38	9,54	9,59	9,72	10,04	9,95	10,19	9,92	10,19	10,5	9,58	9,84
77	8,84	8,98	9,02	9,14	9,44	9,35	9,58	9,32	9,6	9,91	8,99	9,27
78	8,31	8,44	8,46	8,59	8,86	8,77	9	8,73	9,01	9,34	8,42	8,71
79	7,81	7,92	7,93	8,06	8,29	8,21	8,43	8,17	8,44	8,78	7,87	8,17
80	7,33	7,43	7,42	7,55	7,76	7,67	7,89	7,63	7,89	8,23	7,34	7,64
81	6,87	6,95	6,93	7,06	7,24	7,15	7,37	7,12	7,35	7,71	6,83	7,14
82	6,44	6,5	6,46	6,6	6,76	6,67	6,88	6,63	6,84	7,2	6,34	6,65
83	6,03	6,06	6,02	6,16	6,31	6,23	6,42	6,16	6,35	6,72	5,87	6,19
84	5,64	5,65	5,6	5,74	5,88	5,82	5,99	5,72	5,89	6,25	5,43	5,76
85	5,28	5,25	5,2	5,35	5,49	5,44	5,59	5,3	5,46	5,81	5	5,34
86	4,94	4,88	4,82	4,97	5,13	5,09	5,21	4,91	5,06	5,4	4,6	4,96
87	4,61	4,52	4,47	4,62	4,8	4,76	4,87	4,55	4,7	5,01	4,22	4,6
88	4,31	4,19	4,13	4,28	4,49	4,44	4,55	4,21	4,38	4,64	3,87	4,26
89	4,03	3,88	3,81	3,97	4,2	4,14	4,26	3,89	4,09	4,31	3,55	3,95
90	3,76	3,58	3,51	3,67	3,93	3,85	3,99	3,59	3,83	3,99	3,26	3,67
91	3,51	3,31	3,23	3,4	3,69	3,58	3,74	3,31	3,61	3,7	3,01	3,4
92	3,28	3,06	2,96	3,15	3,46	3,32	3,5	3,06	3,41	3,44	2,78	3,16
93	3,06	2,82	2,72	2,91	3,24	3,08	3,29	2,82	3,24	3,19	2,59	2,93
94	2,86	2,61	2,49	2,69	3,04	2,87	3,09	2,6	3,09	2,96	2,42	2,73
95	2,68	2,41	2,27	2,49	2,86	2,68	2,91	2,4	2,96	2,76	2,27	2,54
96	2,51	2,23	2,08	2,31	2,69	2,51	2,75	2,21	2,84	2,57	2,14	2,38
97	2,36	2,07	1,91	2,15	2,54	2,37	2,61	2,05	2,73	2,4	2,04	2,23
98	2,24	1,93	1,76	2,01	2,42	2,25	2,48	1,9	2,64	2,26	1,94	2,1
99	2,13	1,82	1,63	1,9	2,32	2,16	2,39	1,79	2,57	2,14	1,87	2
100+	2,07	1,75	1,55	1,82	2,26	2,1	2,33	1,71	2,53	2,07	1,83	1,94

Vir: lastno delo.

Tabela 5: Periodna pričakovana preostala življenjska doba za starosti od 60. leta naprej v obdobju 2010–2021 (ženske)

Starost	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
60	24,84	24,98	24,86	25,18	25,47	25,32	25,66	25,54	25,68	25,82	25,01	25,37
61	23,96	24,11	24	24,31	24,58	24,44	24,77	24,66	24,81	24,94	24,12	24,48
62	23,08	23,24	23,14	23,44	23,7	23,57	23,89	23,79	23,94	24,06	23,23	23,6
63	22,21	22,37	22,28	22,58	22,83	22,7	23,02	22,92	23,07	23,19	22,35	22,73
64	21,35	21,52	21,43	21,72	21,96	21,84	22,16	22,06	22,22	22,34	21,47	21,87
65	20,49	20,67	20,58	20,87	21,1	20,99	21,3	21,21	21,37	21,48	20,6	21,02
66	19,64	19,83	19,73	20,02	20,25	20,15	20,44	20,37	20,53	20,64	19,74	20,18
67	18,79	18,99	18,89	19,17	19,4	19,32	19,59	19,53	19,69	19,8	18,89	19,35
68	17,96	18,16	18,06	18,33	18,56	18,49	18,75	18,69	18,86	18,97	18,04	18,53
69	17,13	17,33	17,23	17,5	17,73	17,67	17,92	17,87	18,03	18,15	17,21	17,71
70	16,32	16,51	16,41	16,67	16,9	16,86	17,09	17,05	17,22	17,33	16,38	16,9
71	15,51	15,7	15,6	15,85	16,09	16,06	16,27	16,24	16,4	16,52	15,57	16,1
72	14,72	14,9	14,8	15,04	15,28	15,27	15,46	15,43	15,6	15,72	14,76	15,31
73	13,94	14,11	14,01	14,25	14,49	14,48	14,65	14,64	14,81	14,93	13,97	14,53
74	13,18	13,33	13,24	13,47	13,71	13,71	13,87	13,86	14,03	14,15	13,2	13,77
75	12,43	12,57	12,49	12,7	12,94	12,94	13,09	13,09	13,26	13,39	12,44	13,01
76	11,7	11,83	11,75	11,95	12,19	12,19	12,33	12,34	12,51	12,63	11,69	12,27
77	11	11,11	11,03	11,22	11,45	11,46	11,58	11,6	11,77	11,89	10,97	11,54
78	10,31	10,42	10,34	10,52	10,74	10,74	10,86	10,89	11,05	11,16	10,26	10,83
79	9,66	9,75	9,67	9,84	10,05	10,04	10,15	10,19	10,34	10,45	9,57	10,15
80	9,02	9,1	9,03	9,18	9,38	9,37	9,46	9,51	9,67	9,75	8,91	9,48
81	8,42	8,48	8,42	8,55	8,73	8,72	8,81	8,86	9,01	9,08	8,28	8,83
82	7,84	7,88	7,83	7,95	8,11	8,09	8,17	8,23	8,39	8,43	7,67	8,21
83	7,3	7,31	7,28	7,38	7,52	7,5	7,58	7,64	7,79	7,8	7,09	7,61
84	6,79	6,76	6,75	6,84	6,97	6,93	7,01	7,07	7,22	7,21	6,54	7,04
85	6,3	6,24	6,25	6,33	6,44	6,4	6,48	6,53	6,69	6,65	6,02	6,49
86	5,85	5,75	5,79	5,85	5,94	5,9	5,98	6,02	6,19	6,12	5,53	5,98
87	5,42	5,31	5,35	5,4	5,48	5,44	5,51	5,54	5,72	5,62	5,07	5,5
88	5,03	4,9	4,94	4,98	5,05	5,01	5,08	5,09	5,29	5,17	4,64	5,05
89	4,66	4,54	4,57	4,59	4,66	4,61	4,67	4,68	4,88	4,74	4,25	4,63
90	4,33	4,22	4,22	4,23	4,29	4,24	4,3	4,29	4,51	4,36	3,89	4,25
91	4,01	3,93	3,9	3,91	3,95	3,91	3,95	3,94	4,17	4	3,56	3,9
92	3,72	3,67	3,61	3,61	3,64	3,61	3,63	3,61	3,85	3,68	3,25	3,58
93	3,46	3,43	3,34	3,34	3,35	3,33	3,34	3,3	3,56	3,39	2,98	3,29
94	3,21	3,21	3,1	3,09	3,08	3,08	3,07	3,02	3,3	3,13	2,74	3,03
95	2,99	3	2,88	2,87	2,84	2,85	2,83	2,77	3,06	2,9	2,52	2,79
96	2,79	2,8	2,68	2,67	2,62	2,65	2,62	2,54	2,84	2,69	2,33	2,59
97	2,61	2,62	2,5	2,49	2,42	2,47	2,43	2,34	2,65	2,5	2,16	2,41
98	2,46	2,46	2,34	2,34	2,25	2,31	2,26	2,17	2,48	2,35	2,02	2,25
99	2,34	2,33	2,22	2,22	2,11	2,19	2,13	2,03	2,35	2,22	1,9	2,13
100+	2,27	2,25	2,15	2,15	2,03	2,12	2,06	1,94	2,28	2,15	1,83	2,05

Vir: lastno delo.

Slika 6: Napovedi pričakovane življenjske dobe za novorojenčka

Table 4 Life expectancy at birth – low, medium and high values

		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
LOW	MALE	73.6	73.9	74.4	75.2	75.9	76.7	77.6	78.4	79.2	80.2	81.0	81.8
	FEMALE	81.0	80.8	81.1	81.5	82.0	82.5	83.2	83.9	84.4	85.1	85.7	86.3
MEDIUM	MALE	75.2	76.4	77.5	78.6	79.6	80.6	81.6	82.5	83.5	84.4	85.2	86.0
	FEMALE	82.8	83.6	84.4	85.2	85.9	86.6	87.3	88.0	88.6	89.2	89.8	90.4
HIGH	MALE	76.4	78.2	79.8	81.1	82.3	83.4	84.4	85.4	86.4	87.2	88.1	88.8
	FEMALE	84.4	85.9	87.1	88.1	89.0	89.7	90.4	91.1	91.7	92.3	92.9	93.4

Vir: Medved, Ahčan & Sambt (2012).

Priloga 7: Parametri LC modela

Tabela 6: Rezultati LC metode – parameter α_x , ločeno po spolu

Starost	Moški	Ženske	Starost	Moški	Ženske	Starost	Moški	Ženske
0	-5,0409	-5,2503	35	-6,3077	-7,2283	69	-3,3175	-4,0641
1	-7,3841	-7,5878	36	-6,2356	-7,1402	70	-3,2293	-3,953
2	-7,8354	-8,0014	37	-6,159	-7,0493	71	-3,1403	-3,8395
3	-8,0436	-8,2072	38	-6,0783	-6,956	72	-3,0504	-3,7237
4	-8,16	-8,3276	39	-5,9939	-6,8605	73	-2,9598	-3,6057
5	-8,2316	-8,4051	40	-5,9063	-6,7631	74	-2,8681	-3,4855
6	-8,2707	-8,4563	41	-5,816	-6,6642	75	-2,7753	-3,3631
7	-8,2818	-8,4873	42	-5,7234	-6,564	76	-2,6813	-3,2388
8	-8,2683	-8,4993	43	-5,6291	-6,463	77	-2,5858	-3,1127
9	-8,2308	-8,4919	44	-5,5335	-6,3616	78	-2,4891	-2,9852
10	-8,1672	-8,4657	45	-5,4368	-6,2603	79	-2,3914	-2,8569
12	-8,0757	-8,423	46	-5,3396	-6,1597	80	-2,2931	-2,7283
13	-7,9569	-8,3671	47	-5,2421	-6,0607	81	-2,1945	-2,6001
14	-7,8149	-8,3015	48	-5,1448	-5,9639	82	-2,0964	-2,473
15	-7,6558	-8,2297	49	-5,0483	-5,8698	83	-1,9992	-2,3479
16	-7,4876	-8,1563	50	-4,953	-5,7787	84	-1,9035	-2,2254
17	-7,3194	-8,0868	51	-4,859	-5,6904	85	-1,8099	-2,1062
18	-7,1611	-8,0257	52	-4,7665	-5,6044	86	-1,7186	-1,991
19	-7,0212	-7,976	53	-4,6753	-5,5202	87	-1,6301	-1,8802
20	-6,9059	-7,9386	54	-4,5853	-5,4371	88	-1,5445	-1,7741
21	-6,8176	-7,9123	55	-4,4963	-5,3544	89	-1,462	-1,673
22	-6,7549	-7,8943	56	-4,4082	-5,2718	90	-1,3826	-1,5769
23	-6,7138	-7,881	57	-4,3211	-5,1888	91	-1,3063	-1,4855
24	-6,6887	-7,8684	58	-4,2352	-5,1053	92	-1,2327	-1,3985
25	-6,6739	-7,8532	59	-4,1507	-5,0211	93	-1,1617	-1,3154
26	-6,6642	-7,8326	60	-4,0674	-4,9359	94	-1,093	-1,2358
27	-6,6554	-7,8048	61	-3,9853	-4,8493	95	-1,0263	-1,159
28	-6,6444	-7,7689	62	-3,9039	-4,761	96	-0,9611	-1,0845
29	-6,6285	-7,7245	63	-3,8228	-4,6703	97	-0,8971	-1,0117
30	-6,6061	-7,6719	64	-3,7414	-4,577	98	-0,8341	-0,9402
31	-6,576	-7,6117	65	-3,6591	-4,4806	99	-0,7717	-0,8696
32	-6,5374	-7,5448	66	-3,5757	-4,3811	100+	-0,7099	-0,7996
33	-6,4906	-7,4722	67	-3,4909	-4,2784			
34	-6,4361	-7,3948	68	-3,4048	-4,1726			

Vir: lastno delo.

Tabela 7: Rezultati LC metode – parameter β_x , ločeno po spolu

Starost	Moški	Ženske	Starost	Moški	Ženske	Starost	Moški	Ženske
0	0,0246	0,0261	35	0,0131	0,0131	69	0,0087	0,0114
1	0,0175	0,0163	36	0,0132	0,013	70	0,0088	0,0116
2	0,0161	0,0143	37	0,0133	0,013	71	0,0088	0,0119
3	0,0155	0,0125	38	0,0134	0,0128	72	0,0088	0,012
4	0,015	0,0108	39	0,0134	0,0127	73	0,0089	0,0122
5	0,0143	0,0094	40	0,0133	0,0126	74	0,0089	0,0122
6	0,0136	0,0082	41	0,0132	0,0125	75	0,0088	0,0123
7	0,0129	0,0072	42	0,0131	0,0124	76	0,0088	0,0122
8	0,0121	0,0065	43	0,013	0,0122	77	0,0087	0,0121
9	0,0113	0,0061	44	0,0128	0,0121	78	0,0086	0,0119
10	0,0106	0,006	45	0,0126	0,012	79	0,0084	0,0116
12	0,0101	0,0063	46	0,0124	0,0118	80	0,0082	0,0113
13	0,0099	0,0068	47	0,0121	0,0116	81	0,0079	0,011
14	0,01	0,0074	48	0,0118	0,0113	82	0,0076	0,0106
15	0,0103	0,0082	49	0,0115	0,0111	83	0,0073	0,0102
16	0,0109	0,009	50	0,0112	0,0108	84	0,0069	0,0097
17	0,0115	0,0097	51	0,0109	0,0106	85	0,0065	0,0091
18	0,0121	0,0103	52	0,0106	0,0103	86	0,006	0,0085
19	0,0126	0,0108	53	0,0103	0,0101	87	0,0056	0,0078
20	0,0131	0,011	54	0,01	0,0099	88	0,0051	0,0071
21	0,0133	0,0112	55	0,0098	0,0097	89	0,0045	0,0063
22	0,0134	0,0113	56	0,0095	0,0096	90	0,004	0,0055
23	0,0133	0,0113	57	0,0093	0,0095	91	0,0034	0,0047
24	0,0131	0,0114	58	0,009	0,0094	92	0,0029	0,0039
25	0,0129	0,0114	59	0,0089	0,0094	93	0,0023	0,0031
26	0,0128	0,0115	60	0,0087	0,0094	94	0,0017	0,0023
27	0,0126	0,0117	61	0,0086	0,0095	95	0,0012	0,0016
28	0,0124	0,0119	62	0,0085	0,0096	96	0,0006	0,0008
29	0,0124	0,0122	63	0,0085	0,0098	97	0,0001	0,0002
30	0,0124	0,0124	64	0,0085	0,01	98	-0,0004	-0,0005
31	0,0124	0,0126	65	0,0085	0,0103	99	-0,0009	-0,0011
32	0,0125	0,0128	66	0,0086	0,0105	100+	-0,0014	-0,0018
33	0,0126	0,013	67	0,0086	0,0108			
34	0,0128	0,0131	68	0,0087	0,0111			

Vir: lastno delo.

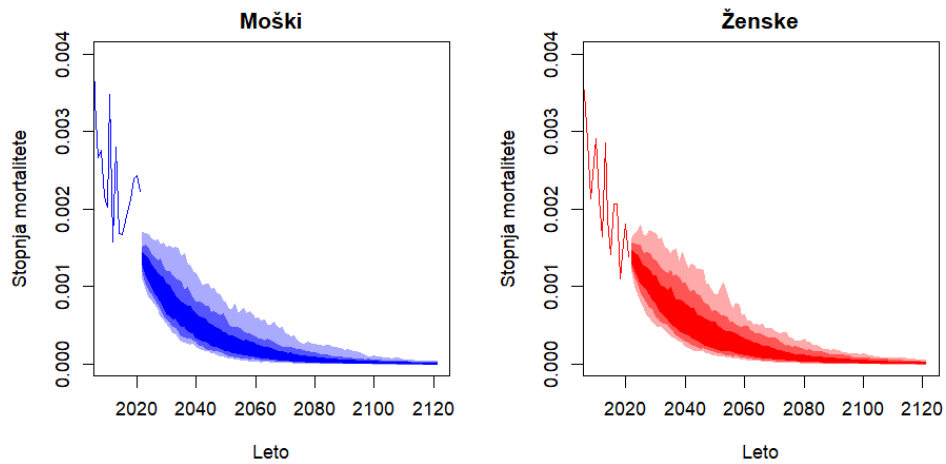
Tabela 8: Rezultati LC metode – parameter κ_t , ločeno po spolu

Leto	Moški	Ženske	Leto	Moški	Ženske
1971	43,076	45,1189	1997	7,8121	3,9105
1972	46,3706	47,0278	1998	7,0445	3,022
1973	39,0043	45,4086	1999	3,3547	-1,3044
1974	36,9425	39,2668	2000	-0,292	-5,9119
1975	41,1012	42,3093	2001	-2,1568	-11,0526
1976	38,2509	41,9315	2002	-4,5733	-12,6657
1977	36,3679	34,0327	2003	-2,7435	-10,698
1978	39,4254	35,1437	2004	-12,6323	-17,7459
1979	35,2076	32,8649	2005	-16,7876	-16,2612
1980	34,0953	31,4766	2006	-22,3891	-25,327
1981	30,8185	29,0848	2007	-23,8224	-26,9258
1982	34,7065	30,2129	2008	-31,2599	-30,2378
1983	39,1742	33,0767	2009	-33,9284	-29,94
1984	34,2037	30,7796	2010	-37,8566	-35,5615
1985	30,648	28,0691	2011	-42,6085	-37,6064
1986	26,5286	24,0692	2012	-44,1332	-36,2368
1987	28,1781	23,1155	2013	-46,4719	-40,6219
1988	22,8607	17,2759	2014	-55,2997	-45,6885
1989	19,9376	12,1984	2015	-52,4364	-44,0182
1990	17,5905	13,5027	2016	-57,15	-48,132
1991	19,1573	16,8553	2017	-55,0094	-47,3124
1992	19,7427	14,016	2018	-59,7012	-50,8905
1993	21,5936	15,8587	2019	-63,8858	-52,8529
1994	15,2889	12,1092	2020	-49,0985	-35,9688
1995	11,3657	7,7063	2021	-50,5635	-45,935
1996	8,0461	3,6911			

Vir: lastno delo.

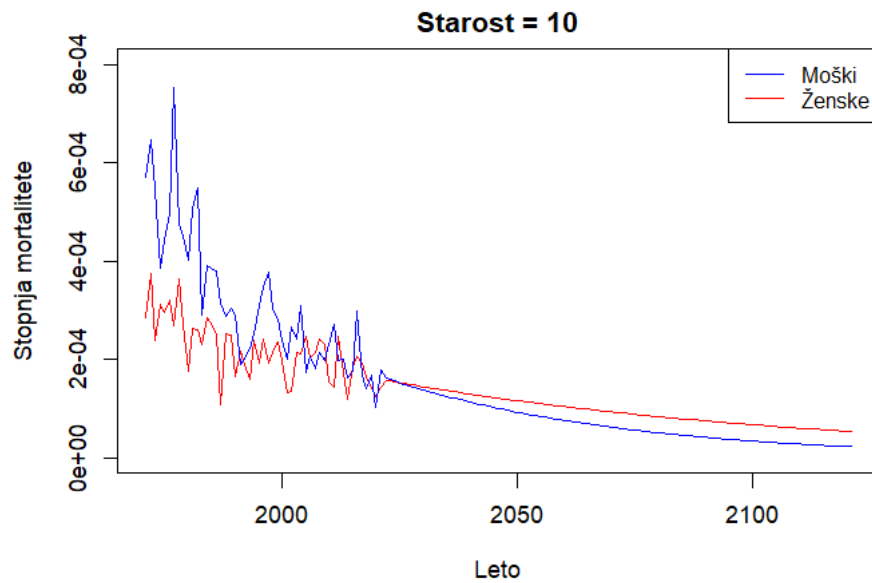
Priloga 8: Stopnja mortalitete

Slika 7: Pretekla stopnja mortalitete novorojenčka za obdobje 2010–2021 in simulacije za obdobje 2022–2121, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Slika 8: Stopnja mortalitete za osebe stare 10 let v obdobju 1971–2121, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Priloga 9: Napovedi periodne pričakovani življenjske dobe

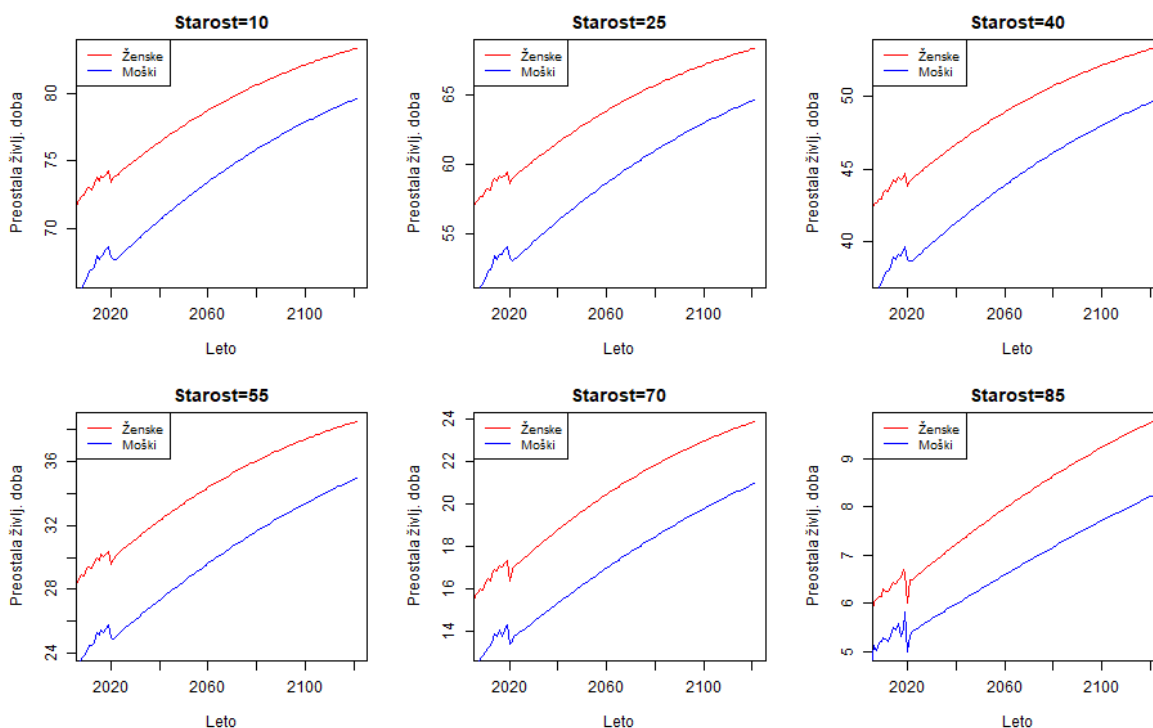
Tabela 9: Napovedi periodne pričakovane življenjske dobe ob rojstvu, ločeno po spolu

Leto	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	2070
Moški	78,03	78,9	79,73	80,52	81,28	82,02	82,72	83,39	84,04	84,65
Ženske	84,11	84,86	85,57	86,25	86,89	87,5	88,08	88,62	89,14	89,63

Leto	2075	2080	2085	2090	2095	2100	2105	2110	2115	2120
Moški	85,24	85,81	86,35	86,86	87,35	87,82	88,27	88,69	89,1	89,48
Ženske	90,09	90,52	90,93	91,32	91,68	92,02	92,35	92,65	92,93	93,2

Vir: lastno delo.

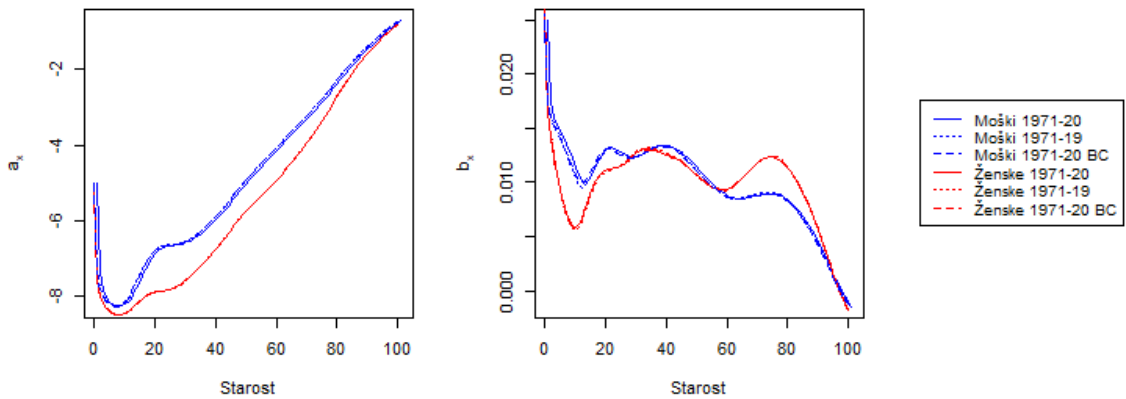
Slika 9: Projekcije pričakovane preostale periodne življenjske dobe za različne starosti, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

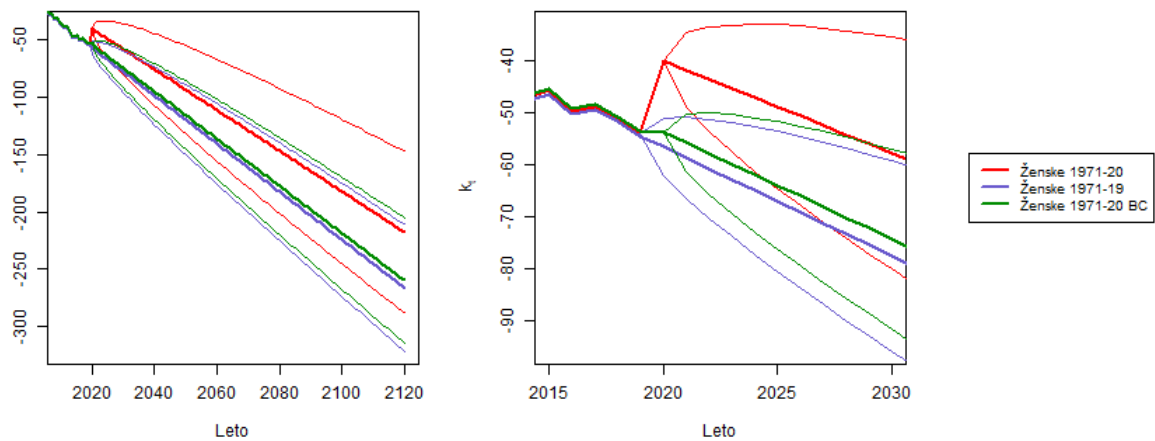
Priloga 10: Primerjava parametrov LC modela za tri različne scenarije

Slika 10: Ocena parametrov α_x in β_x LC modela za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Slika 11: Modelirane vrednosti parametra κ_t LC modela in njegove prihodnje projekcije za tri različne scenarije (ženske)



Vir: lastno delo.

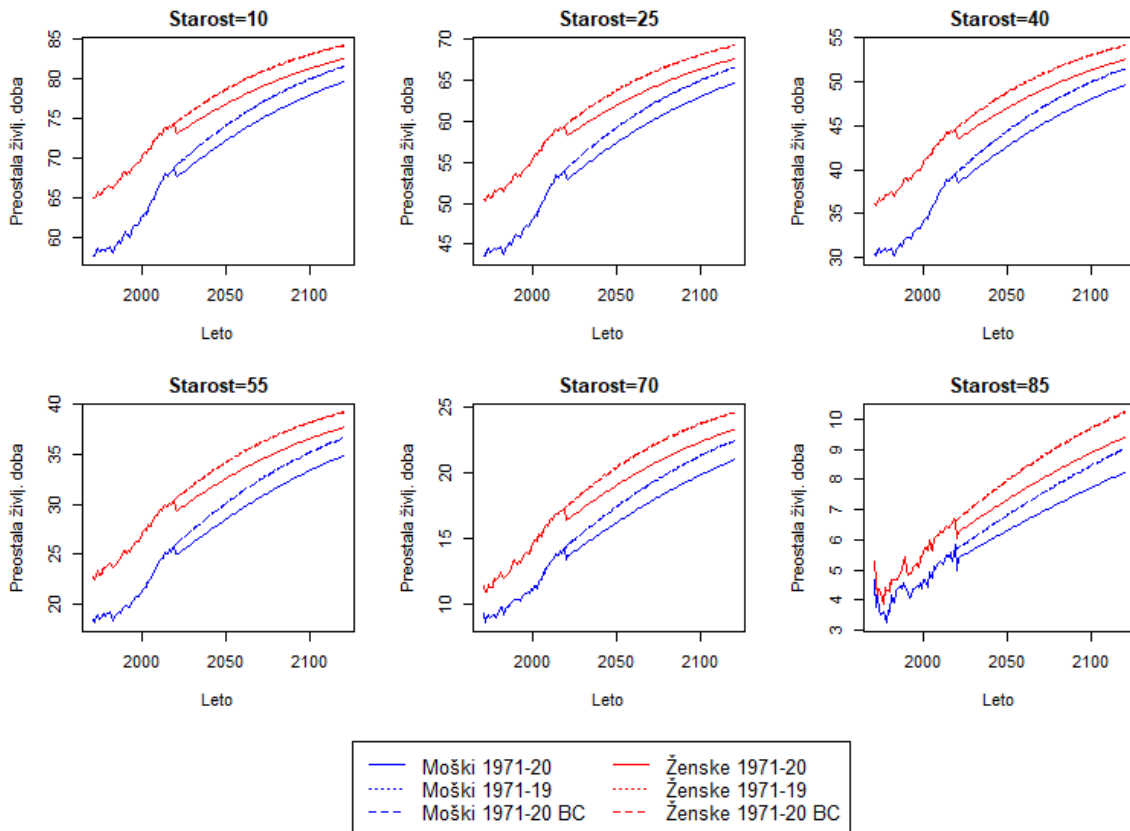
Priloga 11: Periodna pričakovana življenjska doba za tri različne scenarije

Tabela 10: Periodne pričakovane življenjske dobe za tri različne scenarije, ločeno po spolu

Leto	Moški			Ženske		
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
2020	77,66	78,73	78,65	83,12	84,22	84,07
2025	78,07	79,72	79,65	83,34	85,04	84,93
2030	78,93	80,67	80,59	84,05	85,83	85,71
2035	79,76	81,57	81,49	84,73	86,57	86,45
2040	80,56	82,43	82,35	85,39	87,27	87,15
2045	81,33	83,25	83,17	86,01	87,93	87,81
2050	82,06	84,03	83,95	86,61	88,55	88,43
2055	82,77	84,77	84,69	87,17	89,14	89,02
2060	83,44	85,47	85,39	87,72	89,69	89,57
2065	84,09	86,14	86,06	88,23	90,20	90,09
2070	84,70	86,77	86,69	88,72	90,69	90,57
2075	85,30	87,37	87,29	89,19	91,14	91,03
2080	85,86	87,94	87,86	89,63	91,56	91,46
2085	86,40	88,48	88,40	90,05	91,96	91,85
2090	86,92	88,98	88,90	90,45	92,33	92,23
2095	87,41	89,46	89,38	90,82	92,67	92,58
2100	87,88	89,91	89,84	91,18	93,00	92,90
2105	88,32	90,34	90,27	91,52	93,30	93,21
2110	88,75	90,74	90,67	91,84	93,58	93,50
2115	89,15	91,12	91,05	92,14	93,84	93,76
2120	89,54	91,48	91,41	92,43	94,09	94,01

Vir: lastno delo.

Slika 12: Periodna pričakovana preostala življenjska doba za različne starosti v obdobju 1971–2120 za tri različne scenarije, ločeno po spolu



Vir: lastno delo.

Tabela 11: Primerjava periodne pričakovane preostale življenjske dobe za različne starosti za leto 2021 (moški)

Starost	Dejanska $e_x(2021)$	Napovedi Scenarij 1	Napovedi Scenarij 2	Napovedi Scenarij 3
10	67,72	67,59	69,1	69,04
25	53,05	52,96	54,42	54,35
40	38,61	38,54	39,91	39,84
55	24,93	24,98	26,16	26,1
70	13,54	13,69	14,55	14,51
85	5,34	5,4	5,74	5,72

Vir: lastno delo.

Tabela 12: Primerjava periodne pričakovane preostale življenjske dobe za različne starosti za leto 2021 (ženske)

Starost	Dejanska $e_x(2021)$	Napovedi Scenarij 1	Napovedi Scenarij 2	Napovedi Scenarij 3
10	73,77	73,03	74,59	74,49
25	58,94	58,25	59,78	59,67
40	44,19	43,54	45,01	44,91
55	29,9	29,4	30,75	30,65
70	16,9	16,46	17,56	17,48
85	6,49	6,26	6,72	6,69

Vir: lastno delo.