

# Robusten in intuitiven model epidemije COVID-19 v Sloveniji

Matjaž Leskovar\* – Leon Cizelj  
Institut "Jožef Stefan", Slovenija

Glavni cilj modeliranja epidemije je podpora obvladovanju epidemije z napovedmi njenega razvoja in analizami preteklih dogodkov. Pri modeliranju razvijajoče se epidemije smo omejeni s podatki v realnem času, ki niso vedno optimalni in katerih kvaliteta in dosegljivost se lahko s časom močno spreminjata. S tem v mislih smo razvili robusten in intuitiven model tipa SEIR (Susceptible-dovzetni, Exposed-izpostavljeni, Infectious-kužni, Recovered-ozdraveli) ter ga uporabili in preverili na valovih epidemije COVID-19 v Sloveniji po februarju 2020. Parametri modela temeljijo na splošnih značilnostih bolezni COVID-19, dostopnih v literaturi globalno za celoten planet, ter agregiranih dnevniških podatkih za Slovenijo, kot so na primer število potrjenih primerov, hospitaliziranih bolnikov, hospitaliziranih bolnikov v enotah intenzivne terapije in umrlih. Slovenski agregirani podatki so bili uporabljeni tudi za oceno stopnje imuniziranosti zaradi preteklih okužb in cepljenja, kar zmanjšuje število dovzetnih za bolezni.

Model smo razvili v integralni obliki, ki je intuitivna in ne povzroča numerične difuzije. Tako postanejo rezultati intuitivno razumljivi in predvidljivi, kar poveča zanesljivost interpretacije in s tem tudi točnost napovedi. V takšnem modelu je namreč mogoče negotovosti v podatkih, kot so npr. spremembe režimov testiranja, omejene zmogljivosti testiranja, spremembe meril za hospitalizacijo, spremembe v poročanju podatkov in manjkajoči podatki do neke mere nadomestiti s kvalitativnimi pristopi, kot sta na primer strokovna presoja modelarja in celosten pogled na epidemijo. Napovedi smo pripravljali na sledeči način. Če v bližnji prihodnosti ni bilo pričakovati večjih sprememb v vedenju ljudi, ki bi lahko vplivale na širjenje bolezni, smo predpostavili stacionarne parametre modela. V takih razmerah na razvoj epidemije vplivajo le spremembe v dovzetnosti oz. imunosti populacije zaradi cepljenja in preteklih okužb. Načrtovano uvajanje ali sproščanje nefarmakoloških ukrepov, kot npr. obvezno uporabo mask in prepoved združevanja ali gibanja, ter pomembne spremembe v vedenju ljudi, kot je na primer začetek ali konec počitnic, pa smo predvideli s spremembo reprodukcijskega števila  $R$ , ki je temeljila na strokovni presoji preteklih izkušenj v Sloveniji oz. v drugih državah. V največji možni meri smo poskušali upoštevati tudi mehke podatke, torej informacije, ki niso podane v obliki števil, kot na primer (ne)dosledno izvajanje nefarmakoloških ukrepov.

Predstavljeni so primeri uporabe modela, ki ponazarjajo njegovo robustnost in intuitivnost tako v napovedih kot pri analizah preteklega razvoja epidemije. S pomočjo analiz preteklega razvoja smo ocenili specifične vrednosti modelskih parametrov za Slovenijo ter ovrednotili učinke farmakoloških in nefarmakoloških ukrepov ter različnih dogodkov na razvoj epidemije, ki smo jih merili preko reprodukcijskega števila  $R$ . Te empirično pridobljene informacije smo nato uporabili v napovedi za različne obravnavane scenarije, ki dajejo dragocen kvalitativen in kvantitativen vpogled v možen prihodnji razvoj epidemije. Napoved števila hospitaliziranih bolnikov in hospitaliziranih bolnikov v enotah intenzivne terapije je bila zelo točna tudi v zahtevnih razmerah, ko so vzporedno potekali različni kompleksni procesi, ki vplivajo na širjenje bolezni (uvajanje nefarmakoloških ukrepov, naraščanje deleža bolj kužne različice virusa, prekuževanje, cepljenje). To dokazuje robustnost in ustreznost predlaganega modela. Točne napovedi so odločevalcem nudile dragoceno podporo pri upravljanju epidemije in načrtovanju ustreznih ukrepov, bolnišnicam pa omogočile, da so se pravočasno ustrezno pripravile.

**Ključne besede:** epidemija, COVID-19, modeliranje, SEIR, reprodukcijsko število, javnozdravstveni ukrepi