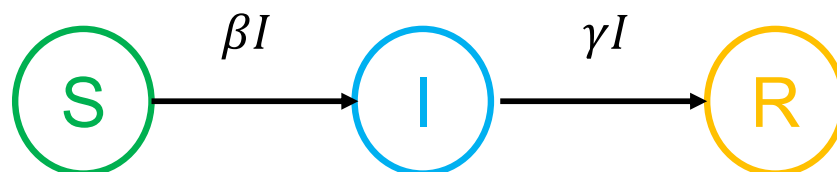


MODEL SEIR ZA SPREMLJANJE IN NAPOVEDOVANJE ŠIRJENJA EPIDEMIJE VIRUSA COVID 19 V SLOVENIJI

IZR. PROF. DR. JANEZ ŽIBERT
UL ZF

MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

Model SIR: (S=dovzetni, I = okuženi, R = ozdravljeni)



β je število, ki pove koliko v povprečju ena oseba na dan okuži drugih oseb (npr. 0.5/dan).
 γ predstavlja stopnjo ozdravitve. Izračuna se kot $\gamma = 1/T_B$, kjer je T_B povprečni čas trajanja bolezni.

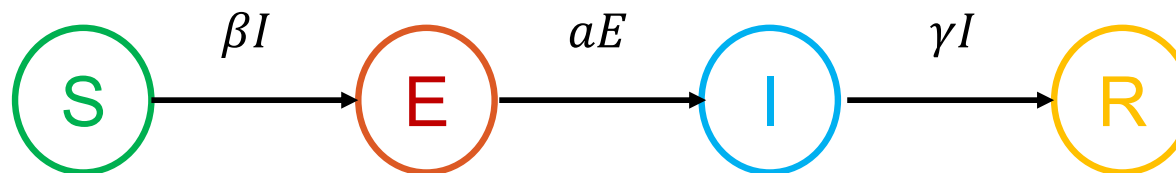
Dinamika prehajanja posameznikov iz ene v drugo skupino je opisana s sistemom diferencialnih enačb:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta I \cdot S \\ \frac{dI}{dt} &= \beta I \cdot S - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} &= 0 \\ S + I + R &= 1\end{aligned}$$

MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

Model SEIR: SIR z upoštevanjem inkubacijske dobe
(*E* = skupina okuženih, ne pa kužnih)



β je število, ki pove koliko v povprečju ena oseba na dan okuži drugih oseb (npr. 0.5/dan).

$a = 1/T_{INK}$, T_{INK} je povprečna inkubacijska doba

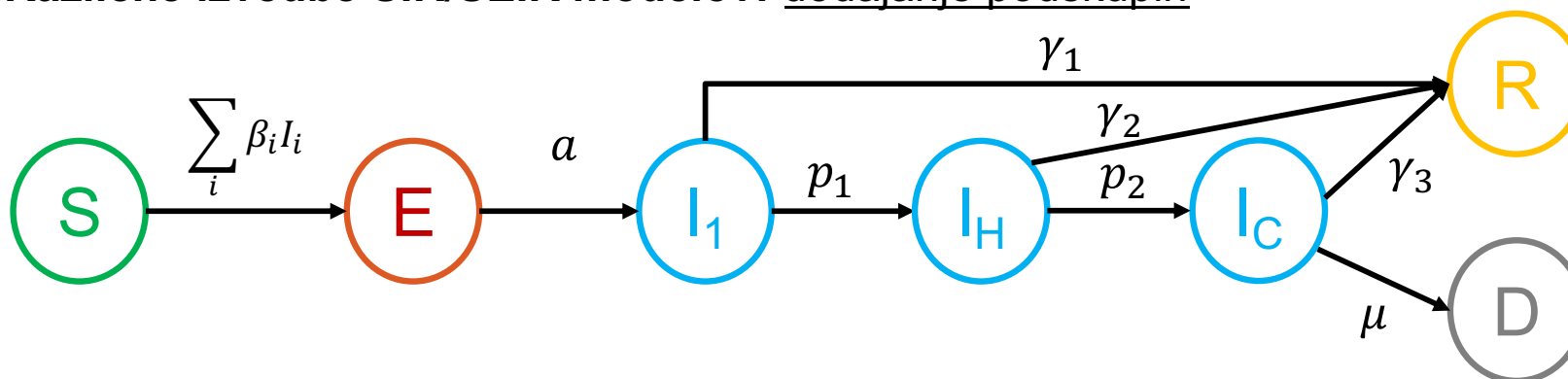
γ predstavlja stopnjo ozdravitve. Izračuna se kot $\gamma = 1/T_B$, kjer je T_B povprečni čas trajanja bolezni.

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta I \cdot S \\ \frac{dE}{dt} &= \beta I \cdot S - aE \\ \frac{dI}{dt} &= aE - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}$$

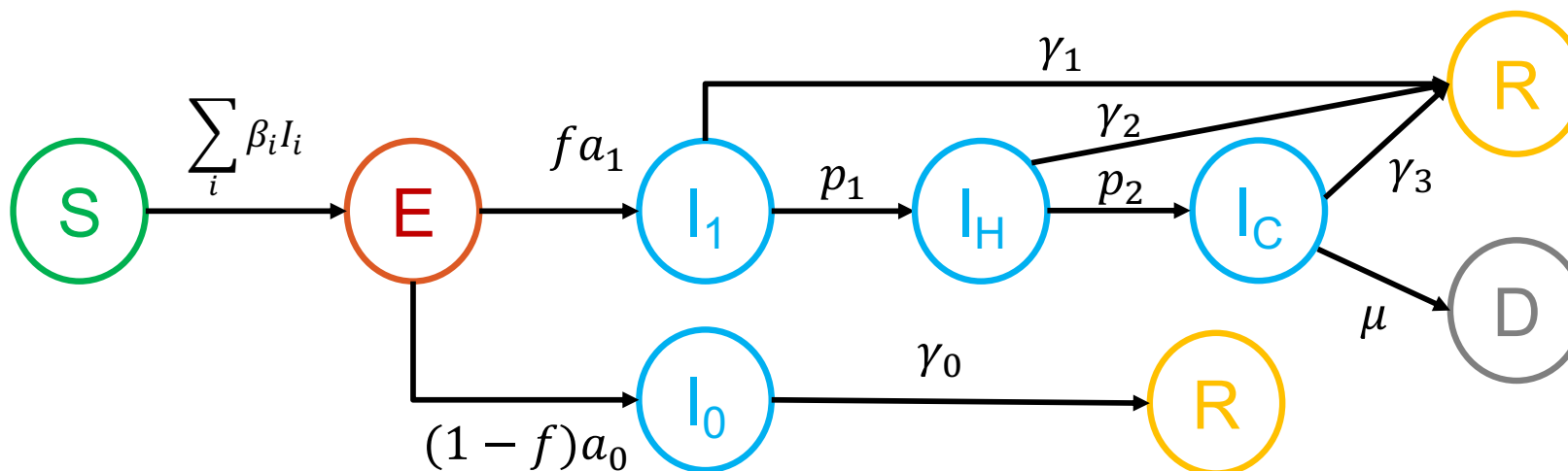
$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} &= 0 \\ S + E + I + R &= 1\end{aligned}$$

MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

Različne izvedbe SIR/SEIR modelov: odajanje podskupin



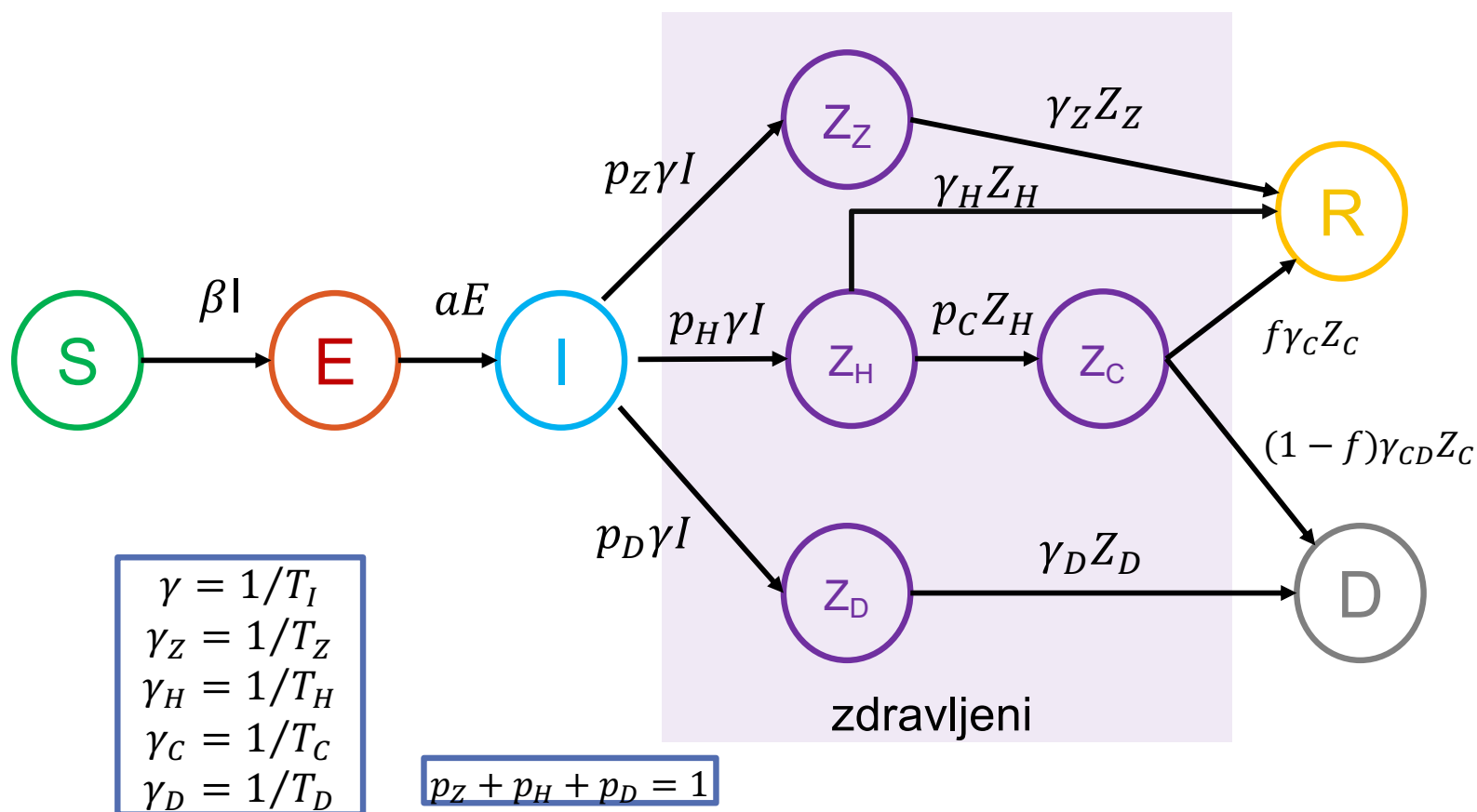
Različne izvedbe SIR/SEIR modelov: odajanje asimptomatskih skupin



Tak je model: [Alison Hill, Harvard, ZDA](#)

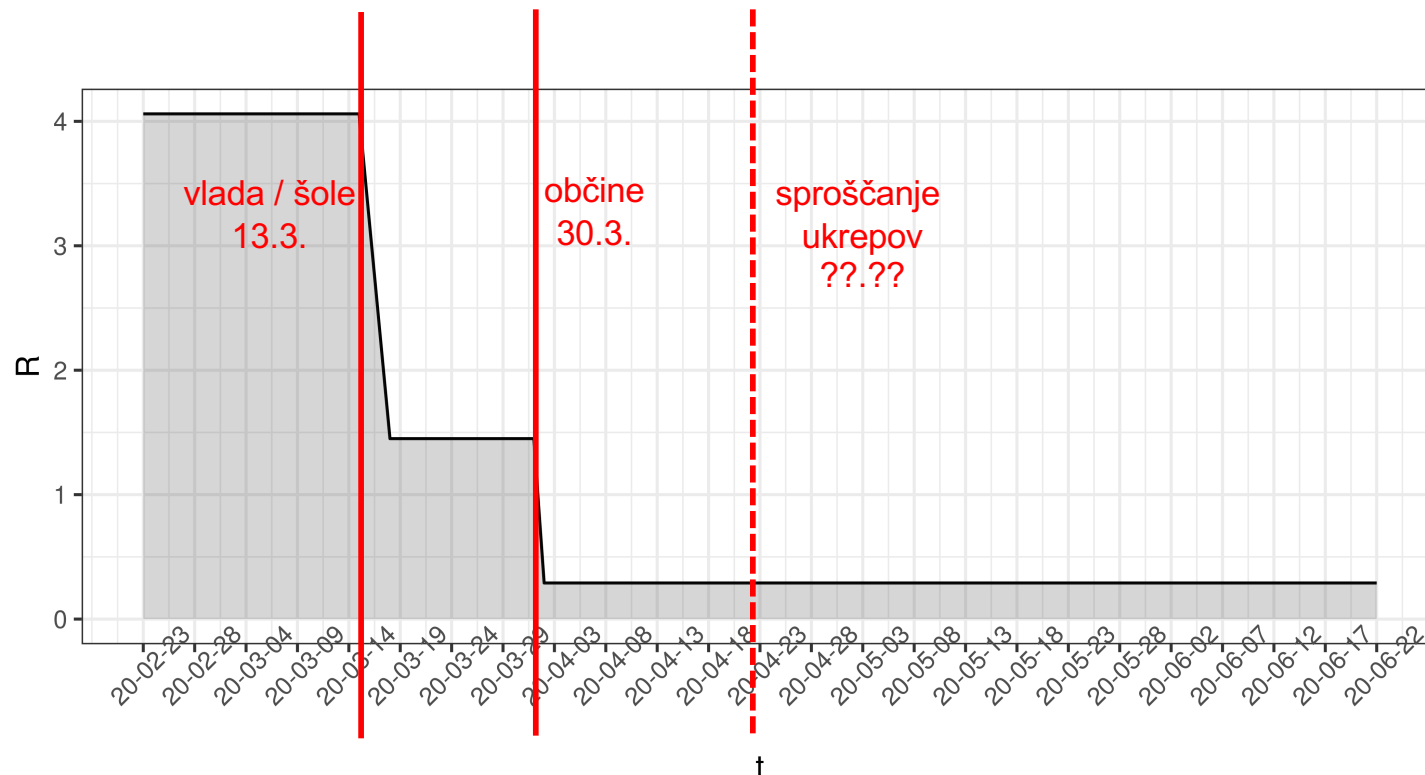
SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Model SEIR z dodajanjem podskupin v razdelek zdravljeni



SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Dodatno so v model vključene intervencije



Intervencija se v model vključi preko ocenjenega reprodukcijskega faktorja R_0 :

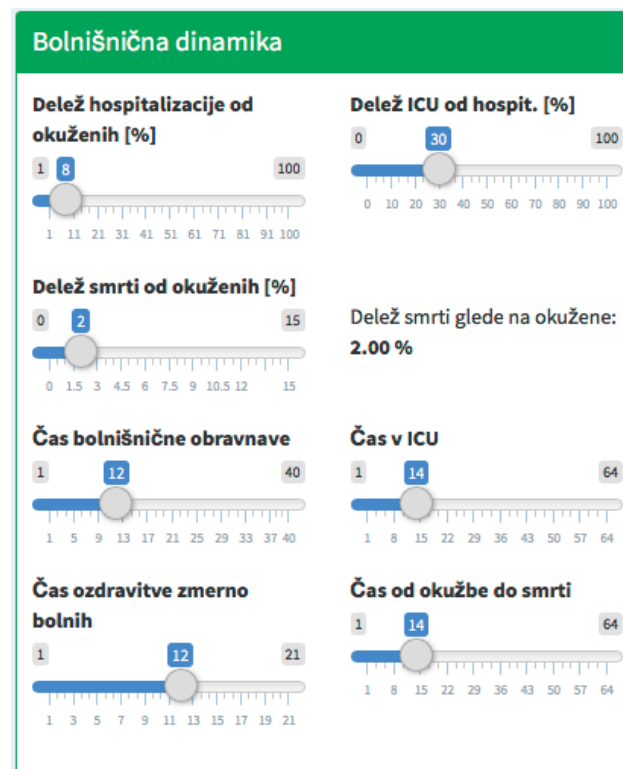
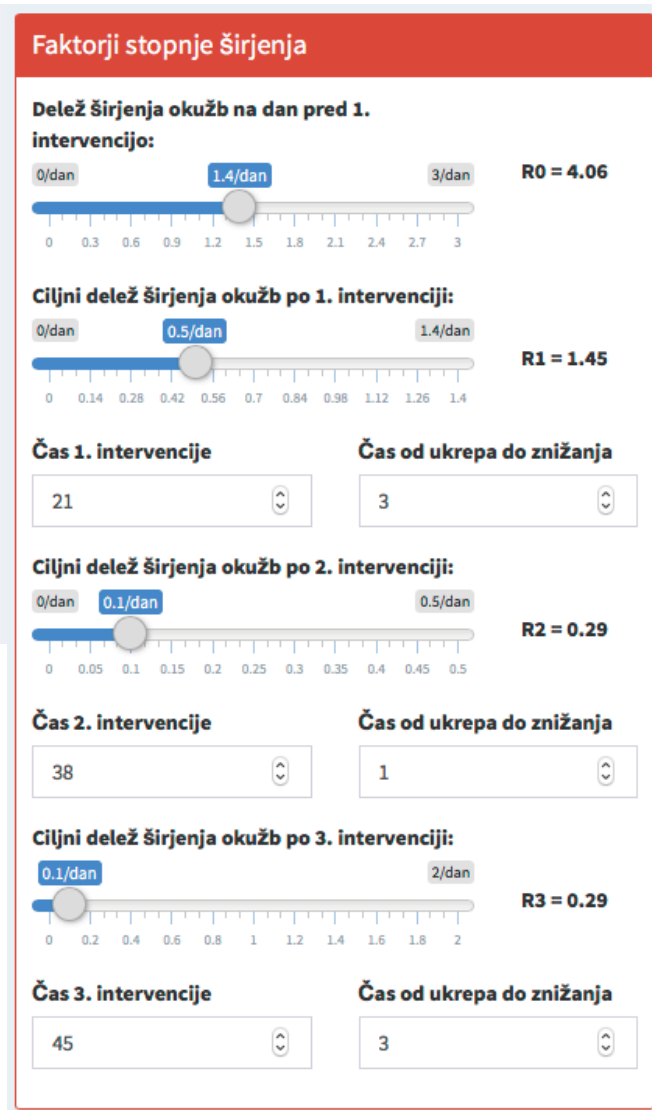
- V našem modelu je izračunljiv preko parametra $R_0 = \frac{\beta}{\gamma} = \beta \cdot T_I$, kjer je T_I povprečni čas infektivnosti posameznika.
- Primer : $\beta = 0.5/\text{dan}$, $T_I = 2.9 \text{ dni}$, $R_0 = 0.5 \cdot 2.9 = 1.45$
- V našem primeru te parametre ocenjujemo s prileganjem modela na dejanske podatke [COVID19-sledilnik.org](https://www.covid19-sledilnik.org)

SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Odpri parametri modela:

Ocenjeno iz podatkov sledilnik.org

Ocenjeno iz podatkov/medijev



Ocenjeno po literaturi:

Wang, H., Wang, Z., Dong, Y. et al. *Phase-adjusted estimation of the number of Coronavirus Disease 2019 cases in Wuhan, China.* Cell Discov 6, 10 (2020)

SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Določanje odprtih parametrov modela:

Cenilna funkcija: $SS_H = (\text{ocenjeno}_H(t) - \text{dejansko}_H(t))^2 / (\text{dejansko}_H + 1)$

$$SS_C = (\text{ocenjeno}_C(t) - \text{dejansko}_C(t))^2 / (\text{dejansko}_C + 1)$$

$$SS_D = (\text{ocenjeno}_D(t) - \text{dejansko}_D(t))^2 / (\text{dejansko}_D + 1)$$

$$SSE = w_H SS_H + w_C SS_C + w_D SS_D$$

Določanje parametrov:

R (β) za vse intervencije, časi med intervencijami,
ostalo fiksno (???)

Optimizacijski postopki:

(brez uporabe odvodov) simulirano ohlajanje, Nelder-Mead, grid search

Za določanje intervalov zaupanja v ocene:

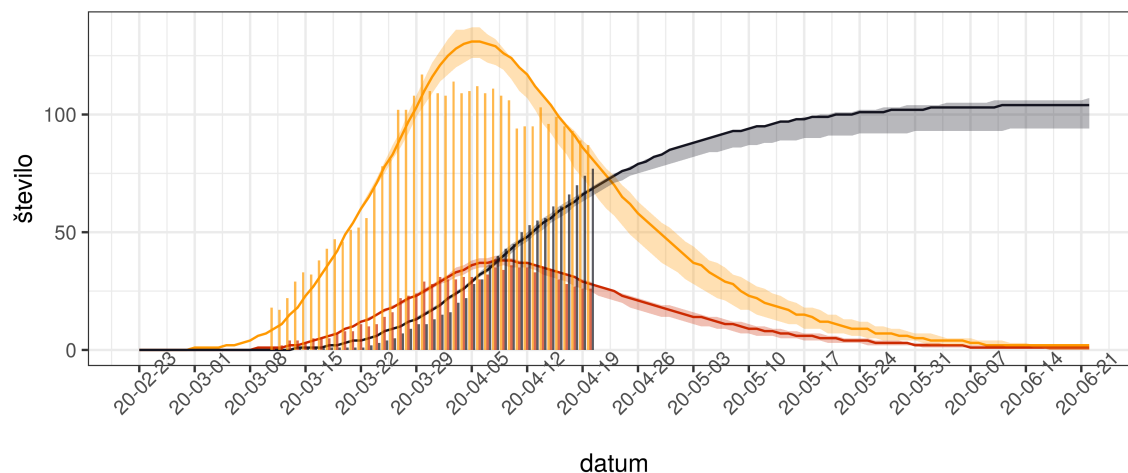
večkratno vzorčenje (ang. bootstrapping)

SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Prikaz delovanja modela:

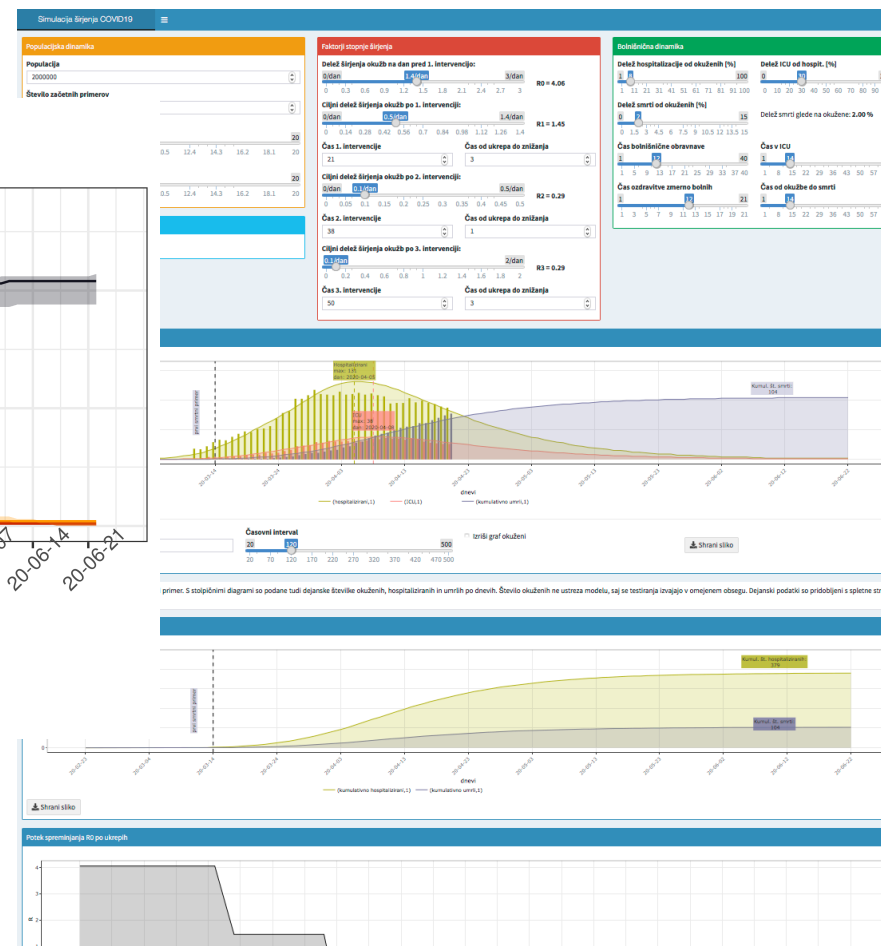
Projekcije COVID19: izračun simulacije 2020-04-20 18:10:46

Nboot = 250, CI = 95%-CI, R0=4.06, R1=1.45, R2=0.29



skupina ■ hospitalizirani ■ ICU ■ kumulativno umrli

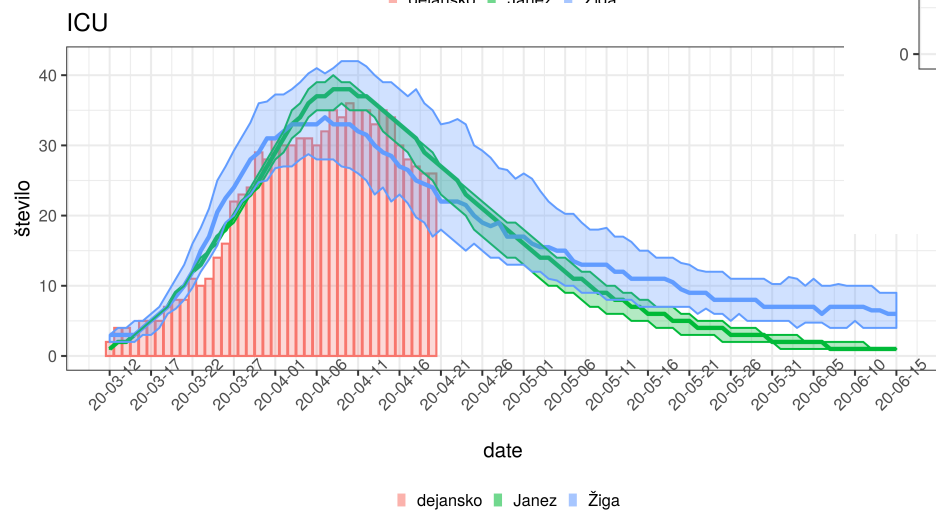
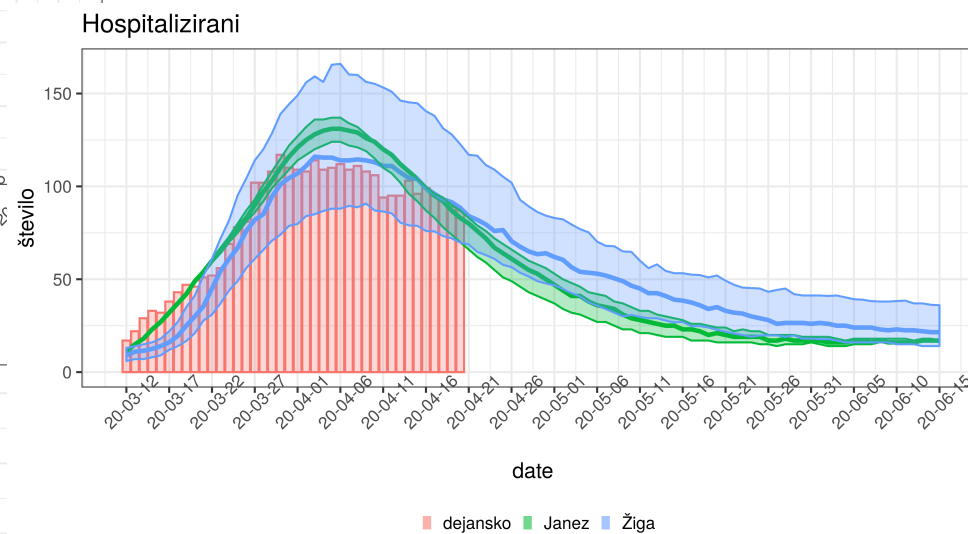
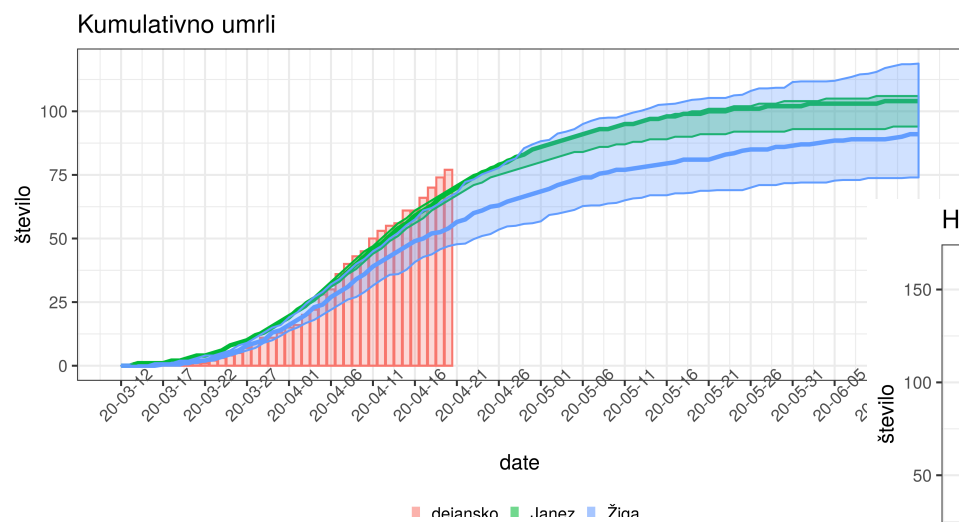
<https://pacs.zf.uni-lj.si/shinyR/apps/projects/CoronaSim/>



<https://pacs.zf.uni-lj.si/shinyR/apps/projects/CoronaSim5/>

PRIMERJAVA MODELOV

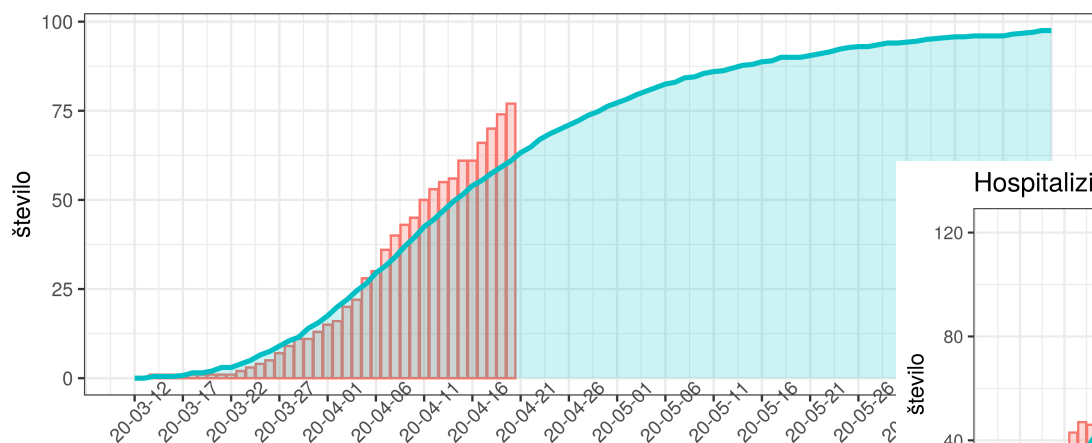
Agentni model (Žiga) : model SEIR (Janez) na podatkih Slovenije (izračun 20.4.2020)



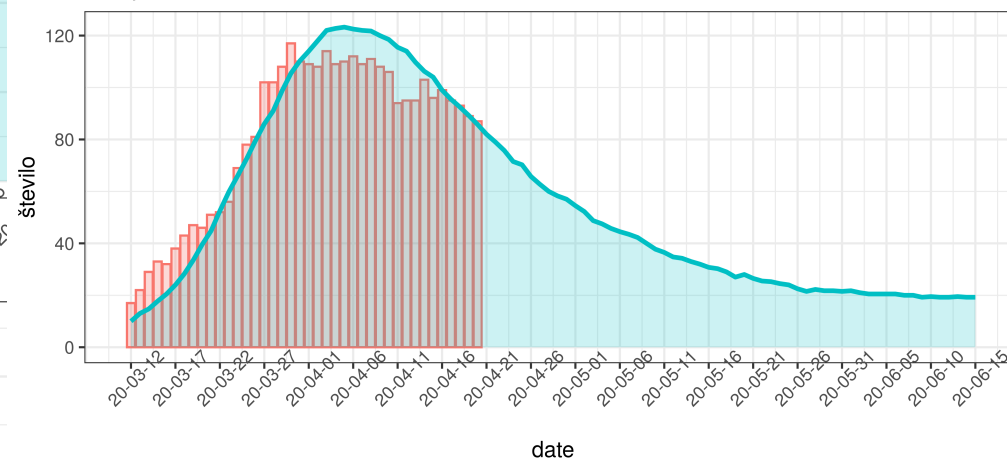
KOMBINACIJA OBEH MODELOV

Agentni model (Žiga) + model SEIR (Janez) na podatkih Slovenije (izračun 20.4.2020)

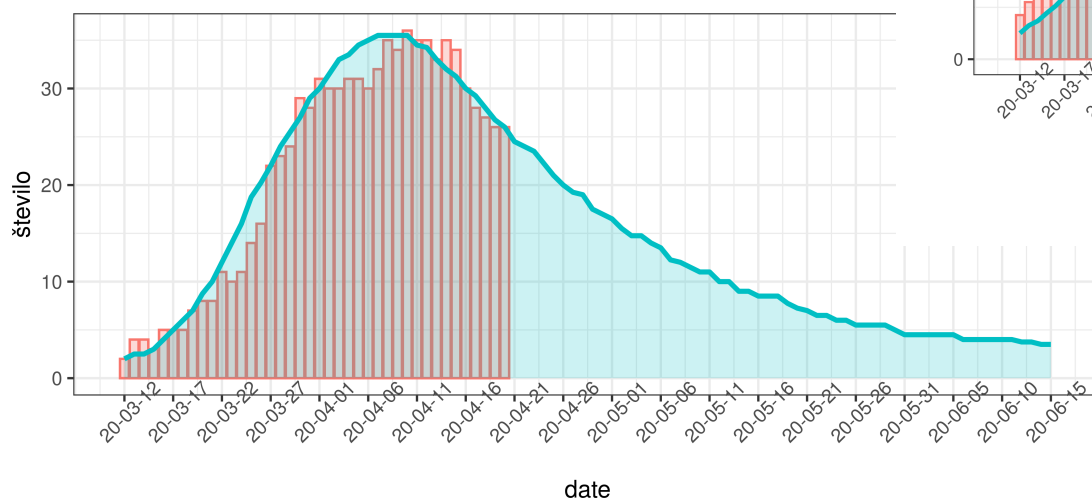
Kumulativno umrli



Hospitalizirani



ICU



■ dejansko ■ Janez+Žiga

■ dejansko ■ Janez+Žiga

PREDNOSTI IN SLABOSTI MODELA

Bistvene lastnosti modela:

- Model poskuša napovedati dinamiko števila ljudi v bolnišnični obravnavi, na intenzivni negi in število smrti, kar je s stališča zagotavljanja ustreznih zdravstvenih kapacitet najpomembneje.
- Model se vsakodnevno izračunava na dejanskih podatkih iz Slovenije.
- Model je pripravljen tako, da lahko preko spletne aplikacije spreminjamo ključne parametre modela (npr. čas intervencije, učinkovitost intervencije, čas bolnišnične obravnave, čas na intenzivni negi, ...) ter opazujemo, kako parametri vplivajo na dinamiko širjenja epidemije. Zato je lahko dober pripomoček odločevalcem pri sprejemanju ali rahljanju ukrepov za obvladovanje epidemije.

Pomanjkljivosti SIR/SEIR modelov:

- Predpostavke SIR/SEIR modelov so:
 - imamo homogeno populacijo, ki se enako dobro meša med sabo (vsak posameznik lahko okuži z neko verjetnostjo kateregakoli drugega posameznika)
 - Ko enkrat ozdraviš, ne zboliš več.
 - Ne upošteva lokalnih izbruhov.
 - Imamo globalne ocene parametrov, ki držijo le v povprečju ali pa sploh ne.
- Optimizacija parametrov je problematična. Veliko je lokalnih minimumov pri zelo različnih parametrih => nezanesljivost ocenjenih parametrov (ob pribl. enaki dinamiki širjenja).
- Ključni parametri so reprodukcijski faktorji in število okuženih, za katere nimamo natančnih podatkov.

“All models are wrong, but some models are useful.”