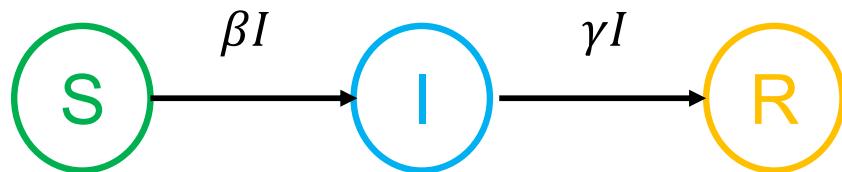


# **MODEL SEIR ZA SPREMLJANJE IN NAPOVEDOVANJE ŠIRJENJA EPIDEMIJE VIRUSA COVID 19 V SLOVENIJI**

**IZR. PROF. DR. JANEZ ŽIBERT  
UL ZF**

# MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

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



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

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

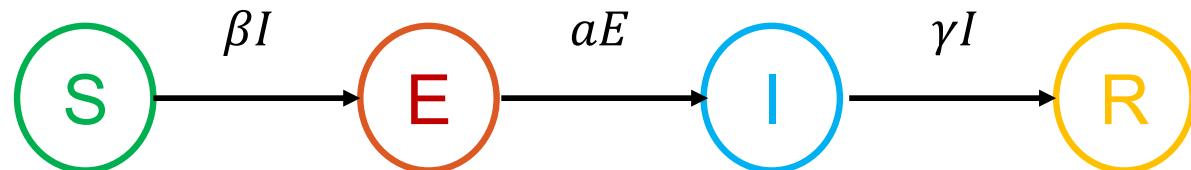
Dinamika prehajanja posameznikov iz ene v drugo skupino je opisana s sistemom diferencialnih enačb:

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

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

# MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

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



$\beta$  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

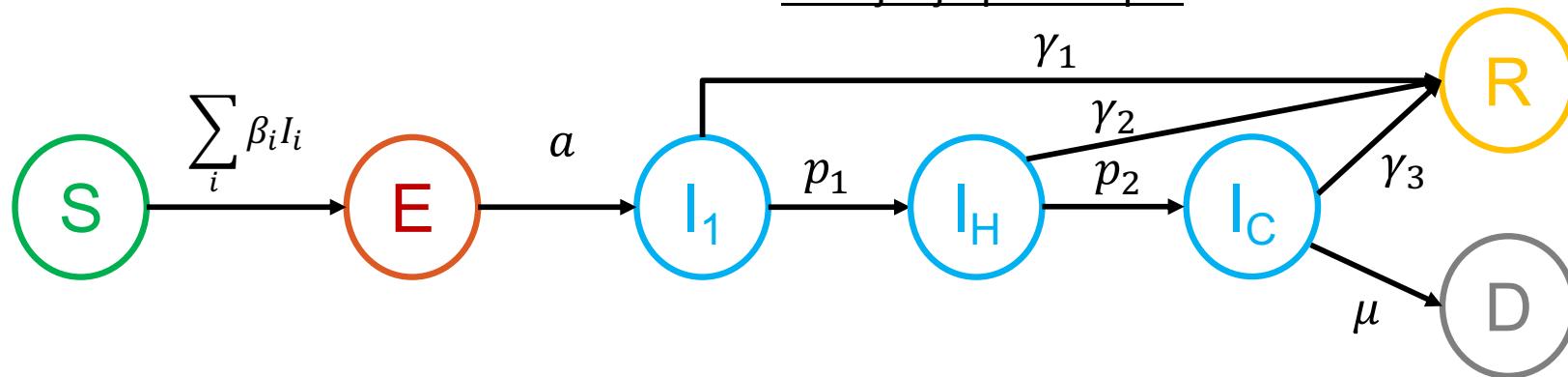
$\gamma$  predstavlja stopnjo ozdravitve. Izračuna se kot  $\gamma = 1/T_B$ , kjer je  $T_B$  povprečni čas trajanja bolezni.

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

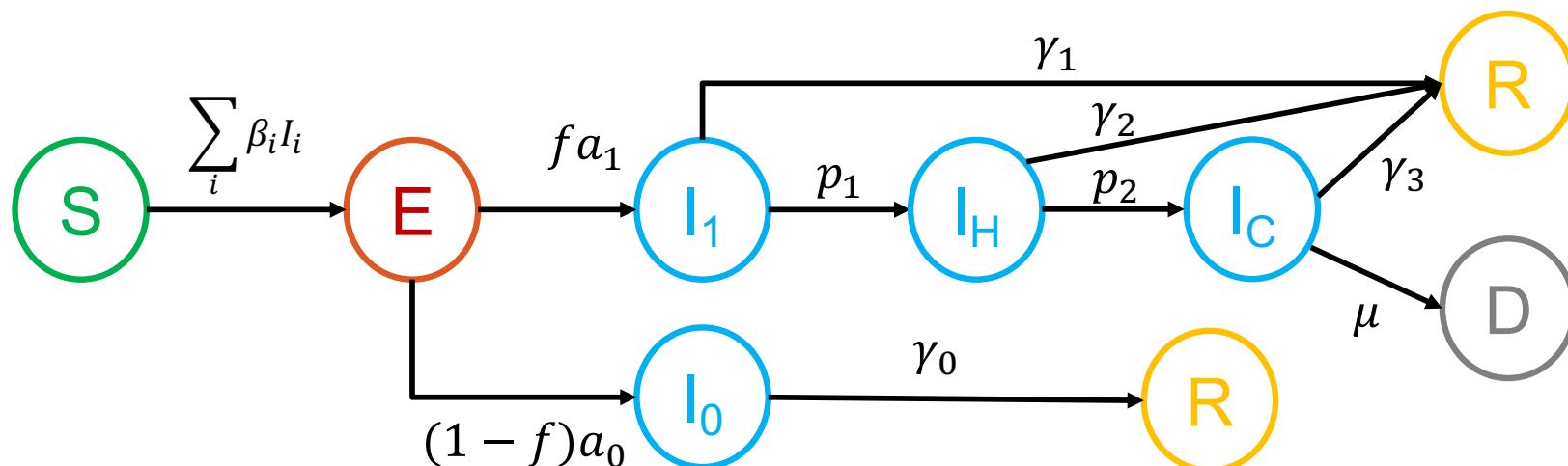
$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} &= 0 \\ S + E + I + R &= 1\end{aligned}$$

# MODELIRANJE SKUPIN POPULACIJE

Različne izvedbe SIR/SEIR modelov: dodajanje podskupin



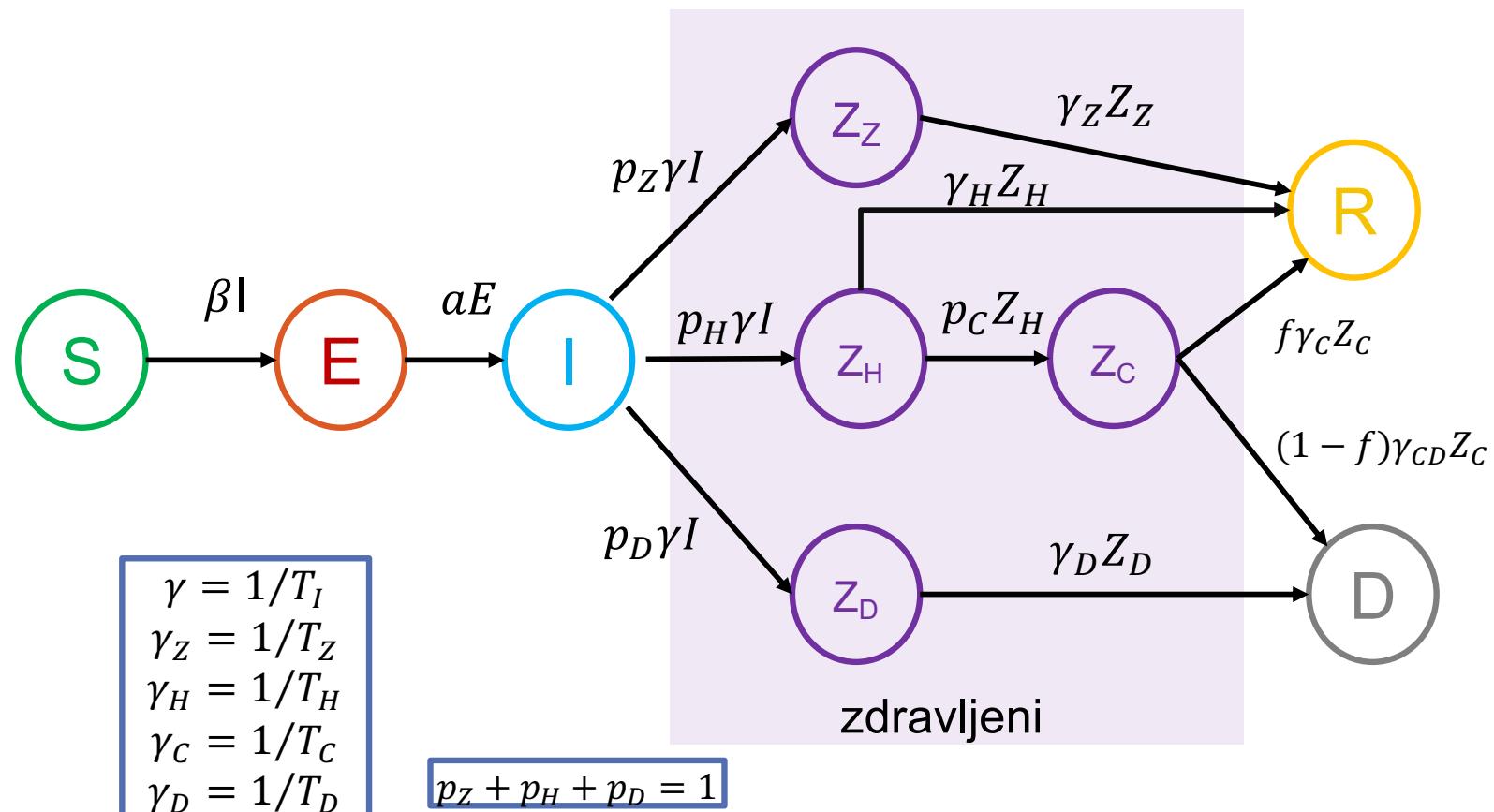
Različne izvedbe SIR/SEIR modelov: dodajanje asimptomatskih skupin



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

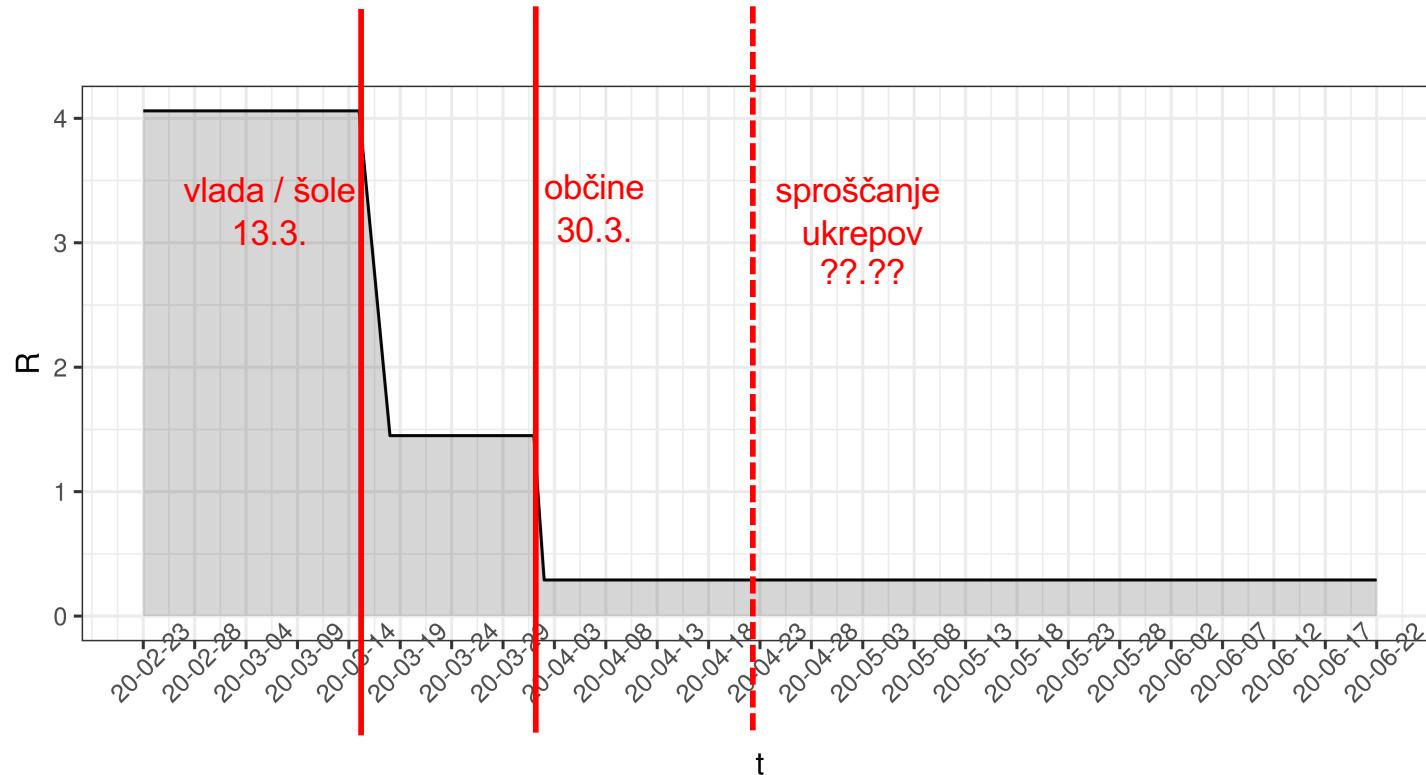
# SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

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 :  $\beta = 0.5/dan$  ,  $T_I = 2.9$  dni,  $R_0 = 0.5 \cdot 2.9 = 1.45$
- V našem primeru te parametre ocenujemo s prileganjem modela na dejanske podatke [COVID19-sledilnik.org](https://covid19-sledilnik.org)

# SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

Odpri parametri modela:

Ocenjeno iz podatkov sledilnik.org

**Populacijska dinamika**

**Populacija**  
2000000

**Število začetnih primerov**  
1

**Čas inkubacije v dneh**  
1 2.9 4.8 5.2 6.7 8.6 10.5 12.4 14.3 16.2 18.1 20

**Čas infektivnosti v dneh**  
1 2.9 4.8 5.2 6.7 8.6 10.5 12.4 14.3 16.2 18.1 20

**Faktorji stopnje širjenja**

**Delež širjenja okužb na dan pred 1. intervencijo:**  
0/dan 1.4/dan 3/dan **R<sub>0</sub> = 4.06**

**Ciljni delež širjenja okužb po 1. intervenciji:**  
0/dan 0.5/dan 1.4/dan **R<sub>1</sub> = 1.45**

**Čas 1. intervencije** 21      **Čas od ukrepa do znižanja** 3

**Ciljni delež širjenja okužb po 2. intervenciji:**  
0/dan 0.1/dan 0.5/dan **R<sub>2</sub> = 0.29**

**Čas 2. intervencije** 38      **Čas od ukrepa do znižanja** 1

**Ciljni delež širjenja okužb po 3. intervenciji:**  
0.1/dan 2/dan **R<sub>3</sub> = 0.29**

**Čas 3. intervencije** 45      **Čas od ukrepa do znižanja** 3

Ocenjeno iz podatkov/medijev

**Bolnišnična dinamika**

**Delež hospitalizacije od okuženih [%]**  
1 8 30 100

**Delež ICU od hospit. [%]**  
0 30 100

**Delež smrti od okuženih [%]**  
0 2 15

**Delež smrti glede na okužene:**  
**2.00 %**

**Čas v bolnišnicne obravnavi**  
1 5 9 13 21 25 29 33 37 40

**Čas v ICU**  
1 8 14 64

**Čas ozdravitve zmerno bolnih**  
1 12 21

**Čas od okužbe do smrti**  
1 8 14 64

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:  $SS_H = (ocenjeno_H(t) - dejansko_H(t))^2 / (dejansko_H + 1)$

$$SS_C = (ocenjeno_C(t) - dejansko_C(t))^2 / (dejansko_C + 1)$$

$$SS_D = (ocenjeno_D(t) - dejansko_D(t))^2 / (dejansko_D + 1)$$

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

Določanje parametrov:

R ( $\beta$ ) za vse intervencije, časi med intervencijami,  
ostalo fiksno (???)

Optimizacijski postopki:

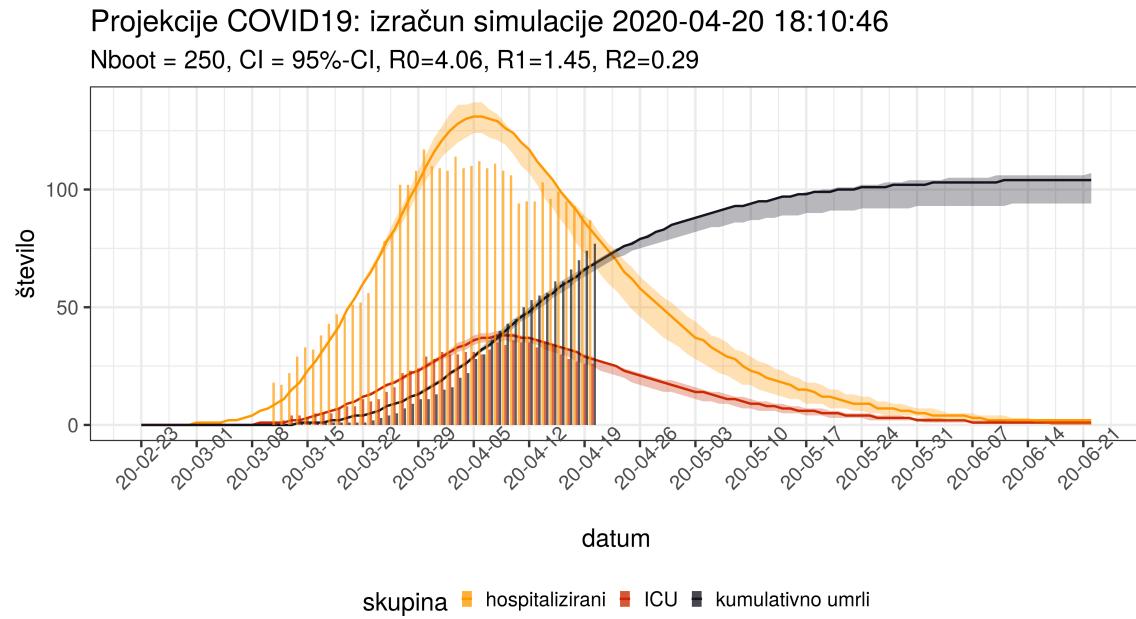
(brez uporabe odvodov) simulirano ohlajanje, Nelder-Mead, grid search

Za določanje intervalov zaupanja v ocene:

večkratno vzorčenje (ang. bootstrapping)

# SEIR MODEL COVID19 SLOVENIJA

## Prikaz delovanja modela:



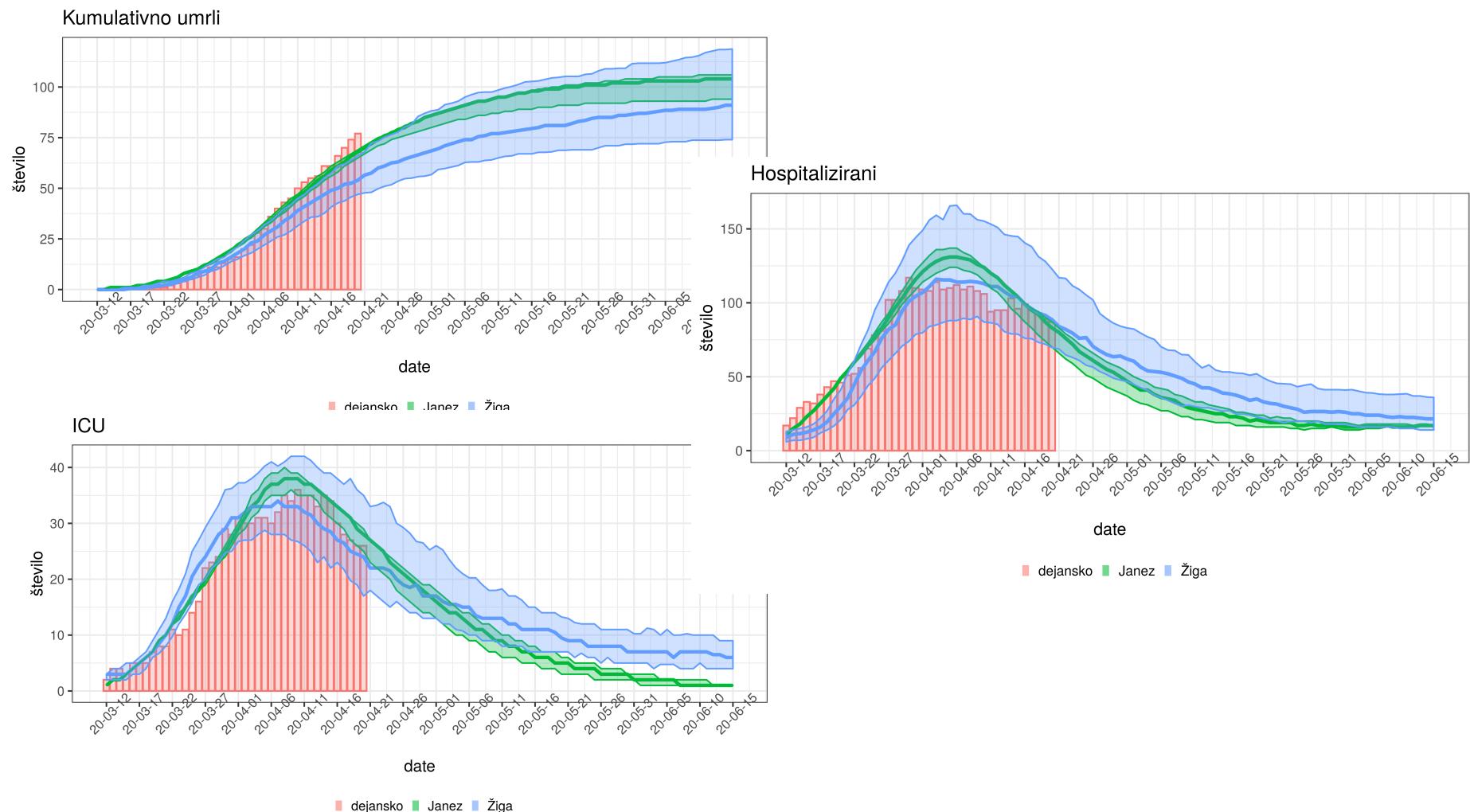
<https://pacs.zf.uni-lj.si/shinyR/apps/projects/CoronaSim/>



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

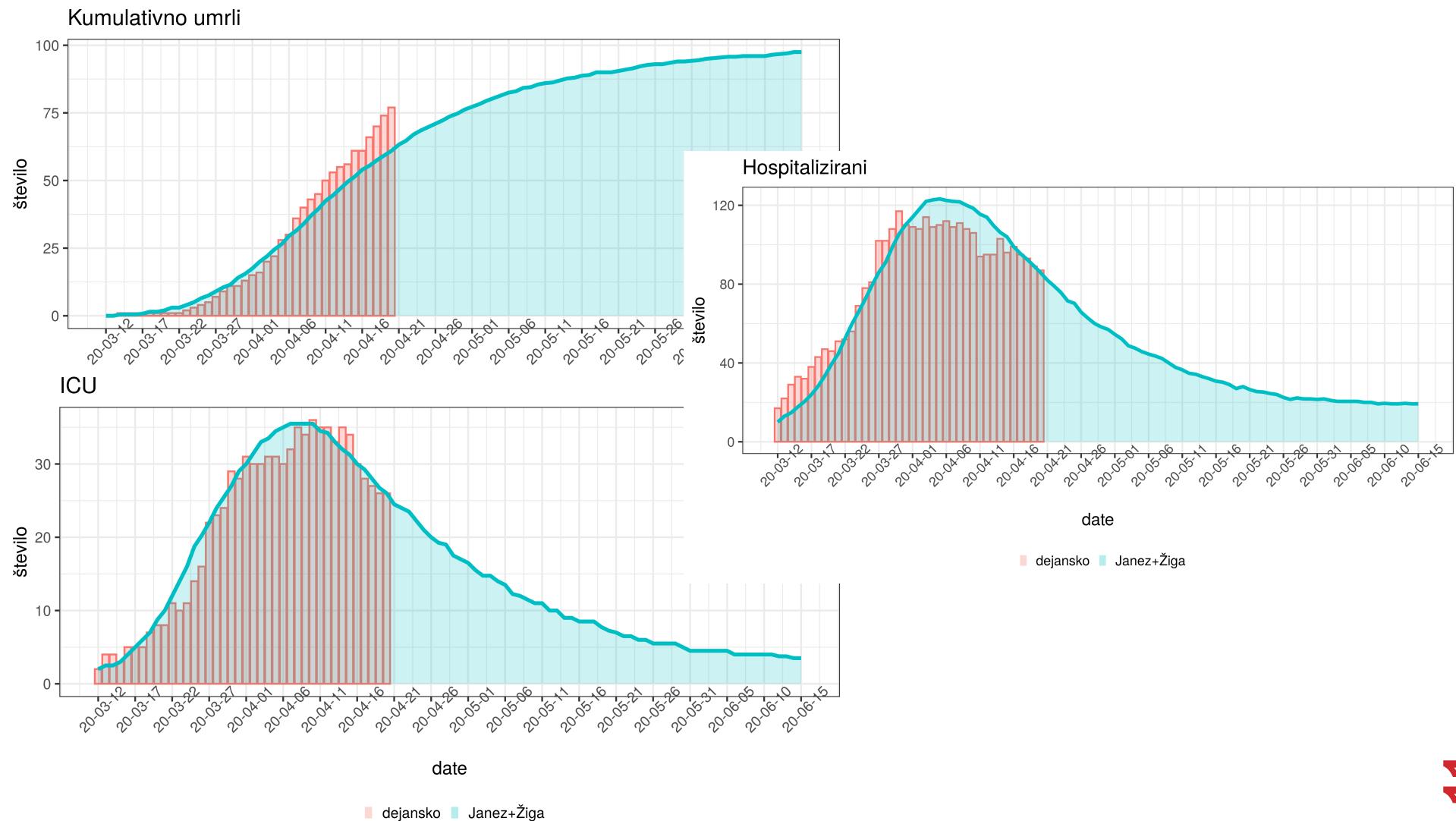
# PRIMERJAVA MODELOV

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)



# PREDNOSTI IN SLABOSTI MODELA

## Bistvene lastnosti modela:

- Model poskuša napovedati dinamiko števila ljudi v bolnišnični obravnavi, na intenzivni negi in število smrtnih, kar je s stališča zagotavljanja ustreznih zdravstvenih kapacitet najpomembnejše.
- Model se vsakodnevno izračunava na dejanskih podatkih iz Slovenije.
- Model je pripravljen tako, da lahko preko spletnne aplikacije spremojemo 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 popvrečju ali pa sploh ne.
- Optimizacija parametrov je problematična. Veliko je lokalnih minimumov pri zelo različnih parametrih => nezanesljivost ocenjenih parametrov (ob pribl. enaki dinamiki šrjenja).
- Ključni parametri so reprodukcijski faktorji in število okuženih, za katere nimamo natančnih podatkov.

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