

Simulacija pandemije COVID-19 na socialnem omrežju Slovenije

Žiga Zaplotnik¹

Aleksandar Gavrič², Aleks Jakulin³, Luka Medic¹

S pomočjo ekipe



in mnogih fizikov s

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



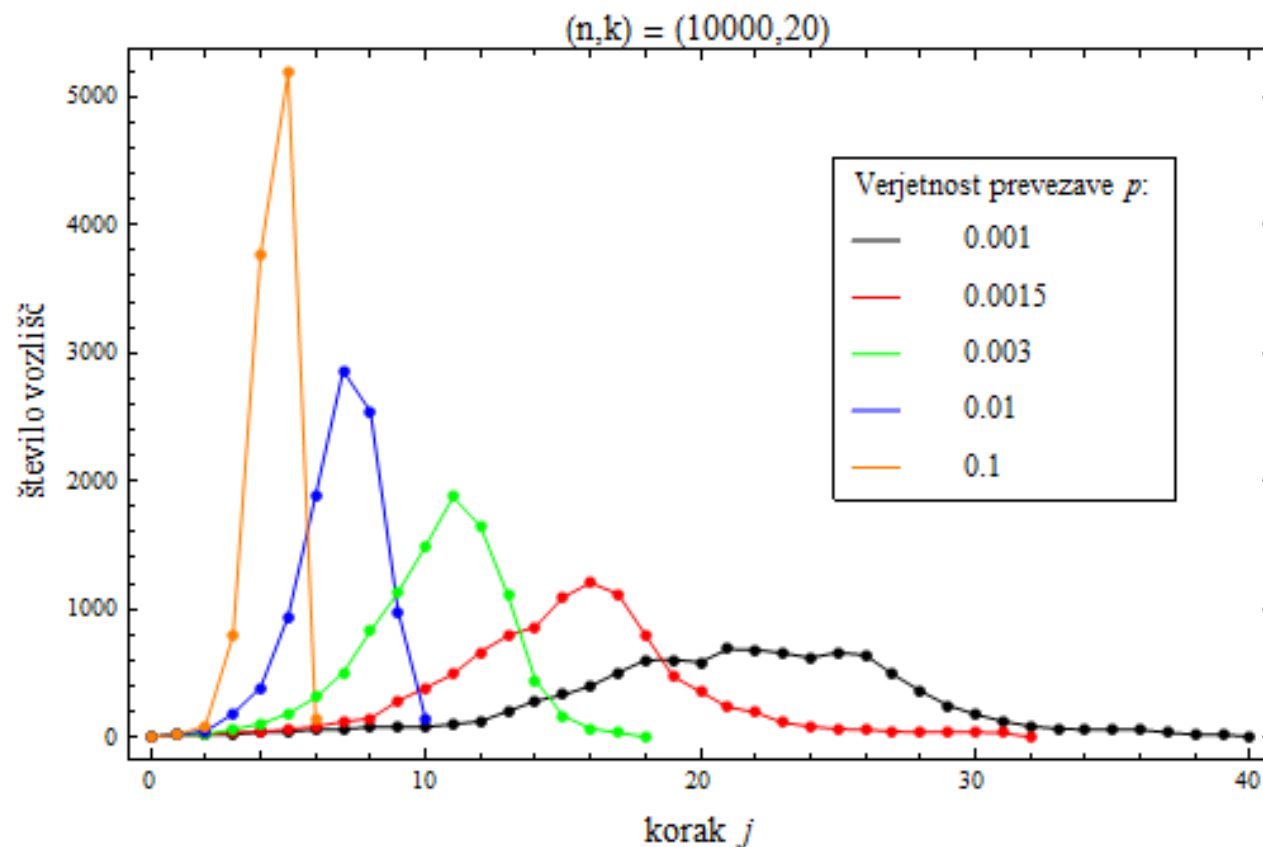
¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

² Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični oddelek za gastroenterologijo in hepatologijo

³ Sledilnik COVID-19

Motivacija

1. Kako dolgo bi trajala epidemija v prostem načinu (čredna imunost) in koliko časa v "flatten the curve" načinu?




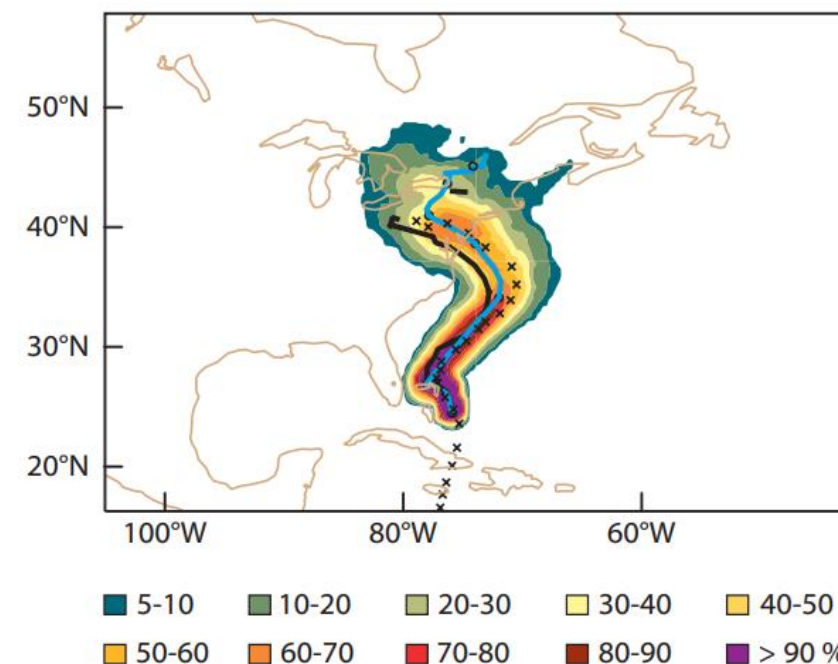
Koliko oseb sliši vic ob določenem času?



Koliko oseb se okuži z virusom ob določenem času?

Motivacija

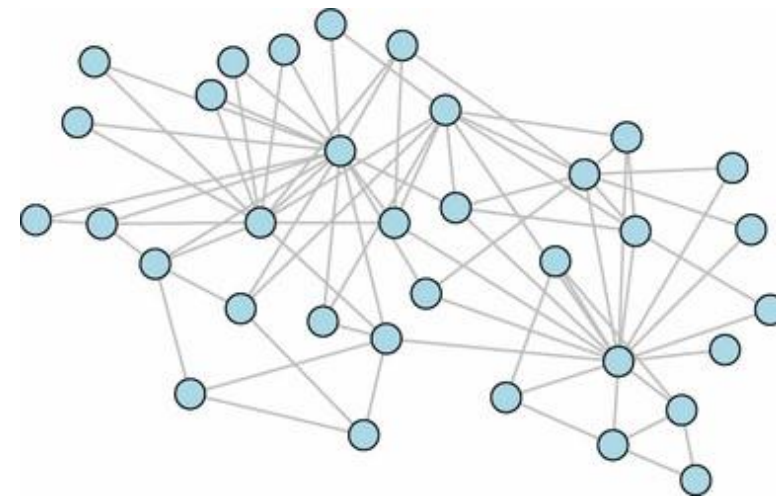
- 
1. Kako dolgo bi trajala epidemija v prostem načinu (čredna imunost) in koliko časa v "flatten the curve" načinu?
 2. Kako dobro znamo napovedati učinek ukrepov odločevalcev na potek pandemije COVID-19 ?
 3. Kako sproščati ukrepe, da ne bo prišlo do ponovnega izbruha?
- Uporaba uveljavljenih pristopov iz numeričnega napovedovanja vremena:
 - ansambelska (verjetnostna) napoved
 - asimilacija "meritev" (podatkov)



Verjetnostna napoved centra orkana Sandy za 4 dni vnaprej. Vir: Magnusson et al., ECMWF Tech. Memo. 2013

Socialno omrežje

- $N=2050000$ vozlišč, eno za vsakega prebivalca Slovenije
- Do 20 milijonov povezav – zunanje povezave so naključno generirane, notranje porazdeljene po gospodinjstvih

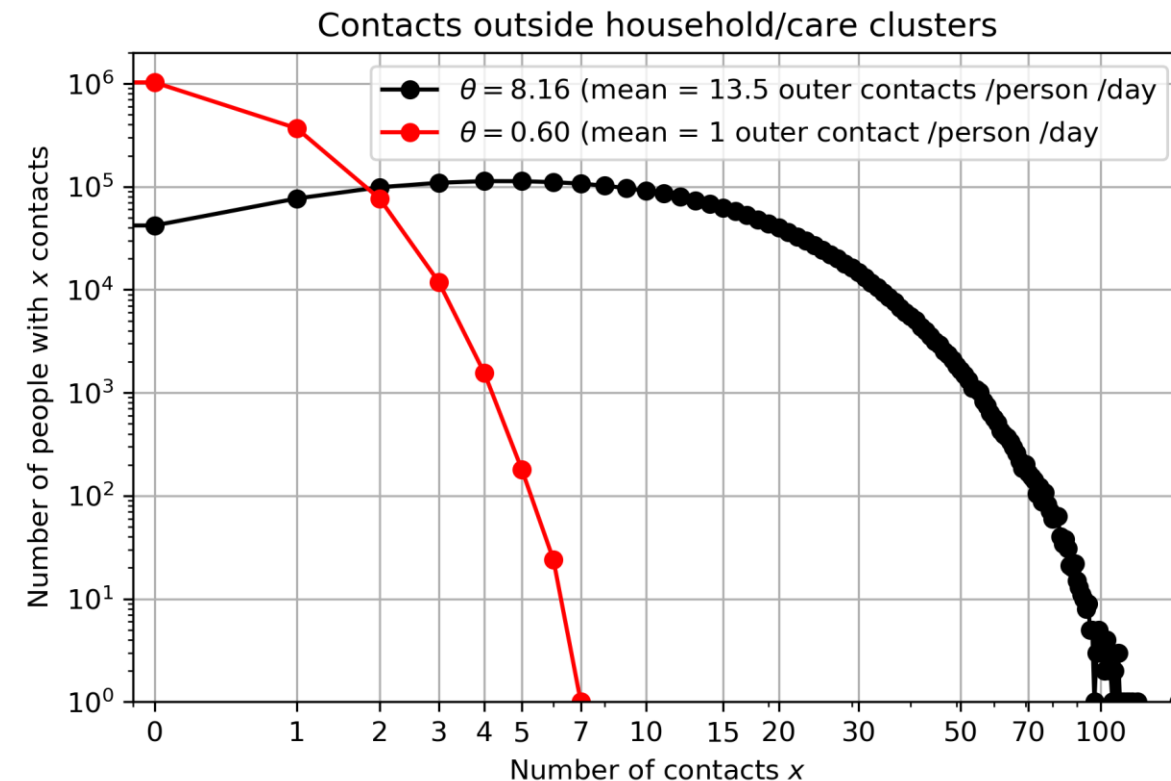
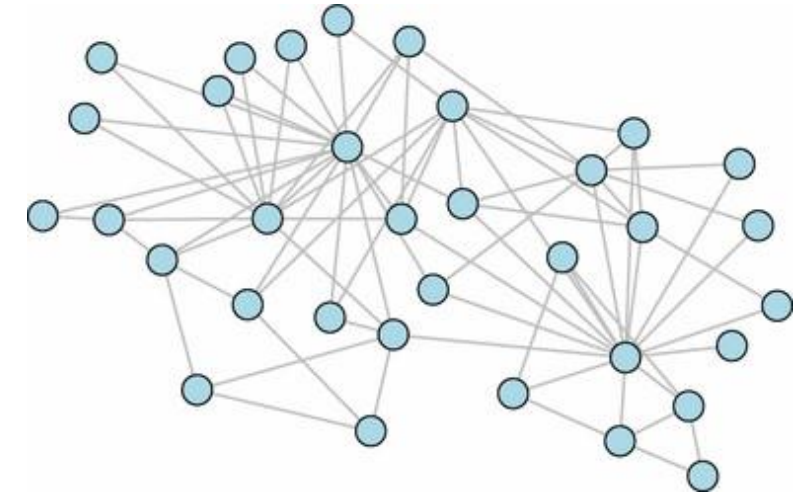


k persons in household	number of k -person households
1	269898
2	209573
3	152959
4	122195
5	43327
6	17398
7	6073
8	3195
25	100 care centers with 8 groups each

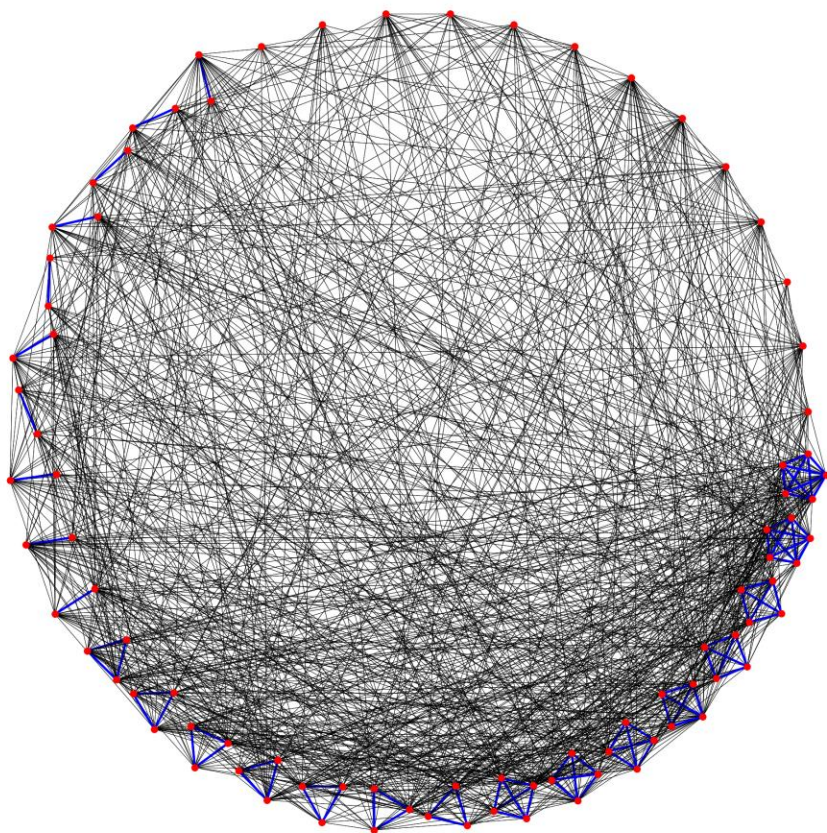
Table 1: Households distribution in Slovenia. Vir: SURS

Socialno omrežje

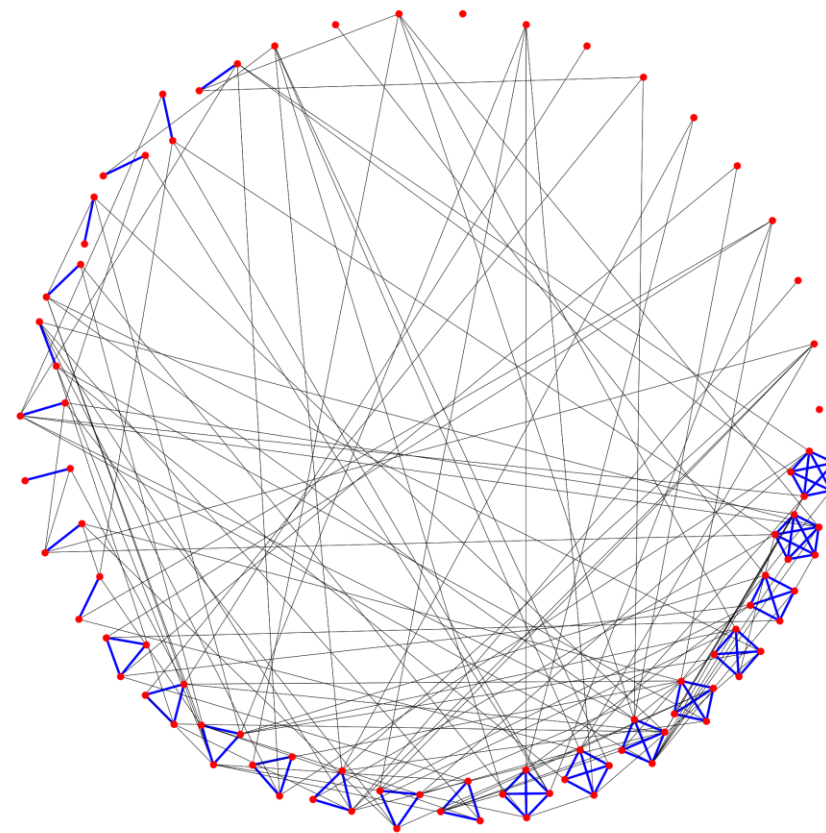
- $N=2050000$ vozlišč, eno za vsakega prebivalca Slovenije
- Do 20 milijonov povezav – zunanje povezave so naključno generirane, notranje porazdeljene po gospodinjstvih
- Negativna binomska (\sim gama) porazdelitev po številu kontaktov
- 80% povezav fiksnih, 20% dnevno variabilnih



Socialno omrežje

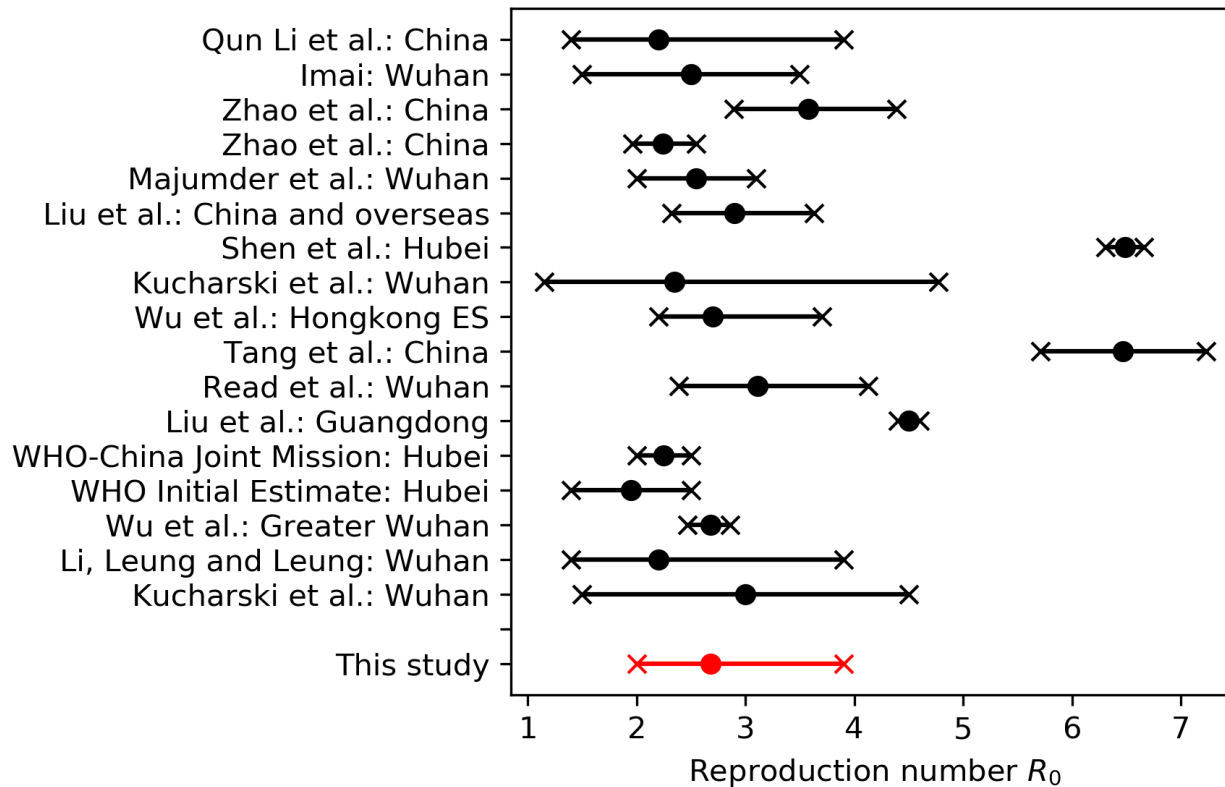


Pred pandemijo: 15 kontaktov na dan
(13.5 zunanjih in 1.5 v gospodinjstvu)



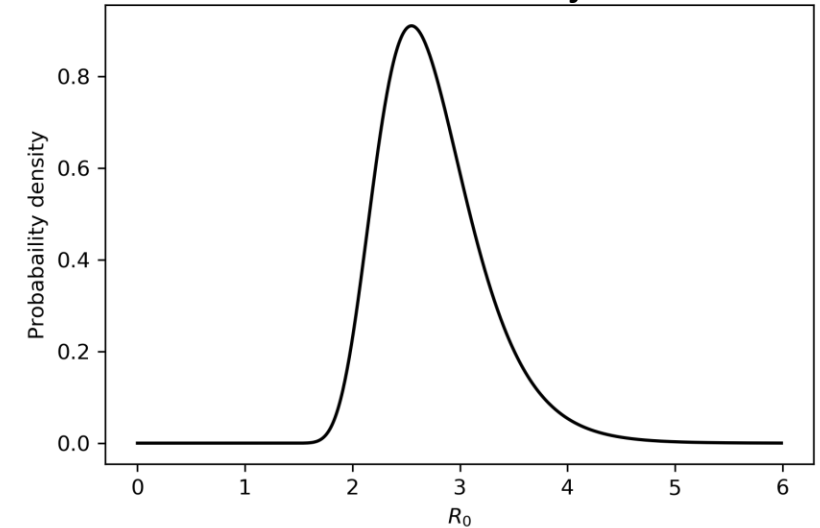
Trenutno (inverzna ocena): 3.2 kontakta na dan
(1.7 zunanjih in 1.5 v gospodinjstvu)

Model prenosa virusa

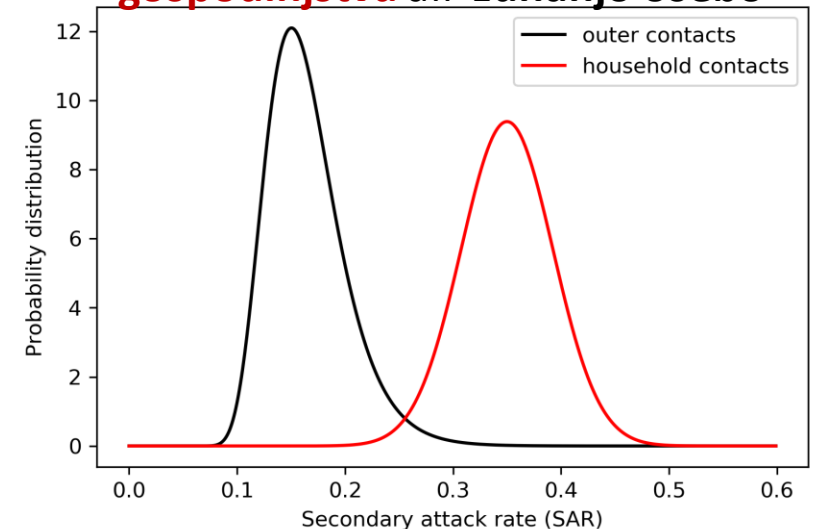


Vir: Liu, Eggo, Kucharski. The Lancet, 395 (10227)

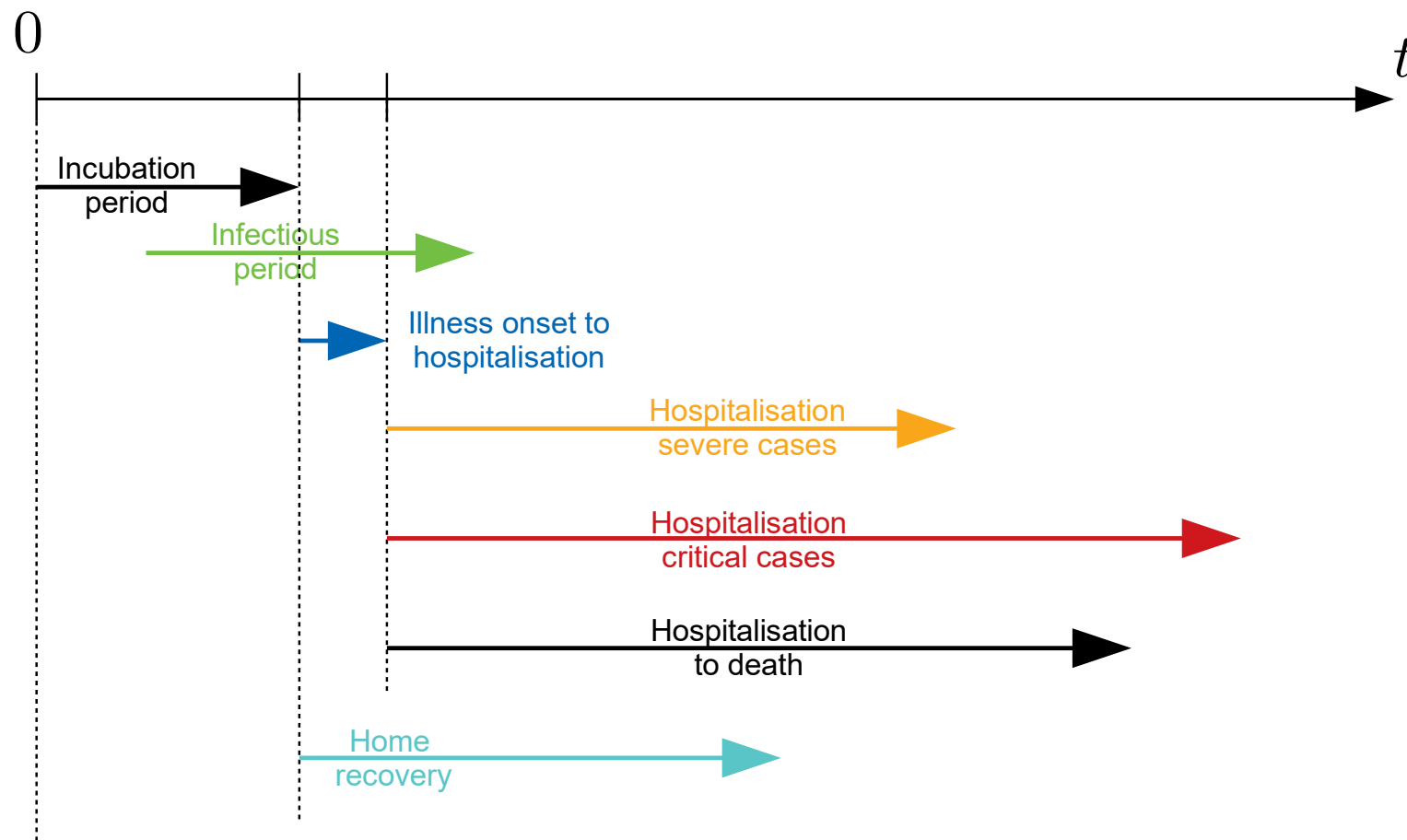
Porazdelitev vrednosti reprodukcijskega števila v simulacijah



Verjetnost, da okužimo osebo v gospodinjstvu ali zunanjo osebo



Model poteka bolezni in kliničnih tveganj



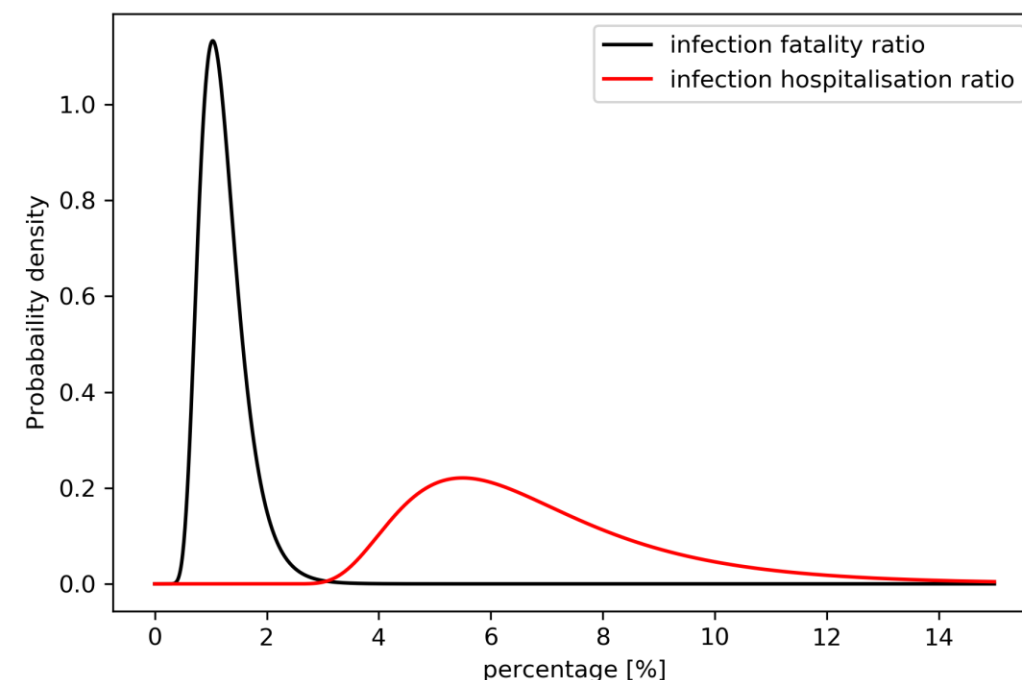
Model poteka bolezni in kliničnih tveganj

Smrtnost okuženih po
starostnih skupinah

Hospitalizacija okuženih
po starostnih skupinah

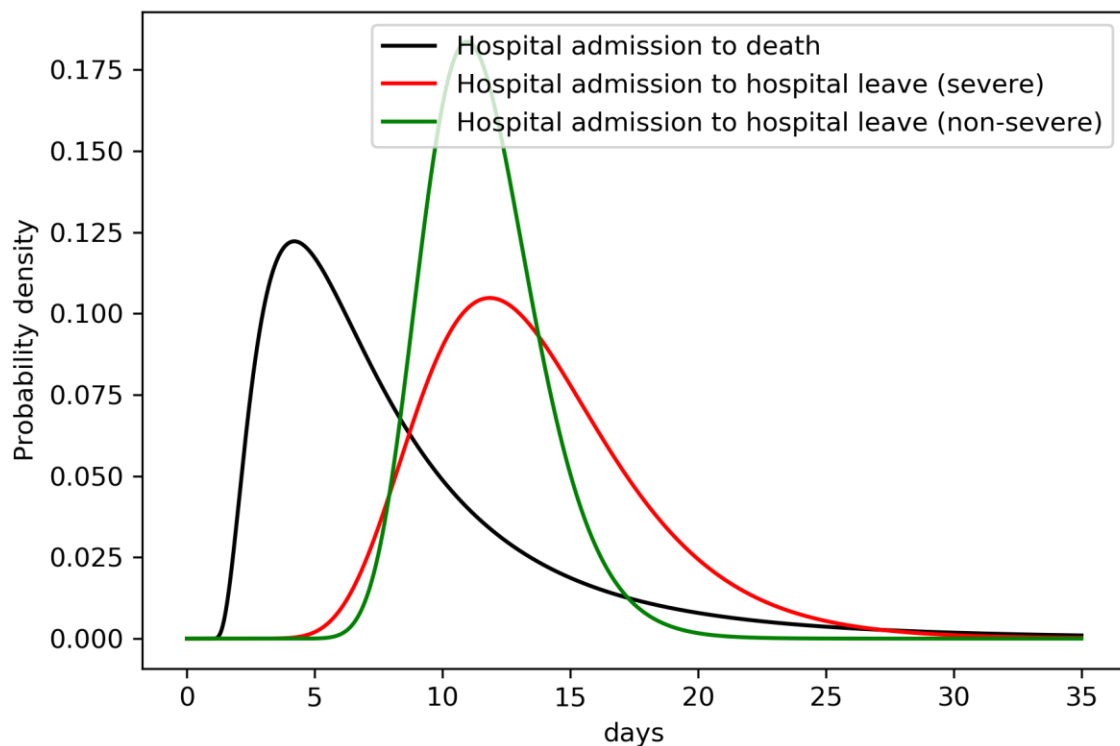
Age group	IFR (95% CI)	IHR (95% CI)
0 to 9	0.0016% (0.000185,0.0249)	0% (0,0)
10 to 19	0.007% (0.0015,0.050)	0.04% (0.02, 0.08)
20 to 29	0.031% (0.014,0.092)	1.1% (0.62, 2.1)
30 to 39	0.084% (0.041,0.185)	3.4% (2.1, 7.0)
40 to 49	0.16% (0.076,0.32)	4.3% (2.5, 8.7)
50 to 59	0.60% (0.34,1.3)	8.2% (4.9, 16.7)
60 to 69	1.9% (1.1,3.9)	11.8% (7.0, 24.0)
70 to 79	4.3% (2.5,8.4)	16.6% (9.9, 33.8)
80+	7.8% (3.8,13.3)	18.4% (11.0, 37.6)

Porazdelitev skupne stopnje smrtnosti in
hospitalizacije (privzeta enaka verjetnost
izpostavljenosti za vse starostne skupine)

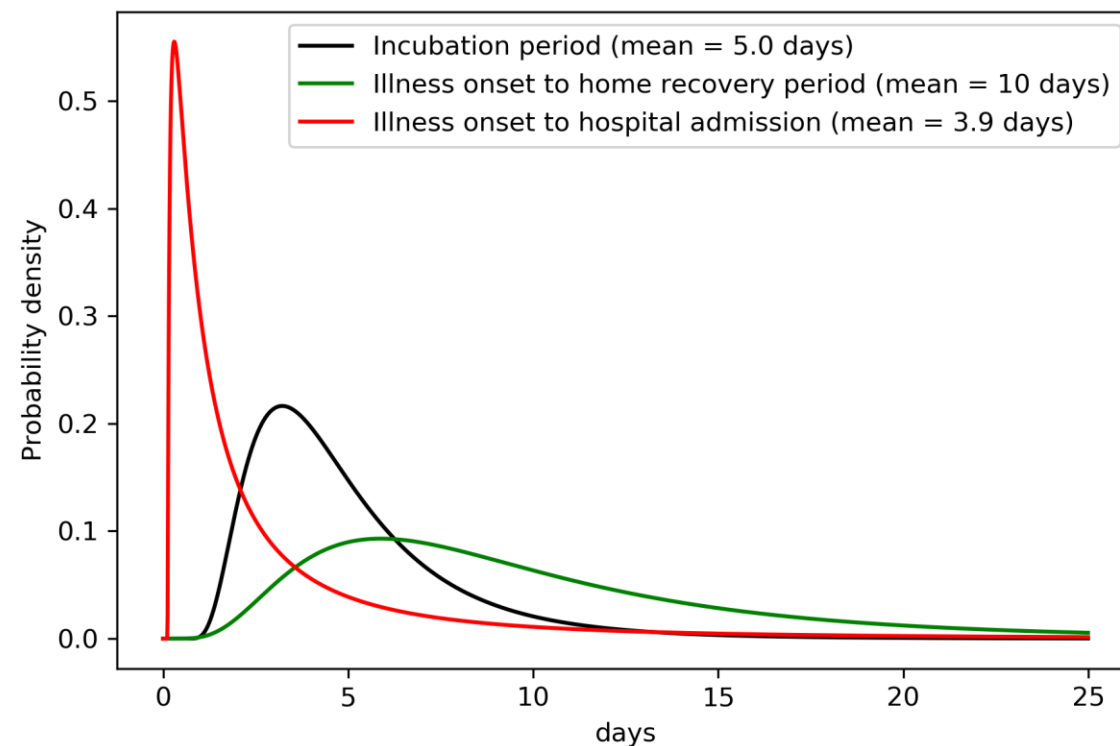


Model poteka bolezni in kliničnih tveganj

Porazdelitev časa bolnišnične oskrbe za različne izide bolezni



Porazdelitev dolžine inkubacijske dobe, okrevanja doma in časa od simptomov do sprejema v bolnišnico



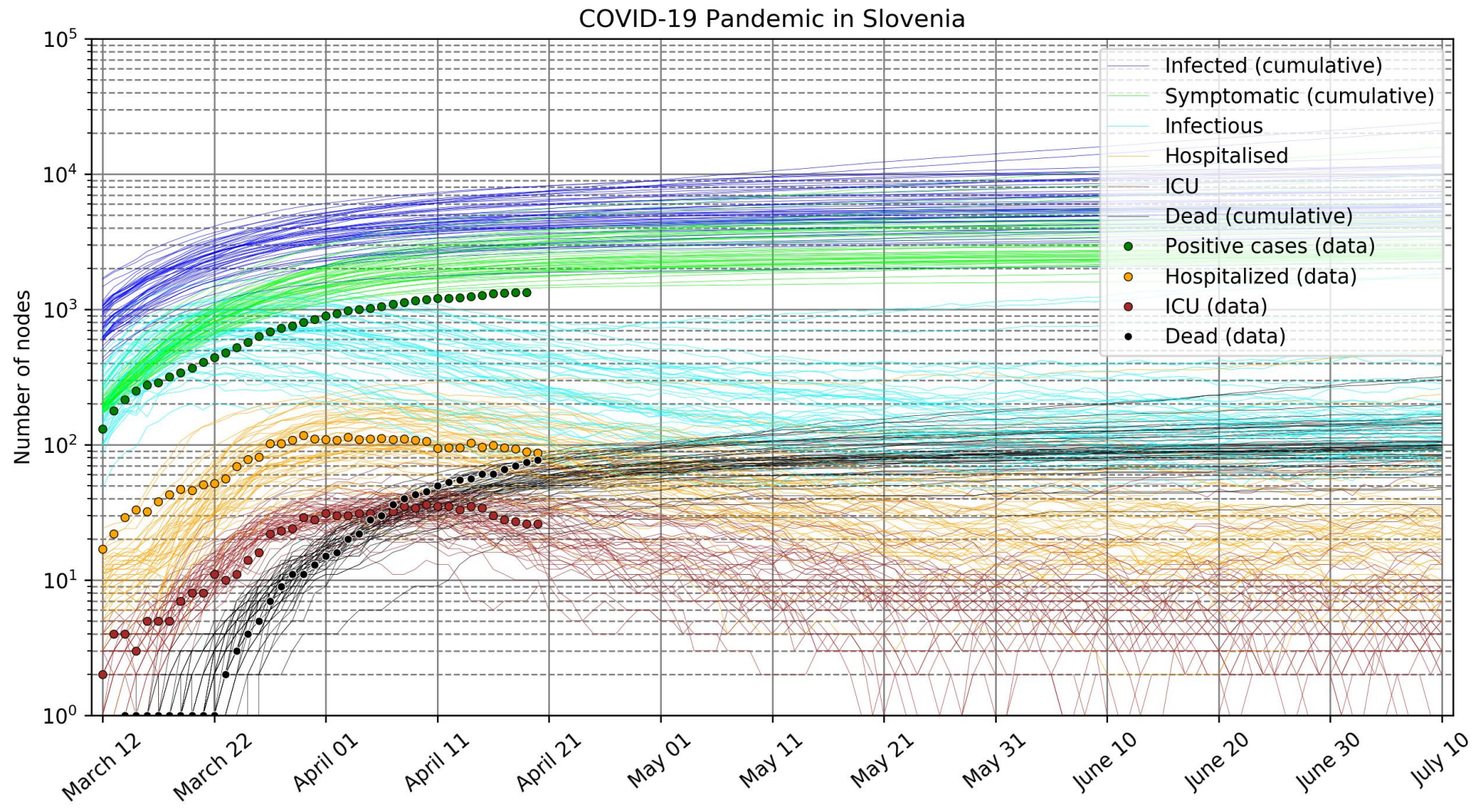
Vsak oboleli ima torej nekoliko drugačen potek bolezni, naključno generiran na podlagi zgornjih porazdelitev! Vsaka simulacija ima drugačno porazdelitev!

Verjetnostna napoved

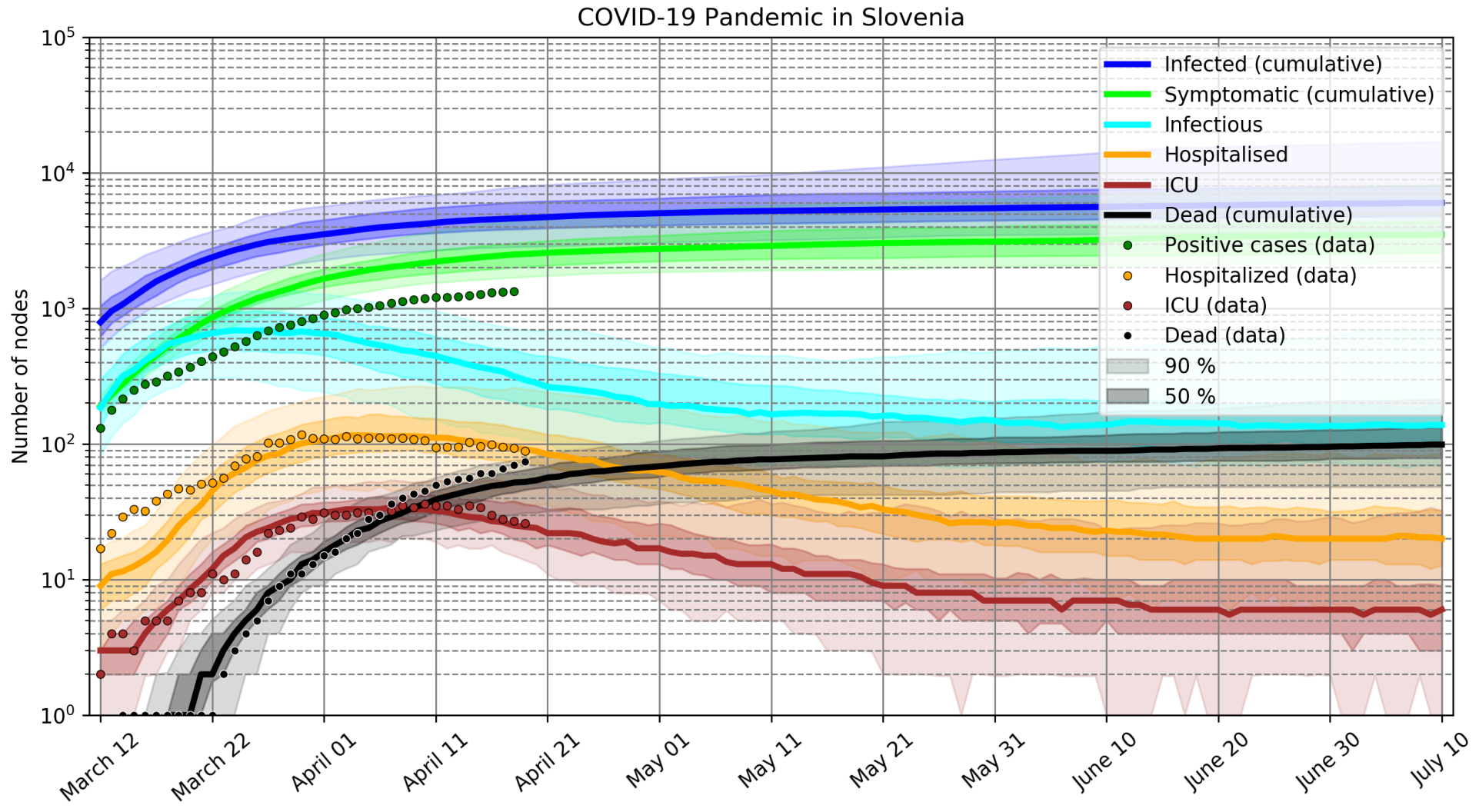
1000-5000 simulacij (ansambel) s spremenjenim (perturbiranim):

1. socialnim omrežjem (zunanje povezave)
2. začetnim pogojem (okužimo različna vozlišča, različno število okuženih na začetku)
3. Parametri prenosa virusa (R_0 , verjetnost okužbe, dolžine dobe kužnosti)
4. Parametri poteka bolezni (IFR, IHR, ICUR, porazdelitve poteka): perturbiramo tudi parametre porazdelitev, torej bodo tudi porazdelitvene funkcije v vsaki simulaciji drugačne!

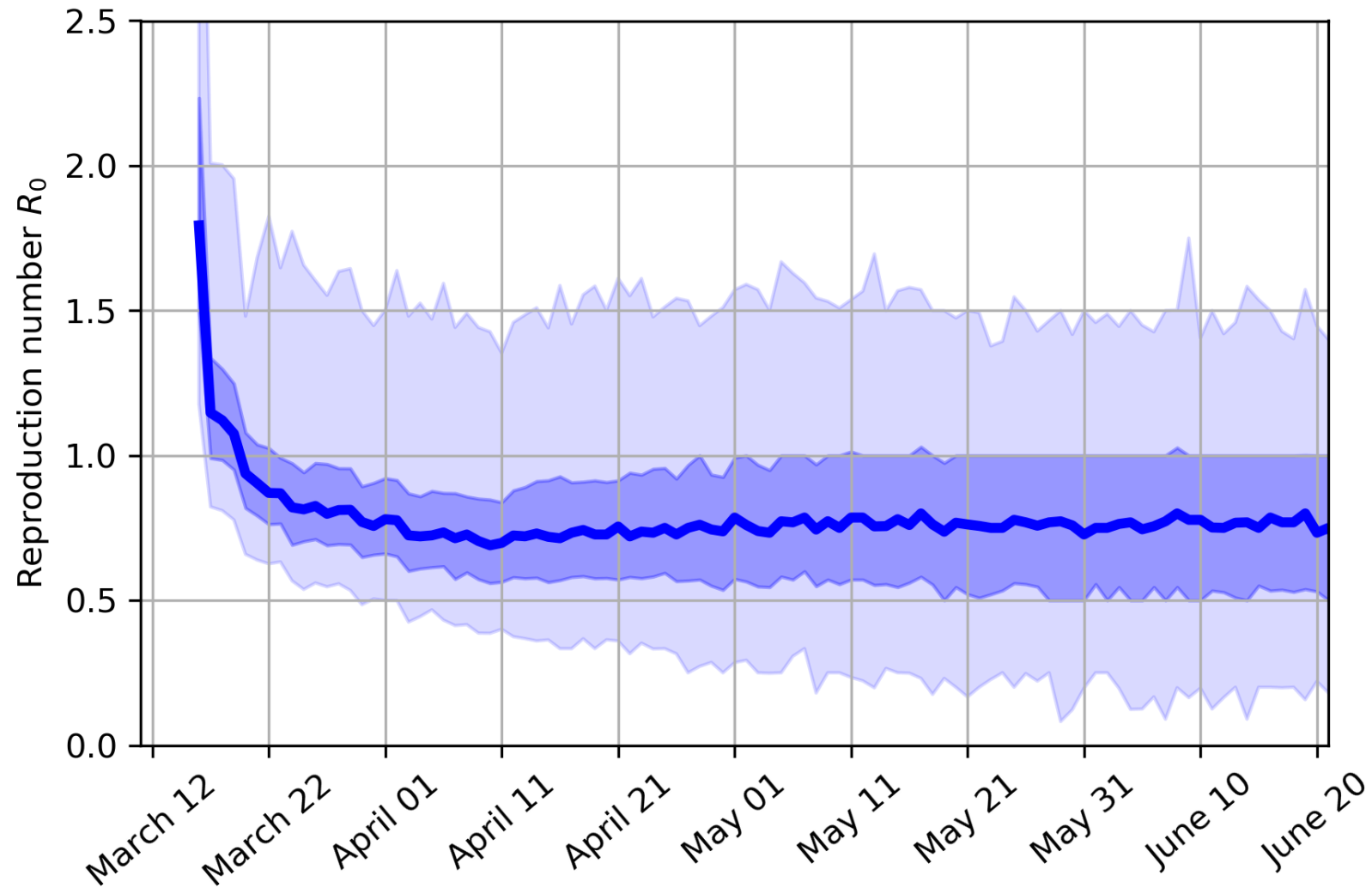
Verjetnostna napoved



Verjetnostna napoved



Verjetnostna napoved



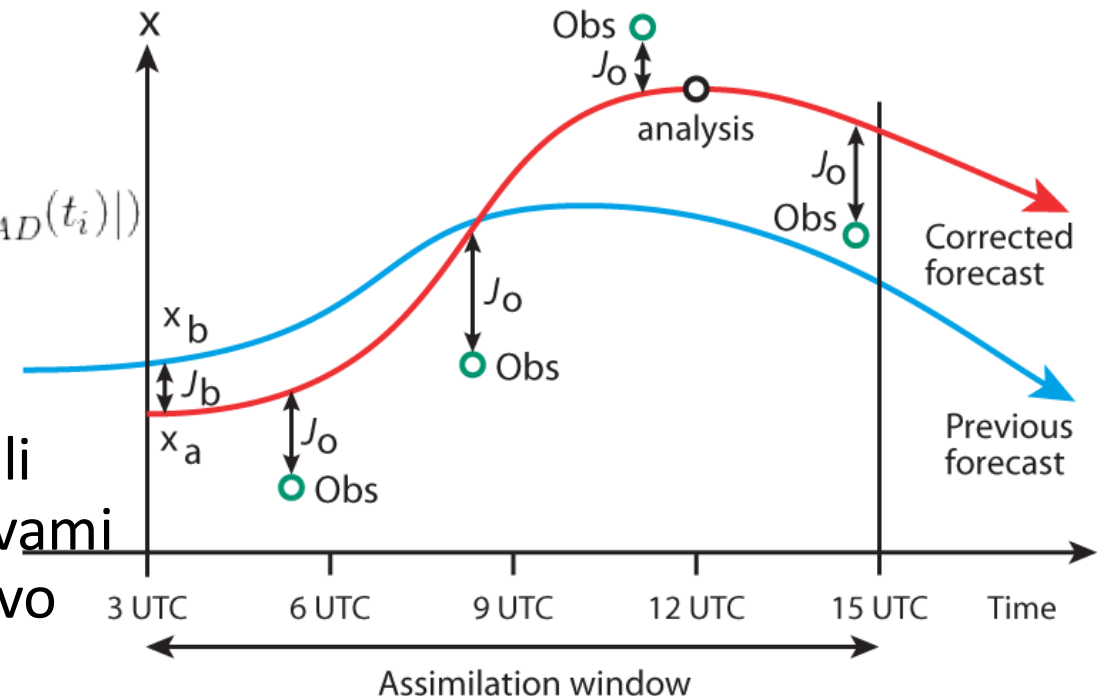
Asimilacija meritev

- Med množico simulacij vzamemo tistih nekaj %, ki se najbolj skladajo z meritvami (ICU, DEAD, HOSP, kmalu tudi število okuženih)

- Določimo cenilko:

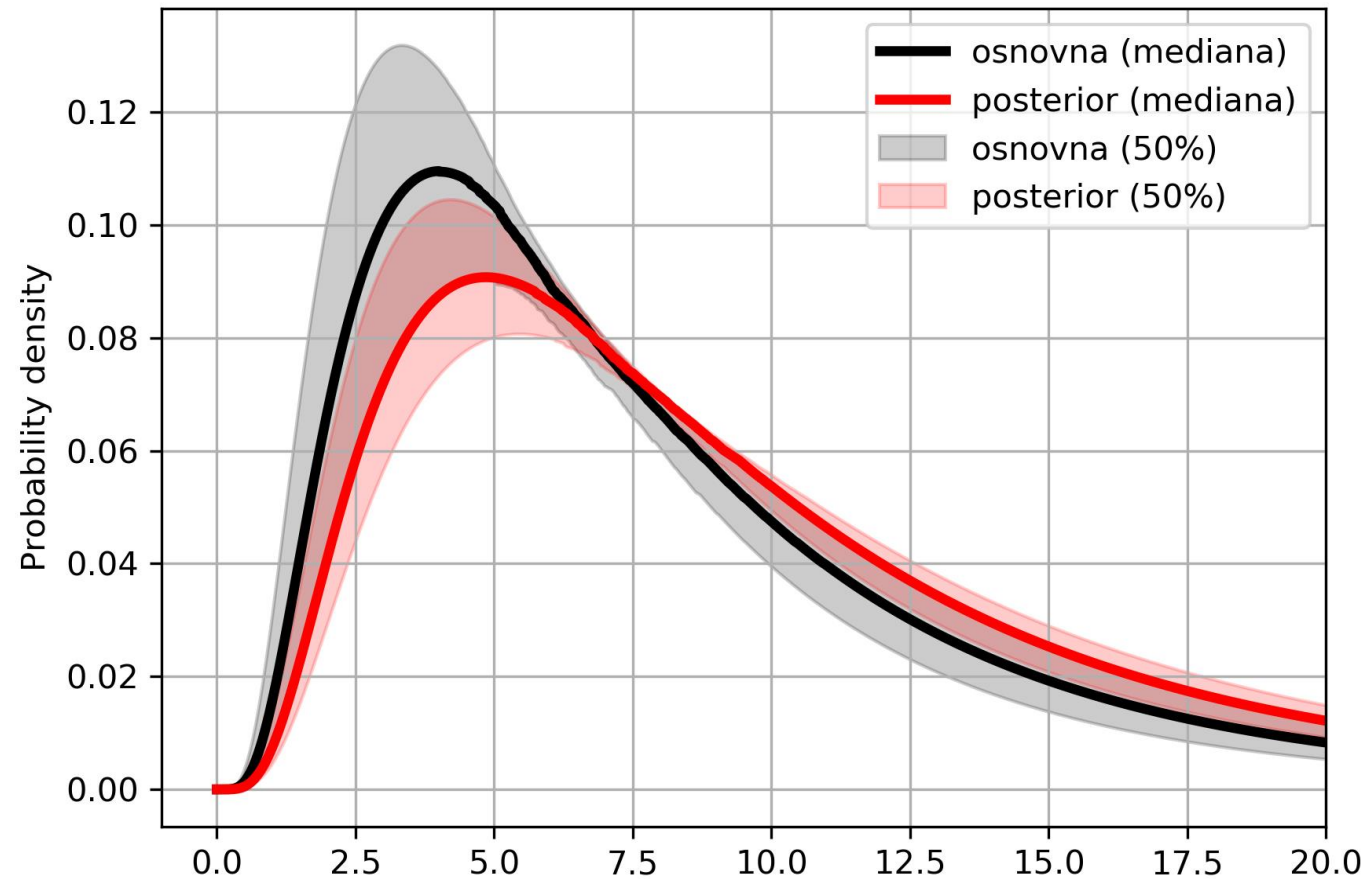
$$J = \sum_{i=0}^N (|\log x_{ICU}^m(t_i) - \log x_{ICU}^o(t_i)| + |\log x_{DEAD}^m(t_i) - \log x_{DEAD}^o(t_i)|)$$

- Če shranimo parametre, s katerimi smo prišli do napovedi, ki se najbolj skladajo z meritvami (je vrednost cenilke najmanjša), dobimo novo ("posterior") porazdelitev parametrov



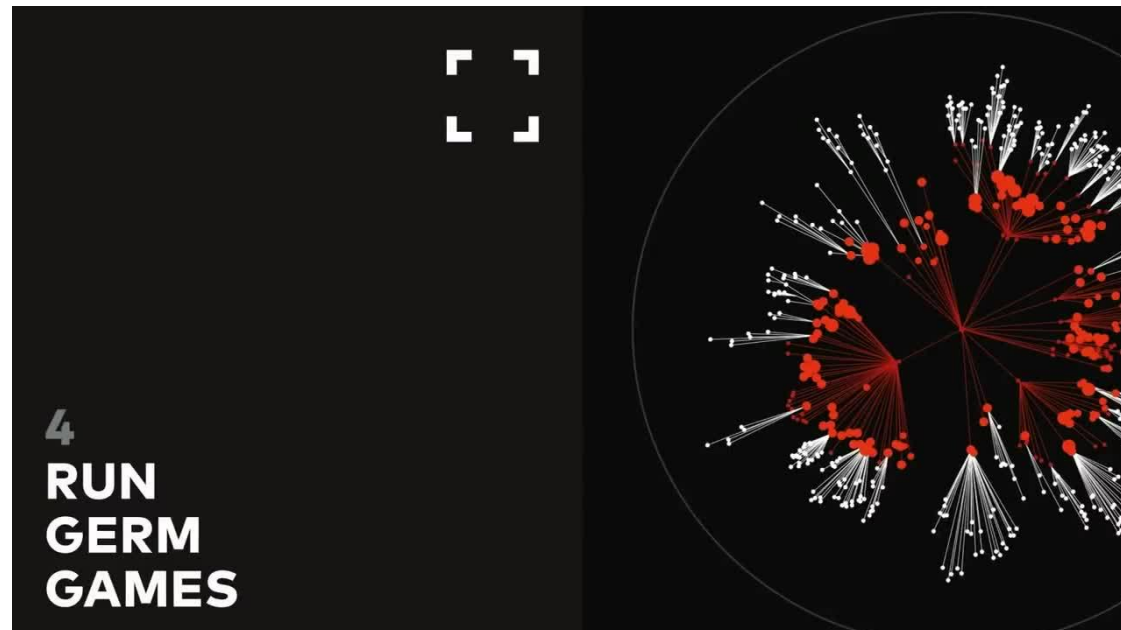
Asimilacija meritev

Porazdelitev časa od nastopa bolezni do smrti: **prvotna porazdelitev**
in **inverzno ocenjena posterior porazdelitev**

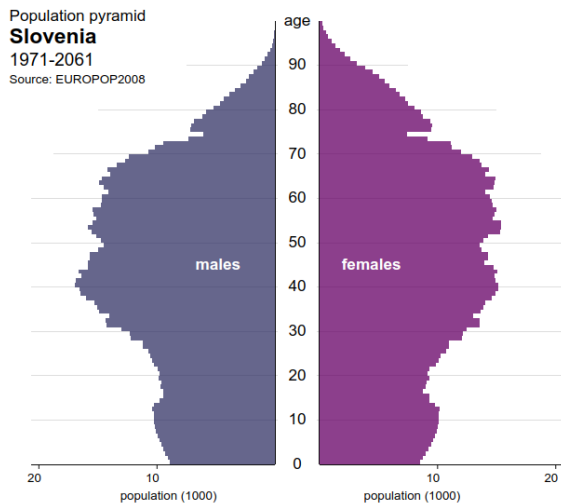


Pogled v preteklost...

- Bill Gates: "The next outbreak? We're not ready" (TED Talk, 2015)
What we need?
 - ...
 - ...
 - **RUN GERM GAMES** (simulations)
 - ...



Pogled v bližnjo prihodnost...



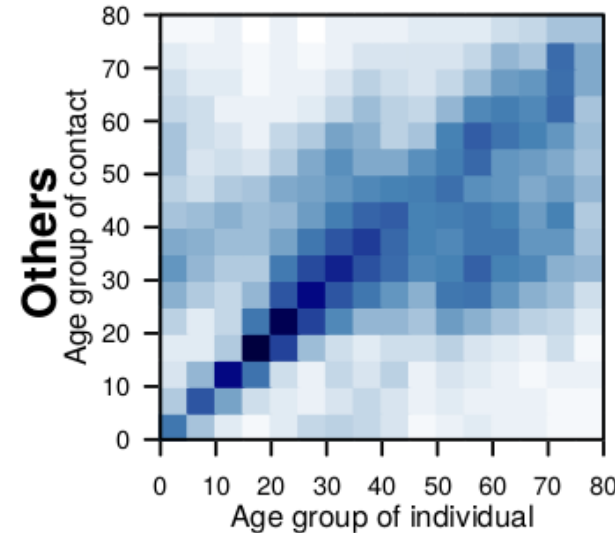
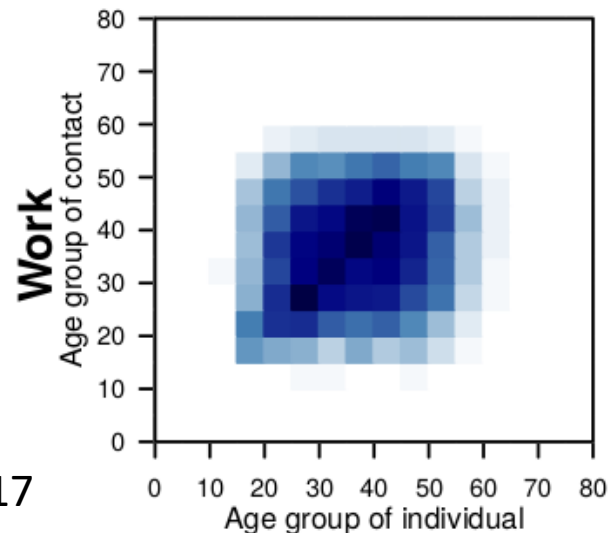
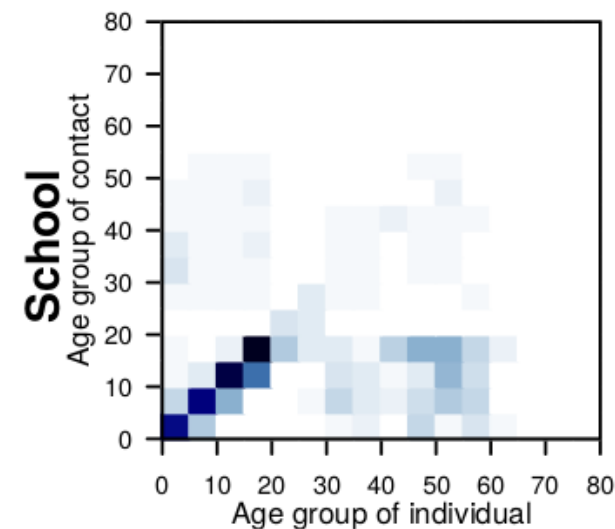
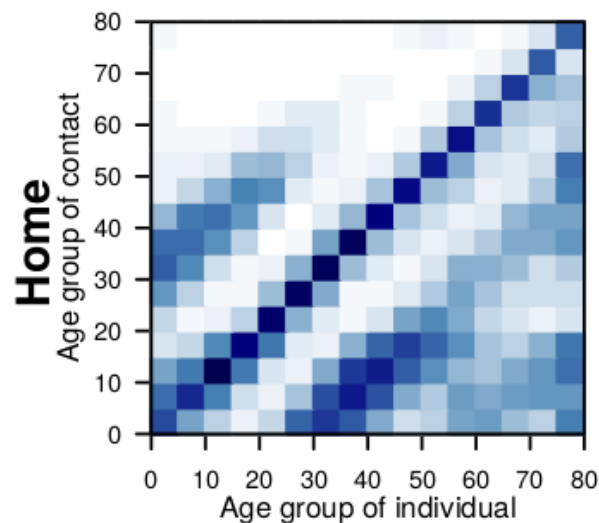
Vir: SURS

Porazdelitev kontaktov po
starostnih skupinah.

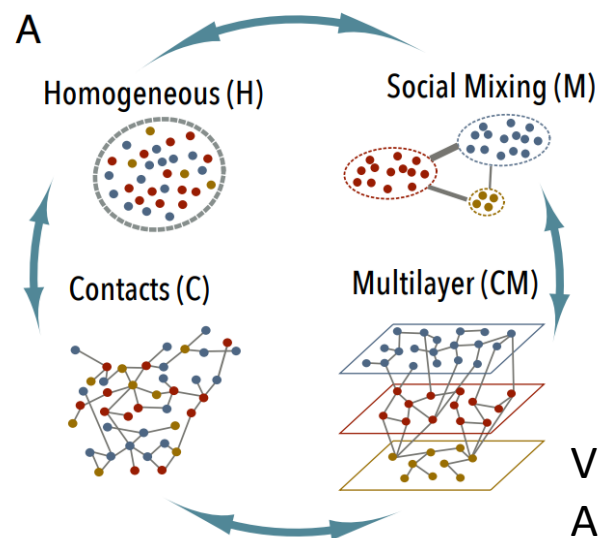
Potrebno še simetrizirati:

$$c'_{ij} = \frac{1}{N_i + N_j} (c_{ij} N_i + c_{ji} N_j)$$

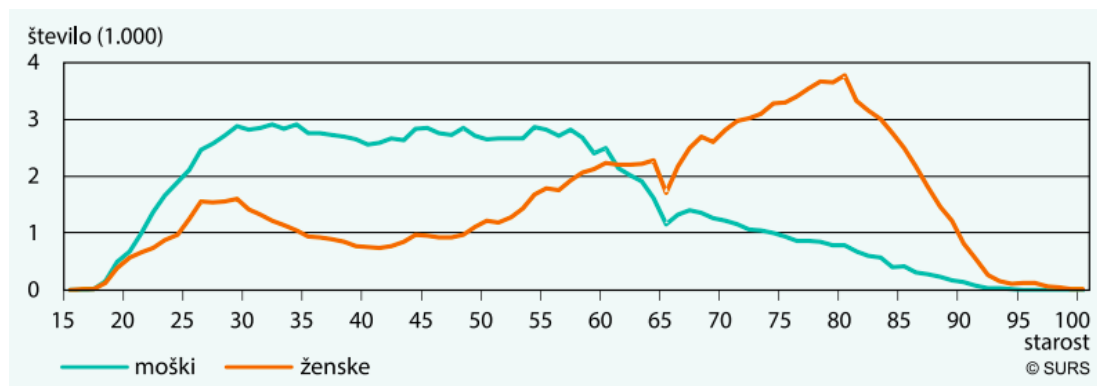
Vir: Prem et al. PLOS Comp. Bio. 13(9), 2017



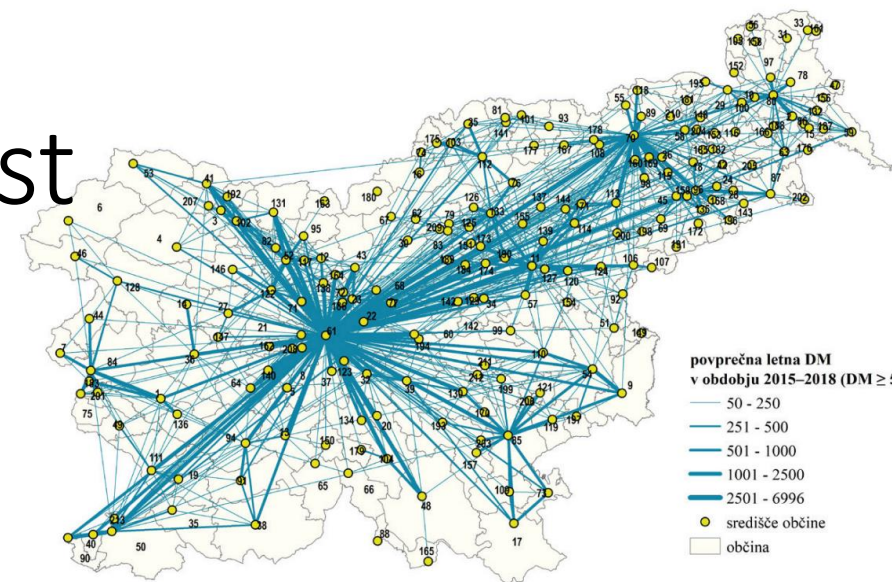
... in bolj oddaljeno prihodnost



Vir: Aleta et al.
Arxiv [2003.06946.pdf](https://arxiv.org/abs/2003.06946)



Porazdelitev stanovalcev k-članskih gospodinjstev po starosti.



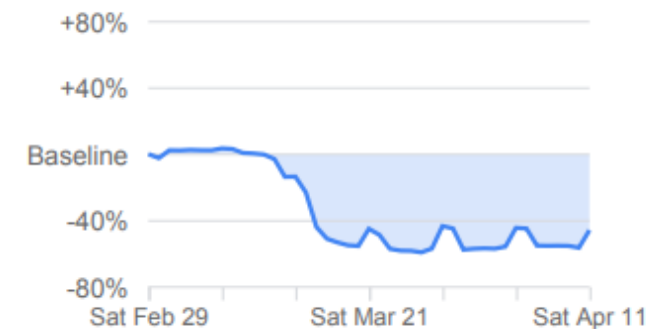
Tokovi povprečne letne delovne mobilnosti med občinami v Sloveniji v 2015-2018

Vir: Drobne S. Geodetski vestnik 64(1), 2020

Workplaces

-46%

compared to baseline



Vir: Google. COVID-19 Community Mobility Report (11. april 2020)

Zaključki

- Simulacija na omrežju:
 - (+) možnost direktne simulacije ukrepov s prekinjanjem/dodajanjem povezav v omrežje
 - (+) boljša ocena tveganj v kontrolirani fazi pandemije z nizkim številom okuženih (~~homogeno mešanje~~, super-prenašalci povzročajo nove izbruhe)
 - (+) generiranje podomrežij: bolnic, šol, domov za ostarele, delavskih podomrežij
 - (-) računska zahtevnost, kompleksnost modela, razvoj
- Potrebno je združiti moči! Potrebujemo boljše modele in še več podatkov, da jih lahko verificiramo (Sledilnik, [Nacionalna raziskava o razširjenosti bolezni COVID-19](#)) in da jih lahko uporabljamo kot **zanesljiv pripomoček pri odločanju**
- Večja kompleksnost modelov še ni zagotovilo za takojšno izboljšavo napovedi. Numerično napovedovanje vremena in klime nam sicer že desetletja kaže, da je to edina prava smer!

Zaključki

- Virus bo z nami še dolgo, torej bomo tudi modele še dolgo rabili!
 - Področja znanosti je potrebno strateško razvijati, tudi tista, ki se večino časa zdijo "nepotrebna", npr. računska epidemiologija
 - Dogodki z velikim vplivom na varnost in zdravje prebivalcev ter gospodarstvo terjajo hiter odziv in robustno ter zanesljivo računsko infrastrukturo (pri napovedih vremena in klime je to samoumevno, čeprav je orkan Sandy "stal le" 20 mrd \$)
 - Rešitev iz mnogih zagat ponudi znanost: v primeru COVID-19 z razvojem cepiva in zdravil kot tudi nefarmaceutskimi ukrepi...
- ... ponudi pa tudi rešitev iz mnogih preostalih zagat, npr. podnebne spremembe, 5G tehnologija, itd.