

**SISTEMSKI PRISTUP ANALIZI PANDEMIJE
COVID-19
(SYSTEM DYNAMICS APPROACH)**

Prof. dr Ozren Džigurski

SADRŽAJ

- Modeli epidemije
- Matematički model epidemije – Logistička funkcija
- Sistemska dinamika (System Dynamics)
- **SI** (*Suspected – Infected*) model
- **SIR** (*Suspected – Infected – Recovered*) model
- **MSEIRS** [*Maternally derived immunity – Susceptible – Exposed – Infected – Recovered – Waned (low immunity) – Susceptible*] model
- Zaključak
- ...

MODELI EPIDEMIJE (1)

- Prvi matematički modeli epidemije pojavili su se sredinom 20 veka.
- Dve kategorije modela: **deterministički i stohastički**
- **Deterministički** modeli
 - Prikazuju uglavnom srednje vrednosti trenda varijabli u procesu epidemije
 - Pogodniji su za primenu u sredinama sa velikom populacijom i skoro uvek prikazuju jedinstven rezultat u zavisnosti od (početnih) vrednosti varijabli i parametara koji se unose u model

MODELI EPIDEMIJE (2)

- **Stohastički modeli**
 - Osim srednjih vrednosti trenda, razmatraju i statističke varijanse varijabli u modelu,
 - U okviru ovih trendova, uzimaju u obzir i demografske i ekološke karakteristike sredine
 - Pogodni su za primenu u sredinama sa manjom populacijom i prikazuju različite odgovore u zavisnosti od vrednosti slučajnih promenjivih u modelu.

Matematički model procesa epidemije – Logistička funkcija

Logistička funkcija koristi se za modeliranje mnogih **prirodnih procesa sa ograničenim resursima**, kao i socijalnih, ekonomskih, **medicinskih**, modela migracije, demografskih modela (izvorno koristio Pierre-Francois Verhulst 1838. godine.)

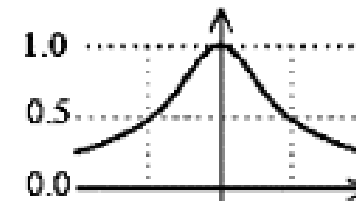
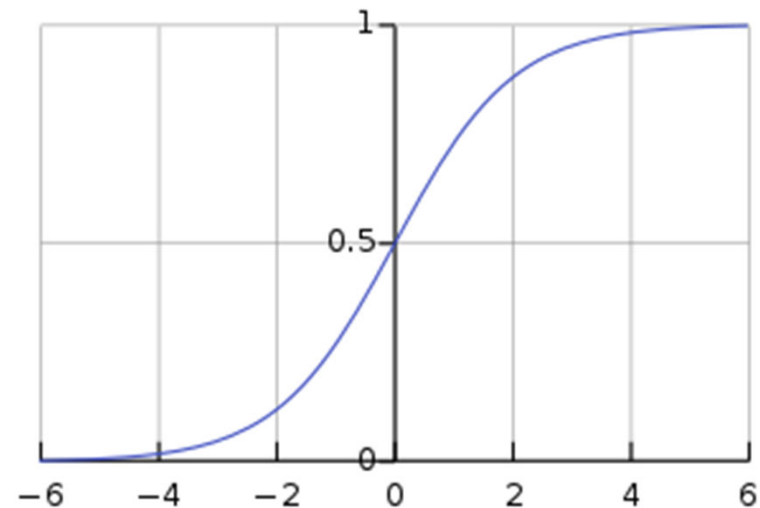
$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-at}}$$

$$\frac{dP}{dt} = rP \left(1 - \frac{P}{K}\right)$$

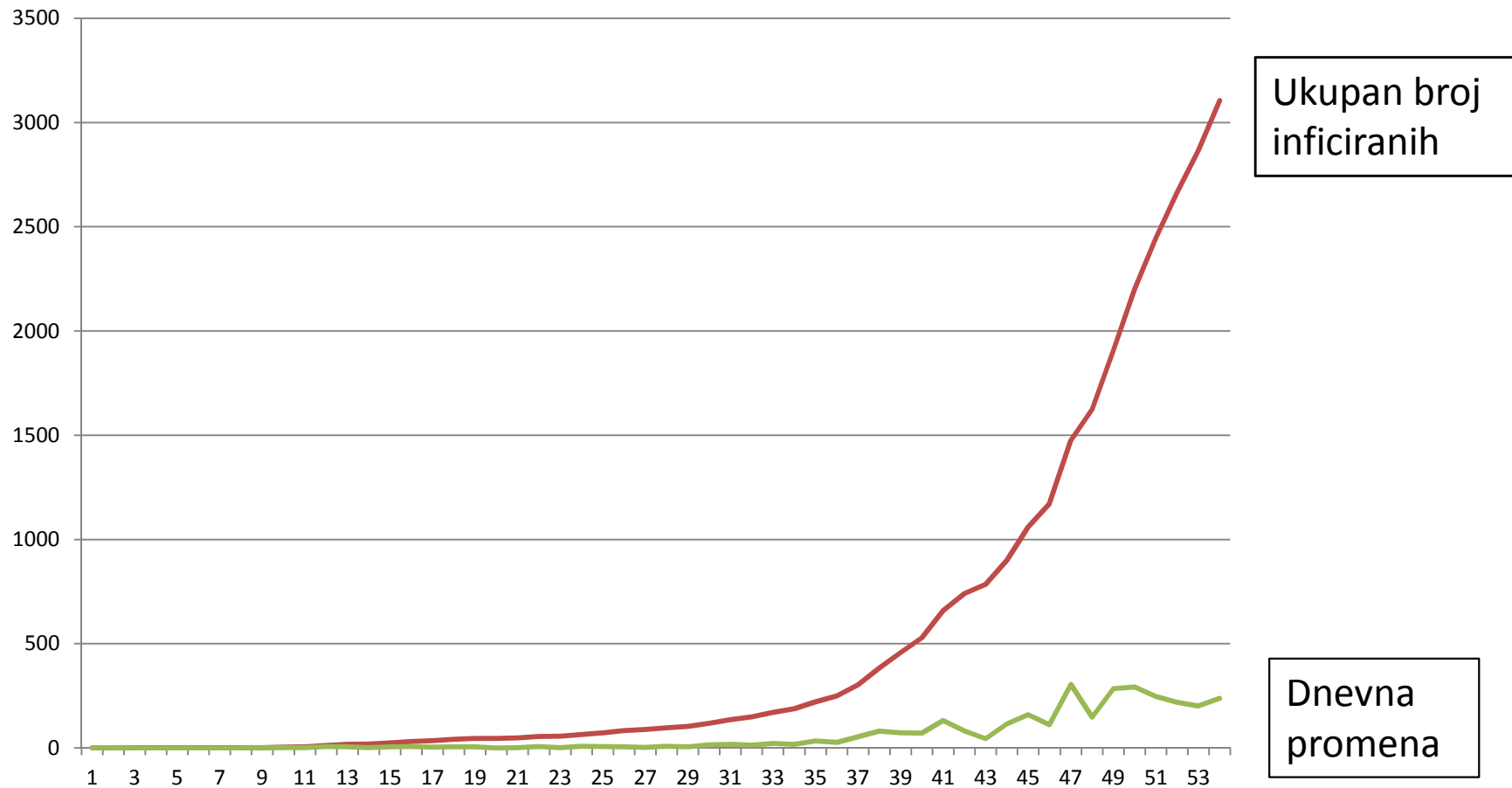
r – stopa rasta

K – maksimalna vrednost P

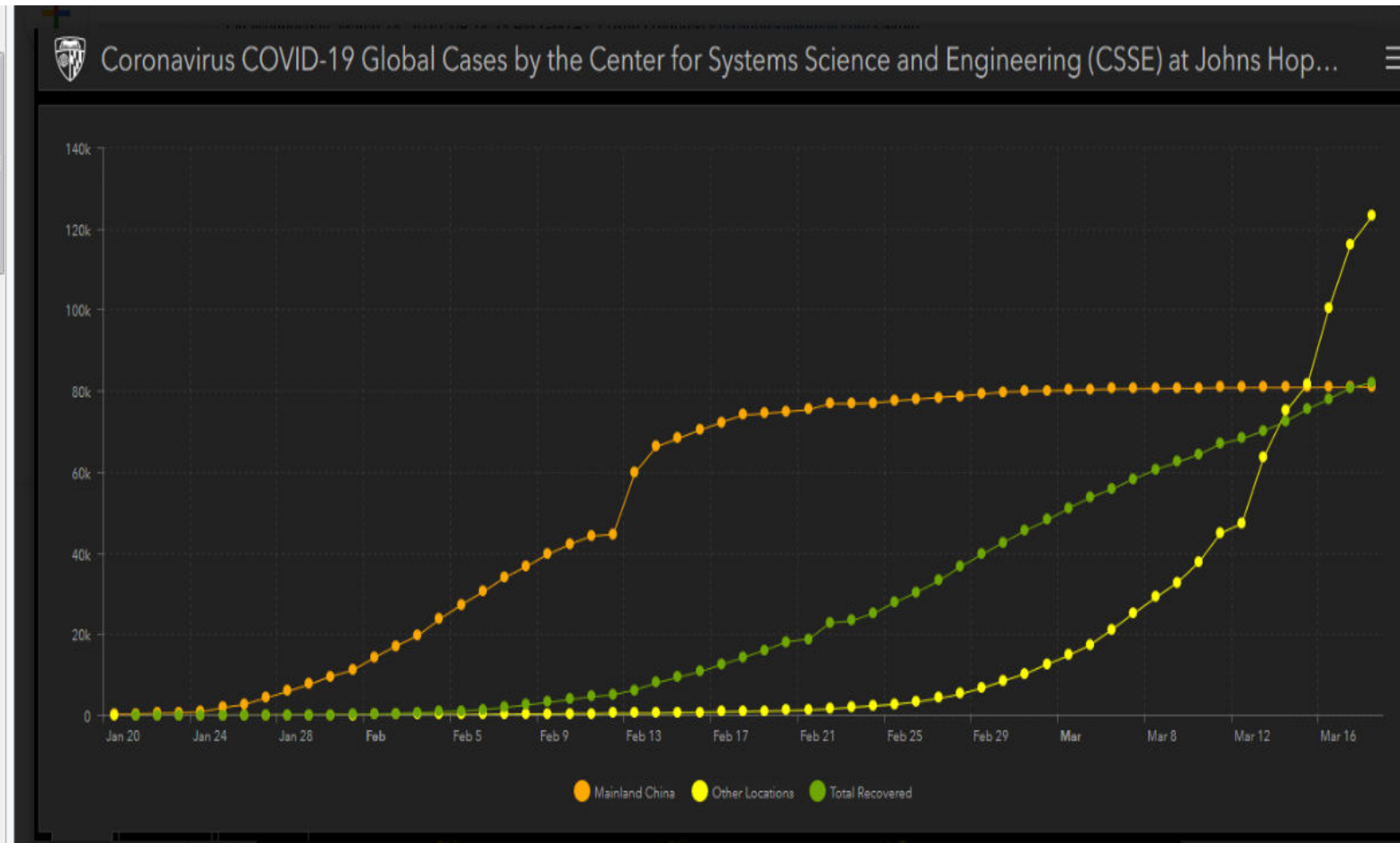
S – kriva (a = 1)



Logistička funkcija (2)



Logistička funkcija (3)

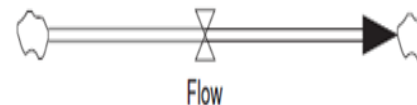


SISTEMSKA DINAMIKA (SYSTEM DYNAMICS)

- Koncept je uspostavljen sredinom pedesetih godina dvadesetog veka za analizu i projektovanje složenih sistema i procesa (J. W. Forrester).
- Primenjuje u oblastima ekologije, tehnologije, ekonomije, sociologije, demografije, **medicine**, bezbednosti itd.
- Aplikativno, definiše se kao kompjuterska i numerička simulacija kontinualnih, nelinearnih sistema i procesa sa povratnom spregom.

SISTEMSKA DINAMIKA (2)

- **Matematički model** sistema ili procesa
- **Stock** (skladište) varijable prikazuju stanje sistema ili procesa u toku vremena
- **Flow** (tok) varijable predstavljaju brzinu promene *stock* varijabli
- **Feedback** (*povratna sprega*) – pozitivna i negativna



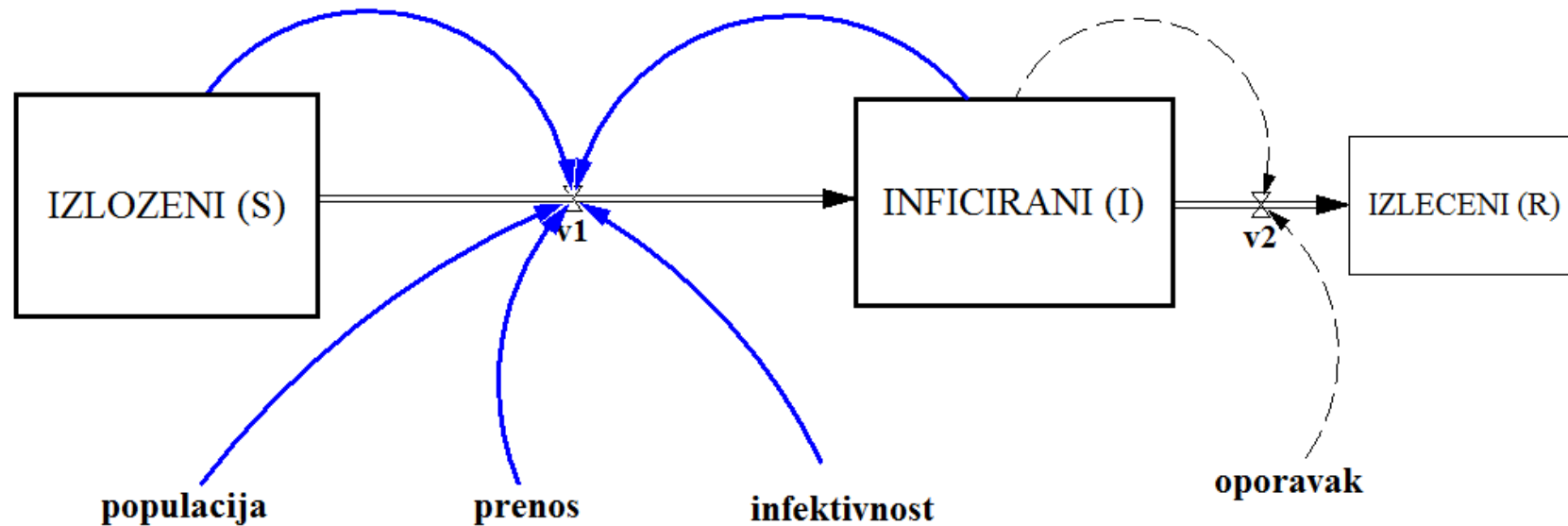
SI (*Suspected – Infected*) model epidemije

- $dS/dt = -vSI$
- $dI/dt = vSI$
- gde je v – brzina prenosa infekcije:
- $v = \text{prenos} * \text{infektivnost} / \text{ukupna_populacija}$

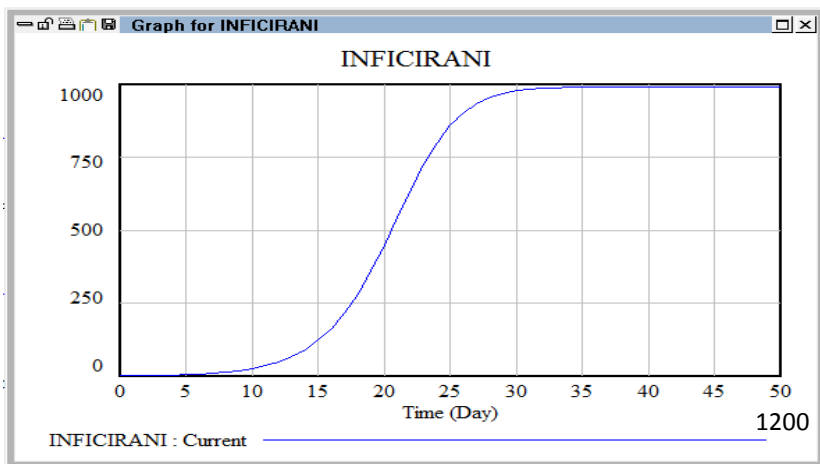
prenos infekcije (broj osoba koje su kontaktirane od strane jedne inficirane osobe u toku jednog dana, procenjeno na 2-10), (Kina – 5.7, SZO – 3).

infektivnost (verovatnoća da će osoba biti inficirana posle kontakta sa inficiranom osobom, u opsegu 0-1)

SI (*Suspected – Infected*) model (2)

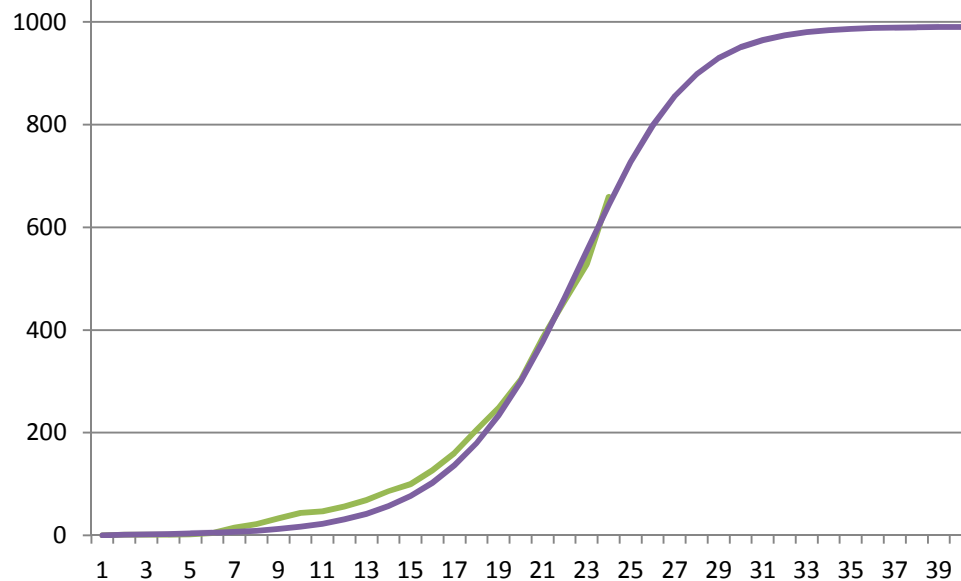


SI (*Suspected – Infected*) model (3)



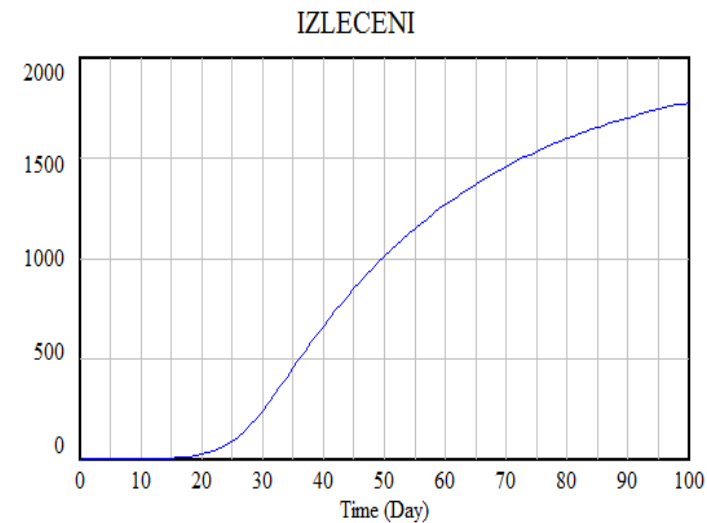
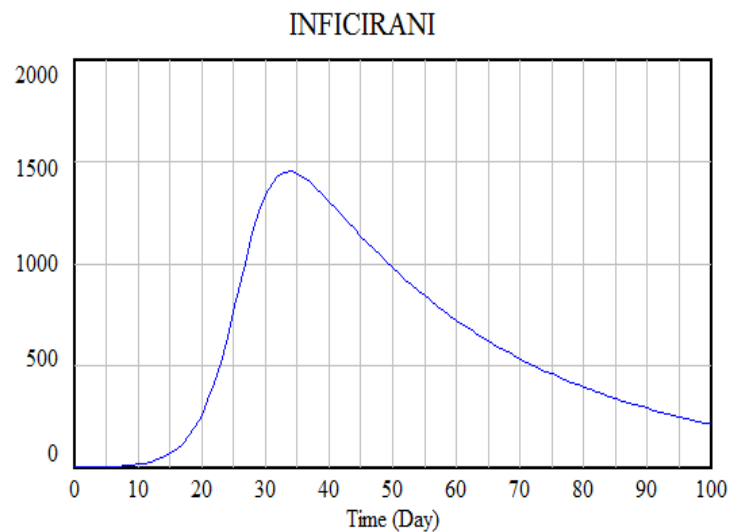
Teorijski odziv modela

Prikaz realnih podataka
i podataka iz modela za
prva 23 dana epidemije



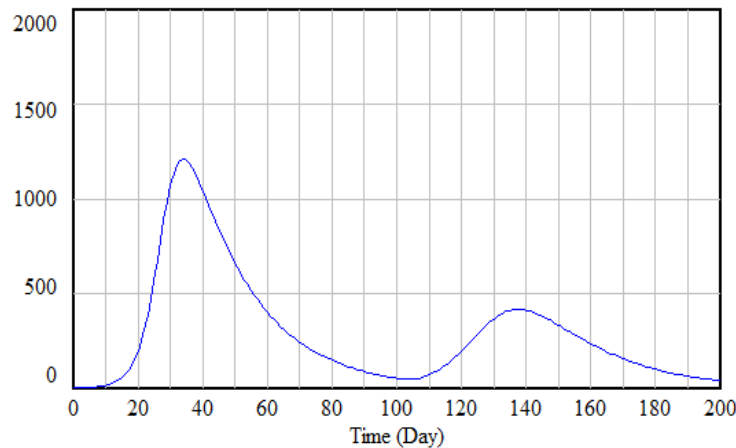
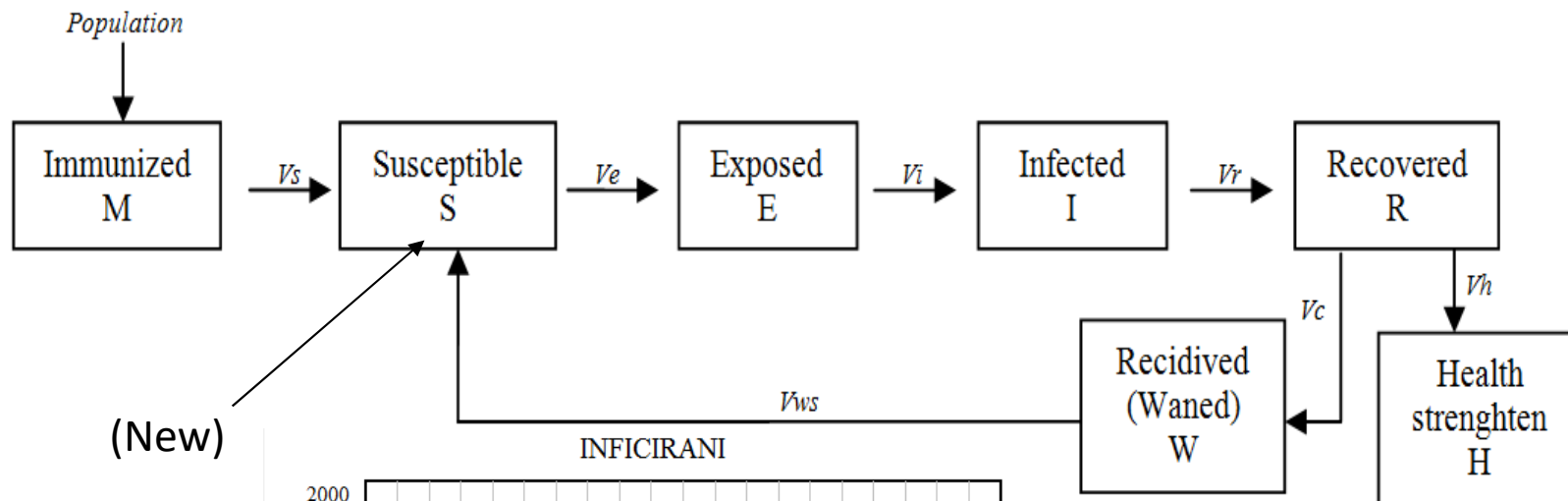
SIR (*Suspected – Infected – Recovered*) model

- $dS/dt = -vSI$
- $dI/dt = vSI - aI$
- $dR/dt = aI$
- gde a – predstavlja trend porasta broja izlečenih

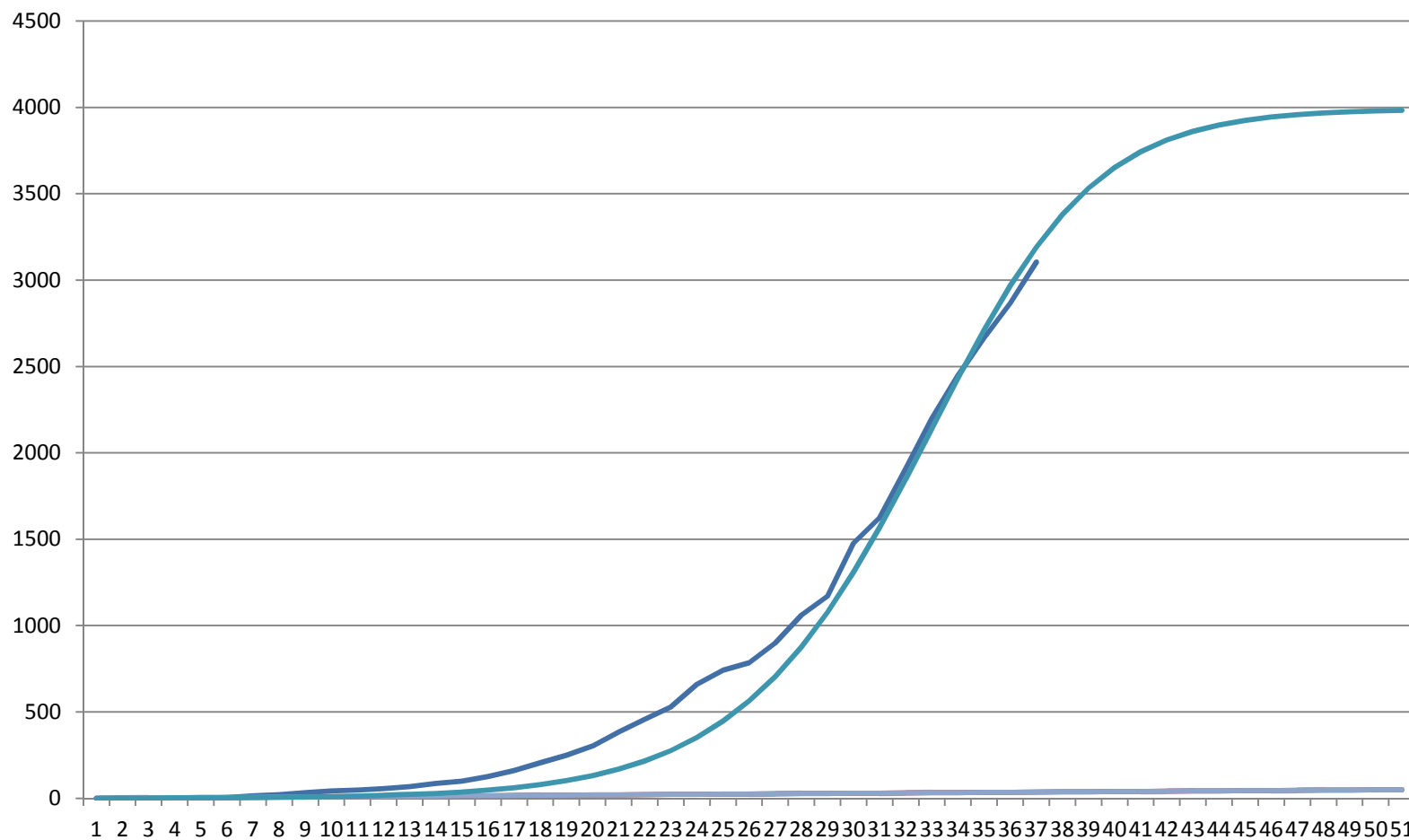


MSEIRS model

[*Maternally derived immunity – Susceptible – Exposed – Infected - Recovered - Waned (low immunity) - Susceptible*].



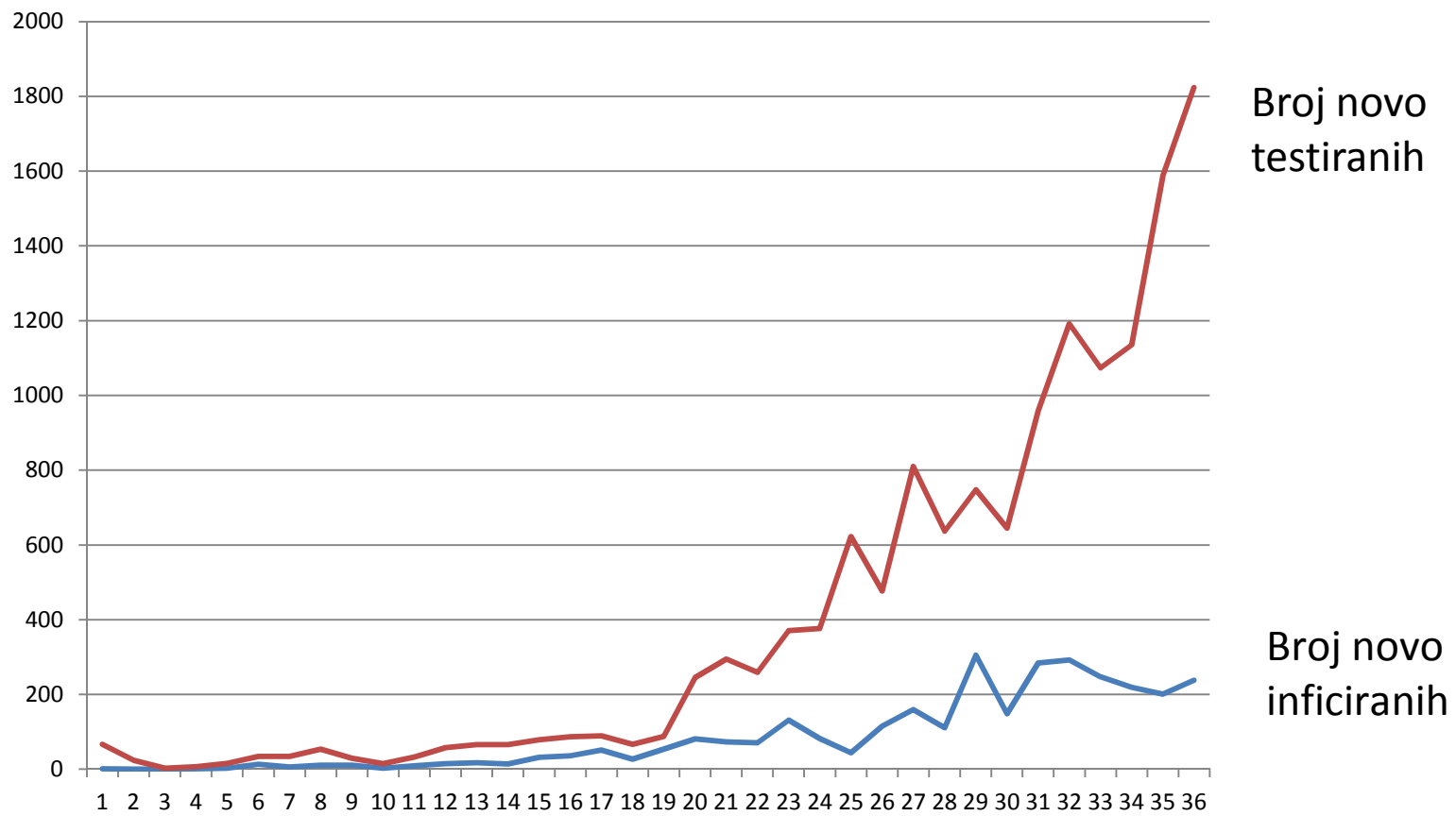
PRIKAZ REALNIH PODATAKA I PODATAKA IZ MODELA POSLE 36 DANA



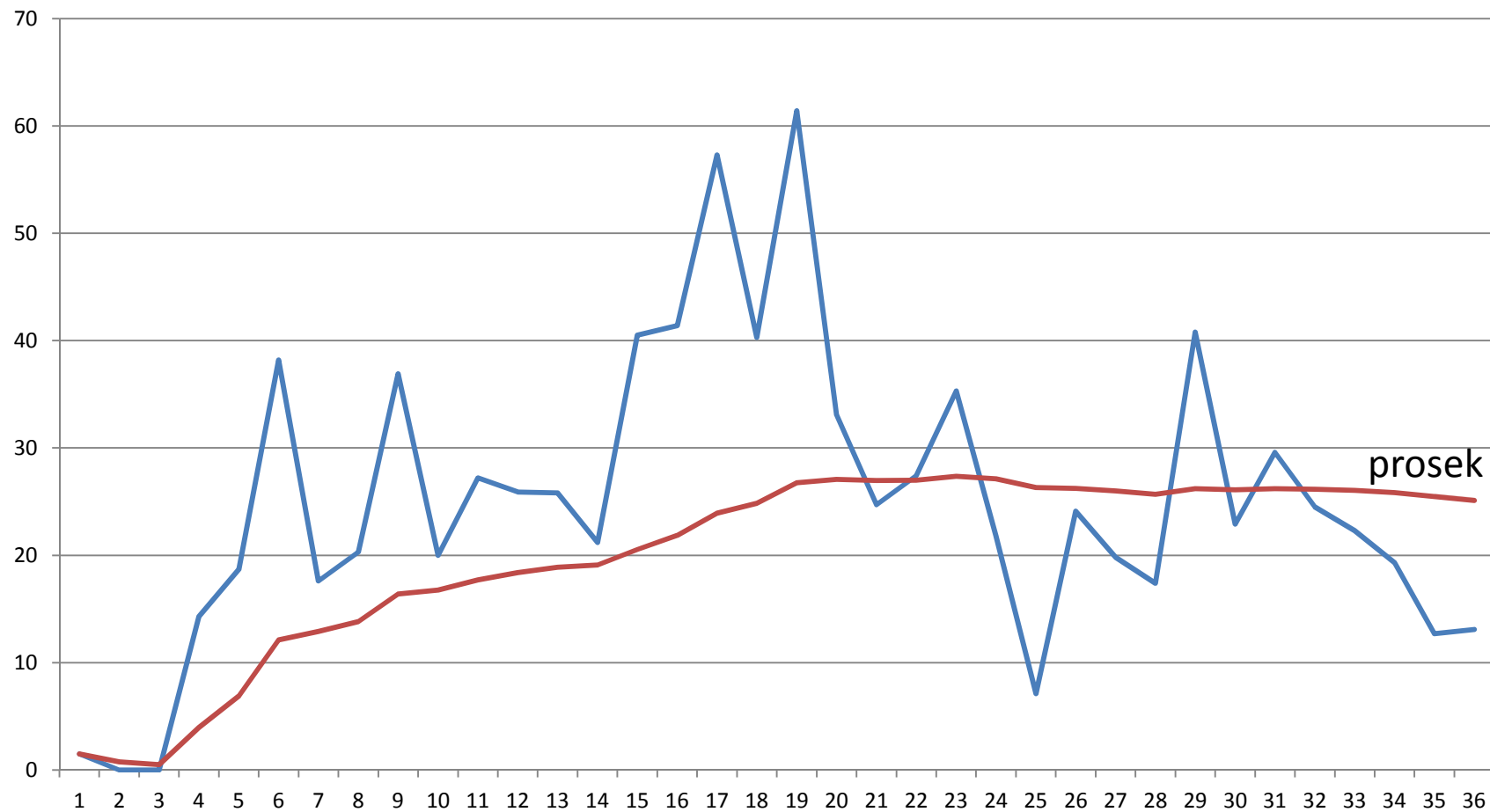
ZAKLJUČAK

- Validnost ovih i sličnih modela, u odnosu na realnu situaciju, u velikoj meri zavisi od **dostupnosti** - *pravovremenosti* i **validnosti** - *pouzdanosti* ulaznih podataka u modele.
- U izvesnoj meri ovi modeli mogu se koristiti za donošenje odluka, kao i za prognozu razvoja procesa epidemije u toku vremena.

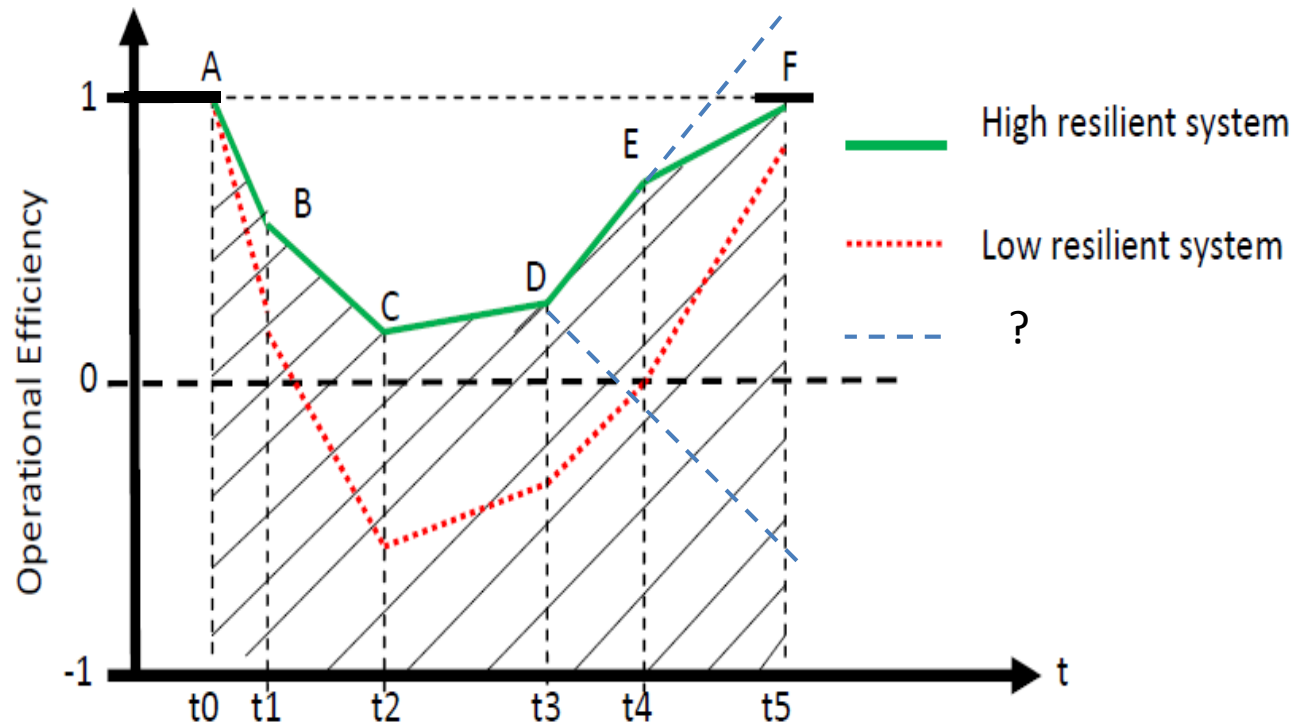
TRENDOVI



% (novi inficirani/novo testirani)



ŠTA ĆE BITI POSLE?



Resilience Evaluation Curve

t0 – accident start,
t5 - end of the system's response to accident

A-B *Predictive resilience phase*

B-C *Absorptive resilience phase*

C-D *Adaptive resilience phase*

D-E-F *Restorative resilience phase*

P0 (t0-A-F-t5-t0) – *ideal resilient system*

P1 (t0-A-B-C-D-E-F-t5-t0) – *real resilient system*

Resilience measure (ratio of the polygons surface area) $R = P1/P0$

‘**Crni labud**’ - označava nepredvidive događaje na finansijskom tržištu koji imaju razorne efekte na to tržište – *Nikolas Taleb, 2001, 2007.*