

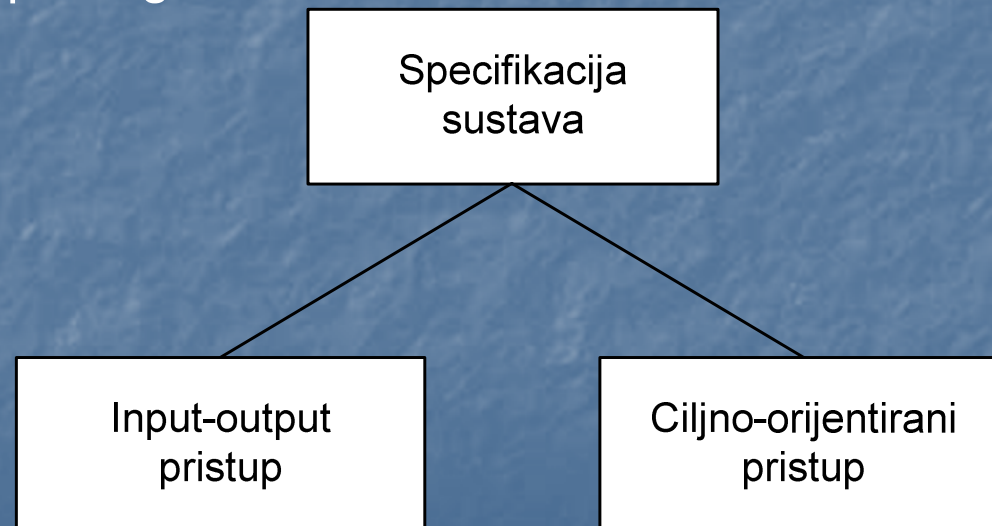
Prometno inženjerstvo

Predavanje 2.

2. Sustavsko modeliranje prometnog fenomena

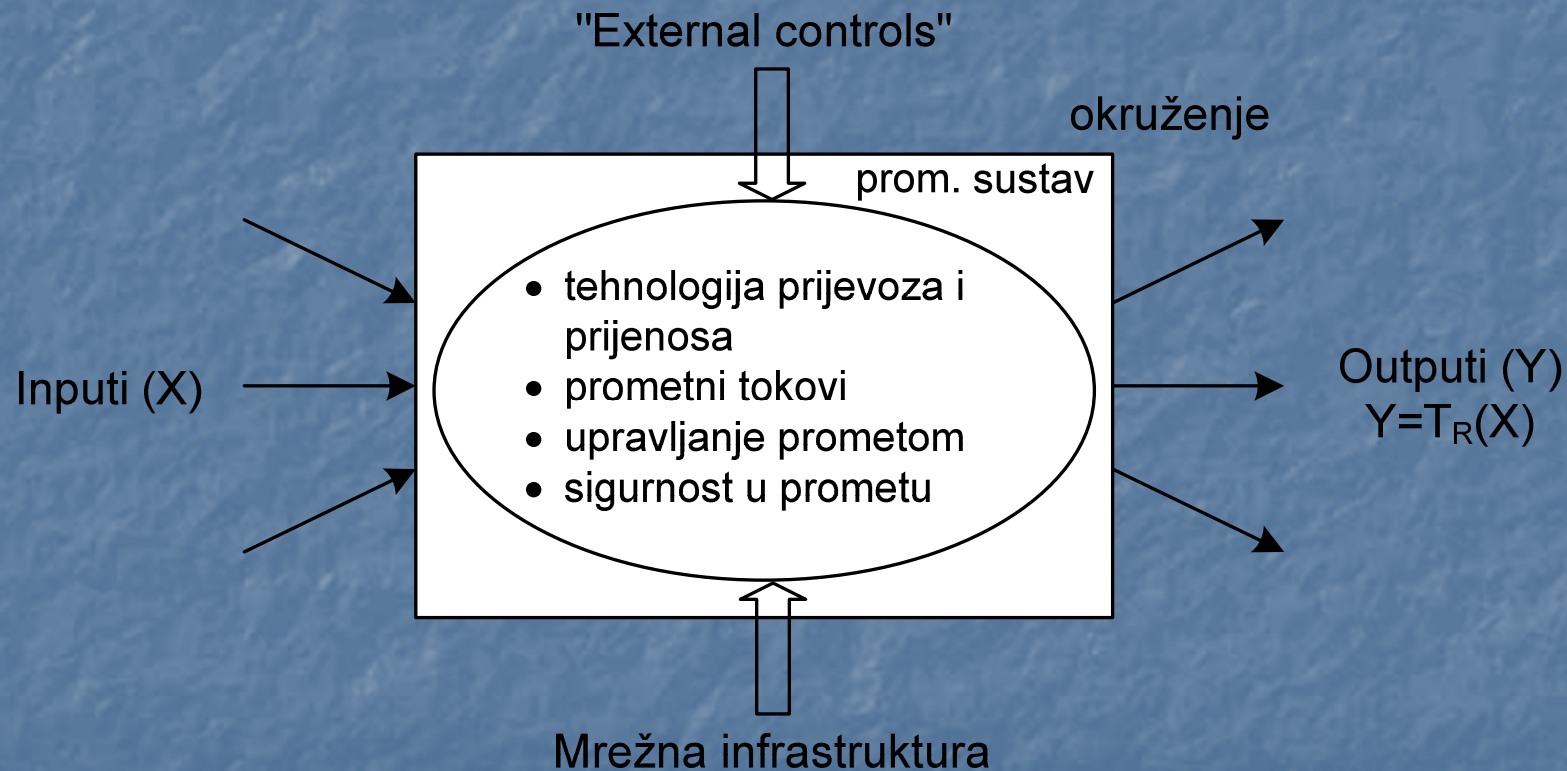
Sustavski pristup i metodologija

Definicija: Sustavski pristup predstavlja posebnu istraživačku koncepciju i način istraživanja pri čemu se izgrađuju apstraktni sustavi kojima se opisuju i rješavaju problemi u "realnim" sustavima koristeći poopćena sustavska znanja, metode i pomagala.



Slika 4. Osnovni pristupi specifikaciji sustava

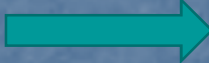
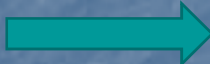
Tvrdnja: Prometni sustav može se identificirati i opisivati kao relativno izoliran dio svijeta (okruženja) koji obavlja određenu funkciju te ima svojstva unitarnosti i invarijantnosti koje se odnose na strukturu, ponašanje ili drugi fenomen na određenoj populaciji, prostoru i vremenu.



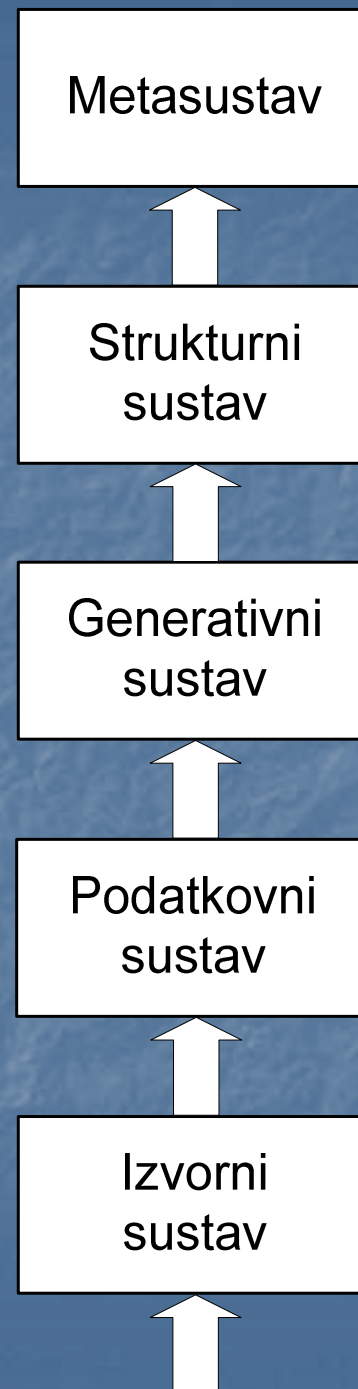
Slika 5. Input-output procesni model prometa

Opći predložak rješavanja problema

2 metodološka pristupa razvoju općih predložaka sustavskog rješavanja problema:

- **induktivni:** pojedinačne spoznaje  induktivno zaključivanje (promatranje, brojenje, mjerenje, itd.); generaliziranjem se dolazi do općih spoznaja i zaključaka;
- **deduktivni:** aksiomatski; opće postavke  konkretni pojedinačni zaključci; pr. Input-output sustav.

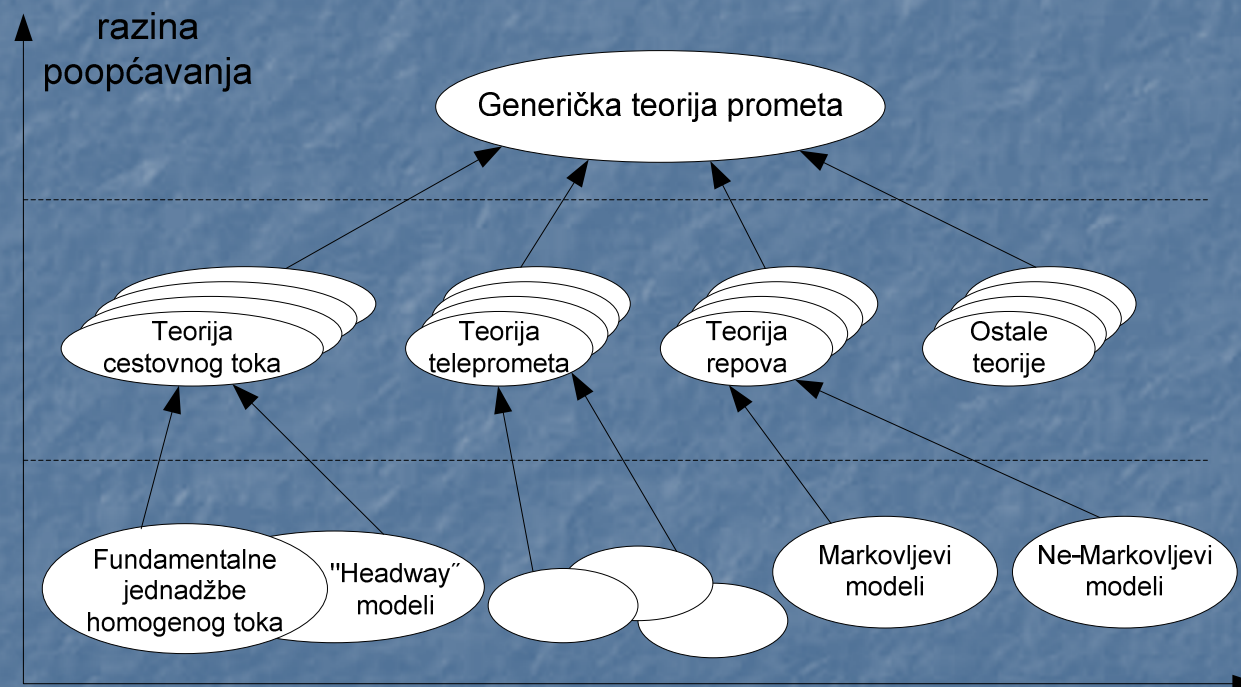
Slika 6. Epistemološka hijerarhija općih sustava



- **Izvorni sustav** (*source system*): skup varijabli, skup stanja; izvor relevantnih empirijskih podataka,
- **Podatkovni sustav**: podaci, aktualna stanja varijabli u prostoru i/ili vremenu,
- **Generativni sustav**: za generiranje stanja osnovnih varijabli na def prostoru, vremenu i populaciji; pr. Markovljevi lanci, diferencijalne jednačbe s konst. koeficijentima,
- **Strukturini sustav** (*structure system*): prikazuje se blok-dijagramima,
- **Metasustav**: razina koja nadilazi ili prekriva prethodne sustave.

Razvoj poopćene teorije prometa

- značajni rezultati i uporabljivi granski modeli razvijeni su za telekomunikacijski promet (teletraffic theory), željeznički, zračni i vodni promet te cjevovodni transport



Slika 7. Doprinosi razvoju generičke teorije prometa

Načela i metode sustavskog inženjerstva

- **Sustavsko inženjerstvo:** primjena znanja i vještina u kreiranju sustava kroz **fazni ciklus**
 - **težište je na glavnim fazama životnog ciklusa sustava**
- odmak u odnosu na tradicionalne (disciplinarne) pristupe i metode
- uspješnost sustavskog inženjerstva:

$$\eta_{SE} = \frac{E_{SE}}{E_{TE}}$$

E_{SE} – učinci sustavskog inženjerskog pristupa

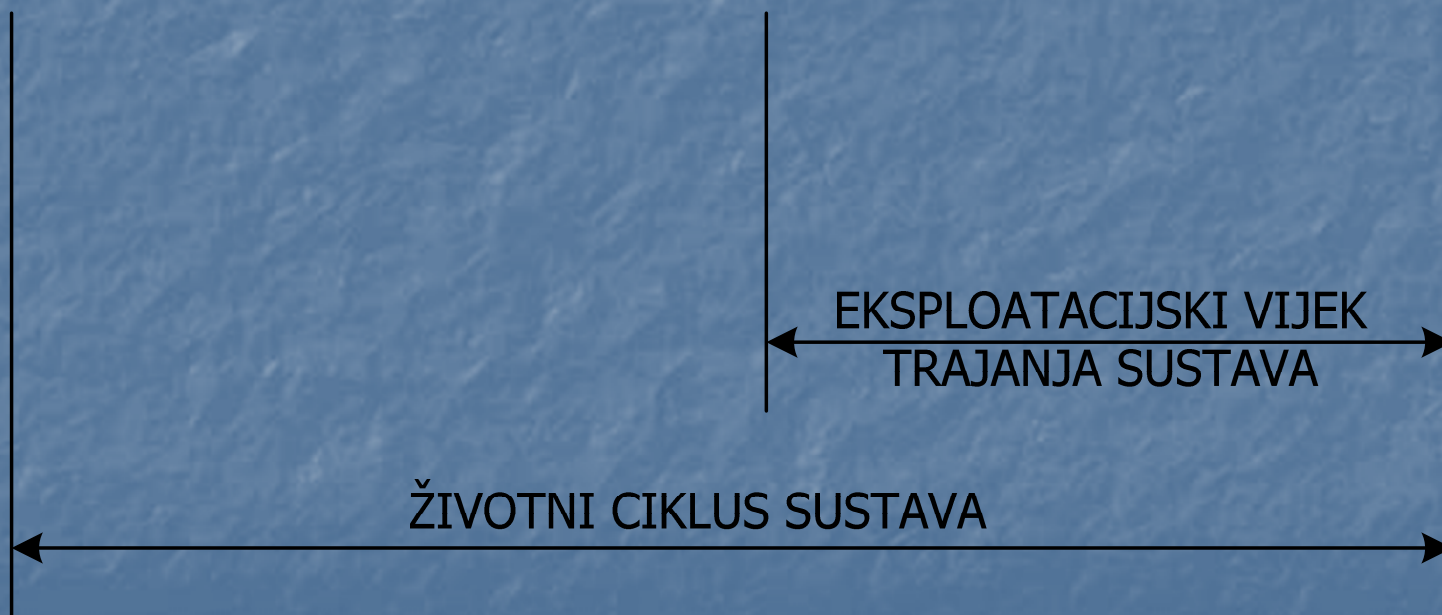
E_{TE} – učinci tradicionalnog pristupa

Životni ciklus sustava

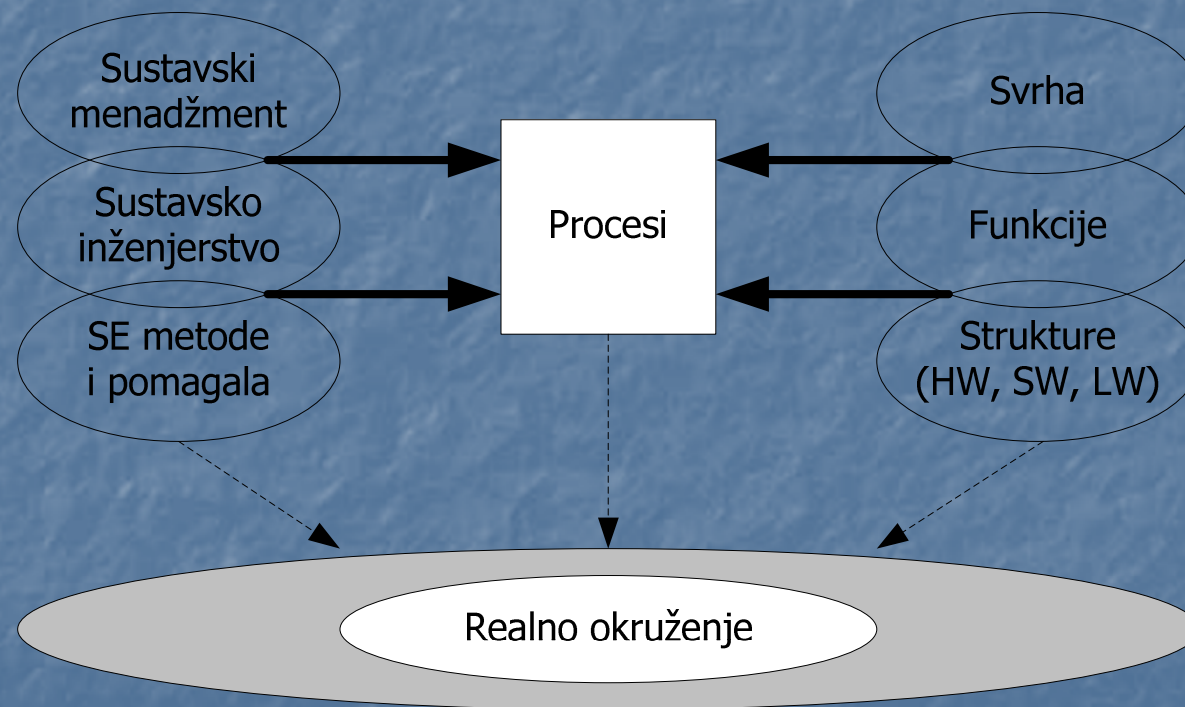
trenutak definiranja
potrebe za sustavom

trenutak puštanja u
operativni rad

trenutak dovršetka
razgradnje



- ▷ hijerarhijsko pozicioniranje i odnosi sustavskog inženjerstva sa sustavskim menadžmentom (Systems Management) te SE-metodama i pomagalicama (tools), prikazani su načelno na slici:



Slika 8. Hijerarhijsko pozicioniranje sustavskog inženjerstva i menadžmenta

Procesni modeli životnog ciklusa (*life cycle*) uključuju:

- ▷ planiranje i marketing
- ▷ istraživanje, razvoj i evaluaciju
- ▷ nabavku ili gradnju sustava
- ▷ uporabu i održavanje

Unutar svake faze životnog ciklusa postoje 3 temeljne aktivnosti rješavanja problema

- **3D koncept:**

- definiranje (*Definition*)

- identifikacija zahtjeva krajnjeg korisnika

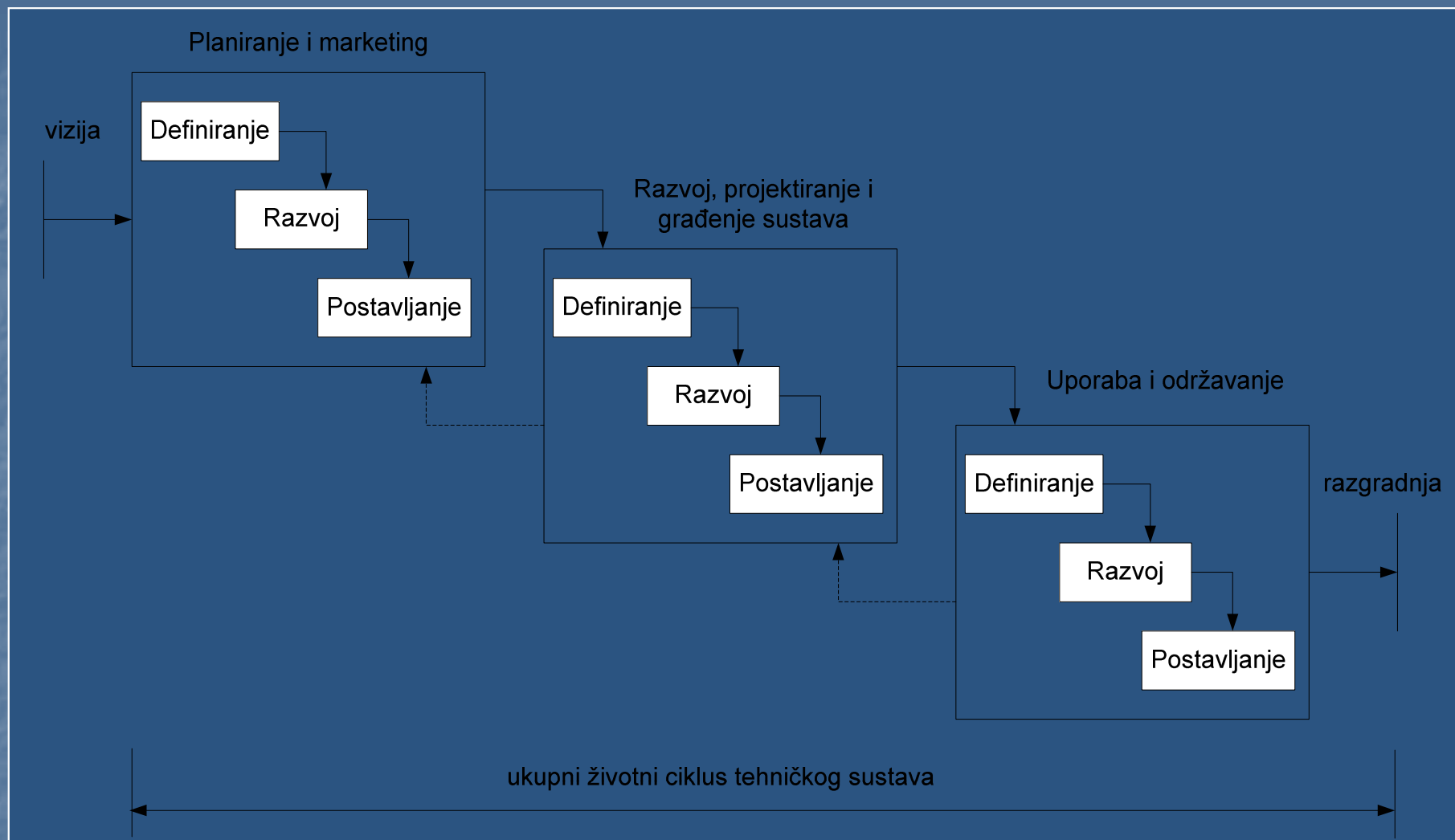
- razvoj rješenja (*Development*)

- razrada arhitekture sustava, specifikacija podsustava i komponenti, te njihov dizajn

- postavljanje rješenja (*Deployment*)

- puštanje sustava u rad, tehnička kontrola, obuka osoblja

- nakon završetka eksploatacijskog vijeka slijedi razgradnja sustava



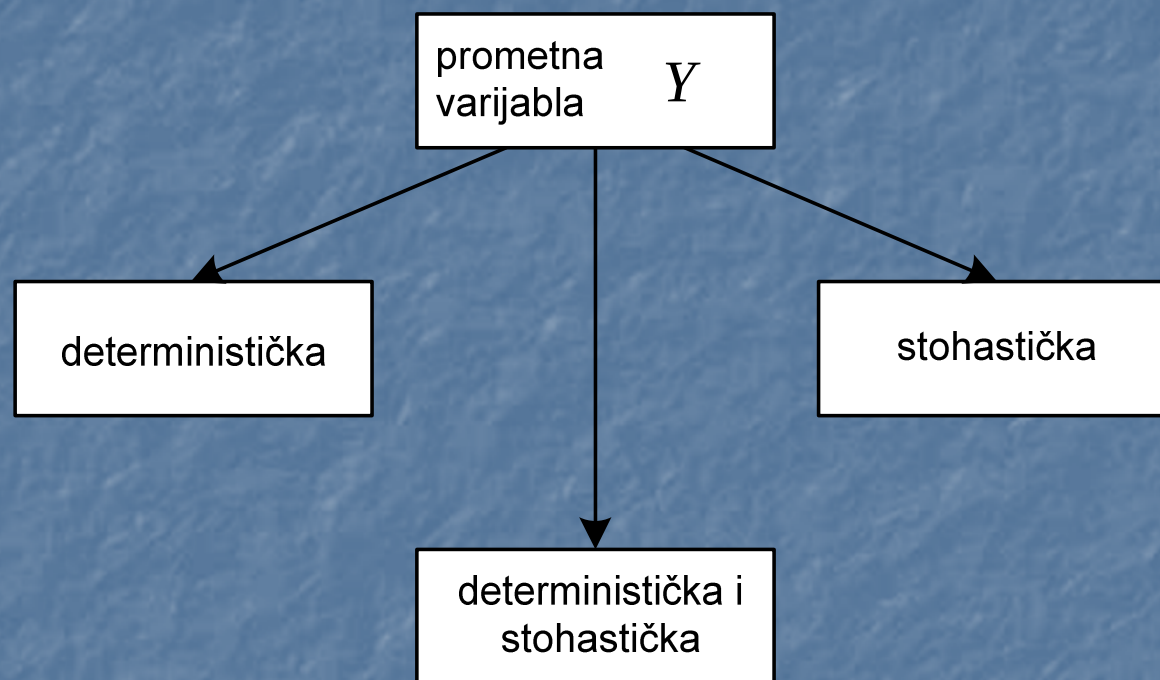
Slika 9. Faze ukupnoga životnog ciklusa tehničkog sustava

Sustavne analogije i izomorfije

Tablica 1. Analogije prometnog sustava i hidrodinamičkog sustava

Karakteristika sustava	Prometni sustav	Hidrodinamički sustav
Kontinuiranost	Prometni tok jednim trakom	Jednodimenzionalno strujanje stlačivog fluida
Diskretne jedinice	Vozila	Molekule
Varijable	Koncentracija k Brzina v	Gustoća ρ Brzina v
Jednadžbe: ▷ kontinuiteta ▷ stanja	Vrijeme t Udaljenost x $\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (k \cdot v)}{\partial x} = 0$ $\varphi = k \cdot v$	Vrijeme t Udaljenost x $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \cdot v)}{\partial x} = 0$ $P = c \cdot p \cdot T$
Parametri	Kritična brzina - $V_{\max}$ Tok jednak kapacitetu - $\varphi_{\max}$	Kritična brzina - V_c Kritični tok - Q_c

Determiniranost i/ili stohastičnost prometnih veličina



Slika 10. Determiniranost i/ili stohastičnost prometnih varijabli

Teorija slučajnih procesa

Slučajna varijabla: nepoznata, jedinstvena vrijednost.

Primjeri:

- Broj putnika u autobusu,
- Količina tereta koji se prekrca u jednom danu,
- Broj obavljenih platnih transakcija u banci u danu, itd.

Slučajni proces (*stochastic or random process*) je bilo koji niz sekvencija rezultata eksperimenata ili pojave koje su podložne vjerojatnosnoj analizi.

Teorija slučajnih procesa

Slučajni procesi ili funkcije označavaju se s $Y(t)$, $X(t)$, $Z(t)$ itd.

- Ako se prostor vrijednosti argumenta t označava sa T , tada je slučajna funkcija za kontinuirani slučaj

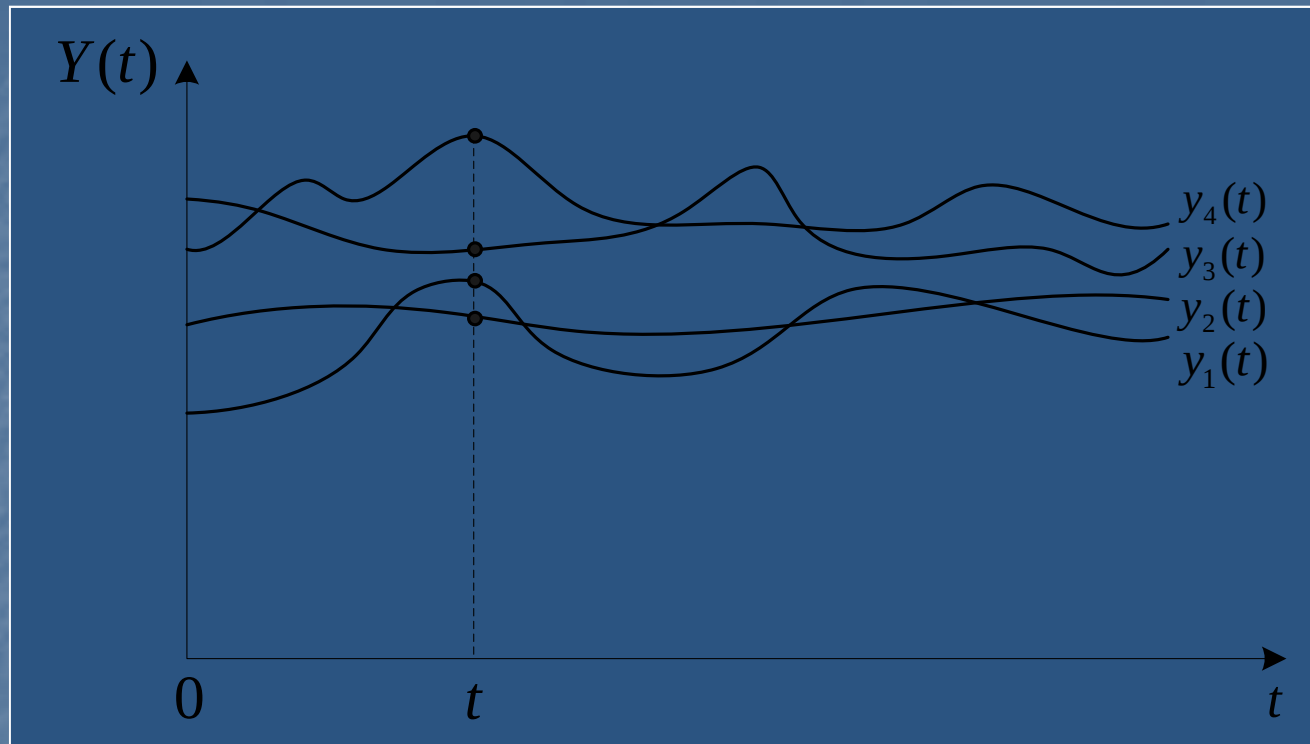
$$\{ Y(t), t \in T \}$$

te za diskretni slučaj

$$\{ Y_t, t \in T \}$$

Ako se fiksira vrijednost parametra t , dobiva se presjek slučajne funkcije t – vrijednost slučajne varijable $Y(t)$ u n eksperimenata.

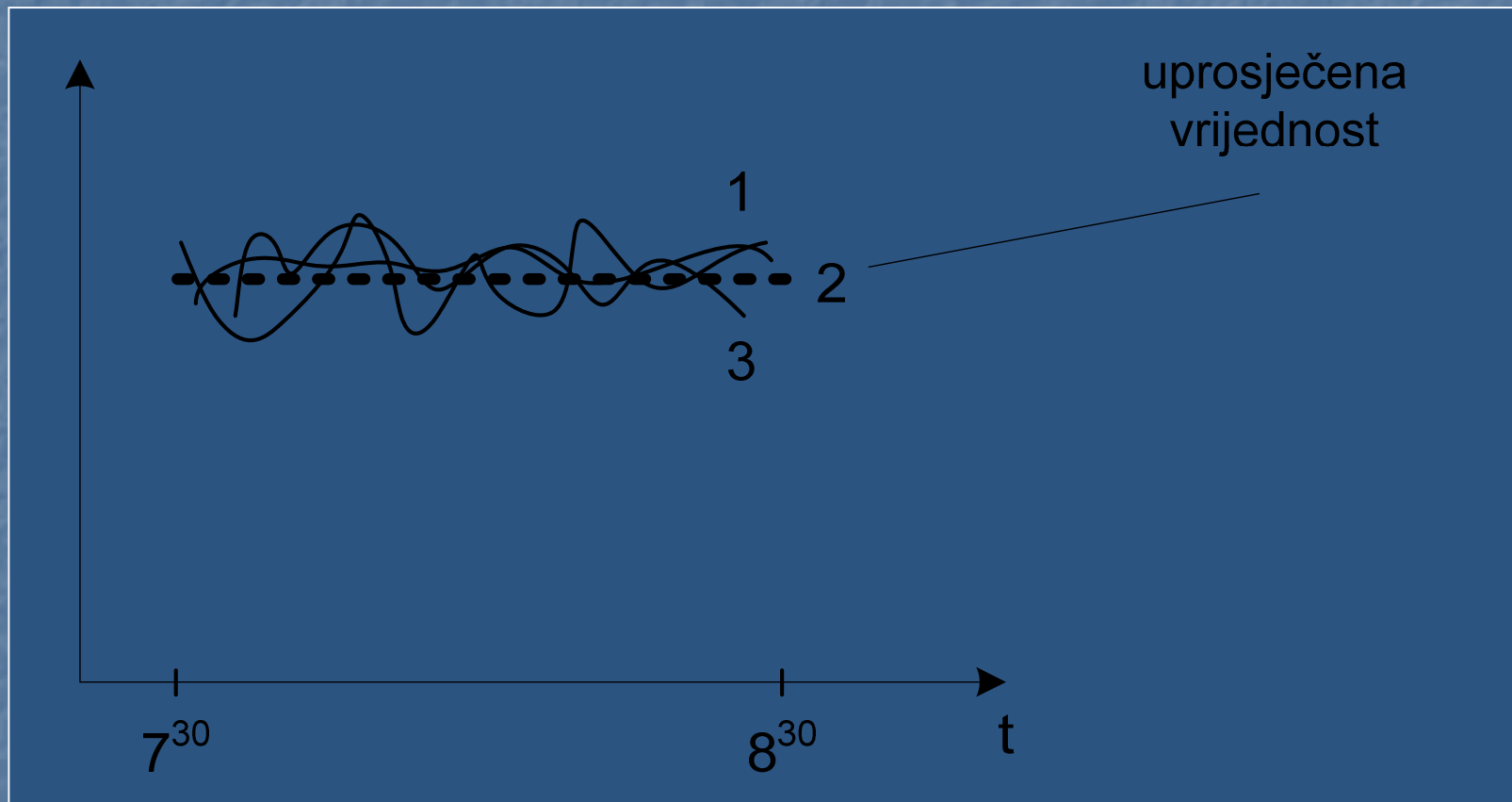
Ako se fiksira vrijednost argumenta t , slučajana funkcija postaje slučajna varijabla.



Slika 11. Primjer realizacije slučajnog procesa

- Npr.:
- ▷ kretanje (brzina) vozila na cesti
 - ▷ autobusna linija u 4 dana
 - ▷ intenzitet teleprometa u 4 GSM ćelije

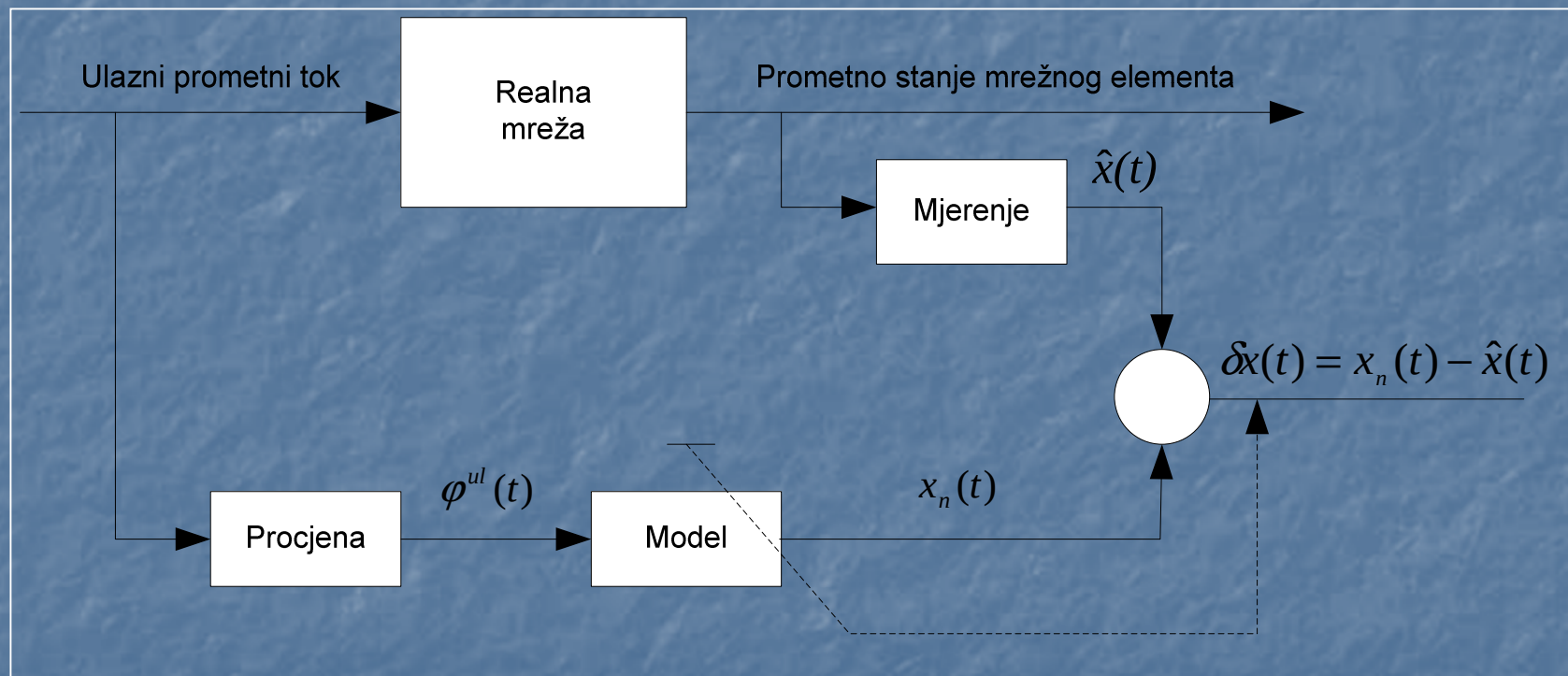
- ▷ snimanje prometa najopterećenijeg sata tijekom tri dana dat će različite vrijednosti i vremenske fluktuacije tijekom sata



Slika 12. Slučajne satne fluktuacije prometa tijekom vršnog sata

Empirijska verifikacija prometnog modela (osnovni predložak)

- svaki dolazak entiteta u mrežni element (čvor, link) i odlazak iz njega mijenja stanje tog sustava, što se mjeri i uspoređuje s procjenom modela



Slika 13. Predložak verifikacije prometnog modela