

Vježba D-10: DINAMIČKO VLADANJE PROCESA

1. Svrha vježbe

Svrha ove računalne vježbe je upoznati statičke i dinamičke karakteristike procesa te analizirati vladanje procesa u regulacijskom krugu. Tijekom vježbe određuju se parametri koji karakteriziraju vladanje procesa i analizira pojava nelinearnosti.

2. Teorijske osnove

2.2.1 Sustavna analiza procesa

Pri sustavnoj analizi procesa važno je razlučiti ulazne i izlazne varijable (veličine) i parametre procesa kako je to prikazano na slici 1:

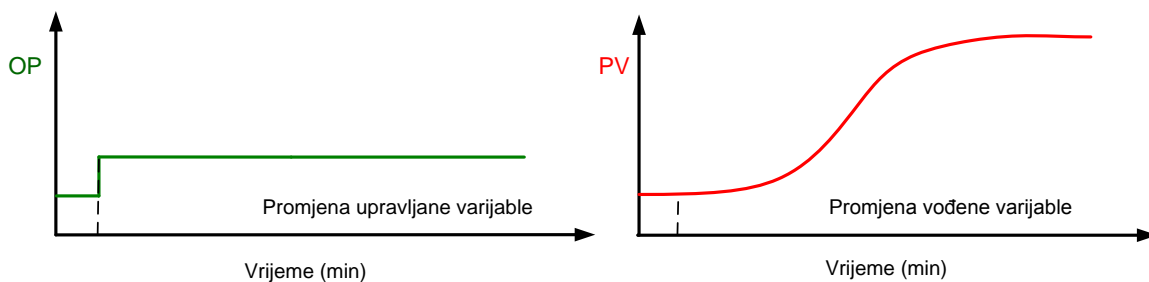
- **Ulazne varijable** su one varijable koje uzrokuju promjene akumulacije tvari i/ili energije u procesu. Ulazne varijable mogu biti *poremećaji* i *upravljive* varijable. Na poremećaje u pravilu ne možemo utjecati, dok pomoću upravljivih varijabli održavamo proces u željenom stanju.
- **Izlazne varijable** karakteriziraju vladanje procesa ili sustava koje se očituje kao promjena akumulacije tvari i/ili energije. Prema tome, izlazne varijable, govore o stanju procesa (npr. temperatura odražava toplinsku akumulaciju, razina u spremniku ukupnu količinu tvari itd.). Ako se reguliraju, ove varijable se nazivaju **vođene varijable**.
- **Parametri (β)** definiraju tvari i strukturu procesa, a obično se mogu svrstati u dvije skupine:
 β_1 – parametri svojstveni motrenoj tvari (fizikalno-kemijska svojstva);
 β_2 – parametri svojstveni procesnom uređaju (npr. geometrijske izmjere).



Slika 1 Sustavni prikaz procesa

2.2.2 Analiza vladanja procesa

Za analizu procesa i rada regulacijskog kruga ključno je poznavati dinamičko vladanje procesa. Najbolji način za analizu dinamičkog vladanja procesa je provesti ispitivanje u kojem izvodimo skokomičnu promjenu (engl. *step test*) upravljane varijable (obično se radi o promjeni otvorenosti regulacijskog ventila) kao što je prikazano na slici 2. Nakon promjene izlaza iz regulatora (*OP*) prati se odziv vođene varijable (*PV*). Ovim pokusom određuje se statičke i dinamičke karakteristike procesa te red procesa.



Slika 2 Odziv vođene varijable (*PV*) na promjenu upravljane varijable (*OP*)

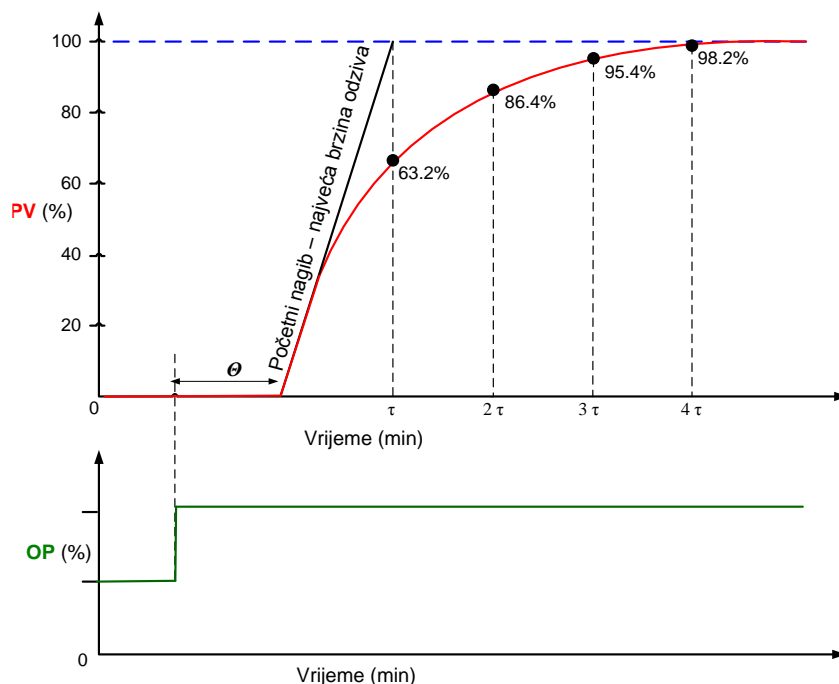
Proces prvog reda je proces kod kojeg se nakon skokomične promjene upravljane varijable (*OP*) izlazna/vođena varijabla (*PV*) stabilizira na novoj vrijednosti. Vladanje ovog procesa karakteriziraju slijedeći parametri:

- **mrtvo vrijeme** (Θ) - vrijeme potrebno da započne promjena *PV*-a nakon promjene *OP*-a
- **statička osjetljivost procesa** (K) – govori o statičkom odnosu između izlazne i ulazne varijable, a definirana je s:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{\Delta PV}{\Delta OP}$$

- **vremenska konstanta** (τ) - vrijeme potrebno da vođena varijabla dostigne 63,2 % konačnog odziva nakon skokomične promjene ulazne varijable, slika 3.

Proces drugog reda također se nakon skokomične promjene stabilizira na novoj vrijednosti. Dolazak do nove vrijednosti može biti s oscilacijama (nepriгуšeni procesi) ili monoton (priгуšeni procesi) što ovisi o **koeficijentu priгуšenja** (ζ). Proces definiraju **statička osjetljivost procesa** (K) i dvije **vremenske konstante** (τ_1 i τ_2). Tipični primjeri ovakvih procesa su veliki reaktori i kolone u kojima se temperatura i svojstva proizvoda mijenjaju veoma sporo.

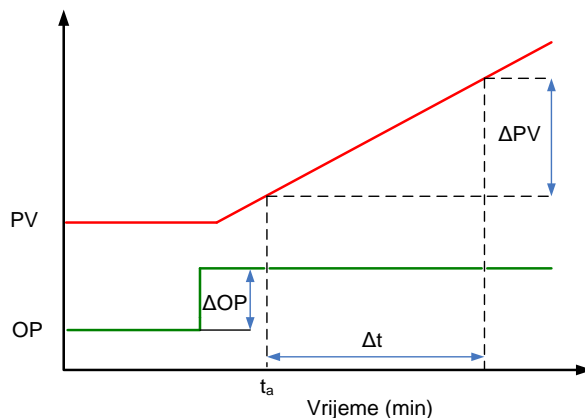


Slika 3 Odziv procesa prvog reda

Integrirajući proces karakterizira kontinuirana promjena PV -a nakon skokomične promjene OP -a. To znači da se proces ne stabilizira nakon promjene OP -a. Tipičan primjer ovakvog procesa je razina u spremniku kapljevine. Odziv ovog procesa karakterizira **integracijska brzina**:

$$r_{int} = \text{nagib} = \frac{PV \text{ prirast}}{OP \text{ promjena}} = \frac{\frac{\Delta PV}{\Delta t}}{\Delta OP}$$

Integracijska brzina, prema tome, predstavlja omjer promjene vođene varijable u vremenu podijeljen promjenom upravljane varijable, slika 4.

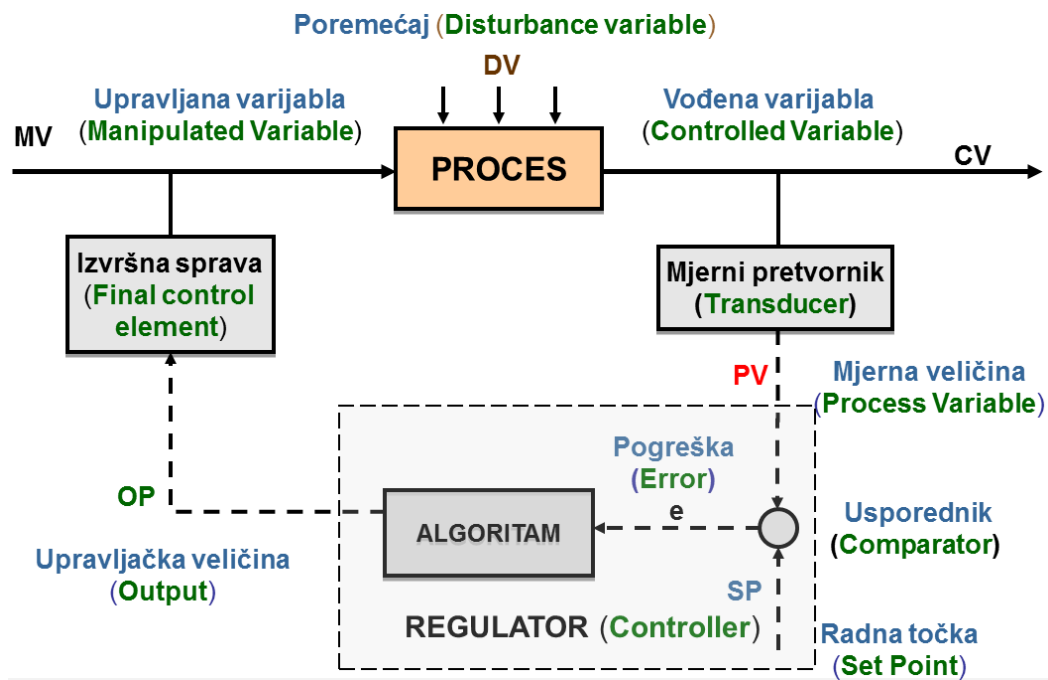


Slika 4 Integrirajući proces

2.2.3. Proces u regulacijskom krugu

Slika 5 prikazuje proces u regulacijskom krugu. Mjerni pretvornik pretvara vođenu varijablu (*CV - controlled variable*) u mjerni signal (*PV - process variable*). U usporedniku se vođena varijabla uspoređuje sa željenom (*SP - setpoint*) i proračunava se iznos pogreške (*e*) koji predstavlja ulaz regulator. Regulator proračunava upravljačko djelovanje koje se kao izlazni signal (*OP - output*) šalje prema izvršnom elementu (obično regulacijski ventil) i na taj način mijenja upravljana varijabla (*MV – manipulated variable*) i time utječe na stanje u procesu.

Regulator je, prema tome, računaska jedinica koja na temelju *signala pogreške (e)* računa potrebnu promjenu upravljane varijable.



Slika 5 Elementi regulacijskog kruga

OPIS VJEŽBE

Računalni simulacijski program služi za analizu dinamičkog vladanja realnih industrijskih procesa. Tijekom ove vježbe analiziraju se:

- protok pare u izmjenjivaču topline;
- temperature u reaktoru;
- razina u spremniku.

Ispitivanje se provodi promjenom upravljane varijable različitih veličina u pozitivnom i negativnom smjeru.

POKUSI

- Odrediti statičke i dinamičke karakteristike izmjenjivača topline pri promjeni protoka pare.
- Odrediti statičke i dinamičke karakteristike pri promjeni temperature u reaktoru.
- Odrediti karakteristike odziva razine kapljevine u spremniku.
- Analizirati i usporediti dinamičko vladanje procesa.

OBRADA REZULTATA I IZVJEŠTAJ

- Datoteku s podacima učitati u tablični kalkulator (npr. *Excel* ili *Matlab*).
- Za svaki proces navesti izlazne i ulazne varijable.
- Prikazati rezultate grafički i procijeniti red procesa, statičke i dinamičke parametre.
- Usporediti dinamičko vladanje analiziranih procesa.

LITERATURA

1. N. Bolf, *Uvodno predavanje*, predavanja iz kolegija: *Mjerenja i vođenje procesa*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
2. N. Bolf, *Analiza dinamike procesa*, predavanja iz kolegija: *Mjerenja i vođenje procesa*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
3. SIMCET, *User manual*, PiControl Solutions LLC, 2015.