

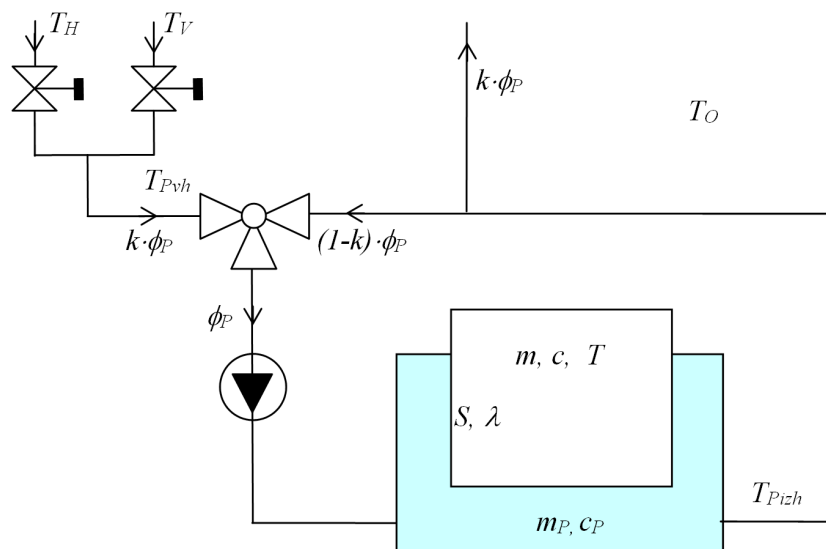
# Industrijski krmilni in regulacijski sistemi

## Laboratorijska vaja D

### Vodenje temperature v jedru reaktorja z upoštevanjem omejitev

#### Matematično modeliranje šaržnega procesa

Šaržni reaktor, ki ga bomo obravnavali, prikazuje slika 1. Njegovo delovanje bomo opisali s pomočjo matematičnega modela.



Slika 1: Shematičen prikaz šaržnega reaktorja

V reaktorju se mešajo sestavine, ki se segrevajo po določenem temperaturnem profilu, podanim z referenčnim receptom, in reagirajo v končni produkt. Reaktor ogrevamo oz. hladimo preko plašča, po katerem se pretaka voda, ki je ali hladna (s temperaturo  $T_H$ ) ali vroča (s temperaturo  $T_V$ ). Na temperaturo vode na vходу plašča lahko vplivamo z dvema on/off ventiloma za dotok hladne oz. vroče vode in preko mešalnega ventila, ki meša vhodno vodo in povratno vodo iz plašča (refluks).

Namen vodenja je, da temperatura snovi v reaktorju sledi želeni temperaturi podani z receptom. To zagotovimo z algoritmom vodenja, ki vpliva na naslednje izvršne člene procesa: on/off ventila za dotok hladne oz. tople vode in mešalni ventil. Pri tem moramo zagotoviti, da temperatura plašča  $T_{Pizh}$  ne preseže določene zgornje meje ( $T_{Pmax}$ ). Matematični model dobimo iz fizikalnih zakonitosti procesa. Glede na zakon o ohranitvi energije v plašču lahko zapišemo

$$m_P c_P \frac{dT_{Pizh}}{dt} = k \Phi_P c_P T_{Pvh} + (1-k) \Phi_P c_P T_{Pizh} - \Phi_P c_P T_{Pizh} - \lambda S (T_{Pizh} - T) - \lambda_O S_O (T_{Pizh} - T_O)$$

za kotel pa velja

$$mc \frac{dT}{dt} = \lambda S (T_{Pizh} - T)$$

kjer uporabljeni simboli predstavljajo:

$m_P$	masa snovi v plašču,
$m$	masa snovi v kotlu,
$c_P$	specifična toplota snovi v plašču,
$c$	specifična toplota snovi v kotlu,
$T_{Pizh}$	izhodna temperatura plašča,
$T$	temperatura snovi v kotlu,
$k$	faktor odprtja mešalnega ventila (od 0 do 1),
$\Phi_P$	masni pretok tekočine skozi plašč,
$T_{Pvh}$	temperatura vhodne tekočine v mešalni ventil, ki je lahko ali $T_H$ ali $T_V$ ,
$T_H$	temperatura hladne vode,
$T_V$	temperatura vroče vode,
$\lambda$	toplotna prevodnost spoja med plaščem in kotlom,
$S$	skupna površina spoja med plaščem in kotlom,
$\lambda_O$	toplotna prevodnost spoja med plaščem in okolico,
$S_O$	skupna površina spoja med plaščem in okolico,
$T_O$	temperatura okolice.

V primeru 600-litrskega kotla ima obravnavani model naslednje parametre:

$$m = 600 \text{ kg}, \quad m_P = 40 \text{ kg}, \quad S = S_O = 2 \text{ m}^2, \quad \lambda = 420 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}, \quad \lambda_O = 84 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}},$$
$$\Phi_P = 1,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \quad c = c_P = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}, \quad T_H = 12^\circ\text{C}, \quad T_V = 75^\circ\text{C}, \quad T_O = 17^\circ\text{C}.$$

Gornji matematični model smo realizirali v okolju Matlab Simulink v bloku *Sarzni reaktor*, ki se nahaja v simulacijski shemi `sarzni_reaktor.slx`.

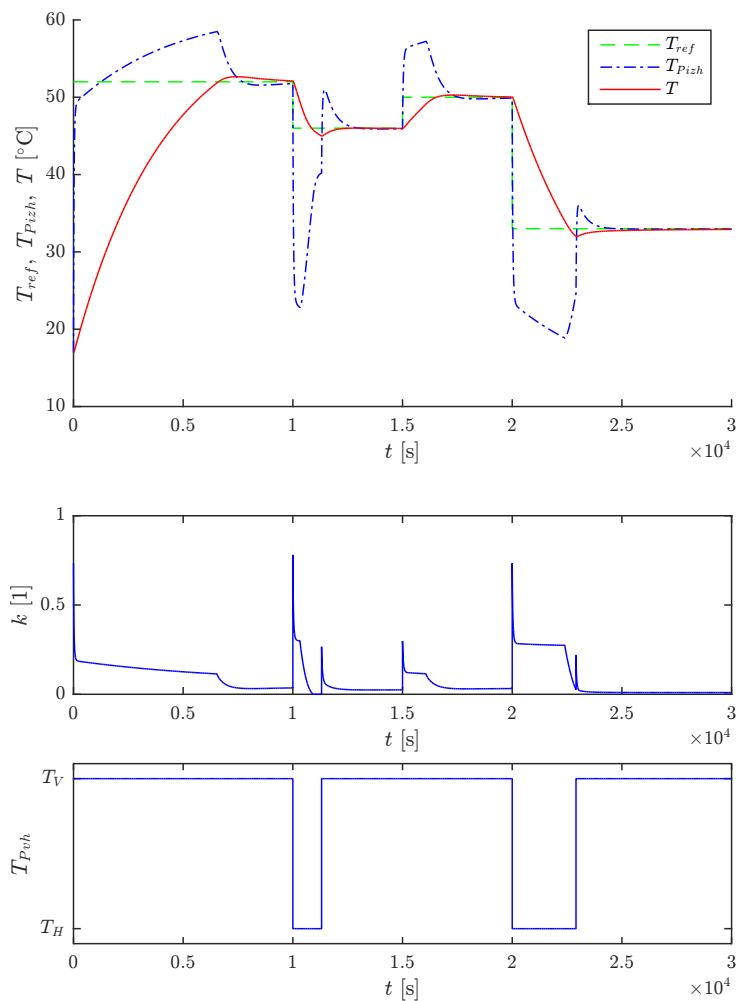
Temperatura plašča mora biti vedno znotraj območja med minimalno in maksimalno dovoljeno temperaturo plašča, ki sta:

$$T_{Pmin} = 10^\circ\text{C}, \quad T_{Pmax} = 60^\circ\text{C}.$$

**Zahteve pri vodenju** so naslednje:

- **hitri nastavitveni časi (izregulacija regulacijskega pogreška),**
- **majhni prenehaji temperature,**
- **omejitev temperature plašča reaktorja,**
- **majhno število preklopov ventilov za hladno in toplo vodo.**

Primer simulacije zaprtozančnega vodenja temperature vidimo na sliki 2. Na sliki 2 prvi graf prikazuje potek temperature v kotlu in v plašču ter referenčno temperaturo v kotlu, drugi graf položaj mešalnega ventila in tretji graf stanje on/off ventila.



Slika 2: Primer vodenja šaržnega procesa

## Naloga 1

Realizirajte shemo vodenja (znotraj simulacijske sheme `sarzni_reaktor.slx`), ki upošteva omejitve temperature plašča in ostale zahteve vodenja. Vodenje realizirajte s kaskadno shemo. Začetni vrednosti temperatur plašča in kotla naj bosta enaki temperaturi okolice.

Prikažite in opišite vse bistvene korake načrtovanja vodenja procesa. Priporočeno je, da opis postopka, (delne) rezultate in slike podate v datoteki `naloge.mlx`, pri čemer priložite tudi vse simulacijske sheme, ki ste jih uporabili tekom načrtovanja (npr. v datotekah z imeni `shema1.slx`, `shema2.slx` ...). Končna rešitev vodenja naj se nahaja znotraj simulacijske sheme `sarzni_reaktor.slx`.

## Naloga 2

Preizkusite in ovrednotite (glede na zahteve pri vodenju) sledilno delovanje vodenja temperature v kotlu šaržnega reaktorja za naslednji referenčni signal:

$$T_{ref}(t) = \begin{cases} 52^{\circ}\text{C} ; & 0\text{ s} \leq t < 10\,000\text{ s} , \\ 46^{\circ}\text{C} ; & 10\,000\text{ s} \leq t < 15\,000\text{ s} , \\ 50^{\circ}\text{C} ; & 15\,000\text{ s} \leq t < 20\,000\text{ s} , \\ 33^{\circ}\text{C} ; & 20\,000\text{ s} \leq t < 30\,000\text{ s} . \end{cases} \quad (1)$$

Prikažite potek temperature v kotlu in v plašču na sliki poleg referenčne temperature in na ločenih slikah še poteke regulirnih signalov (odprtost mešalnega ventila in nastavitve ventilov za izbiro tople/hladne vode), kot je to prikazano na sliki 2. Na ustrezni sliki prikažite tudi referenčno vrednost pomožne regulirane veličine.

V kolikor z delovanjem sistema niste zadovoljni oz. niste zadostili zahtevam pri vodenju, dopolnite oz. spremenite parametre in/ali strukturo regulatorja.

## Naloga 3

Preizkusite in ovrednotite (glede na zahteve pri vodenju) sledilno delovanje vodenja temperature v kotlu šaržnega reaktorja v primeru, da imata senzorja temperatur normalno porazdeljen merilni šum s standardno deviacijo  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Šum lahko omogočite tako, da izbere možnost *Omogoci merilni šum* v nastavitvah bloka *Sarzni reaktor*. Zopet uporabite referenčni signal (1) in izrišite iste signale kot v prejšnji nalogi.

V kolikor z delovanjem sistema niste zadovoljni oz. niste zadostili zahtevam pri vodenju, dopolnite oz. spremenite parametre in/ali strukturo regulatorja.