

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**  
**Odsek za sisteme in vodenje**



**IJS-DP-10225**

**Preizkus metode enačenja na modelih procesov in  
laboratorijskih modelnih napravah**

Gabrijel Peršin, doc. dr. Damir Vrančič, doc. dr. Gregor Klančar

Ljubljana, junij 2009

<b>1. UVOD</b>	<b>3</b>
<b>2. METODA ENAČENJA ZA NASTAVLJANJE PARAMETROV PID</b>	<b>3</b>
2.1 TEORETIČNA IZPELJAVA	3
2.2 OPIS METODOLOGIJE DELA	6
<b>3. PREIZKUŠANJE METODE ENAČENJA NA MODELIH PROCESOV</b>	<b>13</b>
3.1 PREIZKUS BREZ PRISOTNOSTI MOTNJE IN ŠUMA	13
3.2 PREIZKUS OBČUTLJIVOSTI METODE NA STOPNIČASTO MOTNJO – REGULACIJSKO DELOVANJE	57
3.3 PREIZKUS OBČUTLJIVOSTI METODE NA ŠUM NA IZHODU IZ PROCESA	71
3.4 PREIZKUS OBČUTLJIVOSTI METODE NA ŠUM NA VHODU V PROCES	115
<b>4. PREIZKUS METODE ENAČENJA NA REALNIH NAPRAVAH</b>	<b>161</b>
4.1 MOTOR-GENERATOR AMIRA DR300	161
4.2 OBROČ S KROGLICO TQ CE9	177
4.3 NAVIJALNIK CE108	194
4.4 HELIKOPTER – NIHALO	208
4.5 TRIJE REZERVOARJI AMIRA DTS200	219
4.6 KLIMATSKA NAPRAVA	225
4.7 REZERVOAR ELWE	233
4.8 TOPLOTNI IZMENJEVALNIK – ARMFIELD PCT13	240
<b>5. SKLEPNE UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK</b>	<b>247</b>
<b>DODATEK A: MATLAB/SIMULINK MODELA ZA SIMULACIJO BREZ ŠUMA IN MOTNJE</b>	<b>249</b>
<b>DODATEK B: MATLAB/SIMULINK MODELA ZA REGULACIJO MOTNJE D(T)</b>	<b>250</b>
<b>DODATEK C: MATLAB/SIMULINK MODELA ZA SIMULACIJO S ŠUMOM NA IZHODU PROCESA</b>	<b>251</b>
<b>DODATEK D: MATLAB/SIMULINK MODELA ZA SIMULACIJO S ŠUMOM NA VHODU PROCESA</b>	<b>252</b>
<b>DODATEK E: MATLAB/SIMULINK MODELI ZA MODELNE NAPRAVE</b>	<b>253</b>
<b>DODATEK F: FUNKCIJA [UN,YN,DU,DY] = NORMALIZE(U,Y,KMEAN);</b>	<b>254</b>
<b>DODATEK G: FUNKCIJA [KP,KI,KD] = EQUALIZATION_PID(R,U,Y,T,TF);</b>	<b>255</b>
<b>6. REFERENCE</b>	<b>256</b>

## 1. UVOD

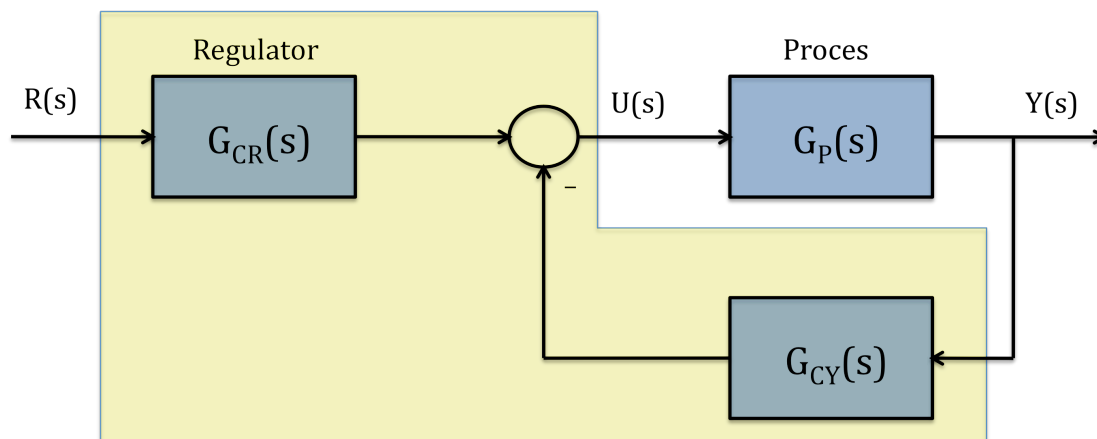
V delovnem poročilu je predstavljena metoda enačenja (Equalisation Tuning Method) (Vrančič, Gorez, Strmčnik, 2008) za nastavljanje parametrov regulatorjev. Osnovana je na DIRAC metodi (DeKeyser, 2000). Z njo se je problemu predhodnega določevanja zaprtozančne prenosne funkcije mogoče izogniti, če zaprtozančni odziv izenačimo z odprtozančnim odzivom procesa. Metoda enačenja za določitev parametrov potrebuje odprtozančni odziv procesa, katerega obliko določi operater in tako posredno določi tudi obliko zaprtozančnega odziva.

V drugem poglavju delovnega poročila je opisano teoretično ozadje metode enačenja in predstavljena metodologija dela. V tretjem poglavju so predstavljeni rezultati preizkušanja metode enačenja na različnih modelih procesov v sistemih brez šuma, sistemih s šumom na vhodu ter s šumom na izhodu, prikazani pa so tudi rezultati regulacije stopničaste motnje. V četrtem poglavju so predstavljeni rezultati preizkušanja metode enačenja za regulacijo nekaterih laboratorijskih modelnih naprav.

## 2. METODA ENAČENJA ZA NASTAVLJANJE PARAMETROV PID

### 2.1 Teoretična izpeljava

Slika 1 prikazuje zaprtozančno vezje, ki predstavlja temeljno vezje pri teoretični izpeljavi. Regulator (Vrančič, Gorez, Strmčnik, 2008) je predstavljen z dvema blokoma. Prvi blok, ki mu vhod predstavlja referenčni signal  $R(s)$ , opisuje prenosna funkcija  $G_{CR}(s)$ , drugi blok, ki mu vhod predstavlja regulirana veličina  $Y(s)$ , pa opisuje prenosna funkcija  $G_{CY}(s)$ . Proces je predstavljen s prenosno funkcijo  $G_P(s)$ .



Slika 1: Zaprtozančno vezje.

Zapišemo lahko zaprtozančno prenosno funkcijo

$$G_{CL}(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_{CR}(s) \cdot G_P(s)}{1 + G_{CY}(s) \cdot G_P(s)}, \quad (1)$$

kjer so  $G_{CR}(s)$ ,  $G_{CY}(s)$  in  $G_P(s)$  prenosne funkcije regulatorja z dvema prostostnima stopnjama (2DOF) in procesa,  $R(s)$ ,  $U(s)$  in  $Y(s)$  pa Laplaceove transformacije referenčnega, regulirnega in reguliranega signala. V nadaljevanju bomo zaradi boljše preglednosti spremenljivko  $(s)$  iz enačb izpuščali.

Enačbo (1) lahko zapišemo tudi kot

$$\begin{aligned} G_{CL} + G_{CL}G_PG_{CY} &= G_{CR}G_P \\ [G_{CR} - G_{CL}G_{CY}]G_P &= G_{CL} \end{aligned} \quad (2)$$

Če enačbo (2) na levi in desni strani pomnožimo z  $U(s)$ , ki predstavlja Laplaceovo transformacijo vhodne veličine  $u(t)$ , kar je hkrati najpomembnejši korak izpeljave, saj je prenosna funkcija procesa  $G_P(s)$  eliminirana iz enačbe [2], dobimo

$$[G_{CR} - G_{CL}G_{CY}]G_P \cdot U = G_{CL} \cdot U. \quad (3)$$

Ob upoštevanju povezave vhoda  $U(s)$  z izhodom  $Y(s)$

$$Y = G_P \cdot U \quad (4)$$

lahko zapišemo

$$[G_{CR} - G_{CL}G_{CY}]Y = G_{CL} \cdot U. \quad (5)$$

Če definiramo filtrirane signale

$$\begin{aligned} Y_F &= G_{CL} \cdot Y \\ U_F &= G_{CL} \cdot U \end{aligned} \quad (6)$$

lahko enačbo (5) zapišemo še enostavneje kot

$$G_{CR} \cdot Y - G_{CY} \cdot Y_F = U_F. \quad (7)$$

Parametre regulatorja lahko izračunamo z uporabo metode najmanjših kvadratov (Matko, 1998) ter signalov  $u_F(t)$ ,  $y_F(t)$  in  $y(t)$ , vendar je potrebno predhodno izbrati zaprtozančno prenosno funkcijo  $G_{CL}(s)$ , kar je lahko zelo zahtevno.

Izhodni signal regulatorja (slika 1) je

$$U_{CL} = R \cdot G_{CR} - Y_{CL} \cdot G_{CY}, \quad (8)$$

kjer so  $U_{CL}$ ,  $R$  in  $Y_{CL}$  Laplaceove transformacije izhodnega signala regulatorja, referenčnega signala in izhodnega signala procesa v zaprtozančnem sistemu. Če izberemo, da sta zaprtozančna signala  $u_{CL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  enaka odprtozančnemu vhodu in izhodu procesa  $u_{OL}(t)$  in  $y_{OL}(t)$

$$\begin{aligned} u_{CL}(t) &\approx u_{OL}(t) \\ y_{CL}(t) &\approx y_{OL}(t) \end{aligned} \quad (9)$$

kar predlaga metoda enačenja, lahko zapišemo

$$U_{OL} \approx R \cdot G_{CR} - Y_{OL} \cdot G_{CY}. \quad (10)$$

Signala  $u_{OL}(t)$  in  $y_{OL}(t)$  dobimo s pomočjo odprtozančnega eksperimenta, medtem ko referenčnega signala  $r(t)$  ne merimo in ga moramo določiti ločeno.

Referenčni signal  $r(t)$ , ki služi identifikaciji parametrov PID, igra pomembno vlogo in ga lahko določimo na več načinov. V tem delu sta predstavljena dva izmed načinov in sicer:

- signal  $r(t)$  je stopničaste oblike (slika 2 – levo, sredina),
- signal  $r(t)$  je po obliki enak vhodnemu signalu  $u_{OL}(t)$  (slika 2 – desno).

V vsakem primeru morajo biti izpolnjene naslednje zahteve:

- a.) Signal  $r(t)$  mora imeti enako začetno in končno vrednost kot signal  $y_{OL}(t)$
- b.) Skočna sprememba signala  $r(t)$  iz začetne v končno vrednost se mora zgoditi ob istem trenutku, ko se prvič skočno spremeni vhodna veličina  $u_{OL}(t)$ .

Omeniti velja, da metoda enačenja ni omejena le na sisteme s PID regulatorjem, čeprav se bomo mi omejili le na njih. Regulator je v našem primeru definiran kot

$$\begin{aligned} G_{CR}(s) &= K_P + \frac{K_I}{s} \\ G_{CY}(s) &= K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \end{aligned} \quad (11)$$

kjer so  $K_P$ ,  $K_I$  in  $K_D$  proporcionalno, integrirno in diferencirno ojačenje PID regulatorja. Regulator reference  $G_{CR}(s)$  je za razliko od regulatorja v povratni zvezi  $G_{CY}(s)$  sestavljen le iz proporcionalnega in integrirnega člena, saj v izogib skočnim spremembam signala  $u_{CL}(t)$ , ki se lahko pojavijo ob spremembah referenčnega signala  $r(t)$ , diferencirni člen ni povezan na referenčni signal  $r(t)$ , ampak le na izhodni signal  $y(t)$ . Enačbo (10) lahko na podlagi definiranega regulatorja zapišemo kot

$$U_{OL} \approx R \left( K_P + \frac{K_I}{s} \right) - Y_{OL} \left( K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \right), \quad (12)$$

$$U_{OL} \approx K_P (R - Y_{OL}) + \frac{K_I}{s} (R - Y_{OL}) - K_D s (Y_{OL})$$

ter v časovnem prostoru

$$u_{OL}(t) = K_P [r(t) - y_{OL}(t)] + K_I \int_0^t [r(\tau) - y_{OL}(\tau)] d\tau - K_D \frac{dy_{OL}(t)}{dt}. \quad (13)$$

Metoda najmanjših kvadratov (Matko, 1998) v svojem bistvu predstavlja reševanje predoločenega sistema enačb z več neznankami. Tipičen problem je ocenitev parametrov pri identifikaciji neznanega procesa ob opazovanju izhodnega signala, ki je moten s šumom. Parametre ocenimo tako, da uporabimo matematični model procesa in minimiziramo kvadrat razlike med izhodom modela in realnega procesa.

V našem primeru identificiramo tri parametre,  $K_P$ ,  $K_I$  in  $K_D$ , kjer enačba (13) predstavlja realne meritve vhodnega, izhodnega ter referenčnega signala  $u_{OL}(t)$ ,  $y_{OL}(t)$  ter  $r(t)$ . Z metodo najmanjših kvadratov zagotovimo optimalno izbiro parametrov  $K$  z enačbo (14).

$$\underline{\psi}^T \cdot \underline{\psi} \cdot \underline{\hat{K}} = \underline{\psi}^T \cdot \underline{u}_{OL} \quad (14)$$

$$\underline{\hat{K}} = \left( \underline{\psi}^T \cdot \underline{\psi} \right)^{-1} \underline{\psi}^T \cdot \underline{u}_{OL}$$

## 2.2 Opis metodologije dela

Metoda enačenja je bila preizkušena na devetih različnih modelih procesov in na osmih različnih realnih procesih, pri čemer smo za vsak model procesa izbrali še

različne parametre. Modele procesov in parametre modelov prikazuje tabela 1, rezultati pa so prikazani v nadaljevanju.

<b>Oblika prenosne funkcije</b>	<b>Kombinacije parametrov</b>
$G_{P1}(s) = \frac{e^{-sT_1}}{(1+sT_2)}$	$T_1=1$ in $T_2=9$ $T_1=5$ in $T_2=5$ $T_1=9$ in $T_2=1$
$G_{P2}(s) = \frac{e^{-sT_1}}{(1+sT_2)^2}$	$T_1=1$ in $T_2=4.5$ $T_1=5$ in $T_2=2.5$ $T_1=9$ in $T_2=0.5$
$G_{P3}(s) = \frac{1}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$	$T_1=9$ in $T_2=1$ $T_1=7$ in $T_2=3$ $T_1=5$ in $T_2=5$
$G_{P4}(s) = \frac{1}{(1+sT_1)^2(1+sT_2)^2}$	$T_1=0.5$ in $T_2=4.5$ $T_1=1$ in $T_2=4$ $T_1=2$ in $T_2=3$
$G_{P5}(s) = \frac{1}{(1+sT)^n}$	$T_1=5$ in $n=2$ $T_1=3.33$ in $n=3$ $T_1=1.125$ in $n=8$
$G_{P6}(s) = \frac{1}{(1+sT)(1+sT\alpha)(1+sT\alpha^2)(1+sT\alpha^3)}$	$T=2.5$ in $\alpha=1$ $T=3.39$ in $\alpha=0.8$ $T=7.06$ in $\alpha=0.3$
$G_{P7}(s) = \frac{(1-sT_1)}{(1+sT_2)^3}$	$T_1=1$ in $T_2=3$ $T_1=2$ in $T_2=2.67$ $T_1=7$ in $T_2=1$
$G_{P8}(s) = \frac{e^{-s}(1+sT_1)}{(1+sT_2)^2}$	$T_1=1$ in $T_2=4$ $T_1=2$ in $T_2=3.5$ $T_1=5$ in $T_2=2$
$G_{P9}(s) = \frac{1}{(1+s)(1+s(4.5+\alpha i))(1+s(4.5-\alpha i))}$	$\alpha=1$ $\alpha=3$ $\alpha=6$

Tabela 1: Prenosne funkcije 9 modelov procesov (levo) ter različne kombinacije uporabljenih parametrov (desno).

Modeli so izbrani tako, da pokrijejo čim širše področje procesov, ki jih srečamo v praksi. To so procesi nižjih in višjih redov, procesi z neminimalno fazo, procesi s konjugirano-kompleksnimi poli in nekateri drugi. Za vse procese smo izbrali enako vsoto časovnih konstant procesa, ki je enaka 10 sekund. Za širši prikaz delovanja metode je bilo na modelih procesov opravljenih več preizkusov in sicer:

- preizkus metode enačenja brez šuma,
- preizkus regulacijskega delovanja s stopničasto motnjo,
- preizkus metode enačenja s šumom na vhodu v proces in
- preizkus metode enačenja s šumom na izhodu iz procesa.

Realni procesi, ki so vsi locirani v laboratoriju LMSV/LAIP1 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, so skupaj z vhodno in izhodno veličino prikazani v tabeli 2:

Proces	Vhodna veličina $u(t)$	Izhodna veličina $y(t)$
Navijalnik CE108	Napetost na motorju	Hitrost obdelovanega materiala
Amira motor-generator DR300	Napetost na motorju	Hitrost vrtenja motorja
Obroč s kroglico TQ CE9	Napetost na motorju	Hitrost vrtenja obroča
Sistem treh rezervoarjev Amira DTS200	Napetost na črpalki	Nivo vode v rezervoarju
Rezervoar ELWE	Napetost na črpalki	Nivo vode v rezervoarju
Klimatska naprava	Napetost na grelcu	Teperatura zraka
Toplotni izmenjevalnik Armfield PCT13	Tok skozi ventil, ki določa pretok tople vode	Temperatura vode ob izhodu
Helikopter – nihalo	Napetost na motorju	Odklon nihala iz ravnovesne lege

Tabela 2: Realni procesi z vhodno in izhodno veličino.

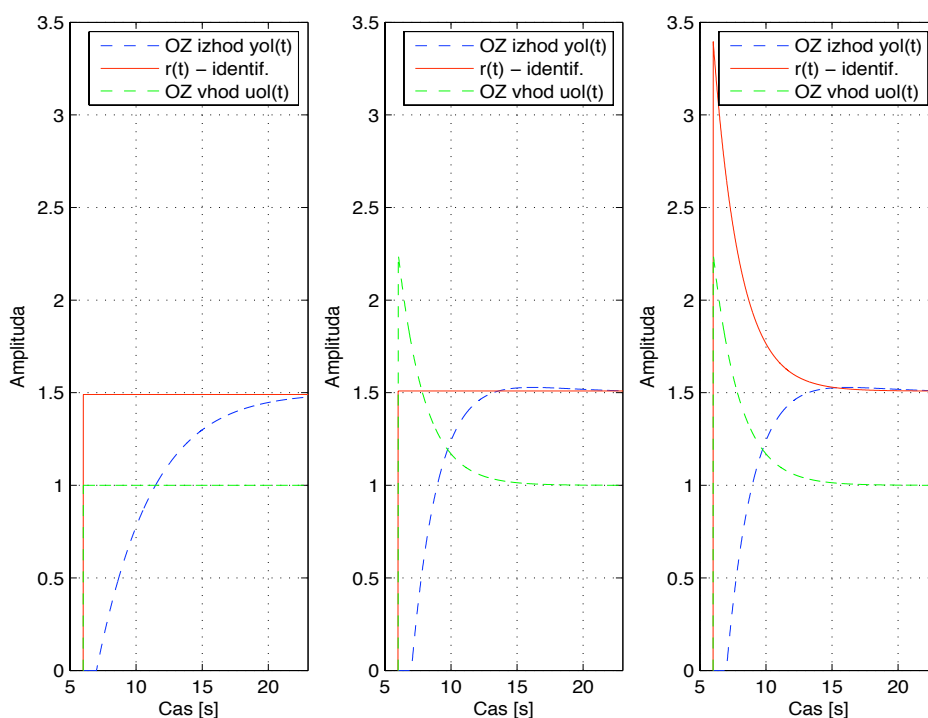
Meritve so bile izvedene s pomočjo procesnega vmesnika National Instruments NI PCI 6014, ki je iz okolja Matlab-Simulink dostopen z uporabo blokov iz knjižnice NI-PCI.

Vsak preizkus metode enačenja na posameznem modelu procesa ali na realnem procesu je sestavljen iz treh zaključenih meritev, od katerih vsaka meritev vsebuje eno ali dve simulaciji z različnimi vhodnimi signali, obdelavo izmerjenih signalov ter grafični prikaz obdelanih signalov. Posamezne meritve se razlikujejo le v obliki vhodnega signala  $u_{OL}(t)$ , ki je bil uporabljen za simulacijo odprtozančnega odziva, ter v obliki referenčnega signala  $r(t)$ , ki je bil uporabljen za identifikacijo parametrov. Uporabljene Simulink sheme uporabljene za preizkuse na modelih napravah so prikazane v dodatku E.

**Potek posameznega preizkusa je sledeč:**



1. V prvi meritvi je bil za vzbujanje procesa v odprti zanki uporabljen **stopničast vhodni signal  $u_{OL}(t)$**  in **stopničasta referenca  $r(t)$**  za **identifikacijo parametrov PID** (slika 2 – levo).
2. V drugi meritvi je bil za vzbujanje procesa v odprti zanki uporabljen **pohitritveni vhodni signal  $u_{OL}(t)$**  in **stopničasta referenca  $r(t)$**  za **identifikacijo parametrov PID** (slika 2 – sredina).
3. V tretji meritvi je bil za vzbujanje procesa v odprti zanki uporabljen isti **pohitritveni vhodni signal  $u_{OL}(t)$**  kot v točki 2 ter **referenčni signal  $r(t)$** , ki je **skaliran signal  $u_{OL}(t)$**  (slika 2 – desno).



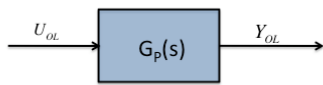
Slika 2: Trije načini določitve referenčnega signala  $r(t)$ , ki ga uporabimo za identifikacijo parametrov.

**Potek posamezne meritve je sledeč:**

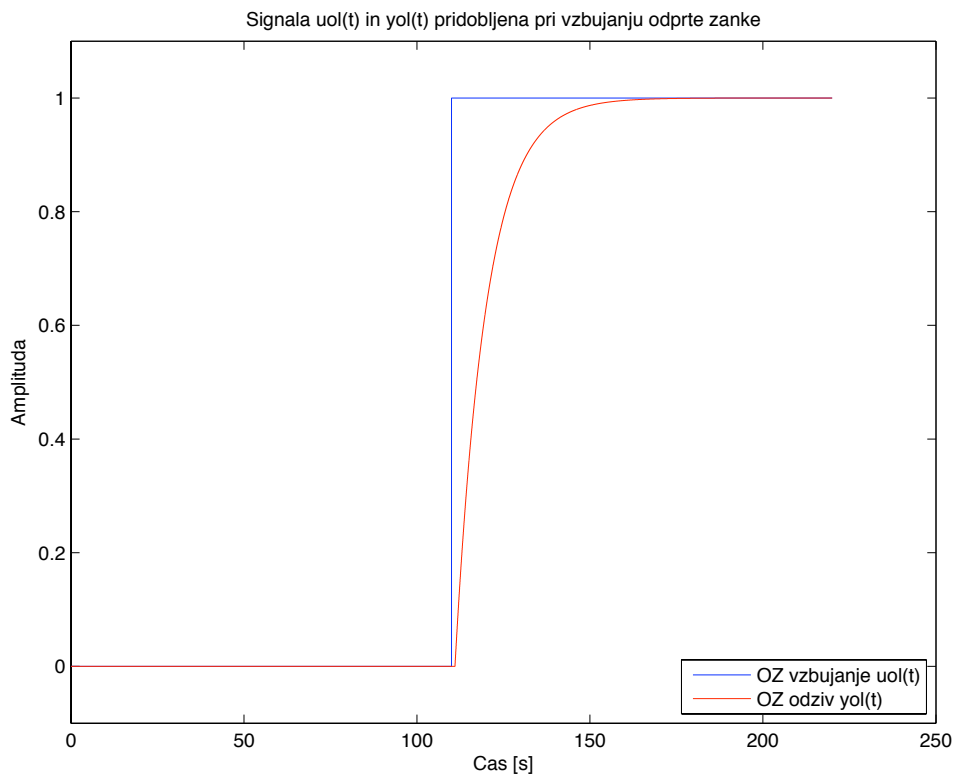
### **1. Simulacija procesa v odprti zanki (slika 3):**

Namenjena je merjenju odziva procesa na stopničasto (1. meritev) ali pohitritveno (2. meritev in 3. meritev) vzbujanje  $u_{OL}(t)$  v odprti zanki  $y_{OL}(t)$ . Čas trajanja simulacije je izbran tako, da se zaključi, ko se izhod procesa  $y_{OL}(t)$  ustali po spremembi vhoda  $u_{OL}(t)$  iz delovne točke. Začetna delovna točka pri simulacijah modelov procesov je  $u_{OL}=0$  in  $y_{OL}=0$ , pri realnih procesih pa je

različna za vsak proces. Slika 4 prikazuje signala  $u_{oL}(t)$  in  $y_{oL}(t)$  pridobljena pri prvi meritvi.



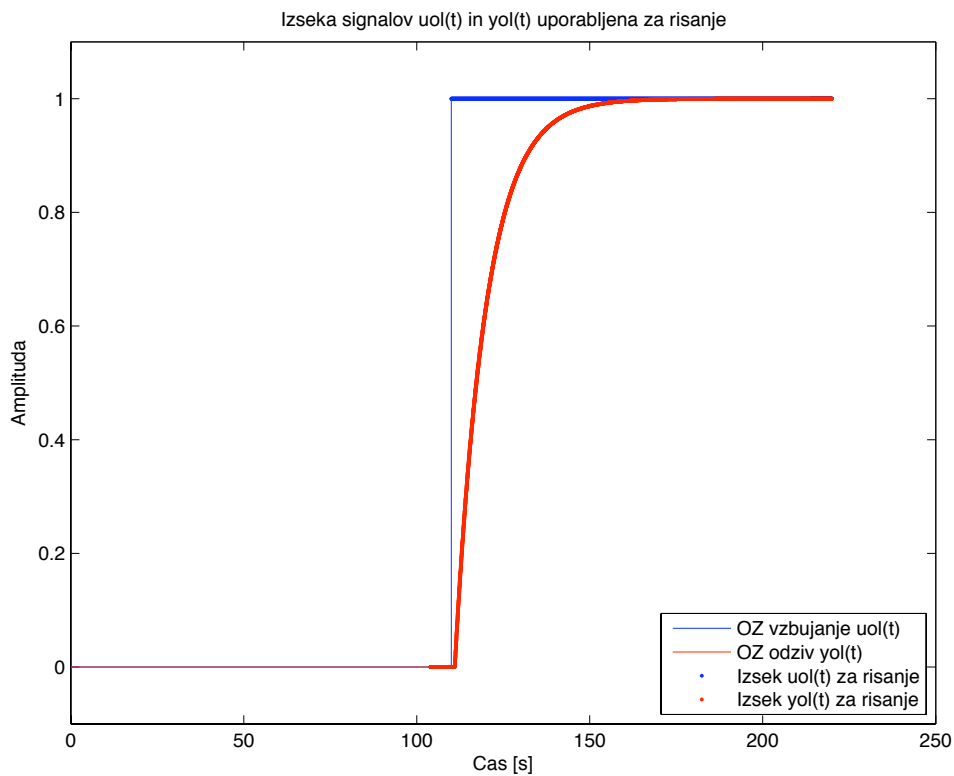
Slika 3: Shema uporabljenega odprtozančnega vezja.



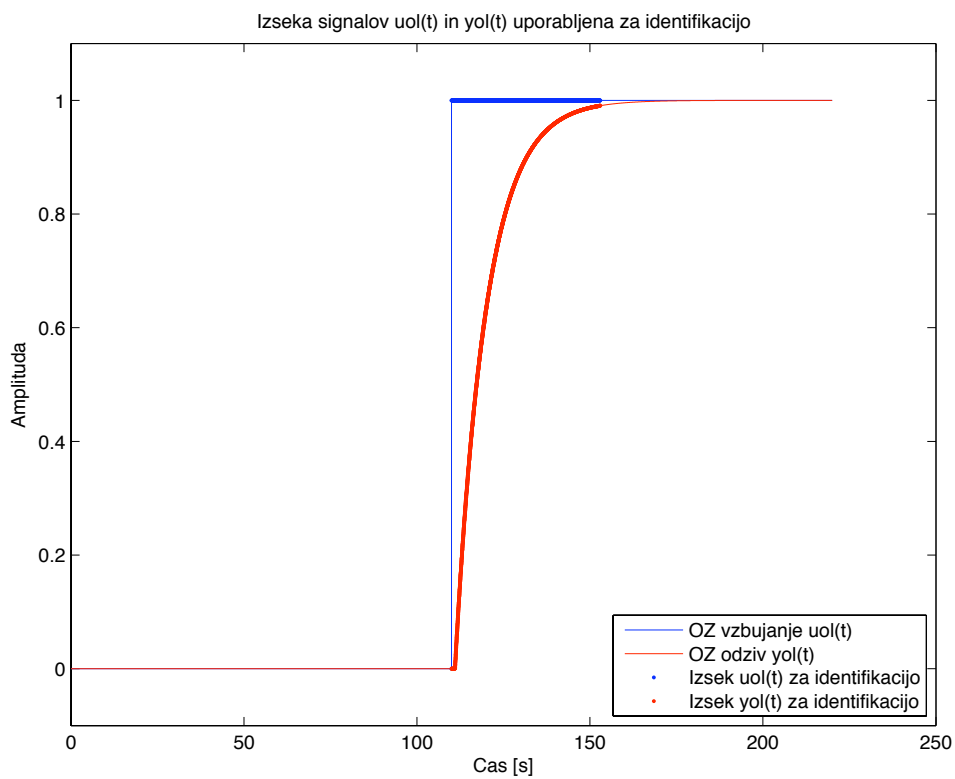
Slika 4: Pridobljeni signali pri odprtozančni simulaciji

## 2. Obdelava izmerjenih signalov

Iz izmerjenih signalov  $u_{oL}(t)$  in  $y_{oL}(t)$  je potrebno izločiti vse razen tistega dela signala, ki je potreben za izris na grafu ter za identifikacijo parametrov. Za identifikacijo je določen del signala  $u_{oL}(t)$  in  $y_{oL}(t)$ , ki leži v intervalu od nastanka stopničaste spremembe vhodne veličine  $u_{oL}(t)$  in traja do konca prehodnega pojava veličine  $y_{oL}(t)$  (slika 6). Za izris signalov je uporabljen daljši interval od intervala za identifikacijo (slika 5). Obdelani signali so nato normalizirani s postopkom normalizacije (Dodatek F), ki signalom odšteje vrednost v delovni točki.



Slika 5: Izsek signalov  $u_{oL}(t)$  in  $y_{oL}(t)$ , ki je bil uporabljen za končni izris na grafih



Slika 6: Izsek signalov  $u_{oL}(t)$  in  $y_{oL}(t)$ , ki je bil uporabljen za identifikacijo parametrov PID

### **3. Določitev reference za identifikacijo $r(t)$**

Referenčni signal za identifikacijo  $r(t)$  smo s pomočjo normaliziranih signalov  $u_{OL}(t)$  in  $y_{OL}(t)$  določili na dva načina. Prvi način (1. in 2. meritev) določi  $r(t)$  kot stopnico (slika 2 – levo, sredina), drugi način (3. meritev) pa kot skaliran vhodni signal  $u_{OL}(t)$  (slika 2 - desno). Obdelani signali iz točke 2 ter definiran referenčni signal  $r(t)$  so osnova za identifikacijo parametrov  $K_P$ ,  $K_I$  ter  $K_D$ .

### **4. Filtriranje signalov**

Pred postopkom identifikacije morajo biti vhodno izhodni signali filtrirani s filtrom prvega reda s konstanto  $T_F$ , katere vrednost je bila izbrana za vsako meritev posebej kot  $1/20$  oz.  $1/10$  vrednosti časovne konstante procesa  $T$ , odvisno od pohitritve ter ošumljenosti signala. Konstanta filtra  $T_F$  je določena prvič pri stopničastem vzbujanju (1. meritev) kot  $1/10$  vrednosti časovne konstante procesa  $T$  ter drugič pri pohitritvenem vzbujanju (2. in 3. meritev) kot  $1/20$  časovne konstante procesa  $T$ .

### **5. Identifikacija parametrov $K_P$ , $K_I$ in $K_D$**

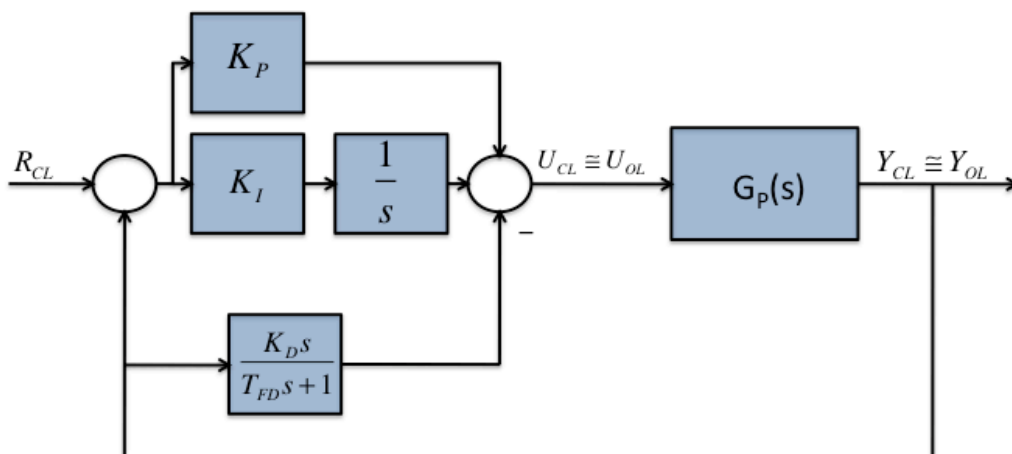
Filtrirani signali so bili uporabljeni za določitev parametrov po postopku, ki ga določa metoda enačenja. MatLab funkcija `equalization_pid` za identifikacijo parametrov je predstavljena v Dodatku G.

### **6. Določitev reference za simulacijo $r_{CL}(t)$**

Po identifikaciji parametrov  $K_P$ ,  $K_I$  in  $K_D$  je potrebno določiti nov referenčni signal, ki služi simulaciji zaprtozančnega sistema, s pomočjo izmerjenih signalov pred normalizacijo. Referenčni signal za simulacijo  $r_{CL}(t)$  je v vsakem primeru določen kot stopnica.

### **7. Simulacija zaprtozančnega sistema (slika 4)**

Ori regulaciji uporabimo referenčni signal določen v točki 6, shemo na sliki (Slika 7) in parametre regulatorja  $K_P$ ,  $K_I$  in  $K_D$ . D-členu regulatorja dodamo tudi filter 1. reda s časovno konstanto  $T_{FD}$ , ki je določena kot  $T_{FD} = 0.2 \frac{K_D}{K_P}$ .



Slika 7: Uporabljena shema zaprtozanknega vezja. Čeprav se ta shema razlikuje od sheme, uporabljene za izpeljavo metode enačenja (Slika 1), sta z vidika metode obe shemi identični.

## 8. Predstavitev rezultatov na grafu

Vsak graf je razdeljen na dva dela. Zgornji del prikazuje referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , ki je bil uporabljen pri simulaciji zaprtozanknega sistema, izhodni signal procesa v odprti zanki  $y_{OL}(t)$  ter izhodni signal zaprtozanknega sistema  $y_{CL}(t)$ . Spodnji del pa prikazuje odprtozankni in zaprtozankni vhodni signal v proces  $u_{OL}(t)$  in  $u_{CL}(t)$ . Za razliko od prvih dveh meritev je v grafični prikaz rezultatov, pridobljenih v tretji meritvi, za primerjavo dodan še naravni odprtozankni odziv procesa.

## 3. Preizkušanje metode enačenja na modelih procesov

### 3.1 Preizkus brez prisotnosti motnje in šuma

V dodatku A so prikazani modeli sestavljeni v okolju Matlab-Simulink, ki so bili uporabljeni za simulacijo odprtozanknega in zaprtozanknega sistema brez prisotnosti motnje in brez prisotnosti šuma. Identificirani parametri PID pri simulaciji izbranih procesov  $G_{p1}(s)$  do  $G_{p9}(s)$  (tabela 1) so prikazani v tabeli 3:

		Stopničast vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$		
		Stopničasta referenca R			Stopničasta referenca R			Skalirana referenca R		
		$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$
$G_{P1}$	$T_1=1$ $T_2=9$	0.9662	0.1051	0.6848	2.849	0.5465	2.8971	0.9396	0.0953	0.3737
	$T_1=5$ $T_2=5$	0.7552	0.1034	1.4219	1.3917	0.1261	1.0506	0.8252	0.0858	0.5183

	$T_1=9$ $T_2=1$	0.6191	0.0871	0.3504	0.7322	0.0713	0.0373	0.6814	0.0697	0.0403
$G_{P2}$	$T_1=1$ $T_2=4.5$	0.9335	0.1044	2.4211	2.8434	0.2053	8.4341	0.9431	0.1047	2.4318
	$T_1=5$ $T_2=2.5$	0.7178	0.1035	1.8117	1.0074	0.1187	2.1308	0.7375	0.0948	1.4857
	$T_1=9$ $T_2=0.5$	0.6421	0.0791	0.1805	0.638	0.0808	0.1796	0.6185	0.0797	0.1763
$G_{P3}$	$T_1=9$ $T_2=1$	1.0362	0.1052	1.3397	4.5865	0.3681	3.7829	0.9885	0.097	0.8496
	$T_1=7$ $T_2=3$	1.0258	0.1048	2.4437	4.1931	0.2688	9.3941	1.0204	0.1051	2.1308
	$T_1=5$ $T_2=5$	1.0231	0.1046	2.8102	4.0845	0.2135	11.377	0.9871	0.0964	2.3716
$G_{P4}$	$T_1=0.5$ $T_2=4.5$	0.9058	0.1047	2.5775	2.4388	0.174	8.2291	0.9083	0.0987	2.6609
	$T_1=1$ $T_2=4$	0.8696	0.1052	2.7505	1.8378	0.171	7.4007	0.9001	0.1085	3.1219
	$T_1=2$ $T_2=3$	0.9454	0.1045	2.5341	2.5357	0.1771	7.2075	0.9306	0.0972	2.3735
$G_{P5}$	$T_1=5$ $n=2$	1.0231	0.1046	2.8102	3.3951	0.1923	9.586	0.9884	0.0968	2.3931
	$T_1=7.06$ $n=0.3$	0.924	0.1049	2.8215	2.1494	0.1588	7.29	0.9179	0.0978	2.7689
	$T_1=3.39$ $n=0.8$	0.7516	0.1176	2.1928	1.0548	0.1329	3.1419	0.7748	0.1097	2.1164
$G_{P6}$	$T=2.5$ $\alpha=1$	0.8655	0.1053	2.7812	1.792	0.1487	7.0102	0.8788	0.0998	2.9525
	$T=3.33$ $\alpha=3$	0.9639	0.1047	2.0176	3.123	0.2543	6.6426	0.9789	0.1081	2.0261
	$T=1.125$ $\alpha=8$	0.8716	0.105	2.7361	1.8512	0.1702	7.4413	0.9016	0.1082	3.1165
$G_{P7}$	$T_1=1$ $T_2=3$	0.8511	0.1048	2.497	1.7845	0.1519	5.9387	0.8551	0.0982	2.5264
	$T_1=2$ $T_2=2.67$	0.7638	0.1046	2.0764	1.2284	0.1332	3.6207	0.7675	0.0986	2.0675
	$T_1=7$ $T_2=1$	0.2763	0.1032	0.3089	0.278	0.1043	0.3166	0.2763	0.1036	0.3103
$G_{P8}$	$T_1=1$ $T_2=4$	0.9717	0.1303	1.8366	2.8918	0.2376	4.7314	0.935	0.1196	1.3743
	$T_1=2$ $T_2=3.5$	0.9403	0.1733	0.8771	1.9984	0.3067	1.2783	0.9114	0.1591	0.599
	$T_1=5$ $T_2=2$	0.9134	0.2086	0.578	1.7659	0.3714	0.7819	0.8941	0.1922	0.4183
$G_{P9}$	$\alpha=1$	0.9546	0.1046	2.7101	2.5975	0.1767	7.805	0.9384	0.0969	2.5256
	$\alpha=3$	0.9467	0.105	3.4332	1.9329	0.1334	8.233	0.9314	0.0963	3.1747
	$\alpha=6$	0.8908	0.0932	5.04	1.3596	0.1259	9.4204	0.9458	0.1047	6.4405

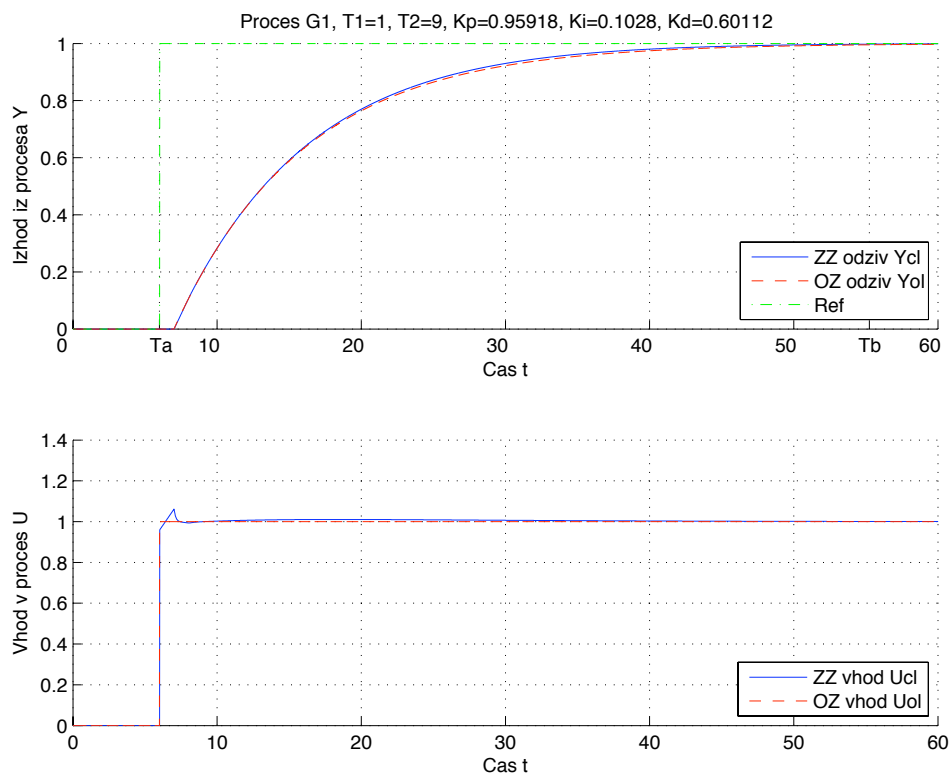
Tabela 3: Identificirani parametri PID z metodo enačenja za primer simulacije brez šuma. Stolpci 3, 4 in 5 prikazujejo identificirane parametre pri 1. meritvi, stolpci 6, 7 in 8 pri 2. meritvi, stolpci 9, 10 in 11 pa pri 3. meritvi.

Slike od 8 do 88 prikazujejo pridobljene vhodne in izhodne signale meritev  $u_{OL}(t)$ ,  $y_{OL}(t)$ ,  $u_{CL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$ , ki je bil uporabljen za

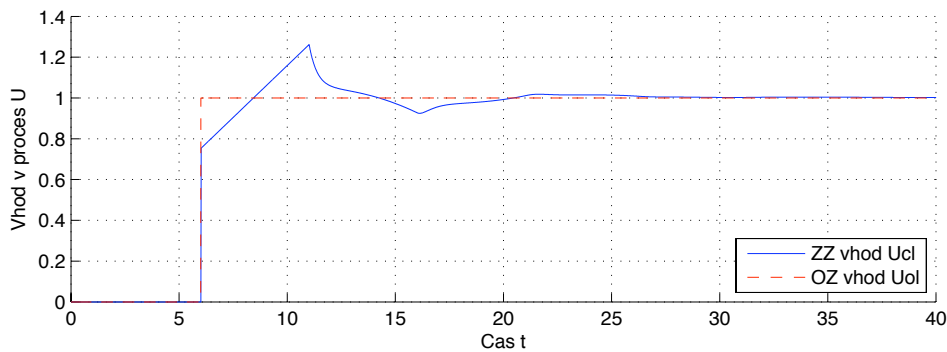
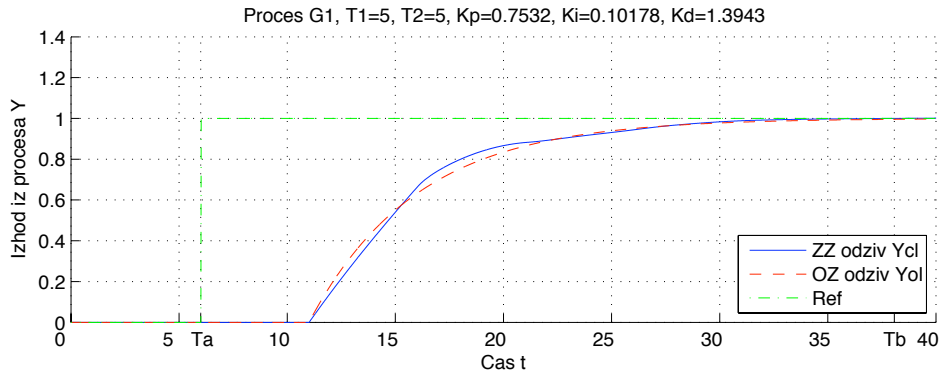
zaprtozančno simulacijo in je bil stopničaste oblike. V naslovih grafov so prikazani tudi podatki o procesu in izračunanih parametrih PID, ki so bili uporabljeni za regulacijo. S časoma  $T_1$  in  $T_2$  na vsakem grafu je prikazan interval, ki določa dela signalov  $y_{OL}$  in  $u_{OL}$ , ki sta bila uporabljena za identifikacijo parametrov PID.

Grafi so razdeljeni v tri sklope od katerih vsak pripada eni meritvi, znotraj posameznega sklopa pa si sledijo po vrsti glede na številko procesa. Pohitritveni vhodni signali  $u_{OL}(t)$  (drugi in tretji sklop) so bili določeni za vsak model proces posebej, saj je tako zagotovljena optimalna pohitritev procesa.

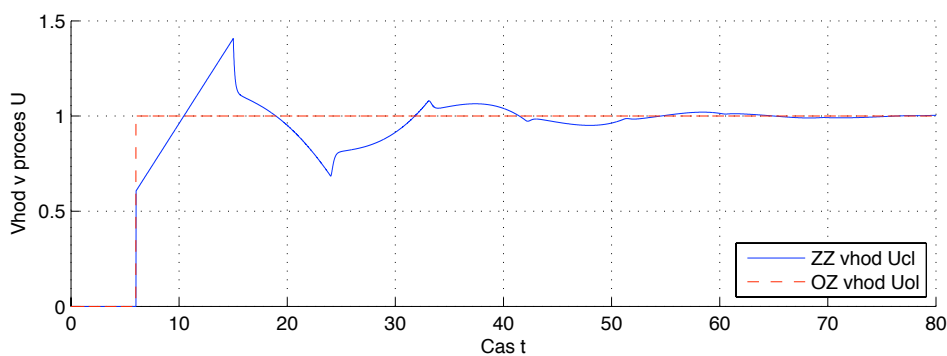
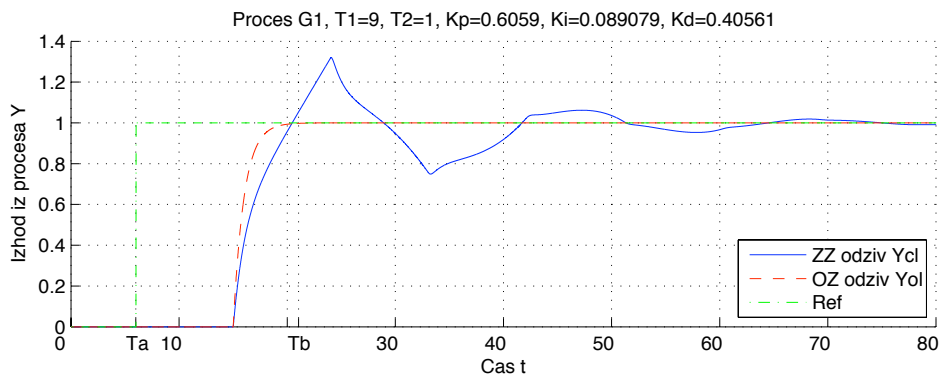
### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



Slika 8: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

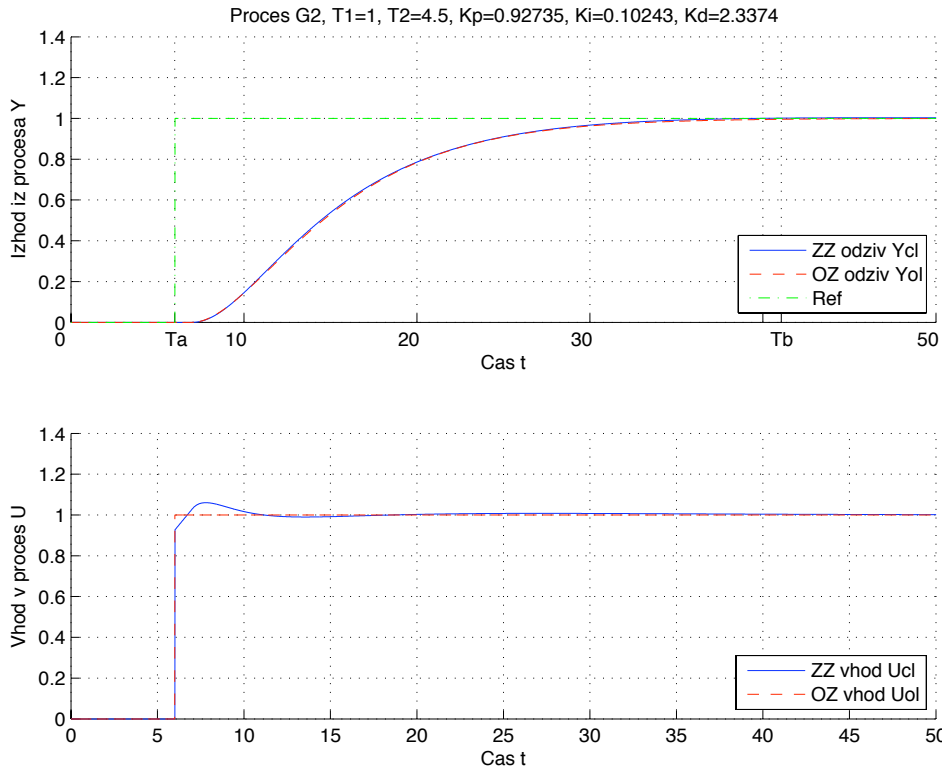


Slika 9: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

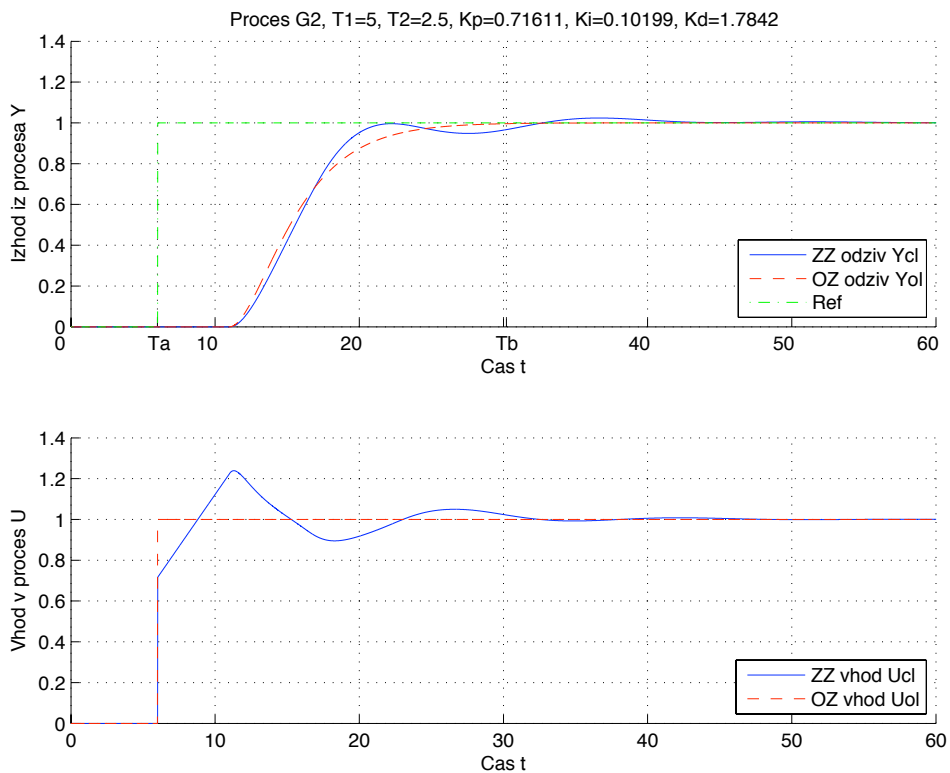


Slika 10: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

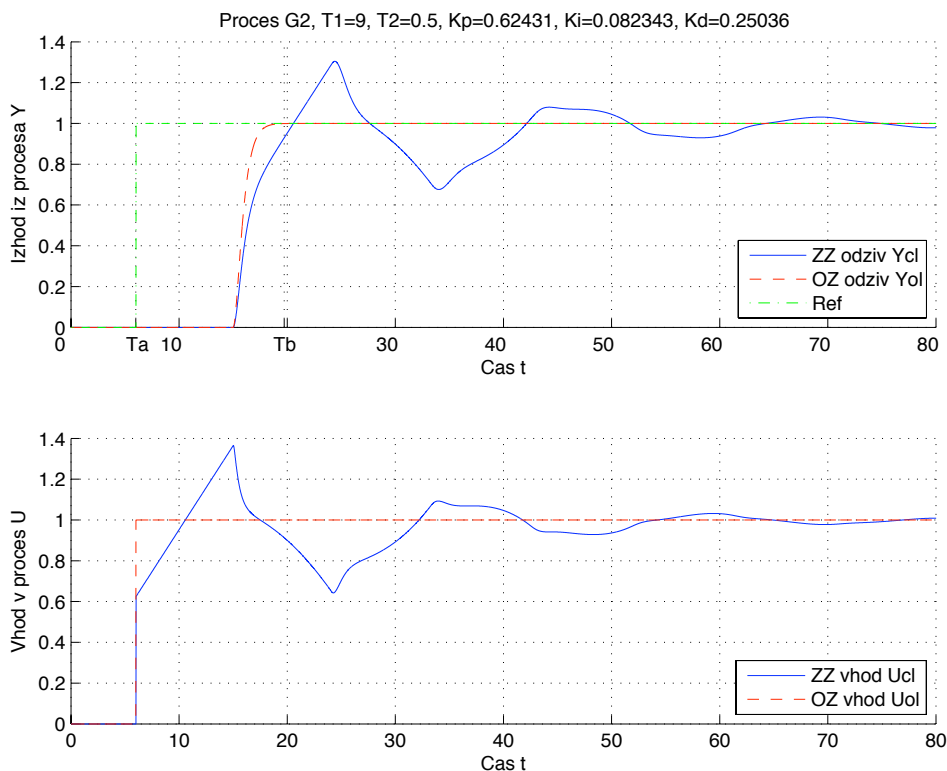




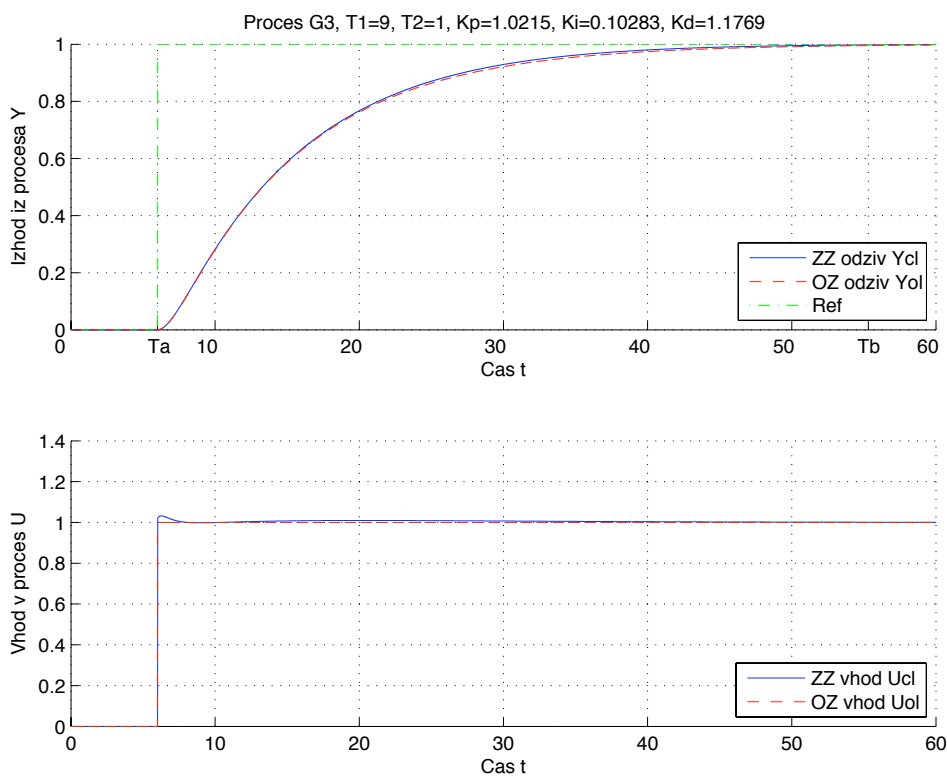
Slika 11: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



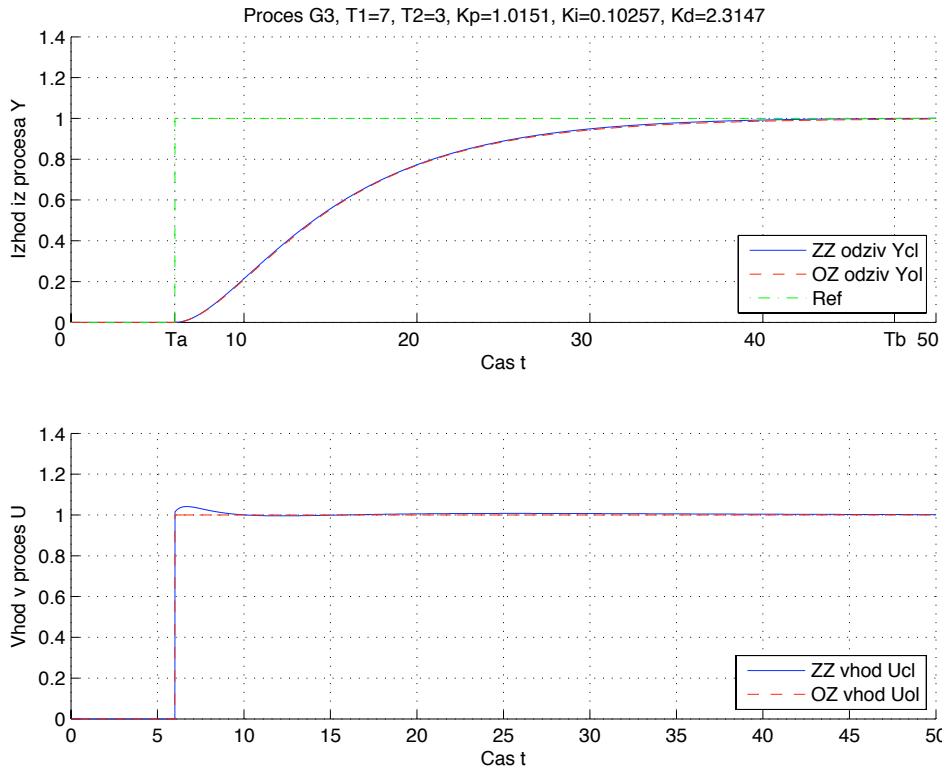
Slika 12: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



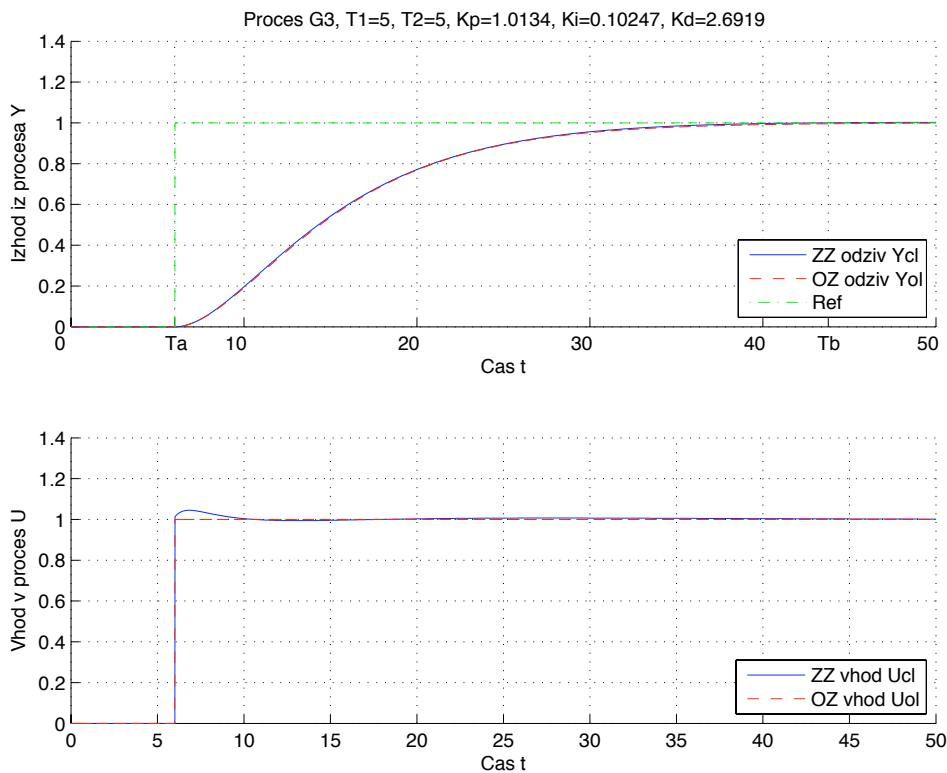
Slika 13: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



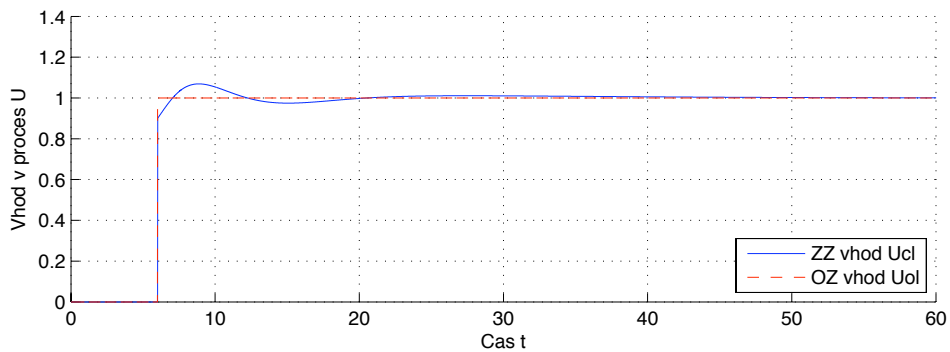
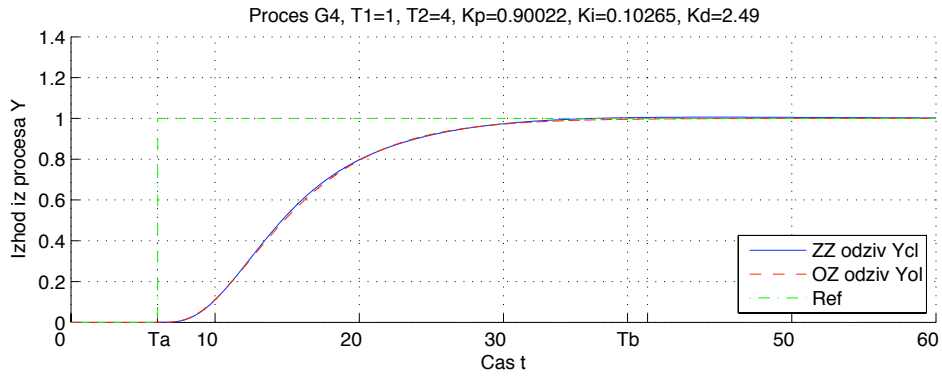
Slika 14: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



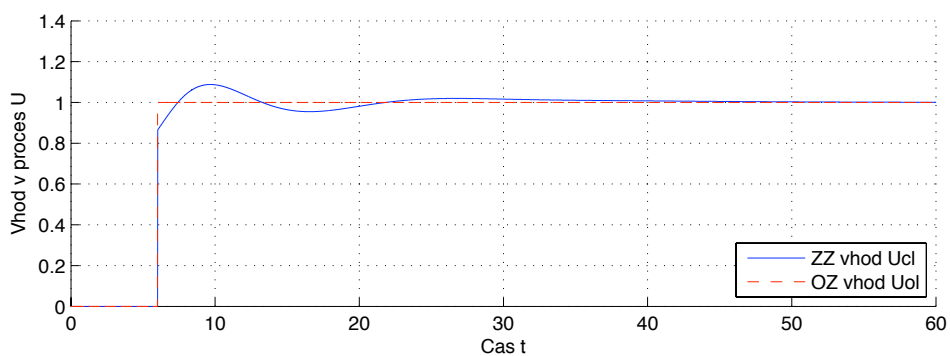
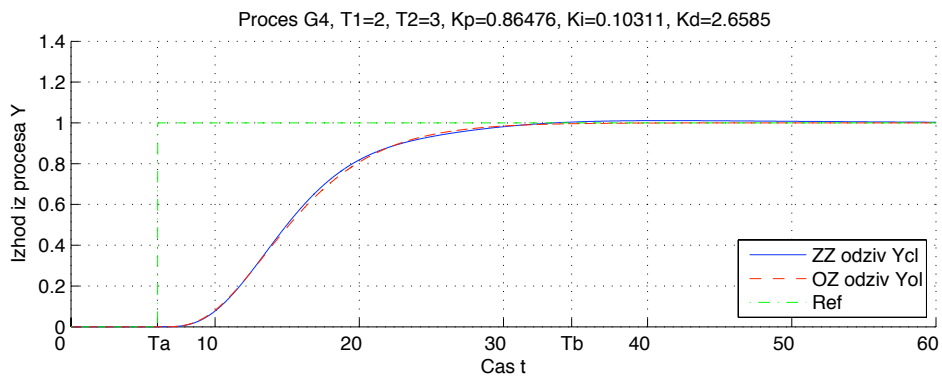
Slika 15: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



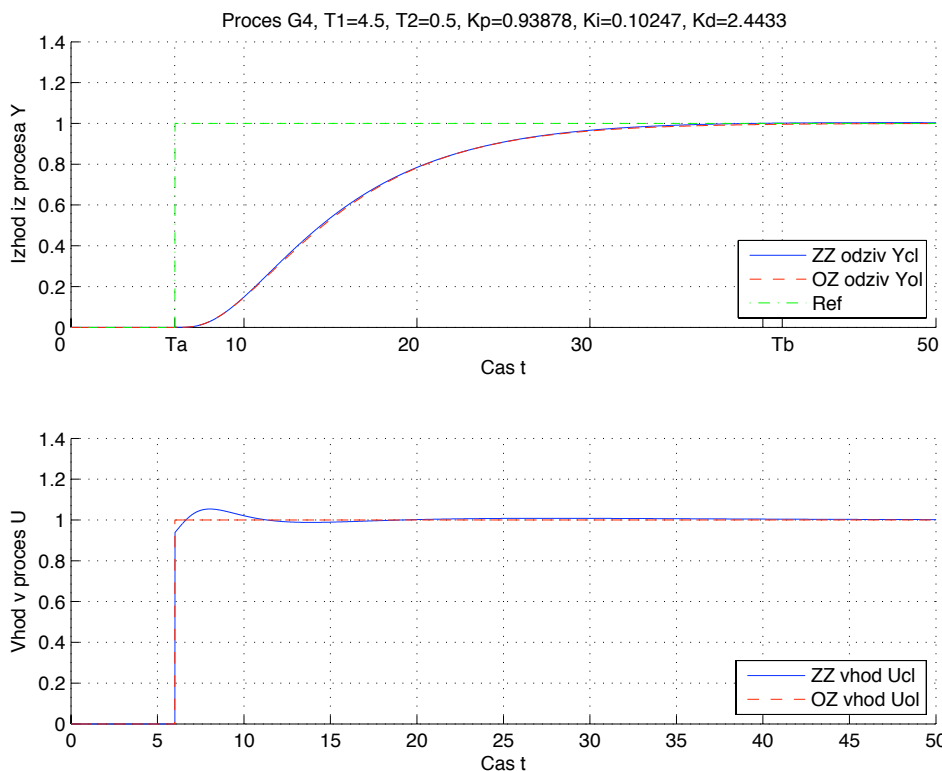
Slika 16: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



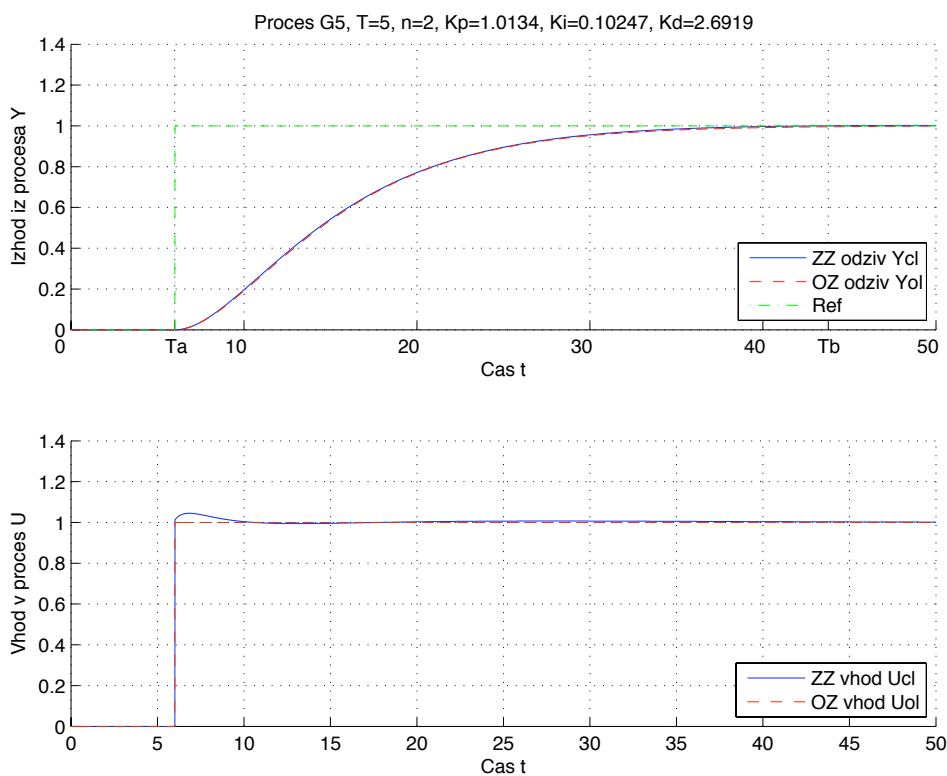
Slika 17: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



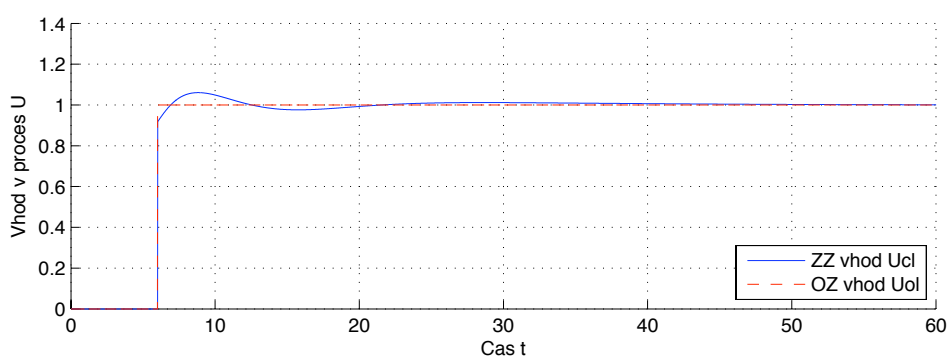
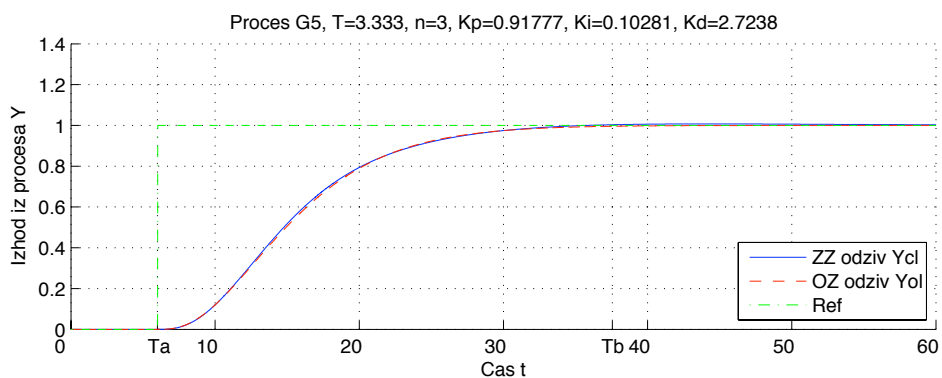
Slika 18: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



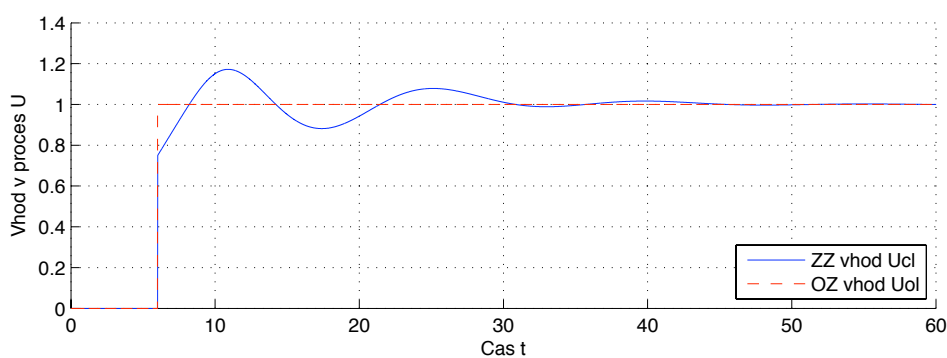
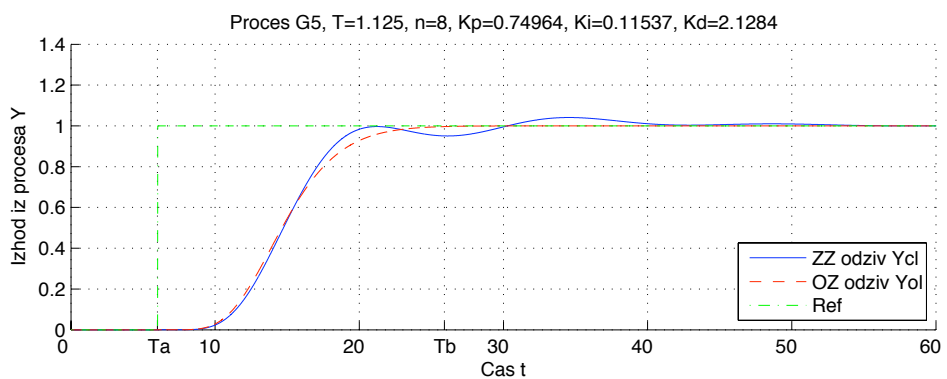
Slika 19: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



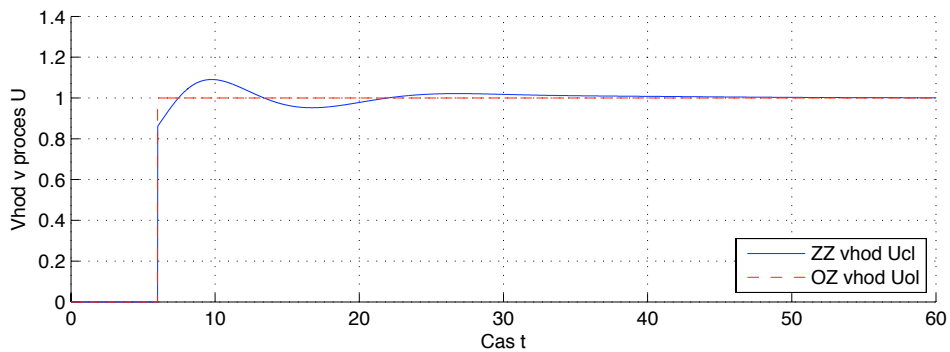
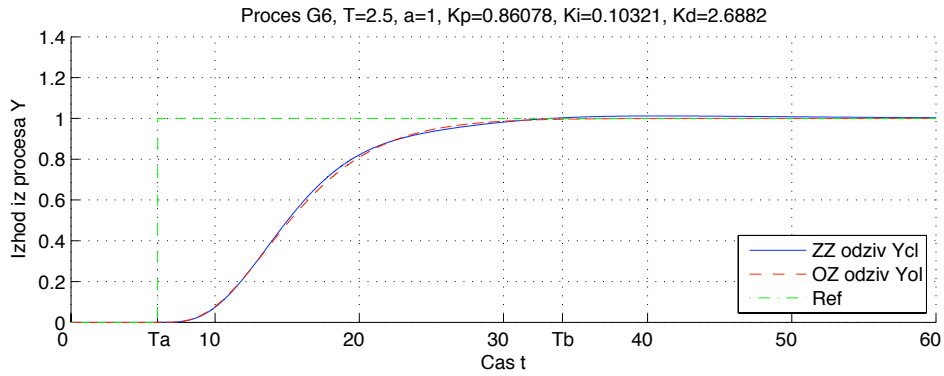
Slika 20: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



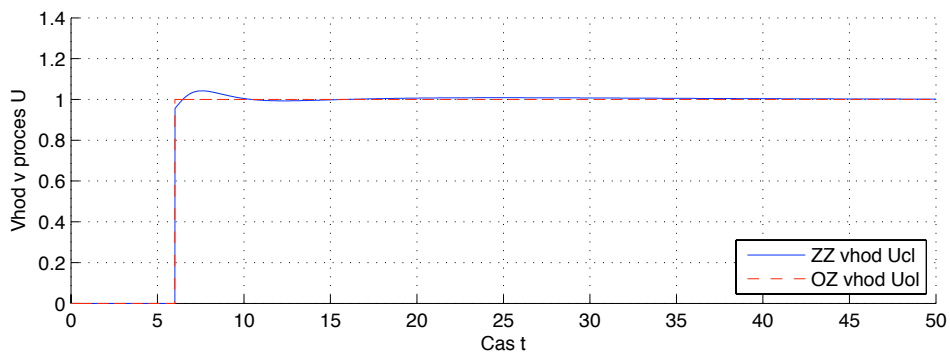
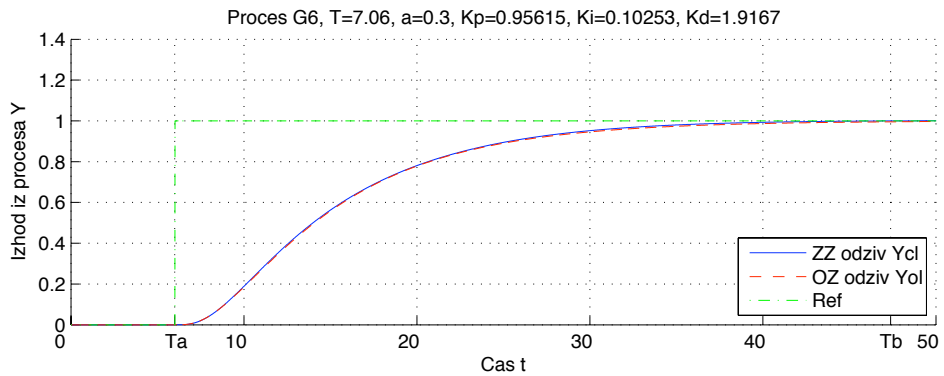
Slika 21: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



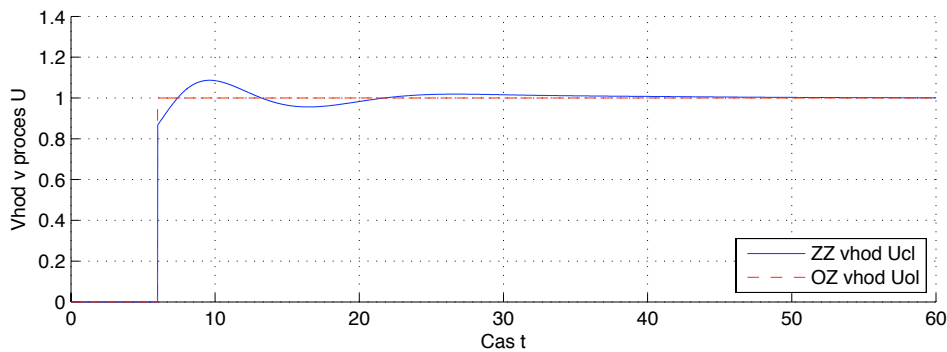
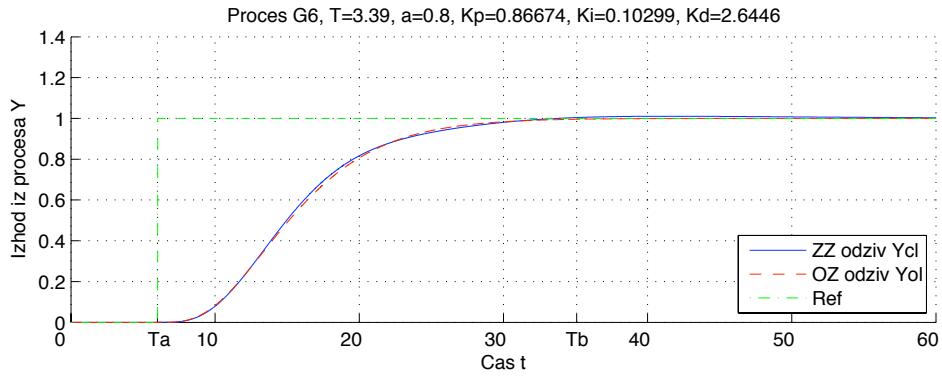
Slika 22: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



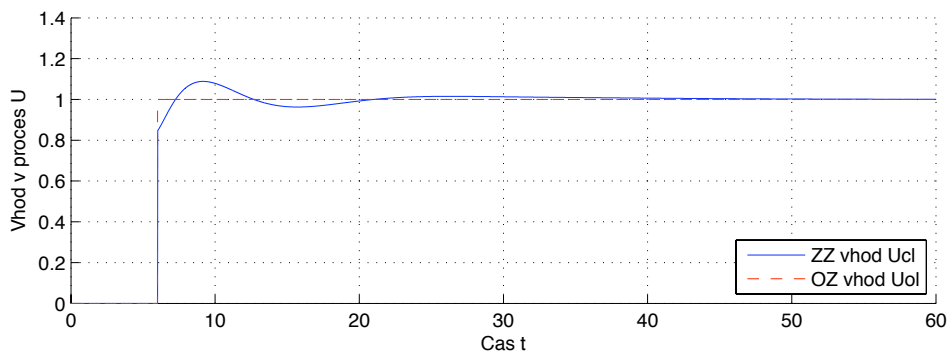
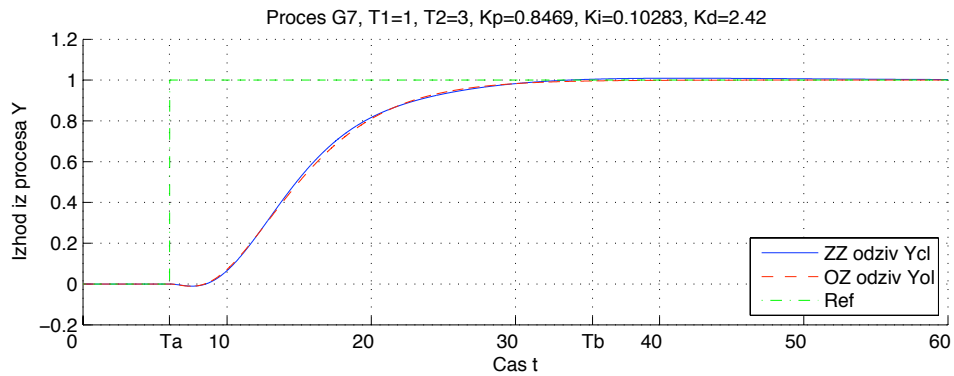
Slika 23: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 24: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

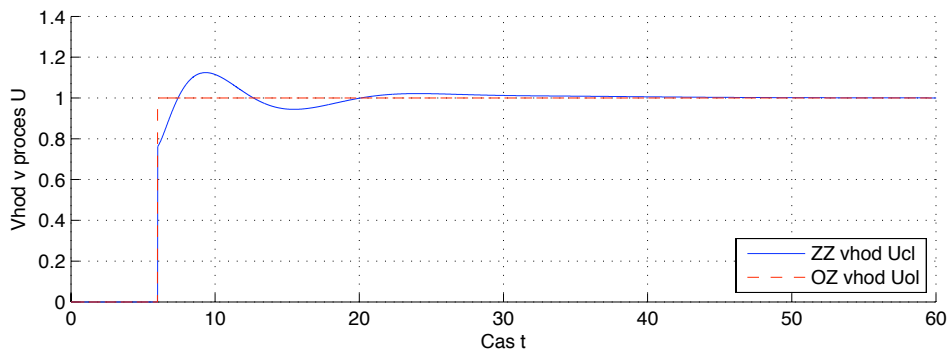
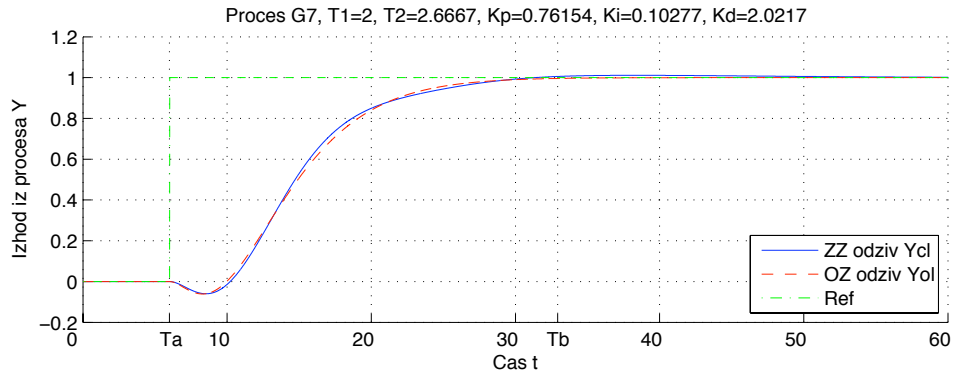


Slika 25: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

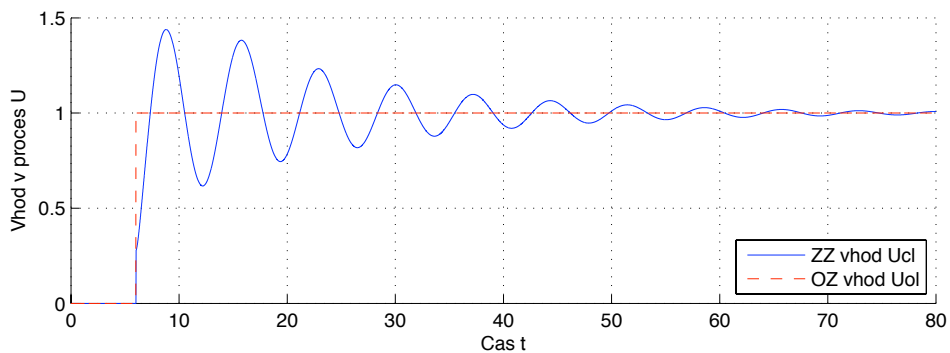
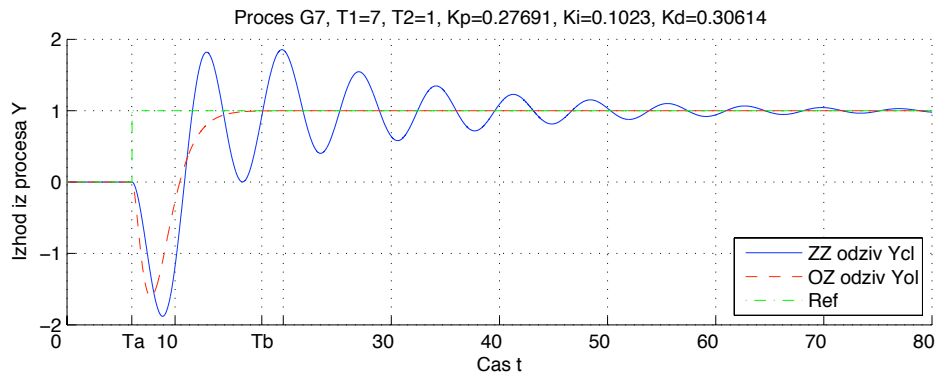


Slika 26: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

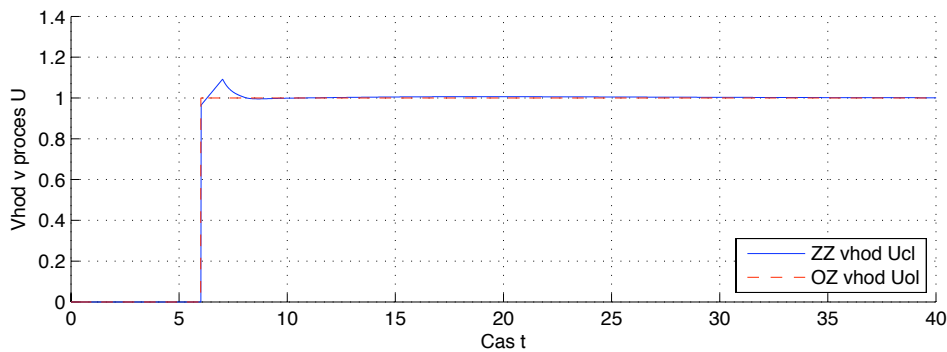
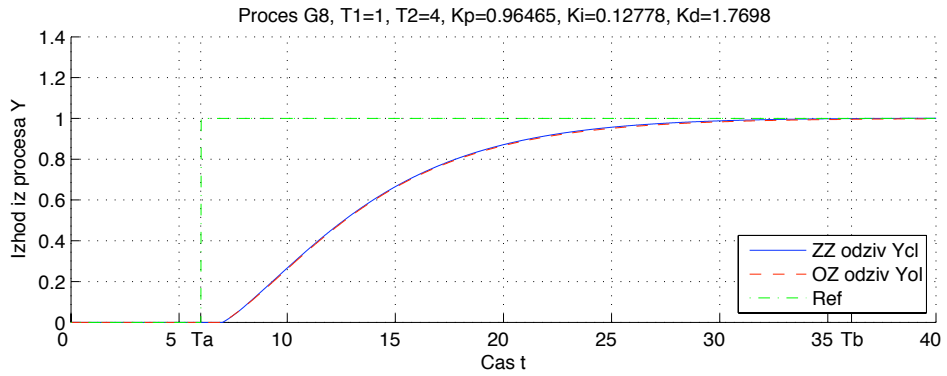




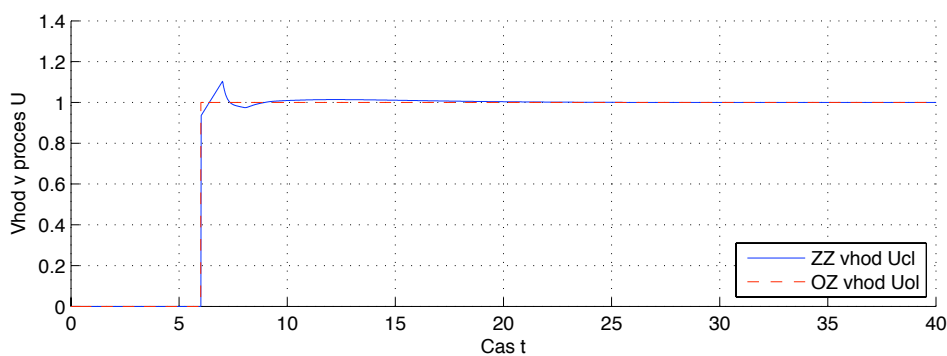
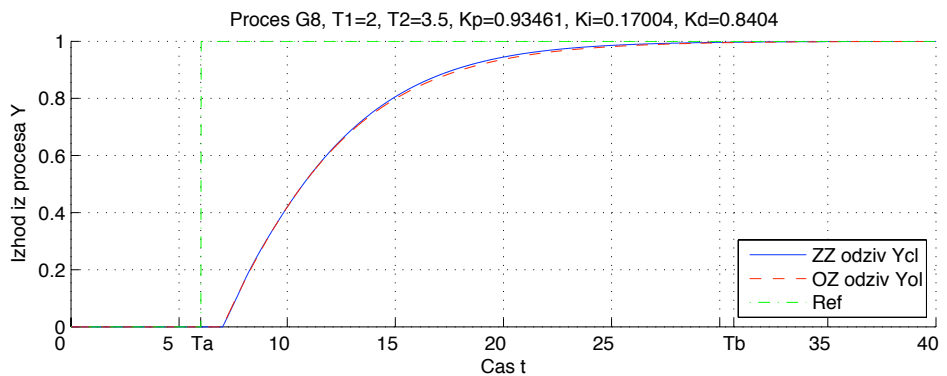
Slika 27: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



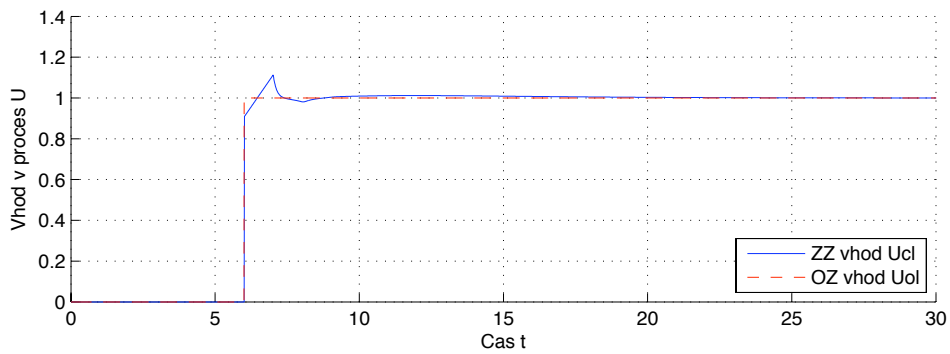
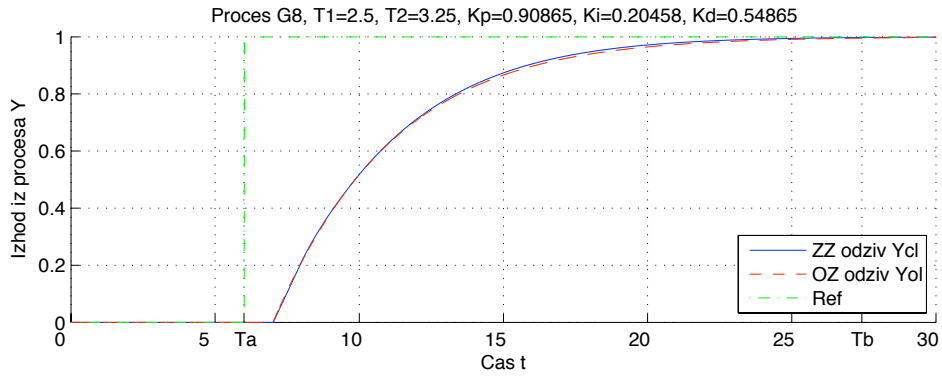
Slika 28: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



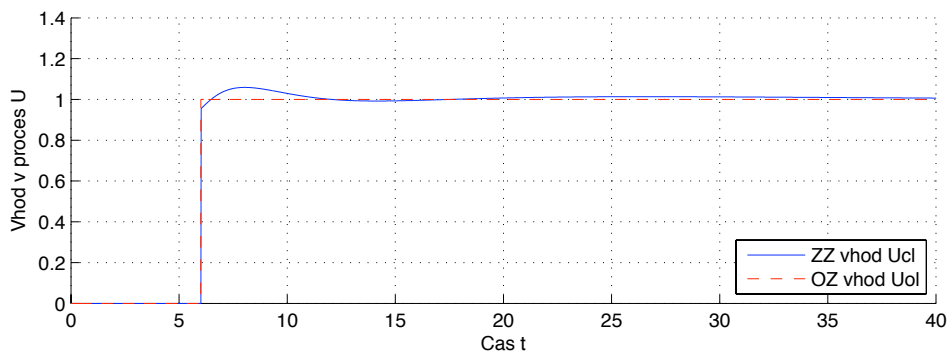
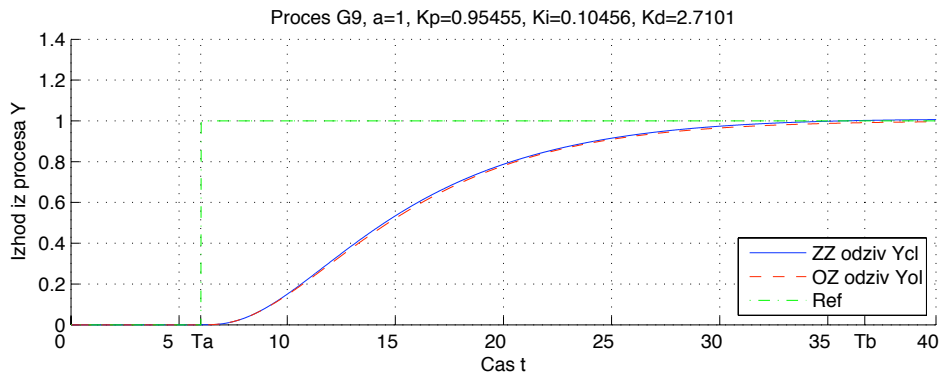
Slika 29: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



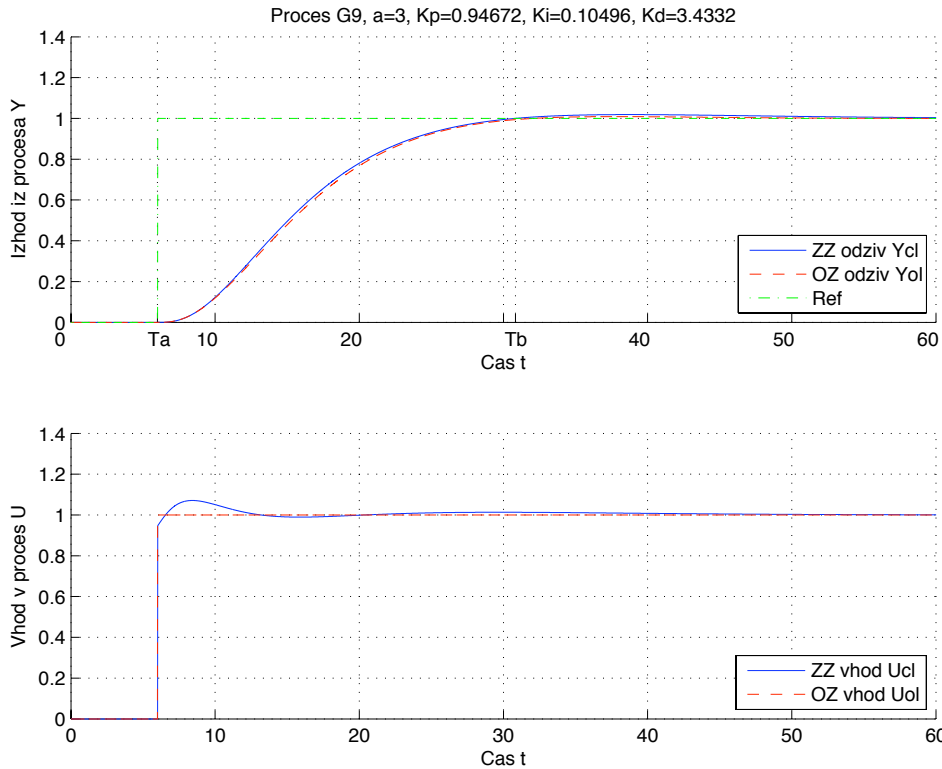
Slika 30: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



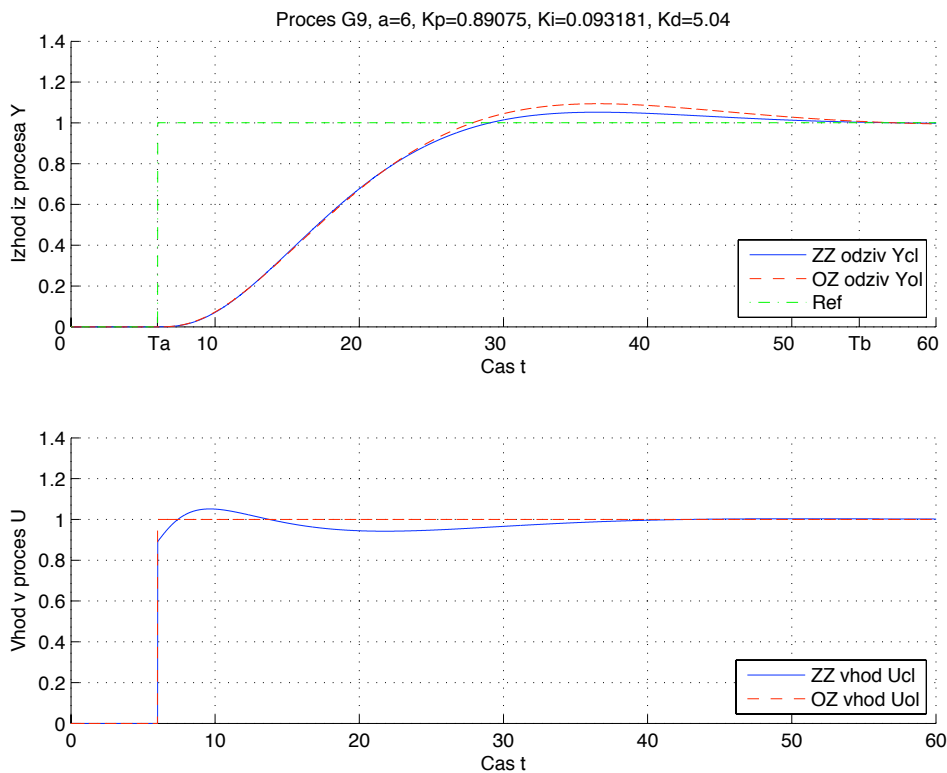
Slika 31: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 32: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

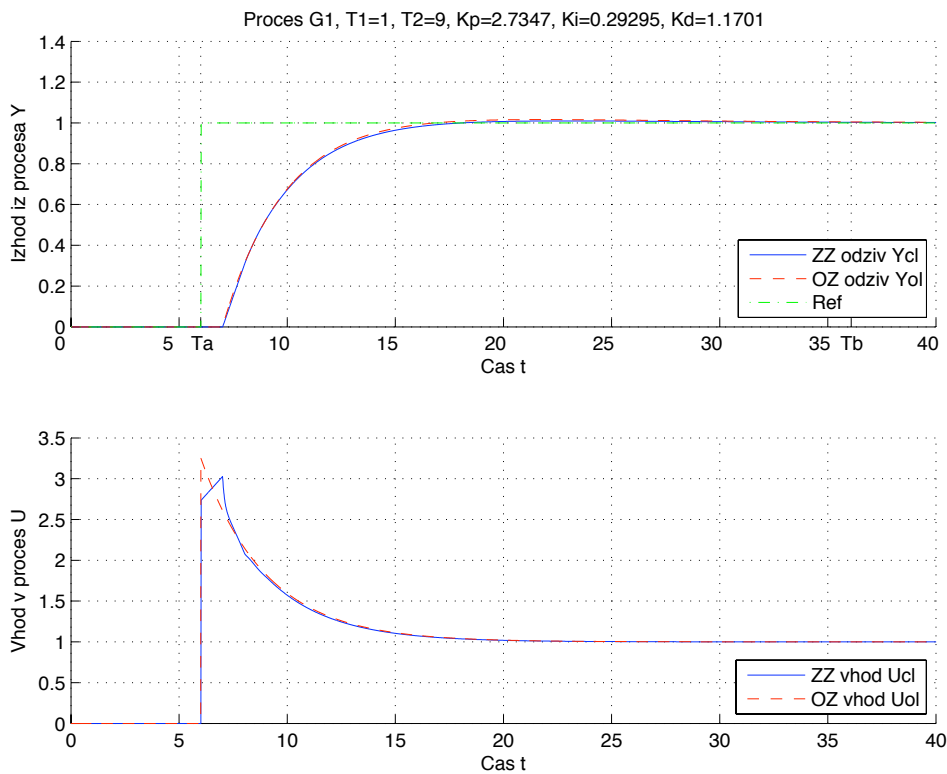


Slika 33: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljeno pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

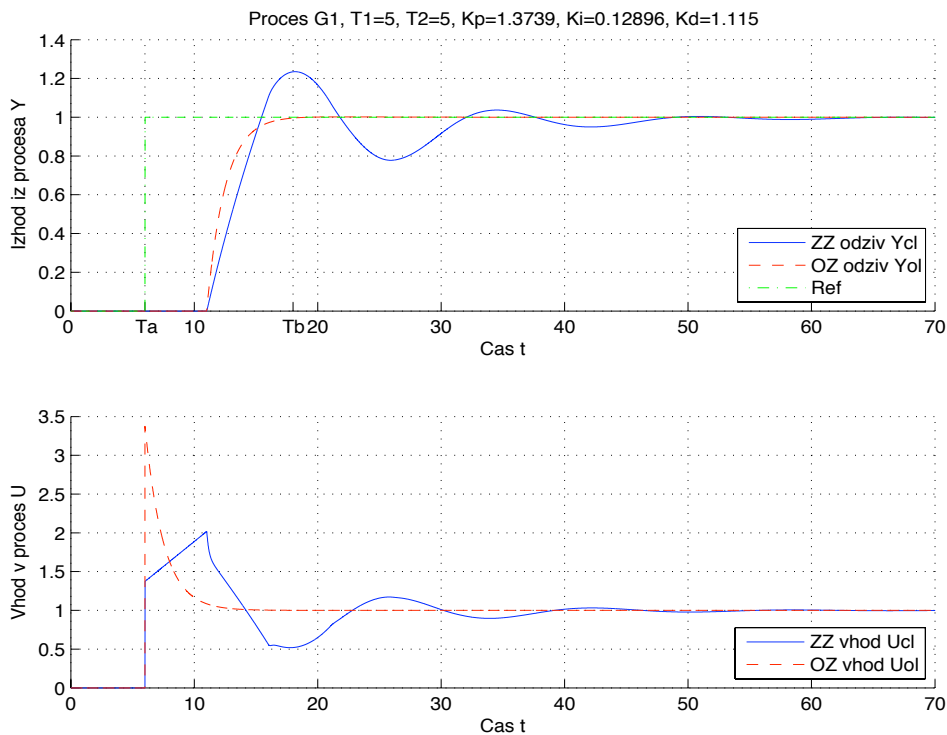


Slika 34: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

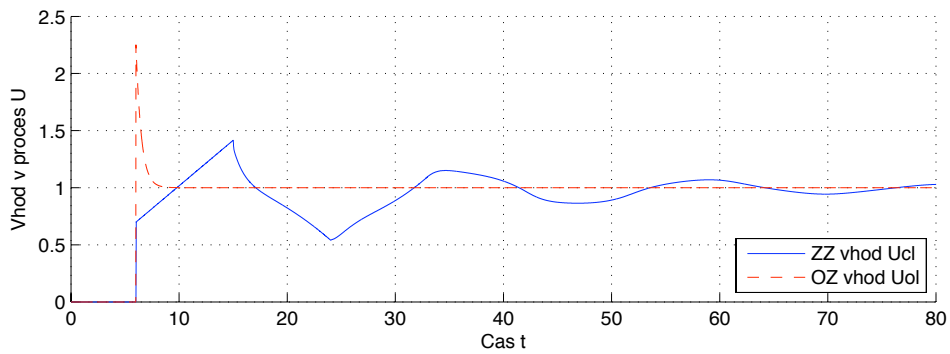
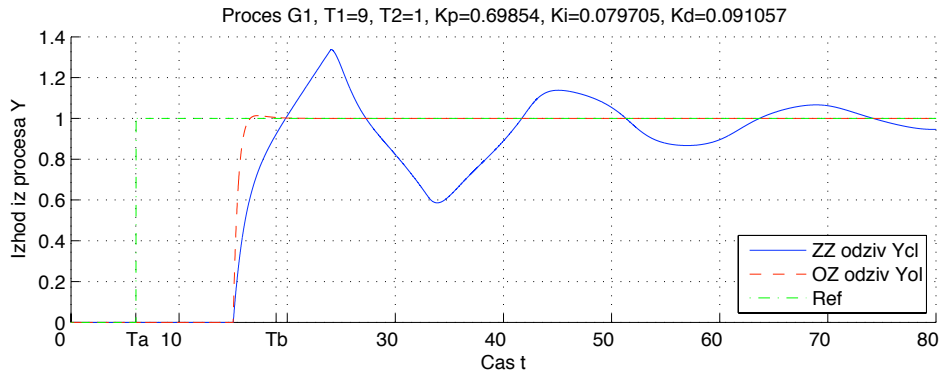
Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



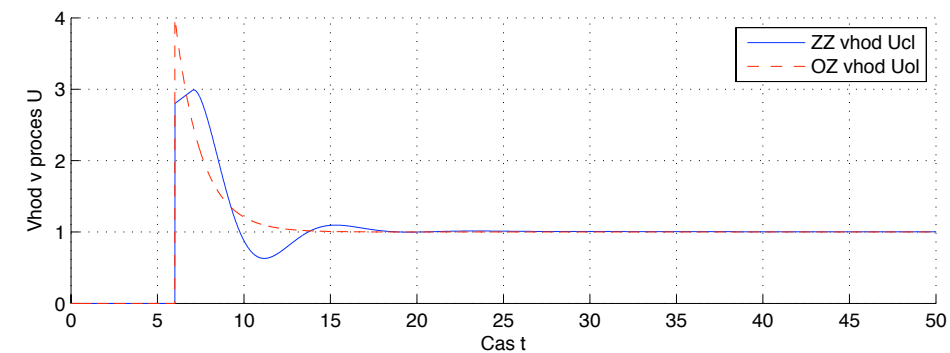
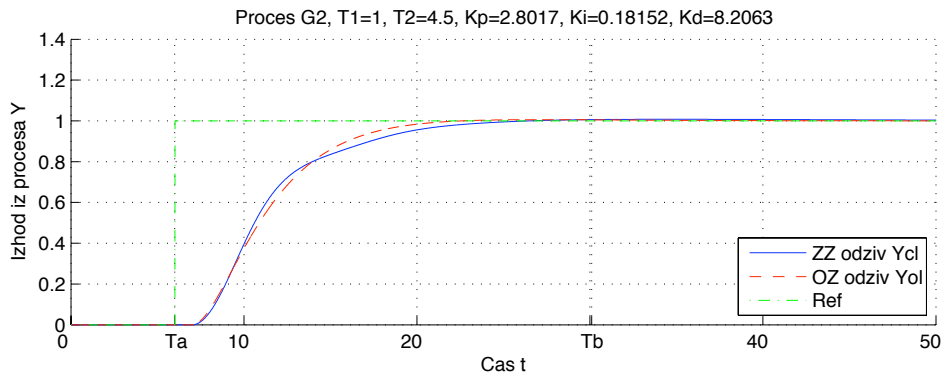
Slika 35: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



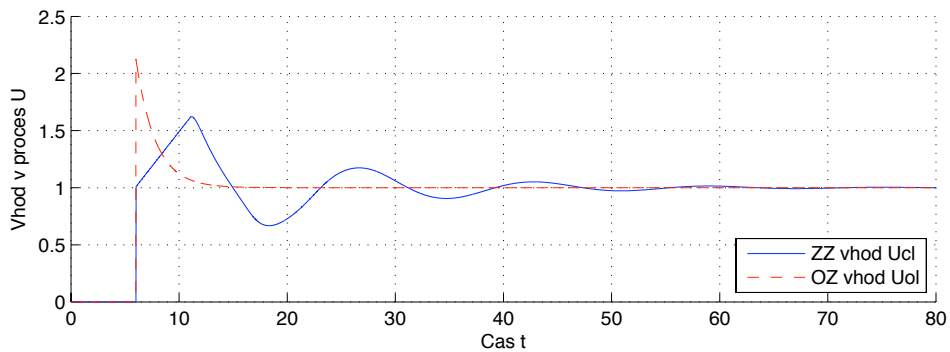
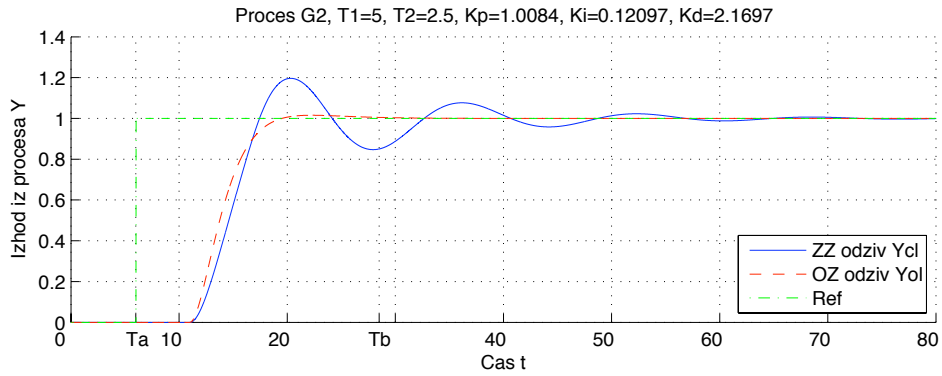
Slika 36: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



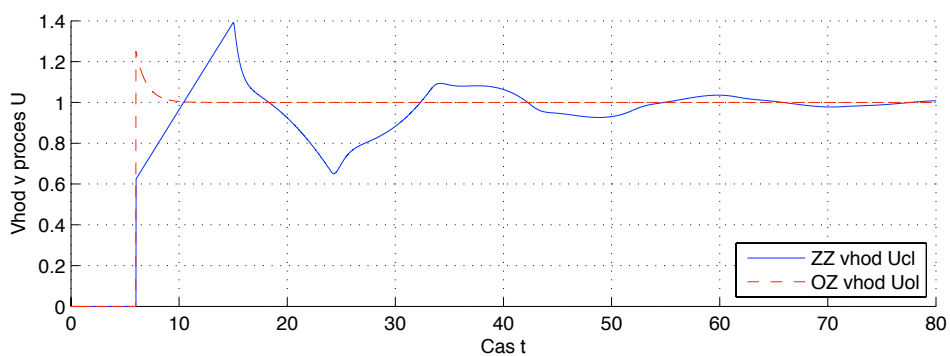
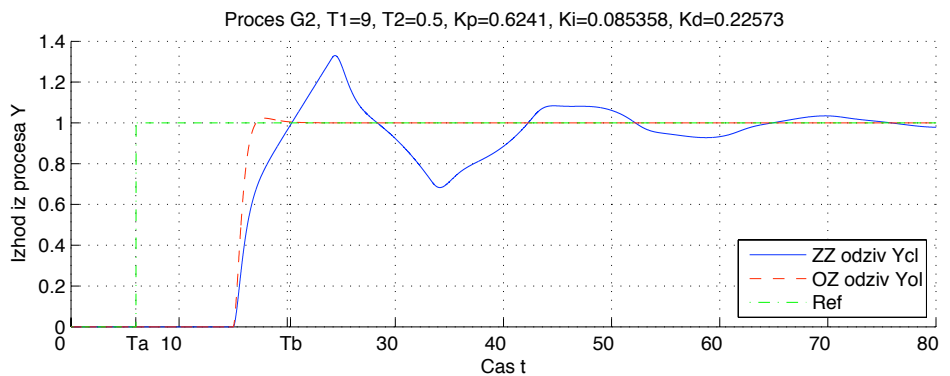
Slika 37: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



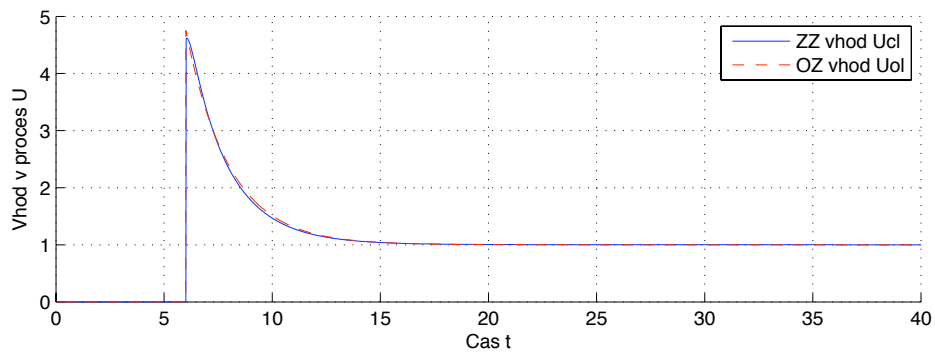
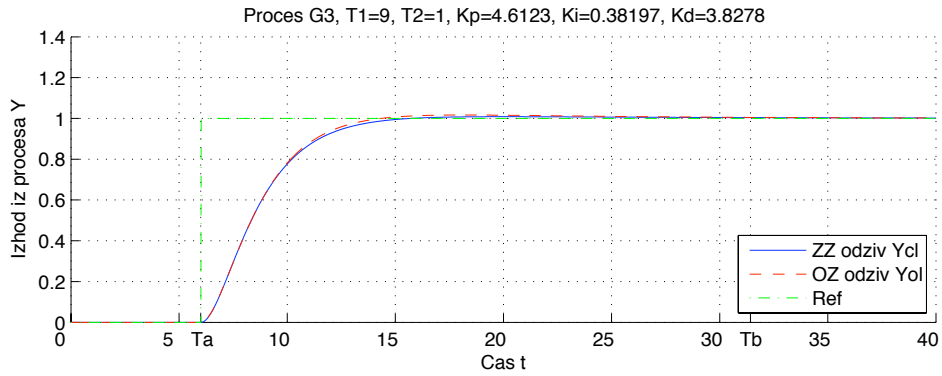
Slika 38: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



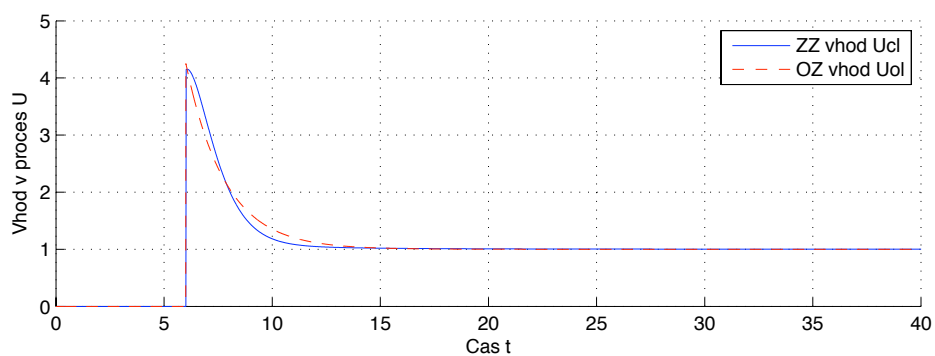
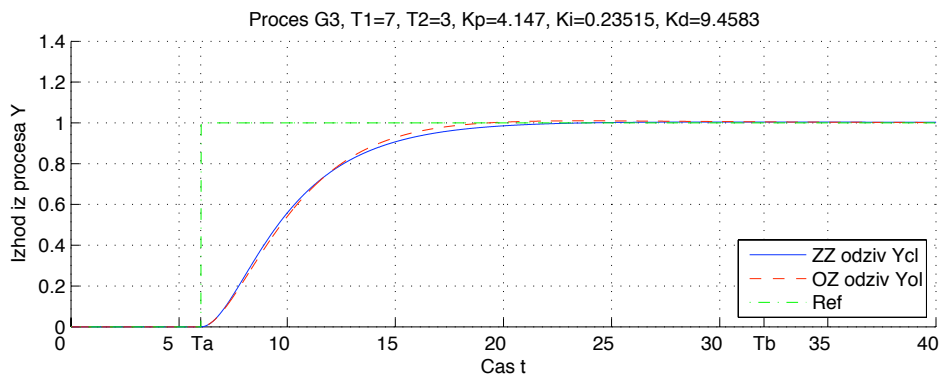
Slika 39: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 40: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

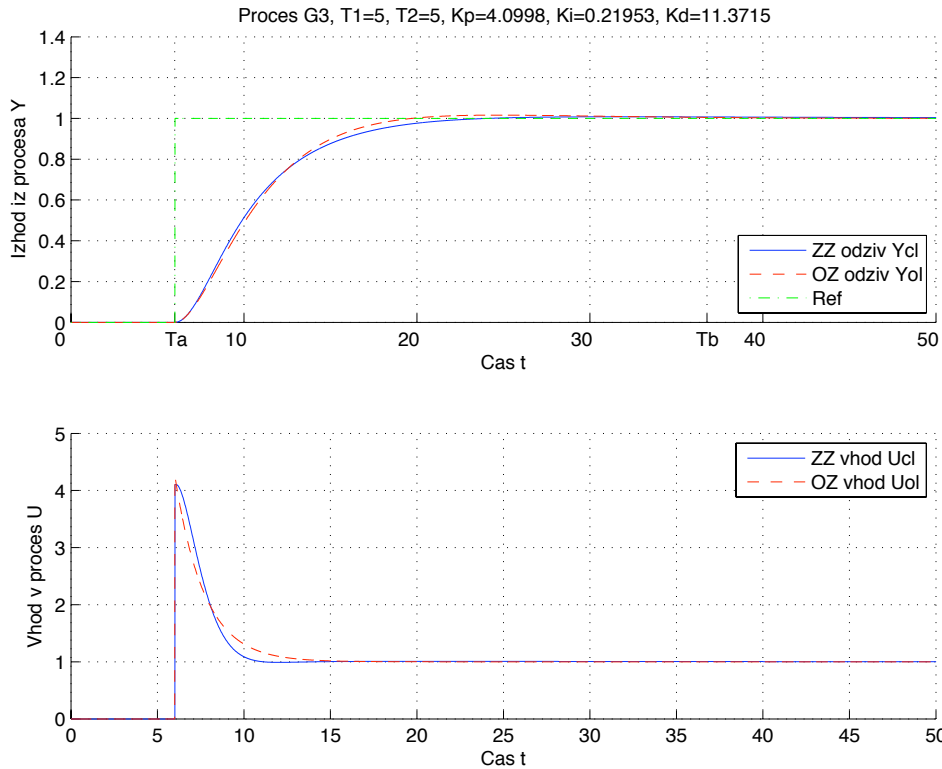


Slika 41: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

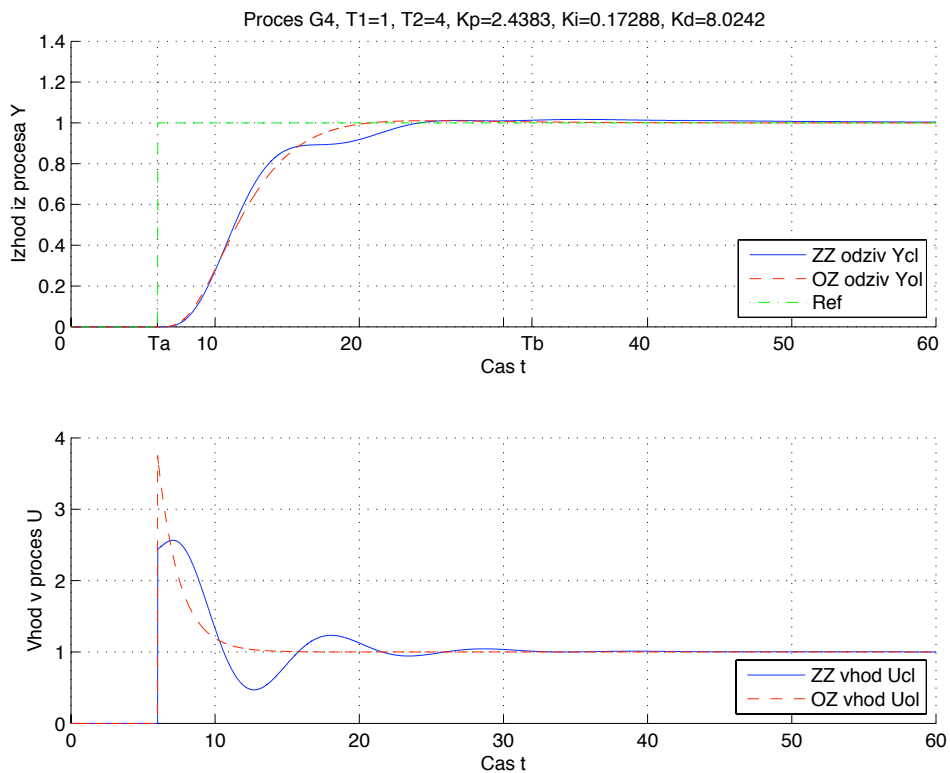


Slika 42: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

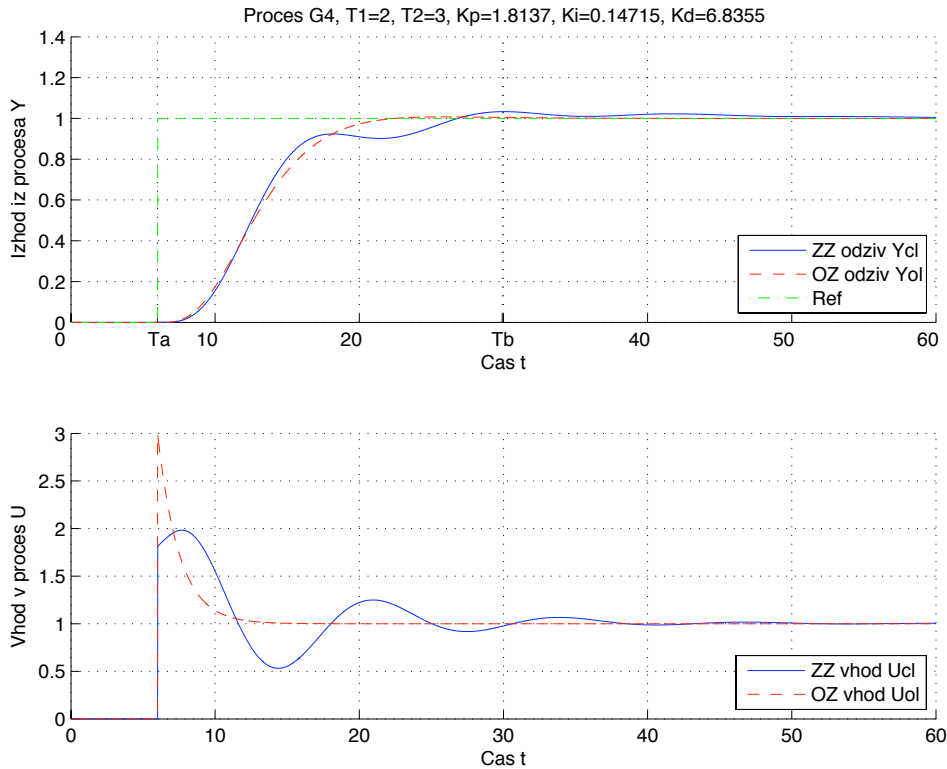




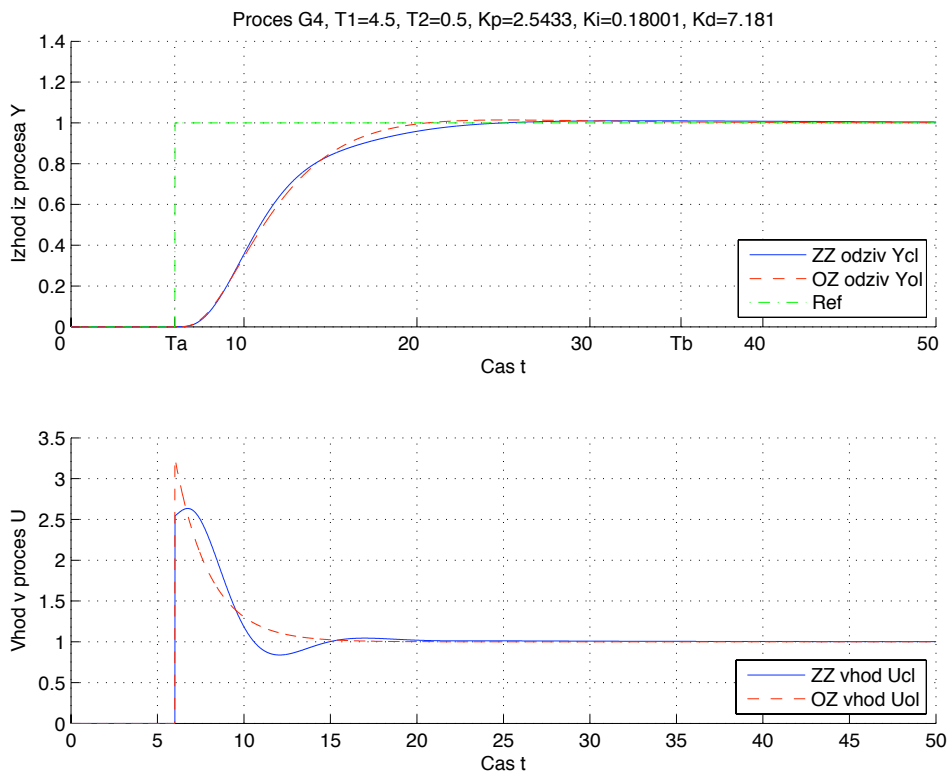
Slika 43: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



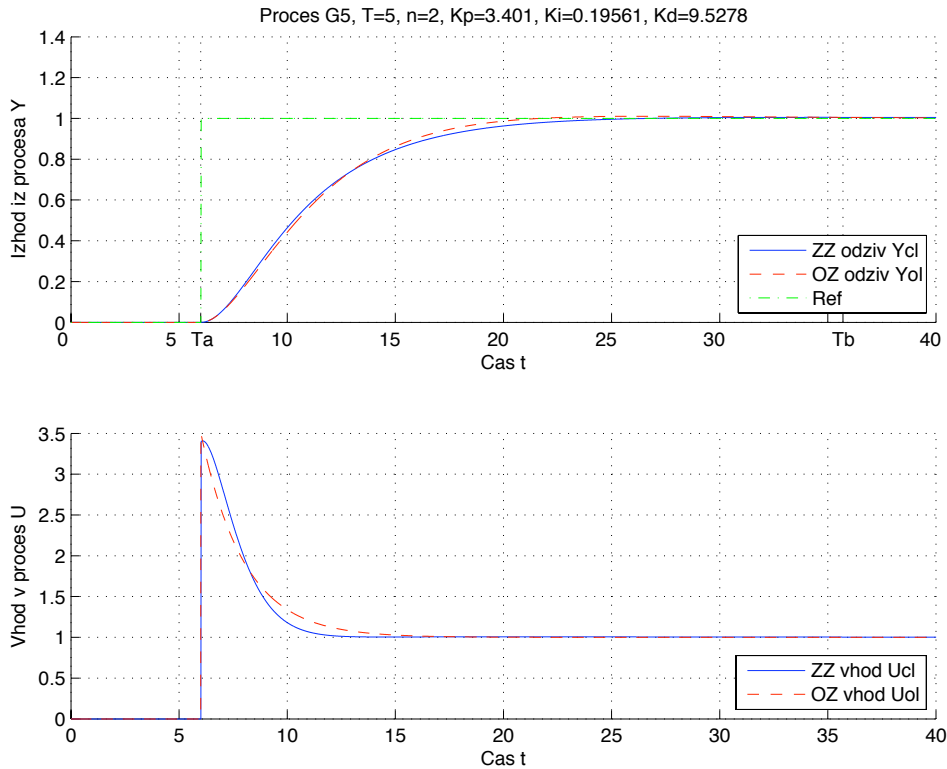
Slika 44: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



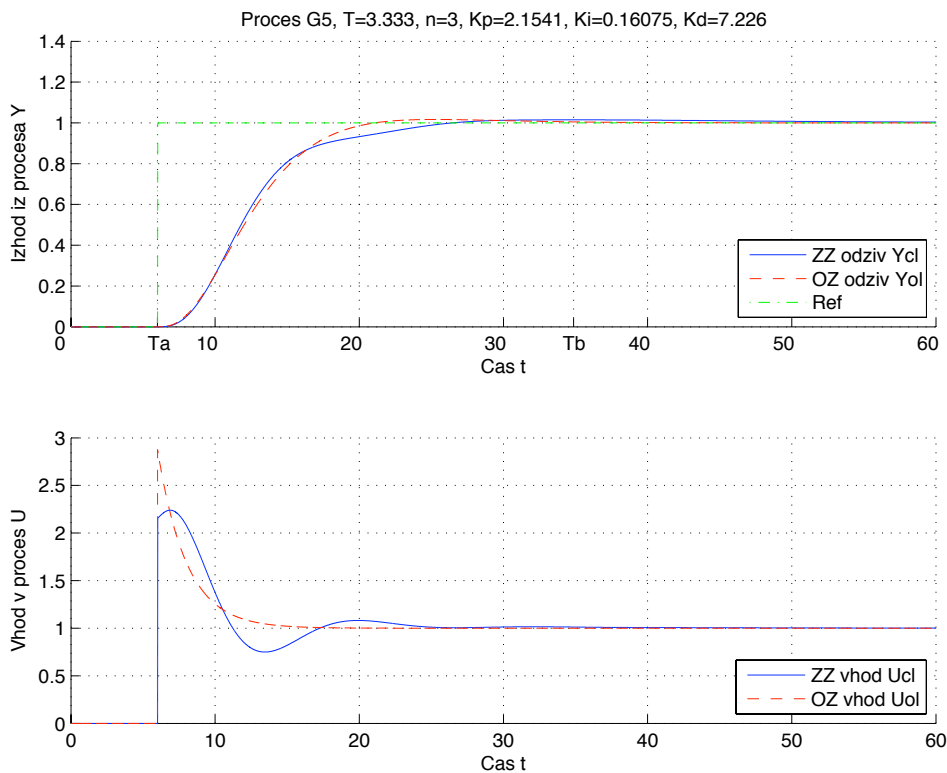
Slika 45: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



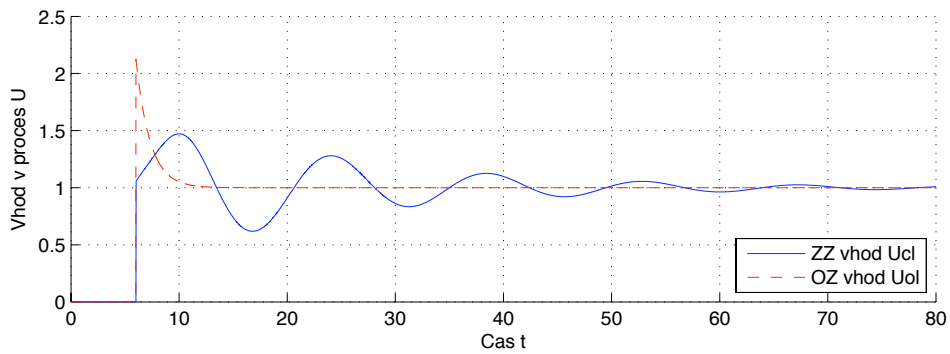
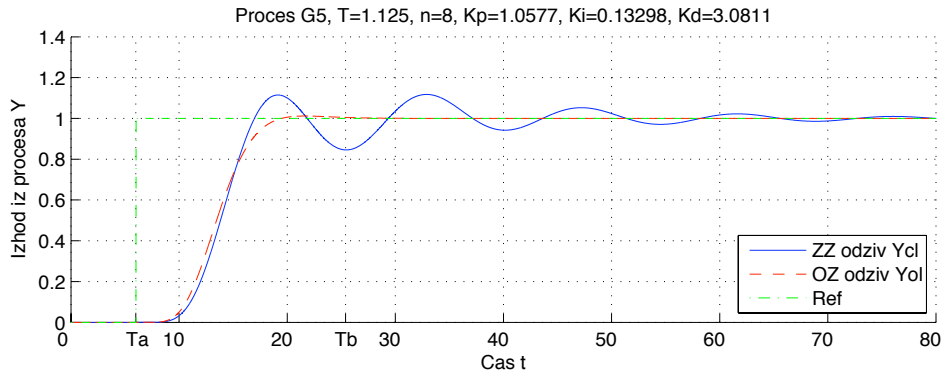
Slika 46: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



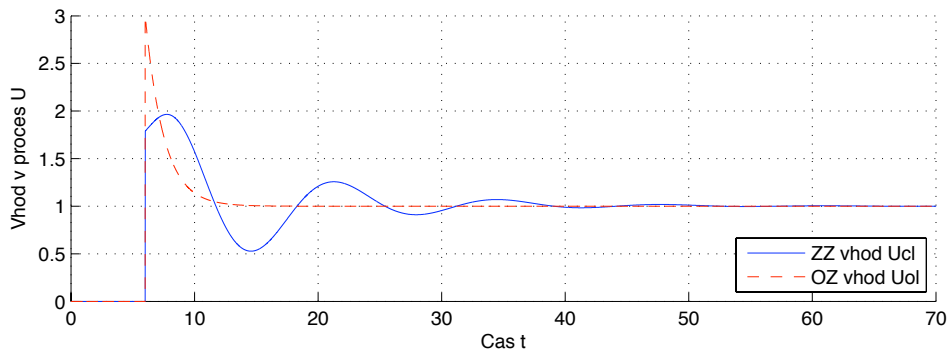
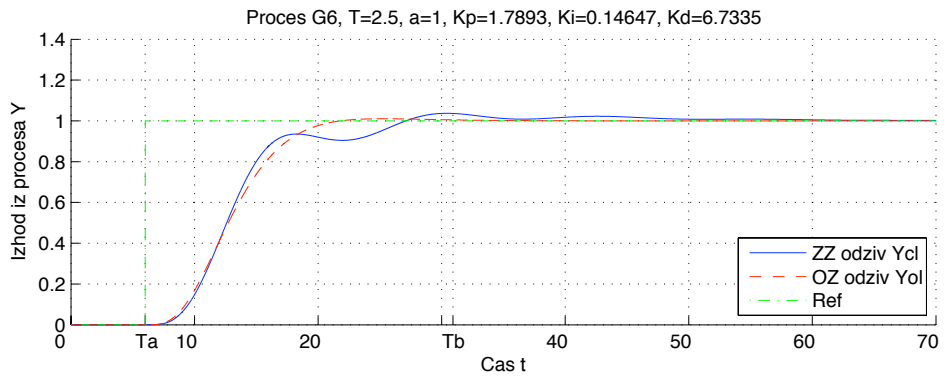
Slika 47: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



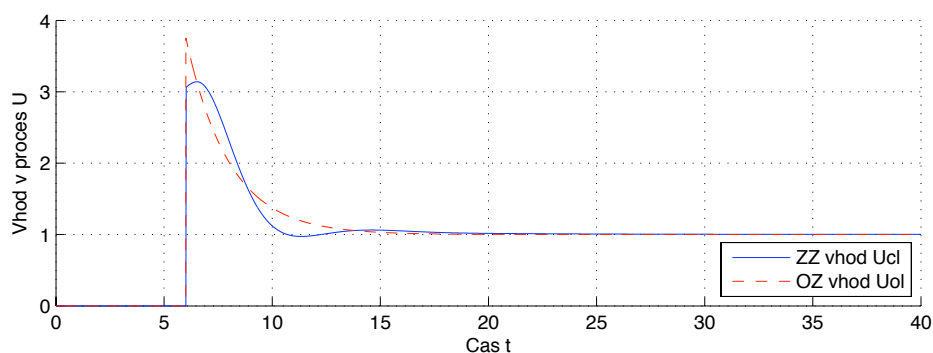
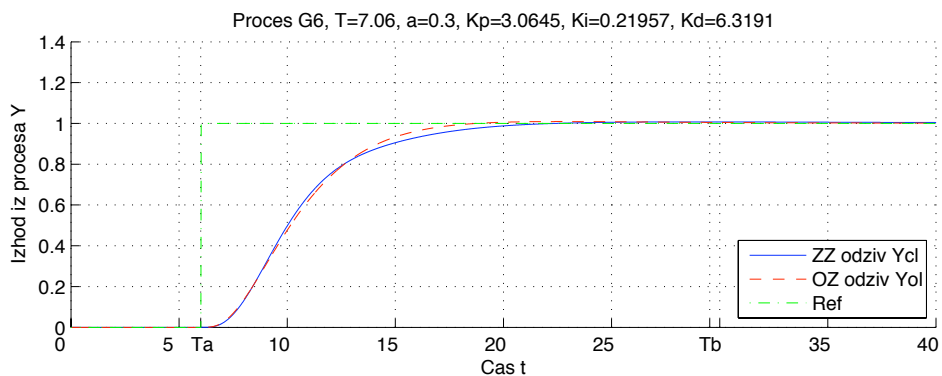
Slika 48: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



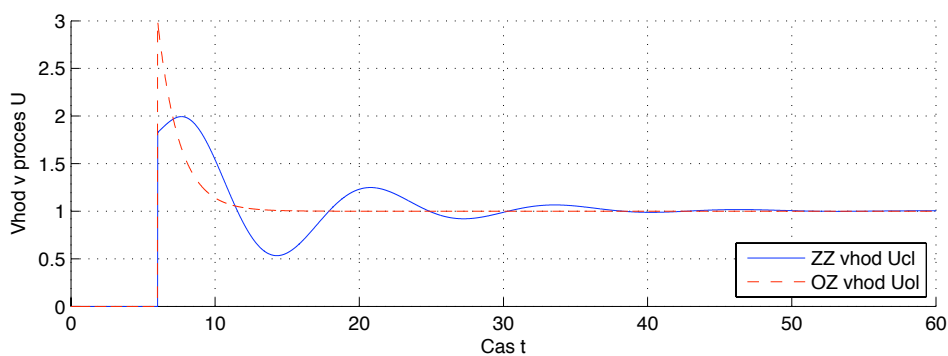
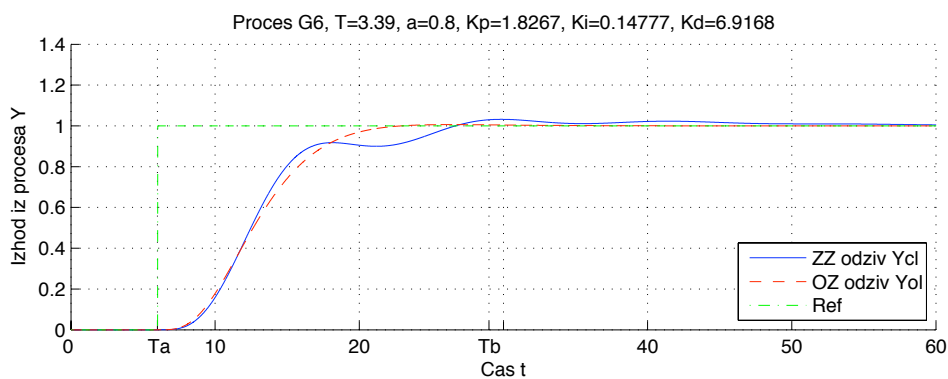
Slika 49: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



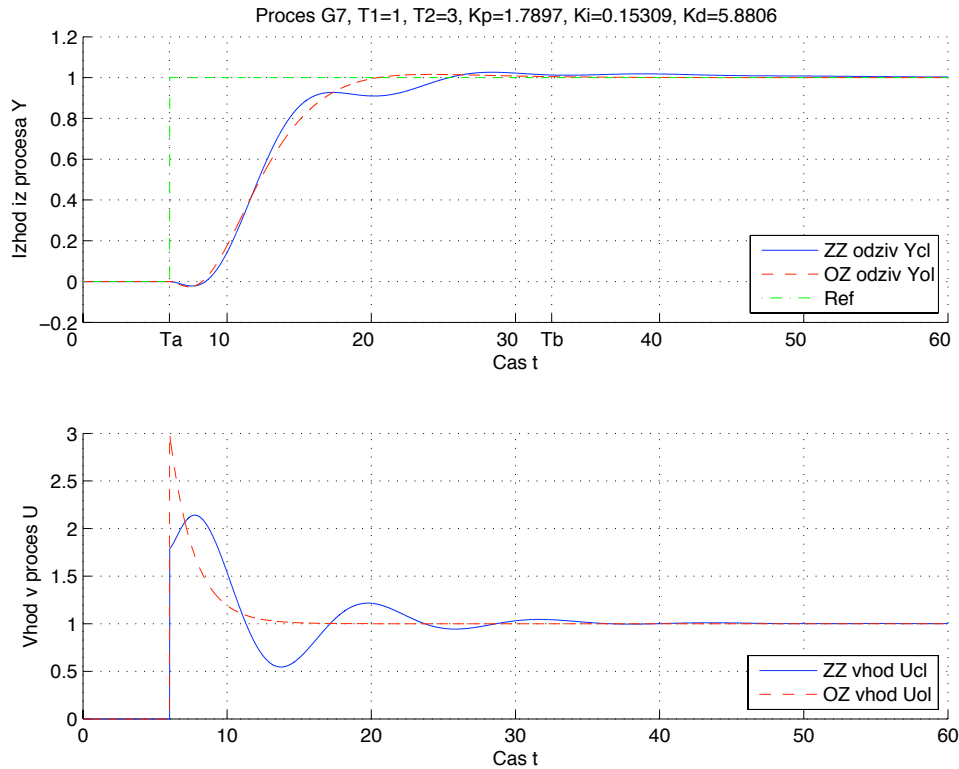
Slika 50: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



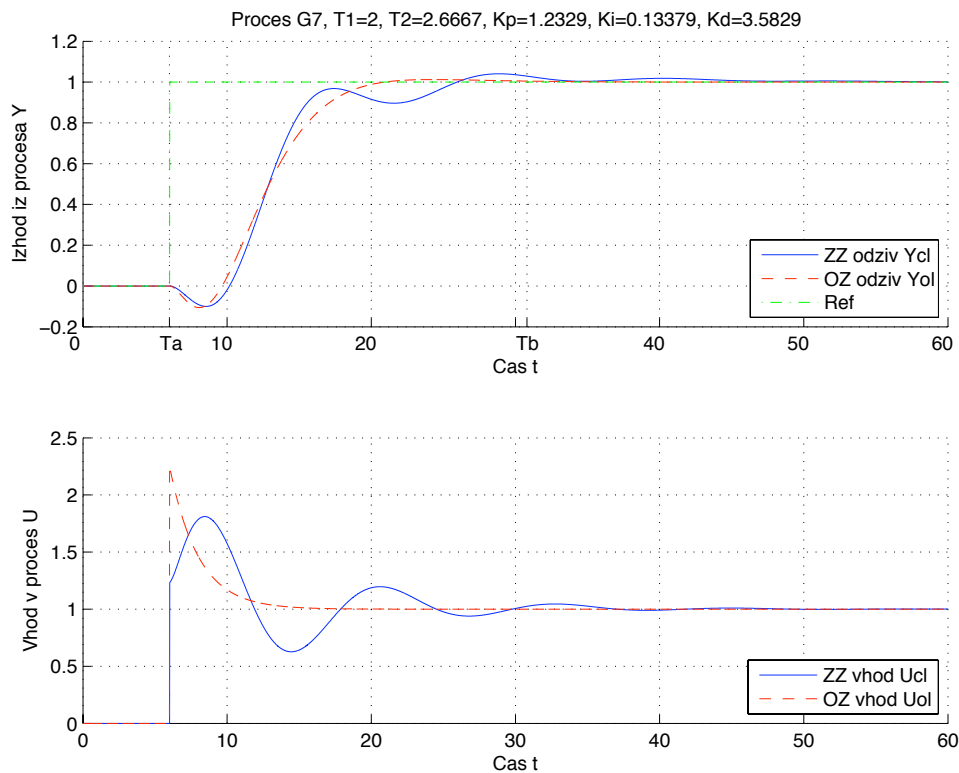
Slika 51: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



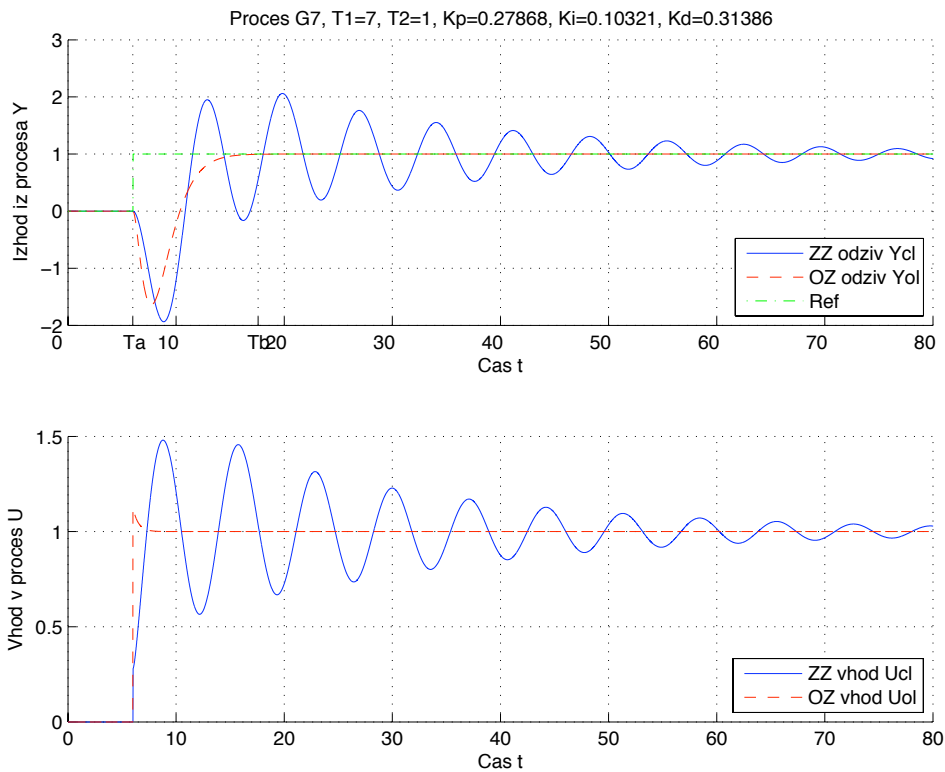
Slika 52: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



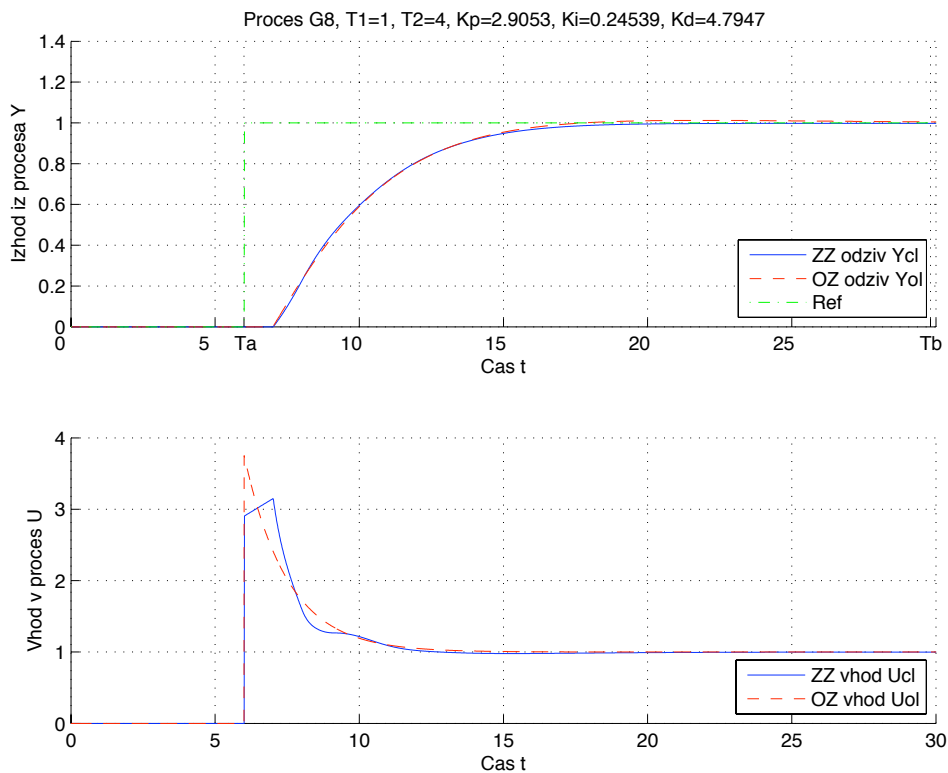
Slika 53: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



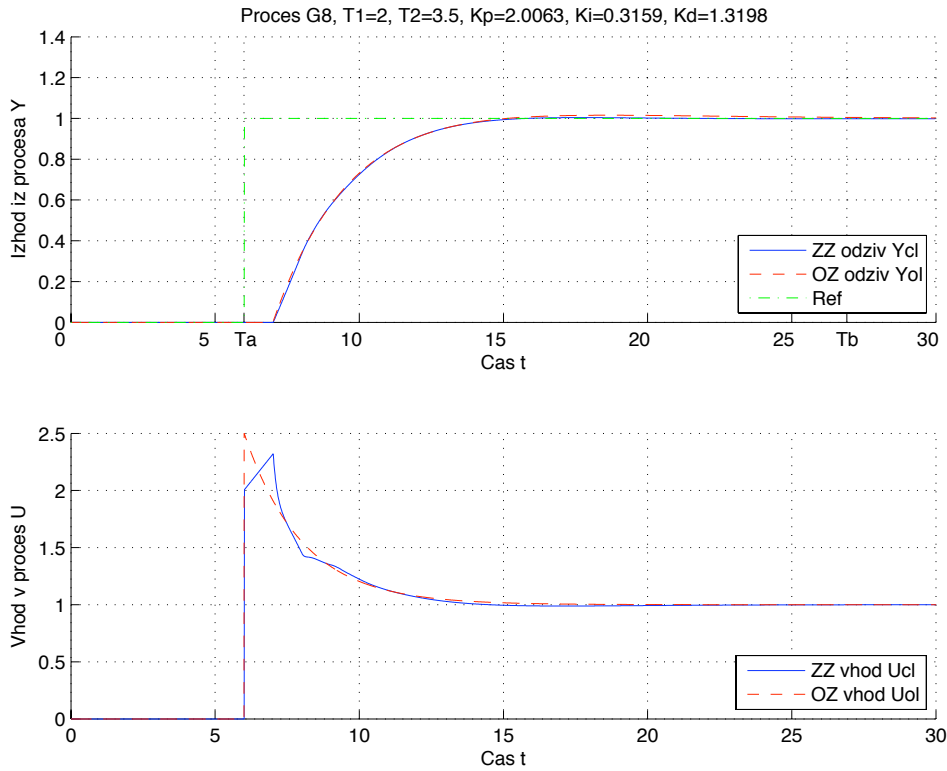
Slika 54: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



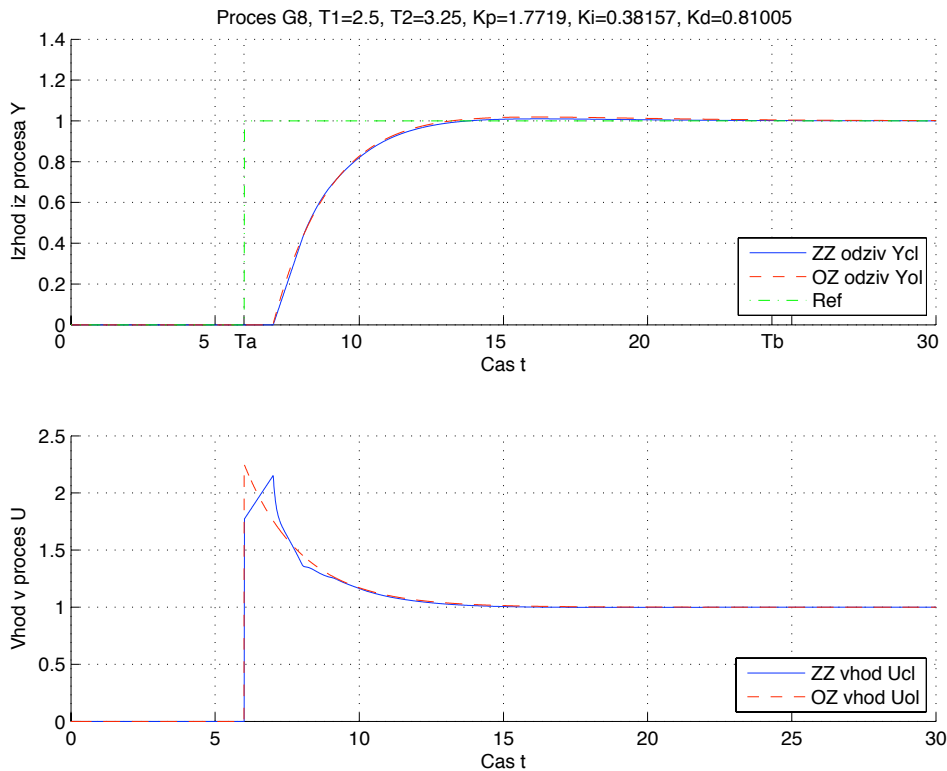
Slika 55: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 56: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

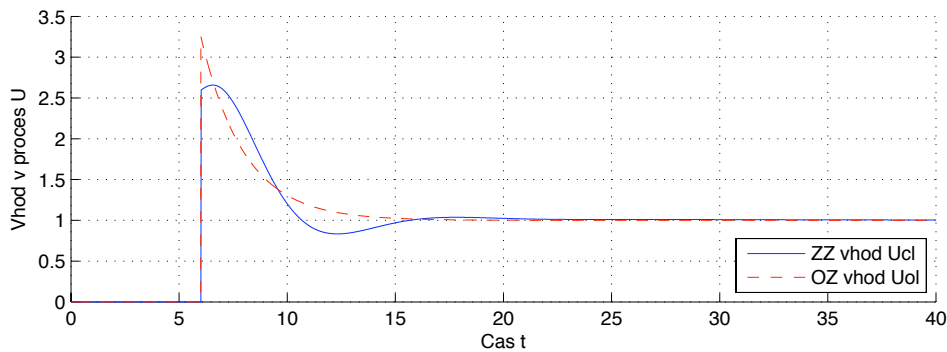
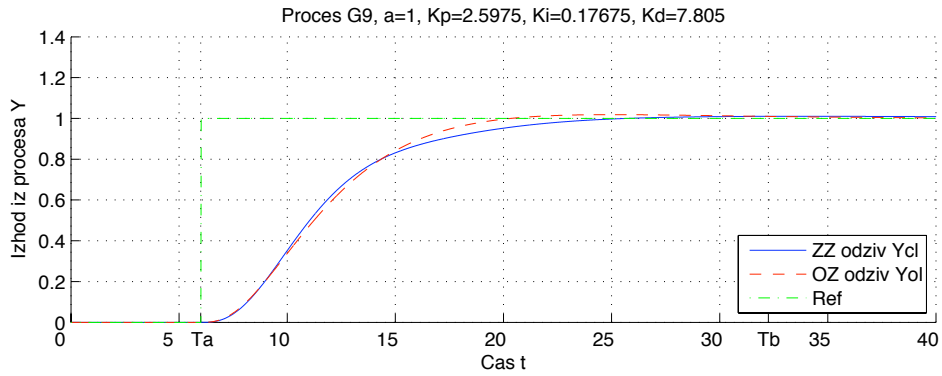


Slika 57: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

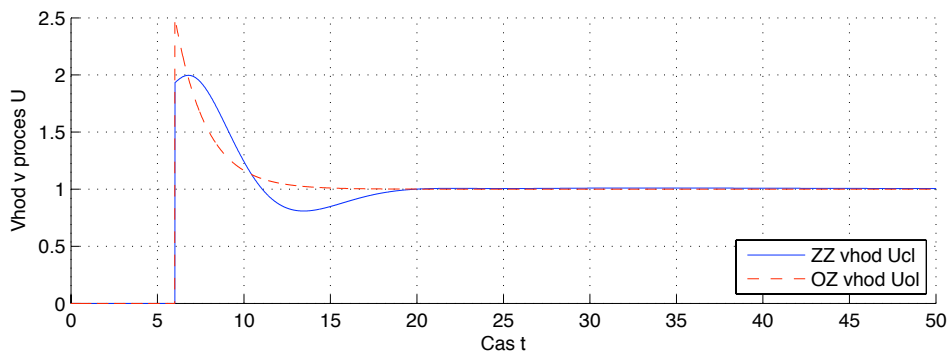
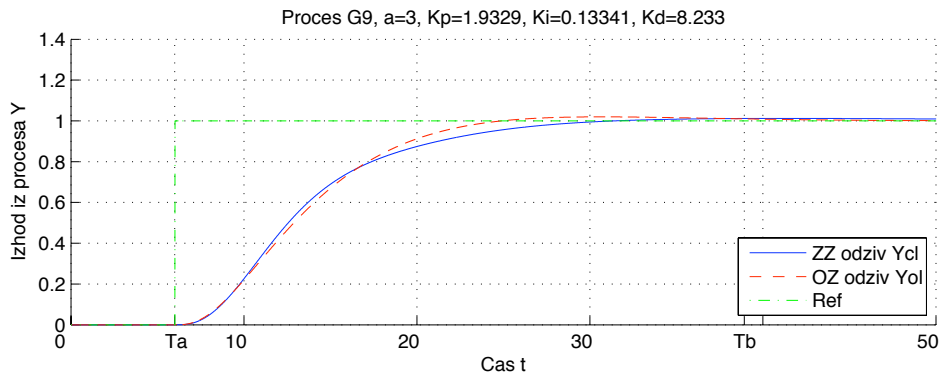


Slika 58: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$ .

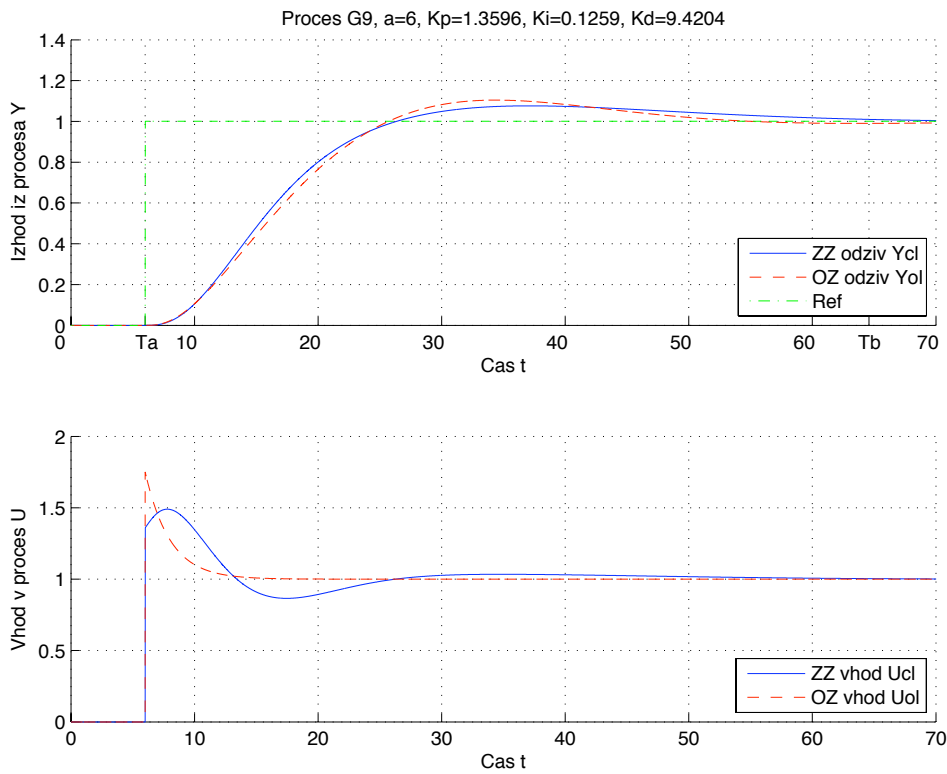




Slika 59: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

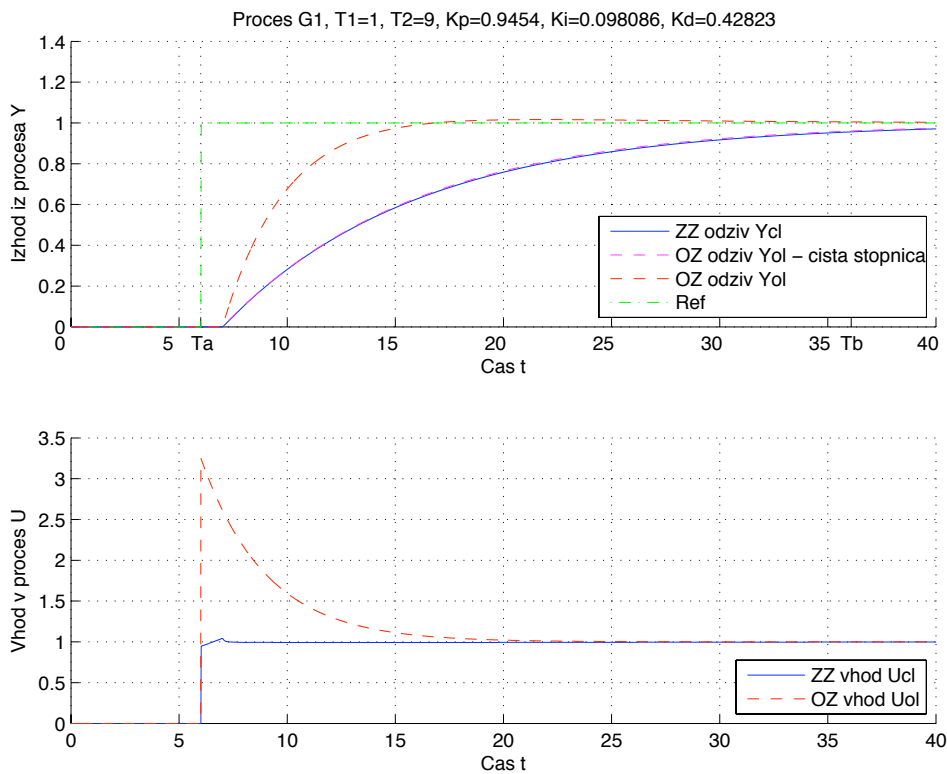


Slika 60: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

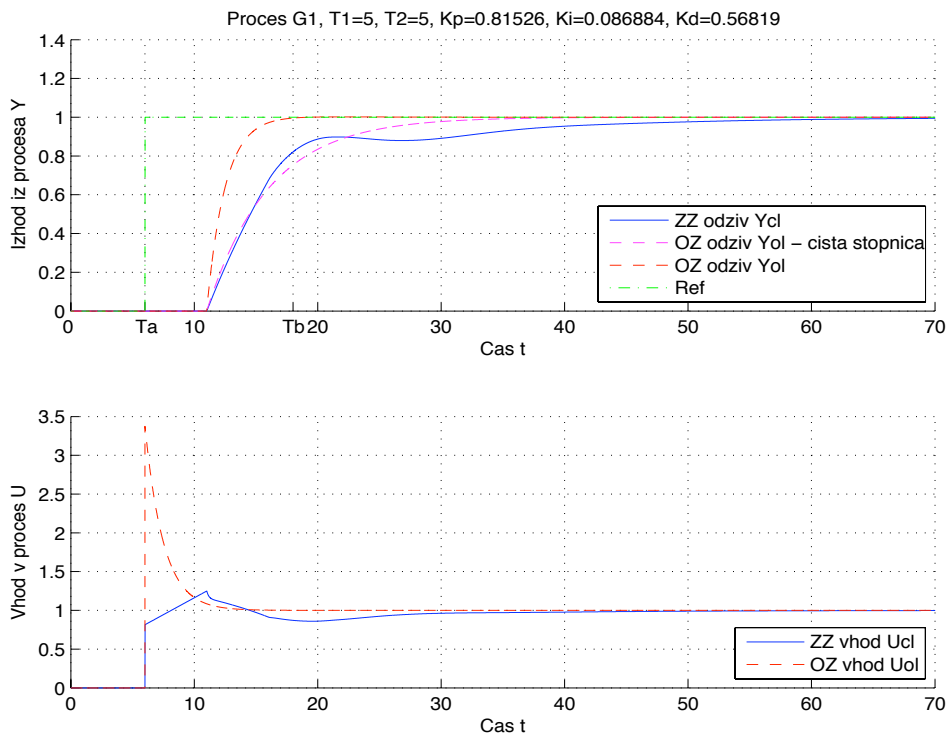


Slika 61: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

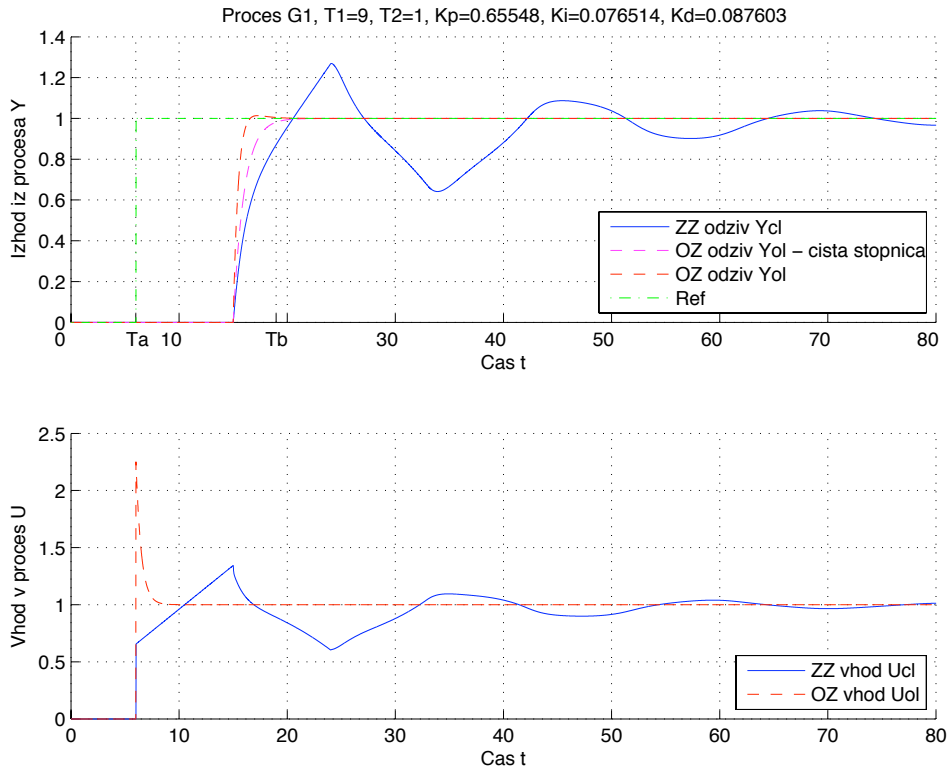
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



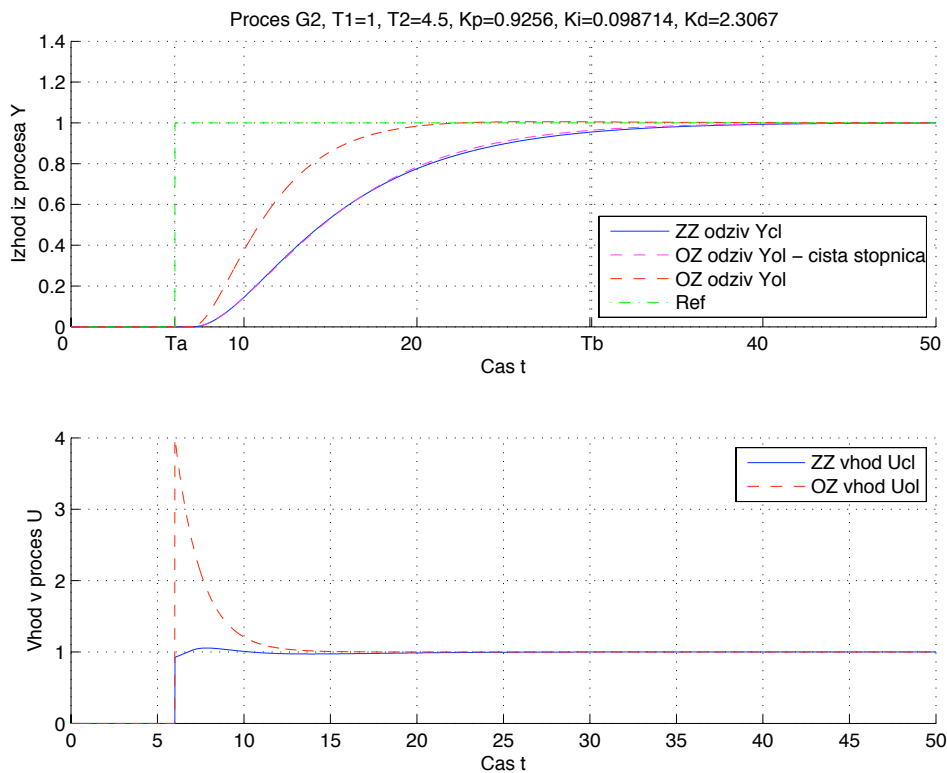
Slika 62: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



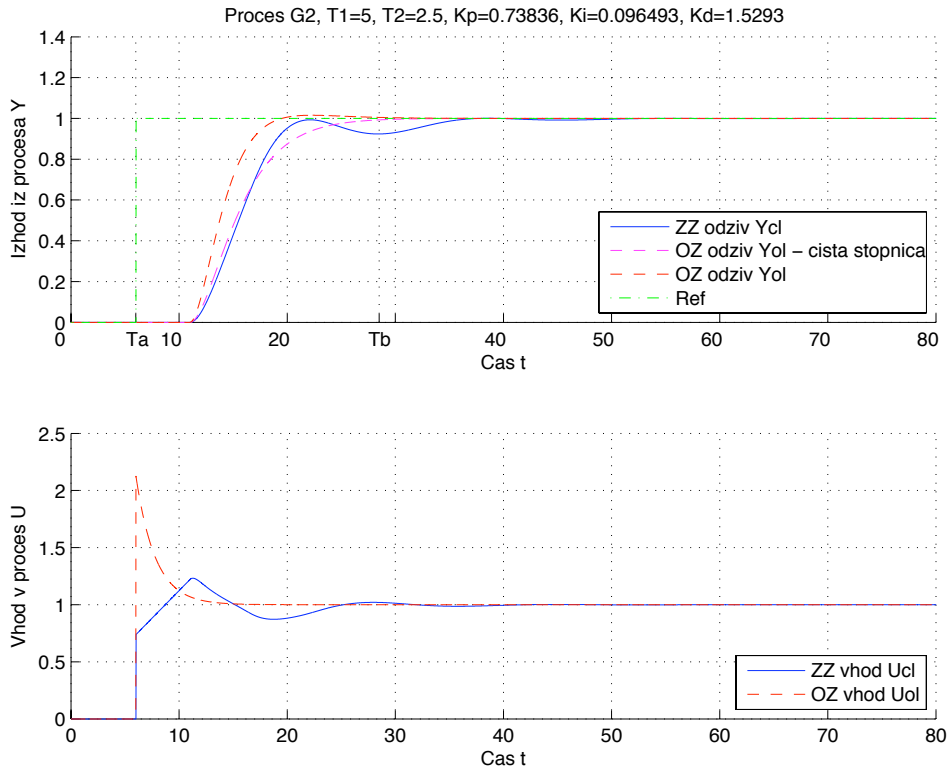
Slika 63: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



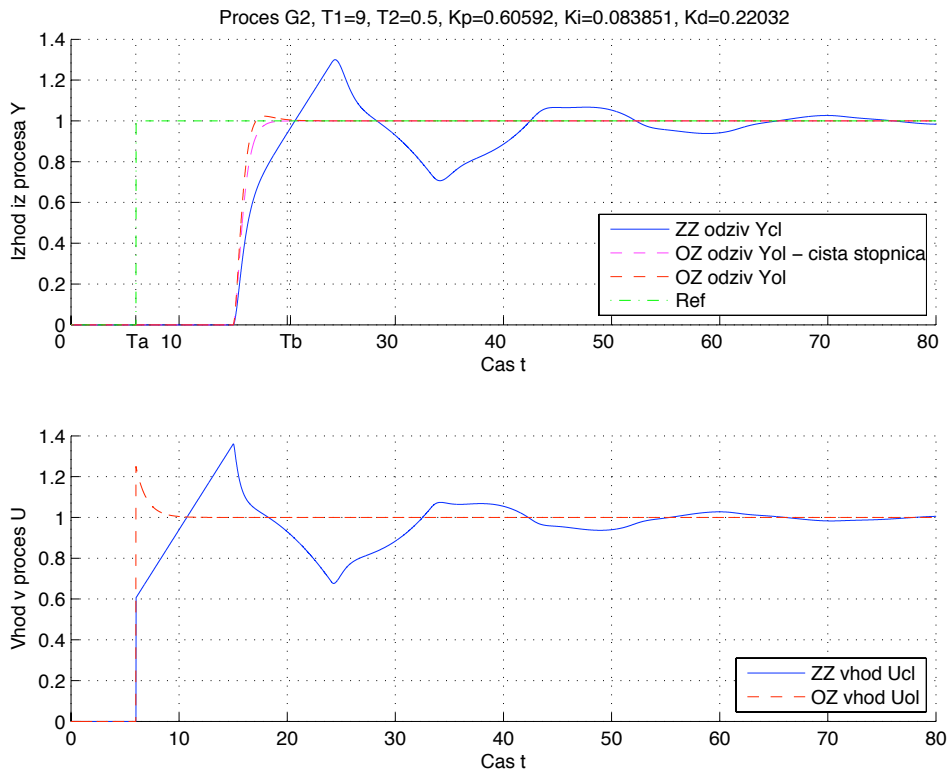
Slika 64: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



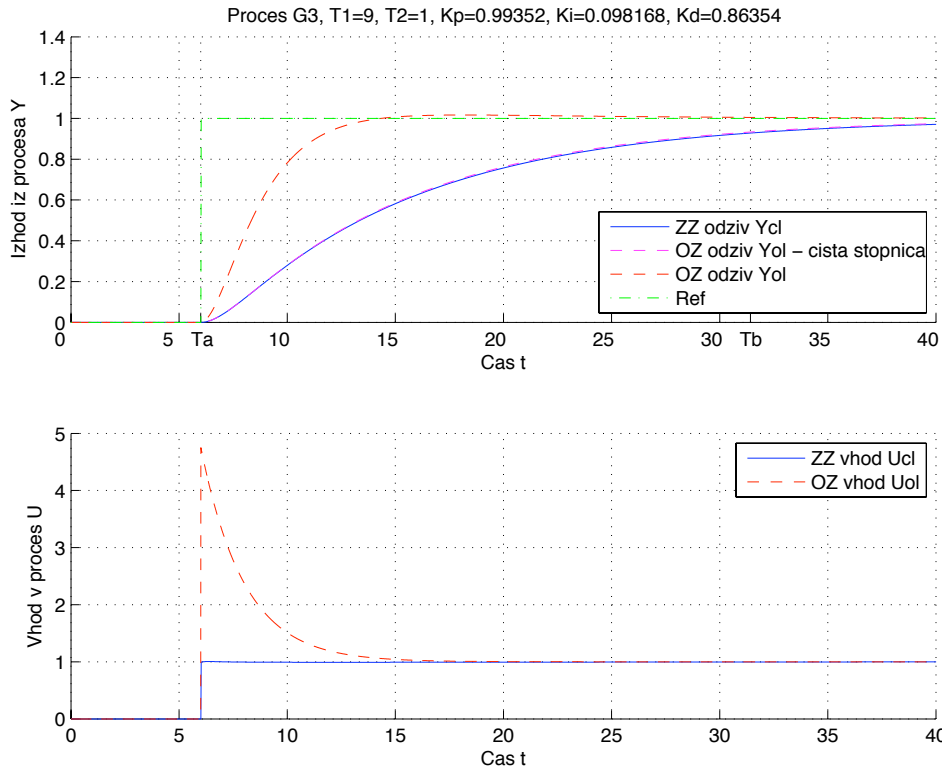
Slika 65: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



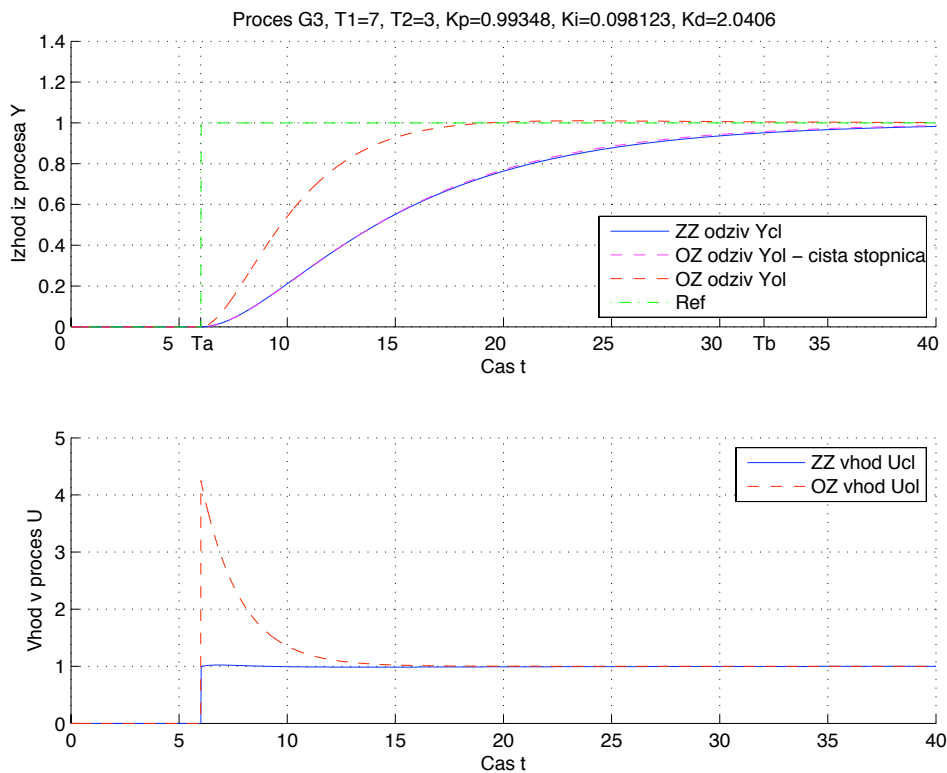
Slika 66: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



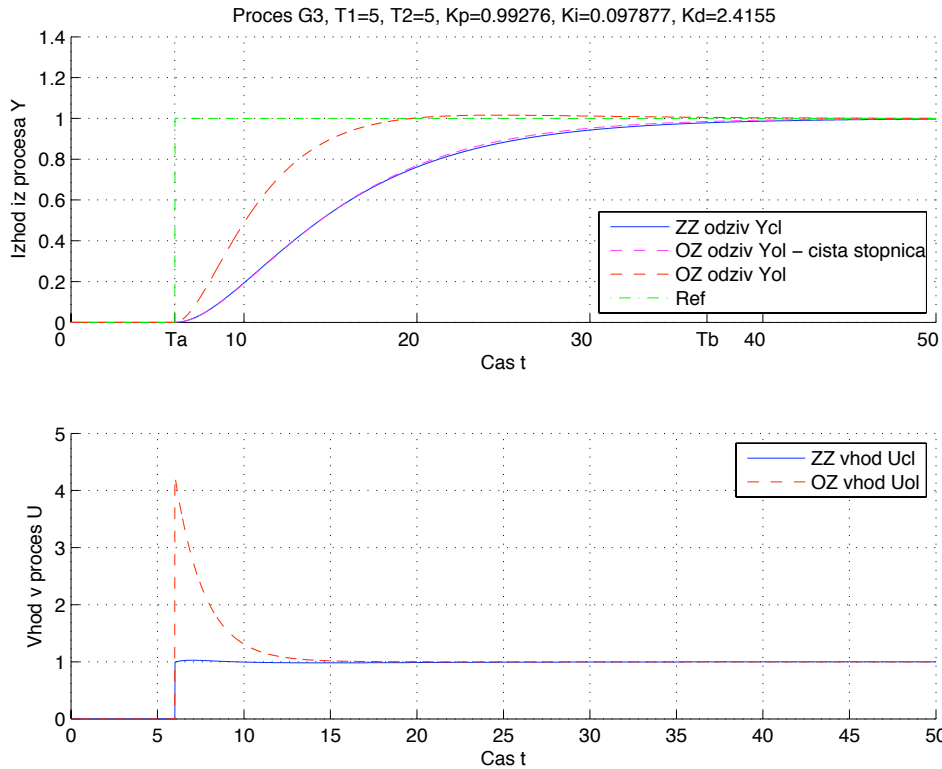
Slika 67: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



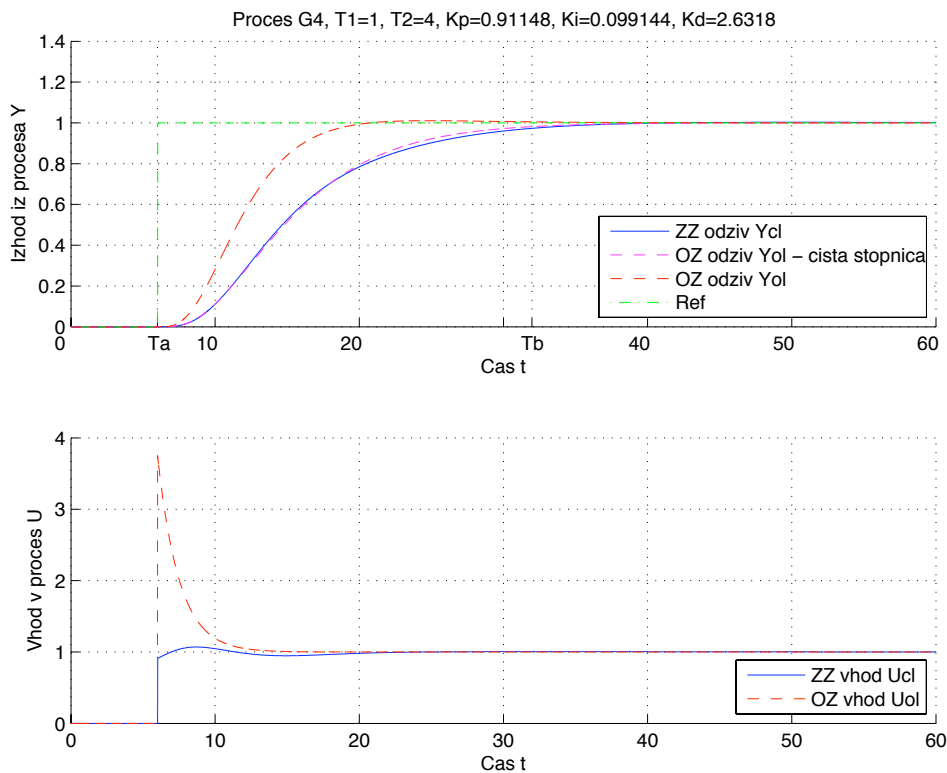
Slika 68: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



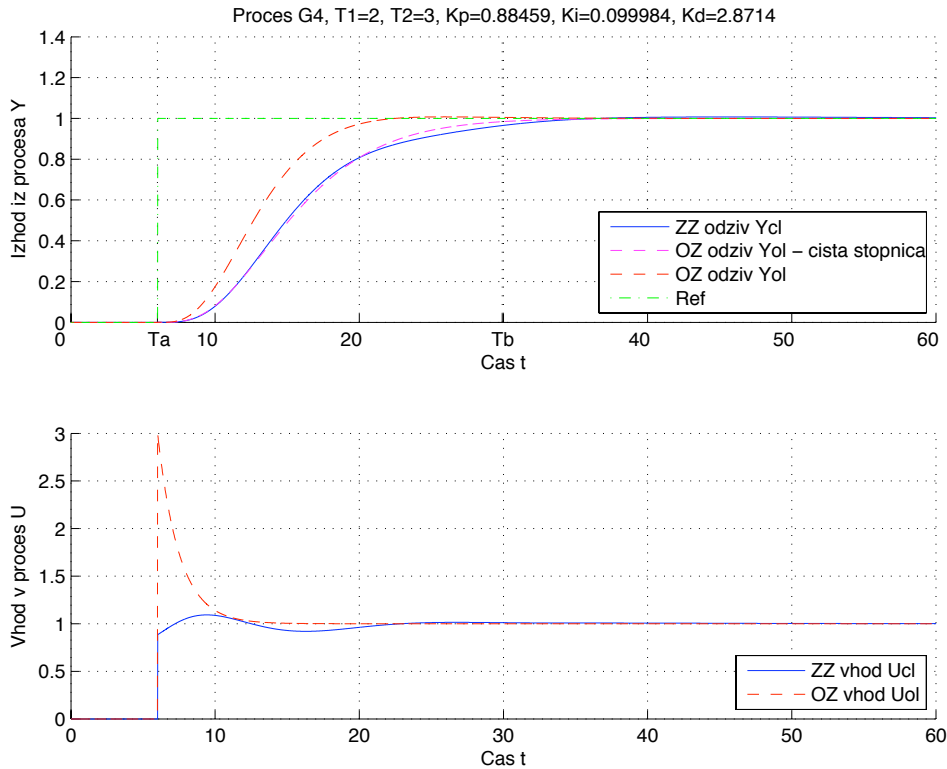
Slika 69: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



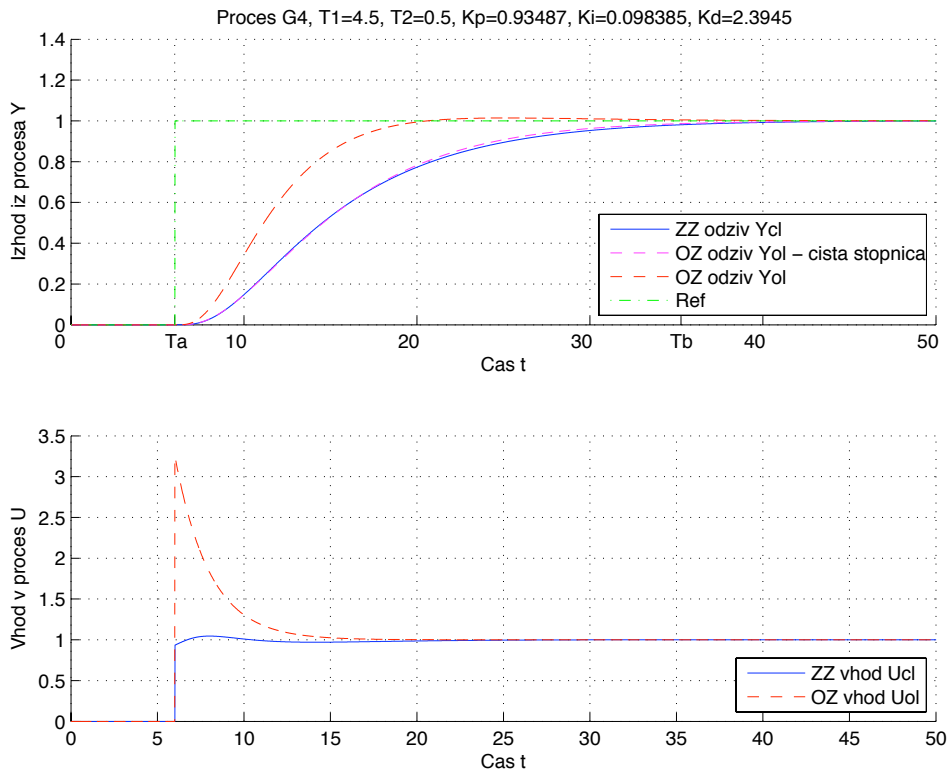
Slika 70: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 71: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

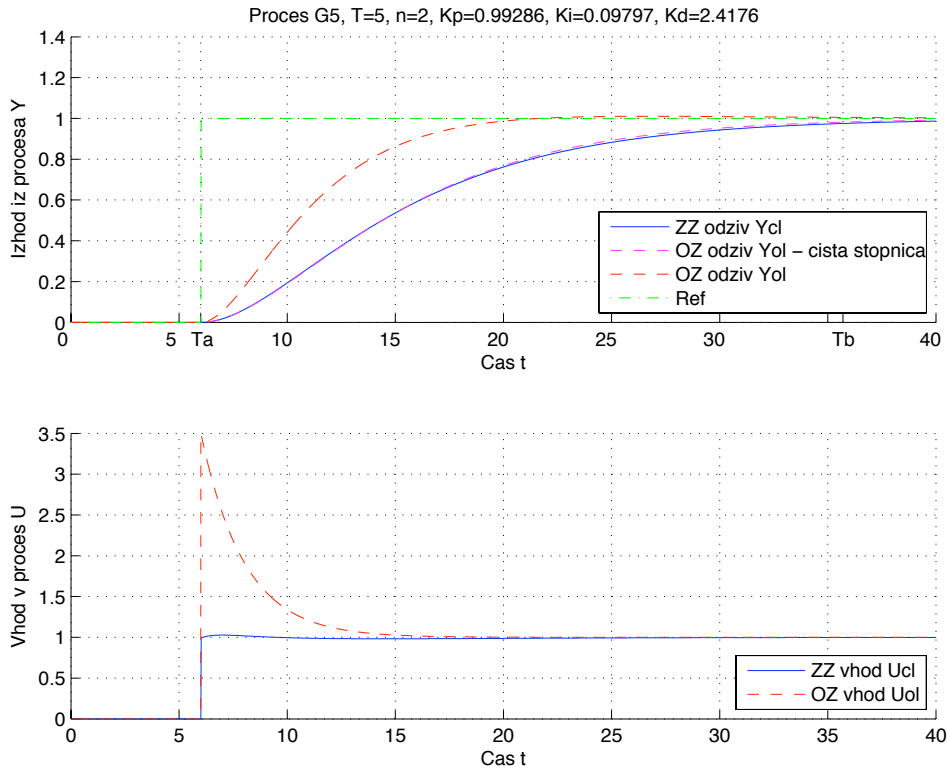


Slika 72: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

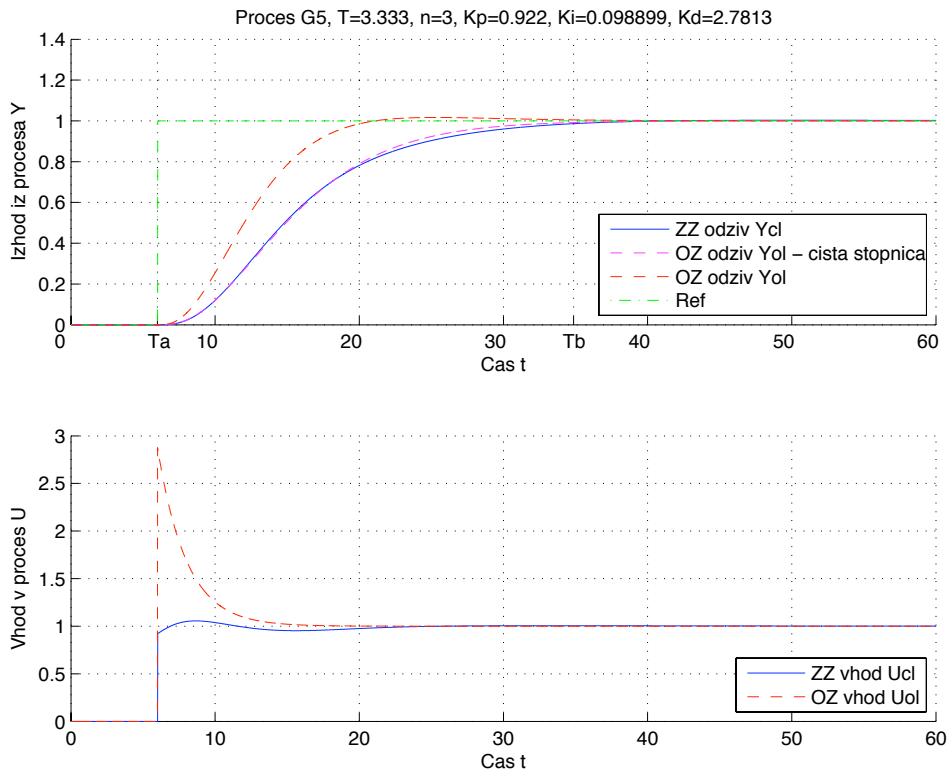


Slika 73: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

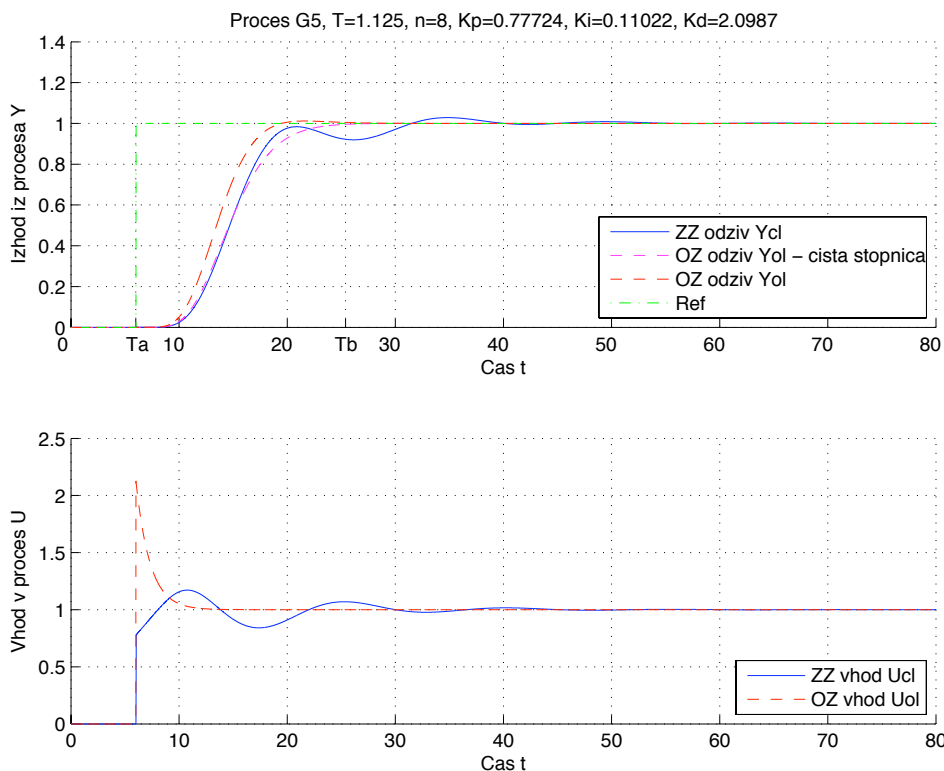




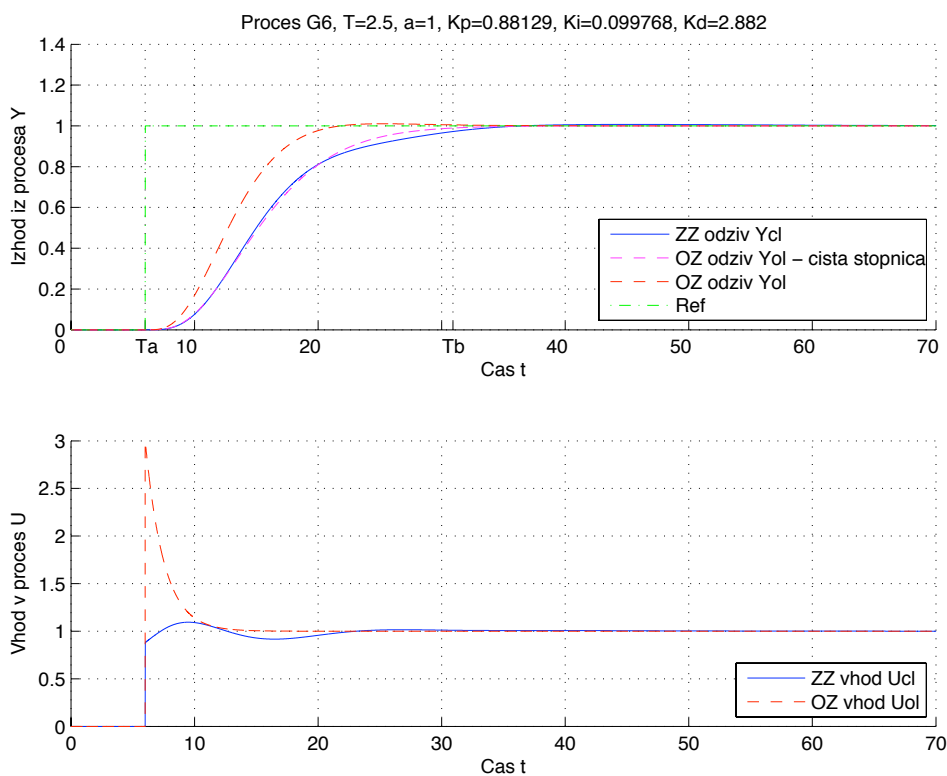
Slika 74: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



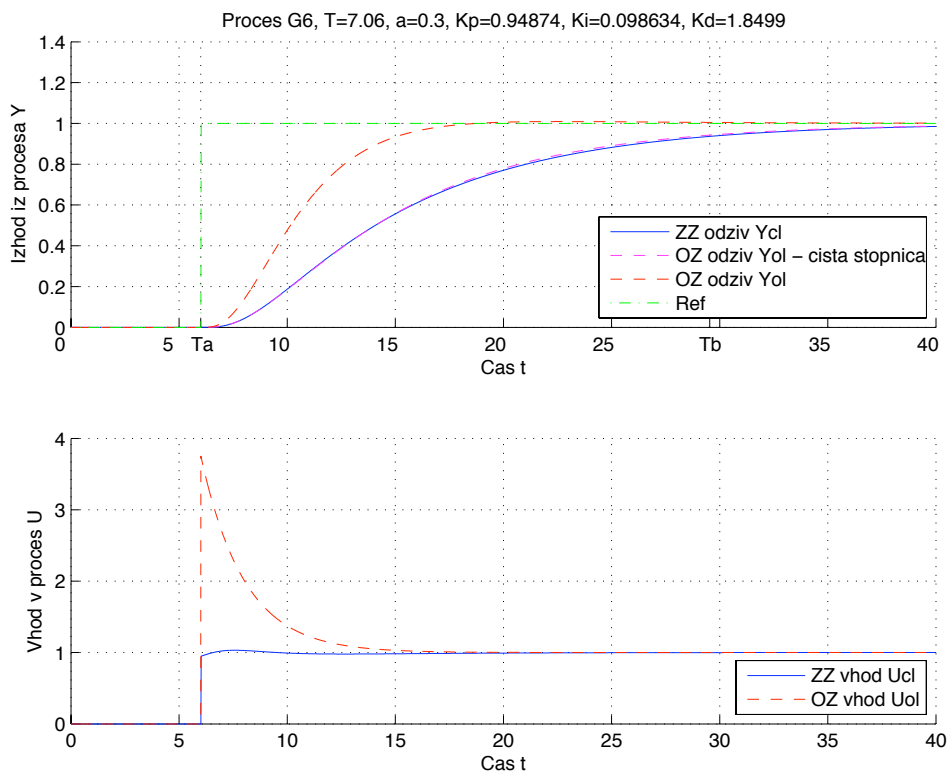
Slika 75: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



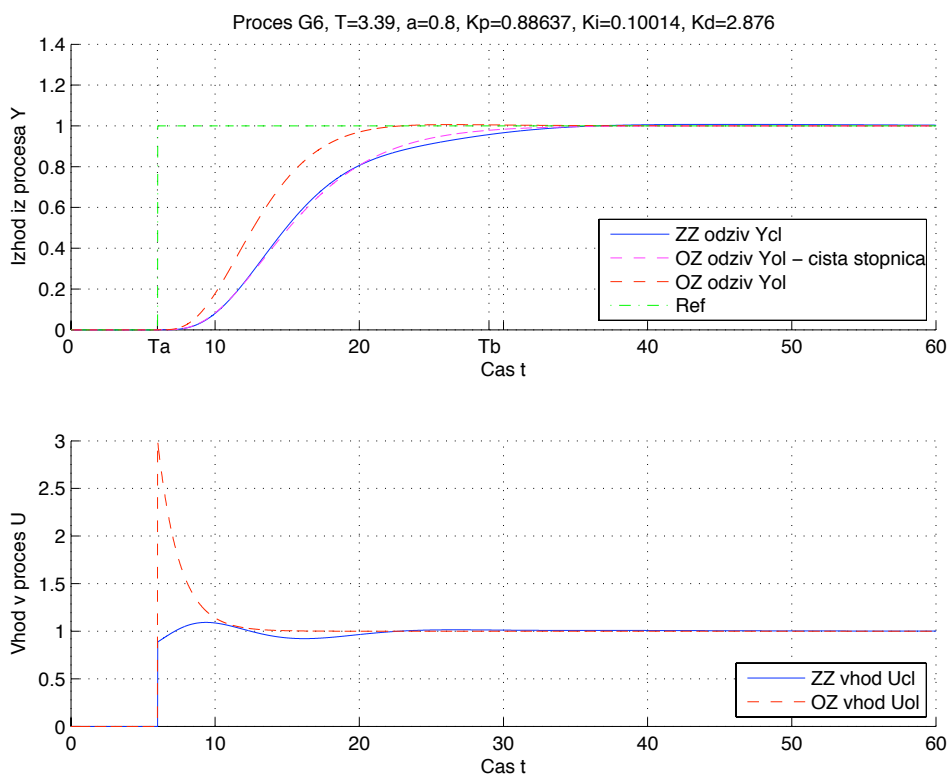
Slika 76: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



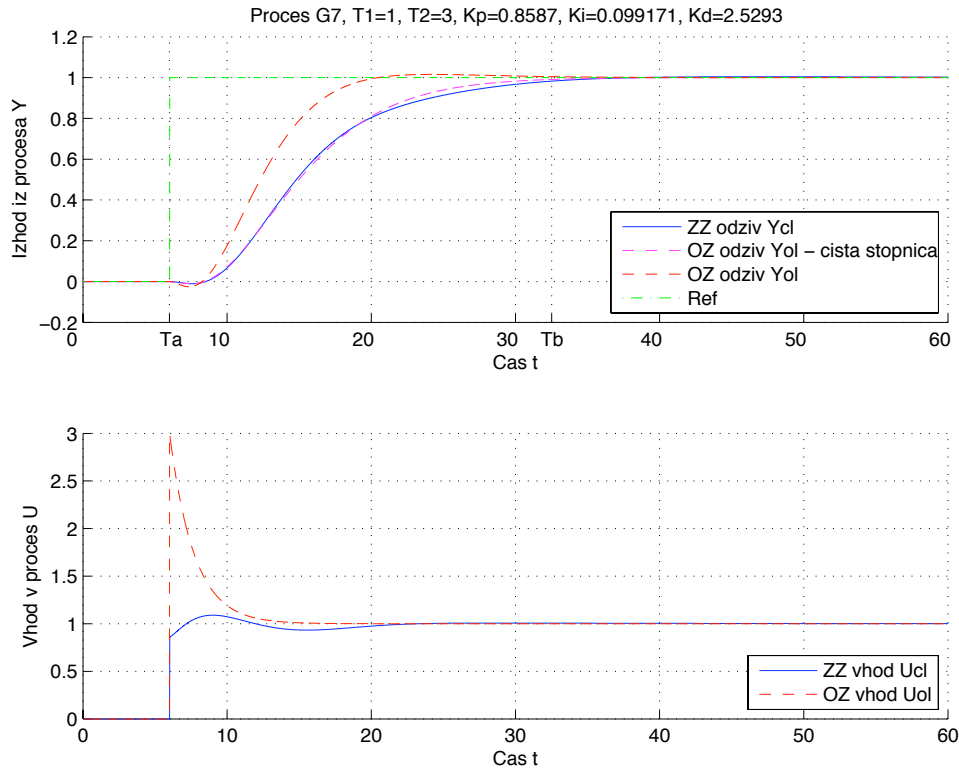
Slika 77: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



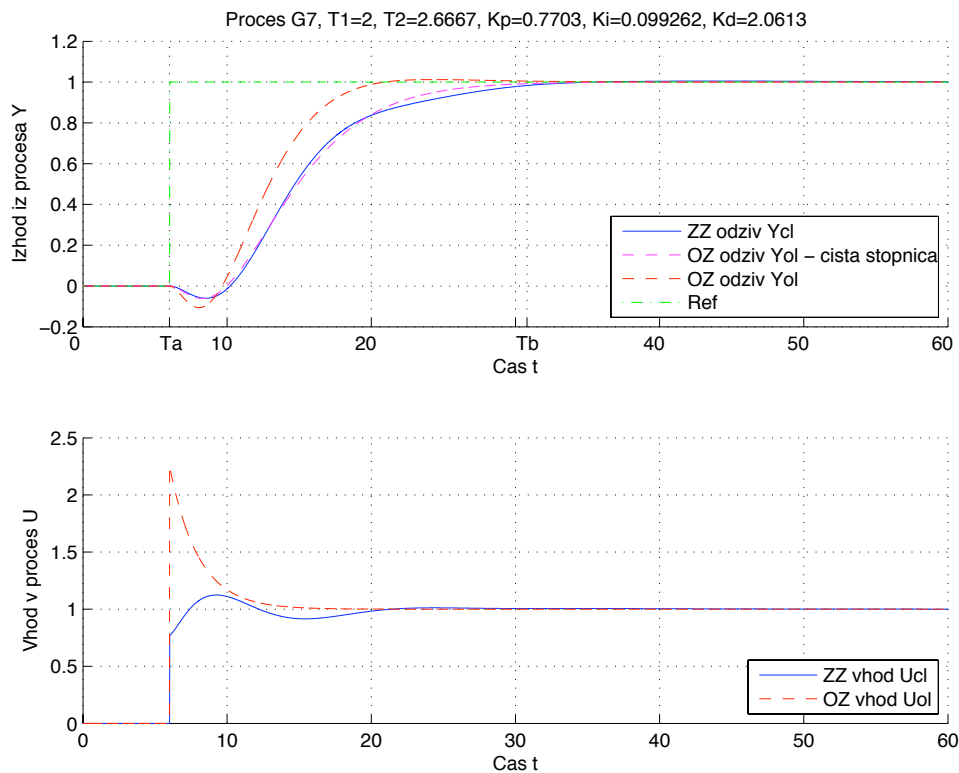
Slika 78: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



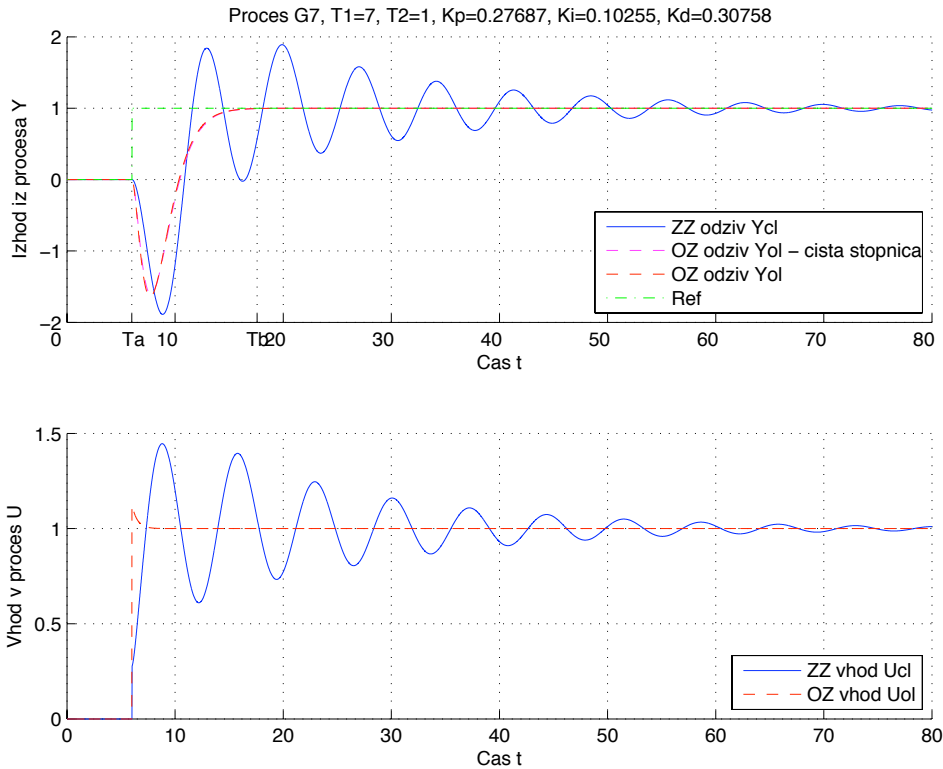
Slika 79: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



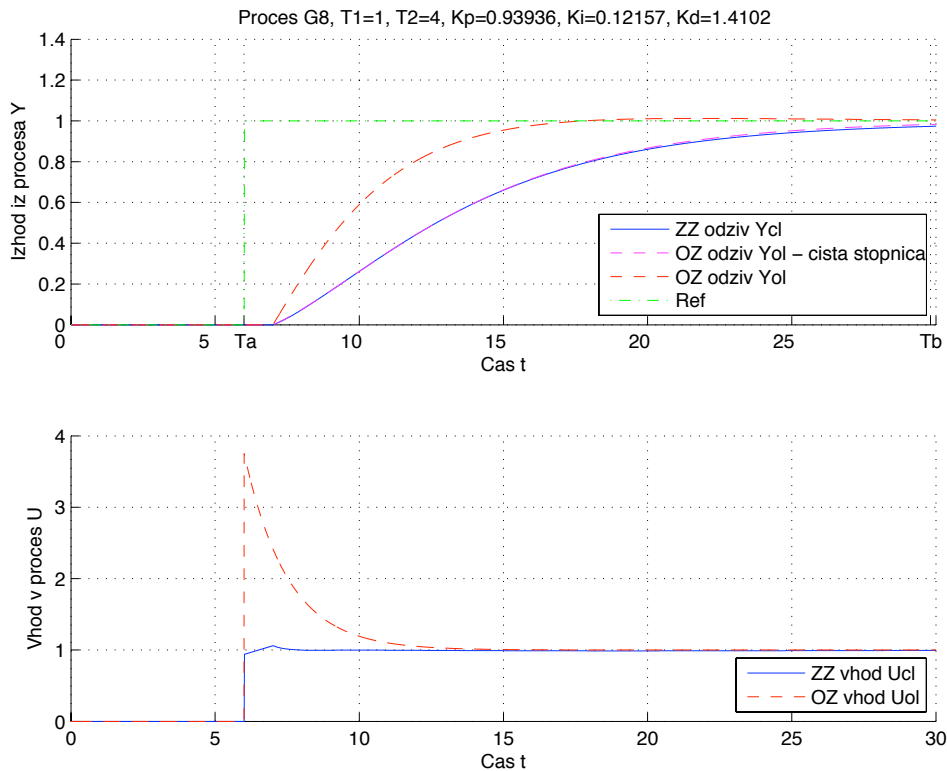
Slika 80: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



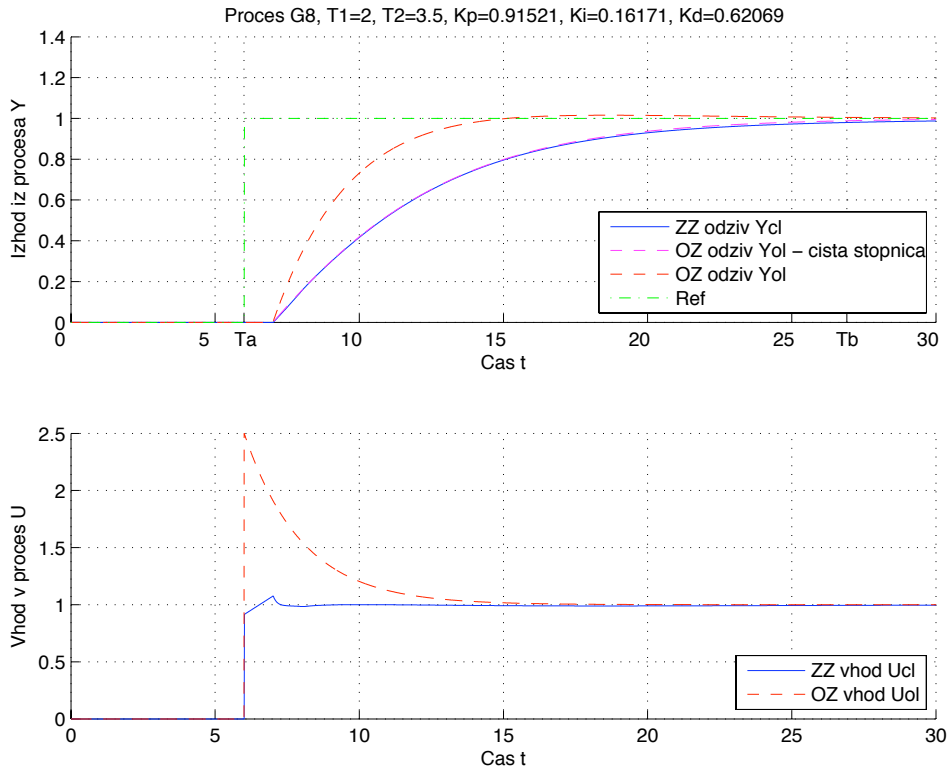
Slika 81: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



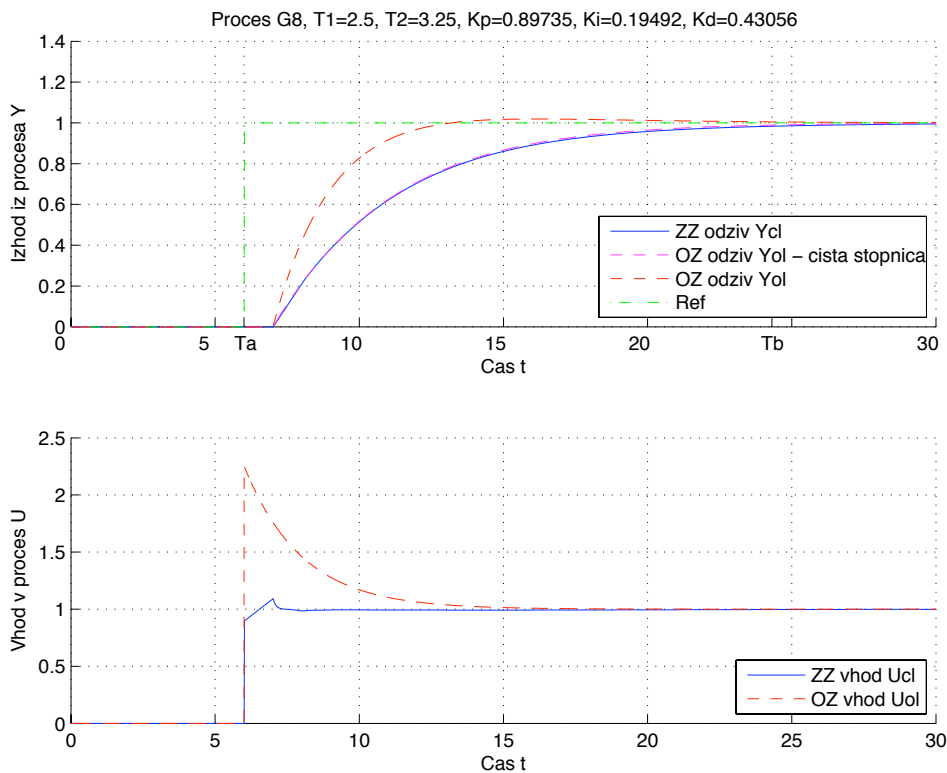
Slika 82: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



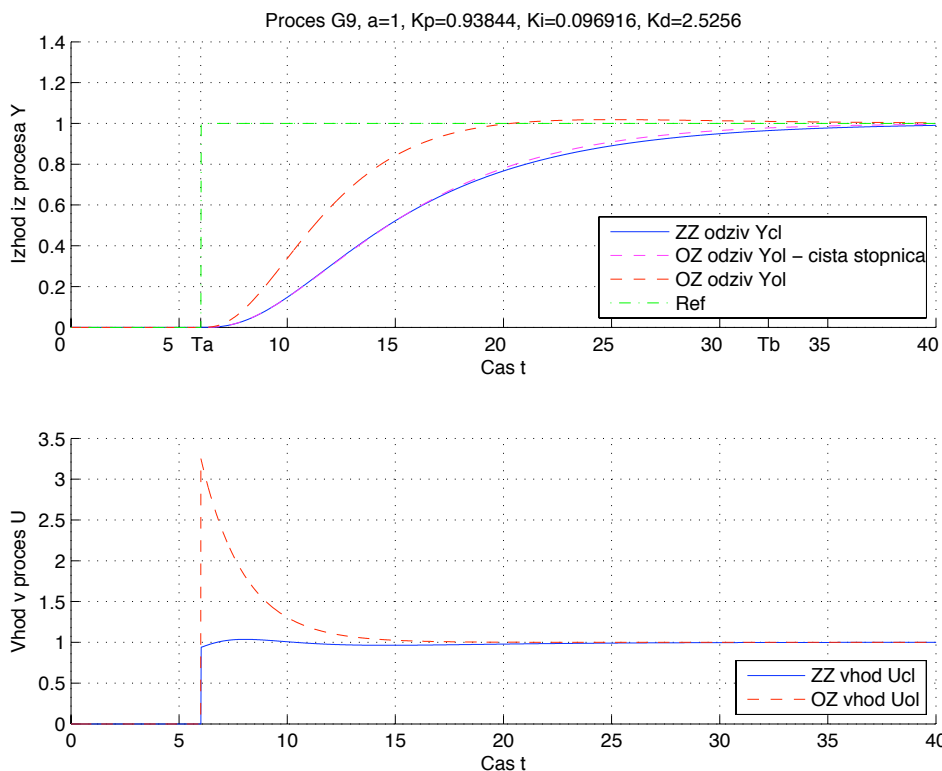
Slika 83: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



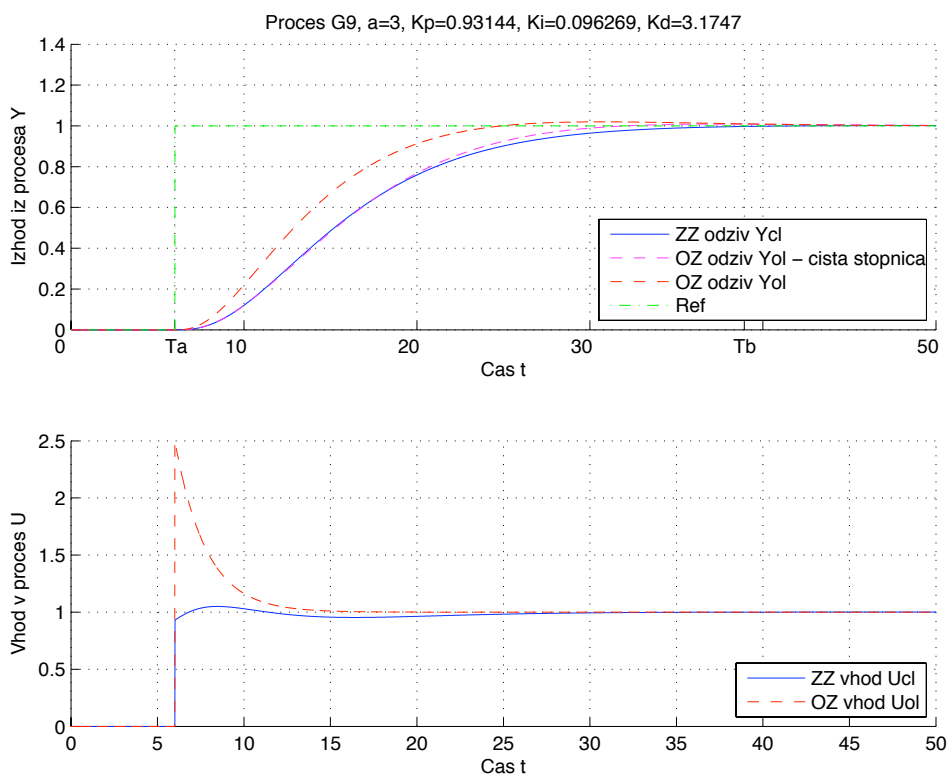
Slika 84: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



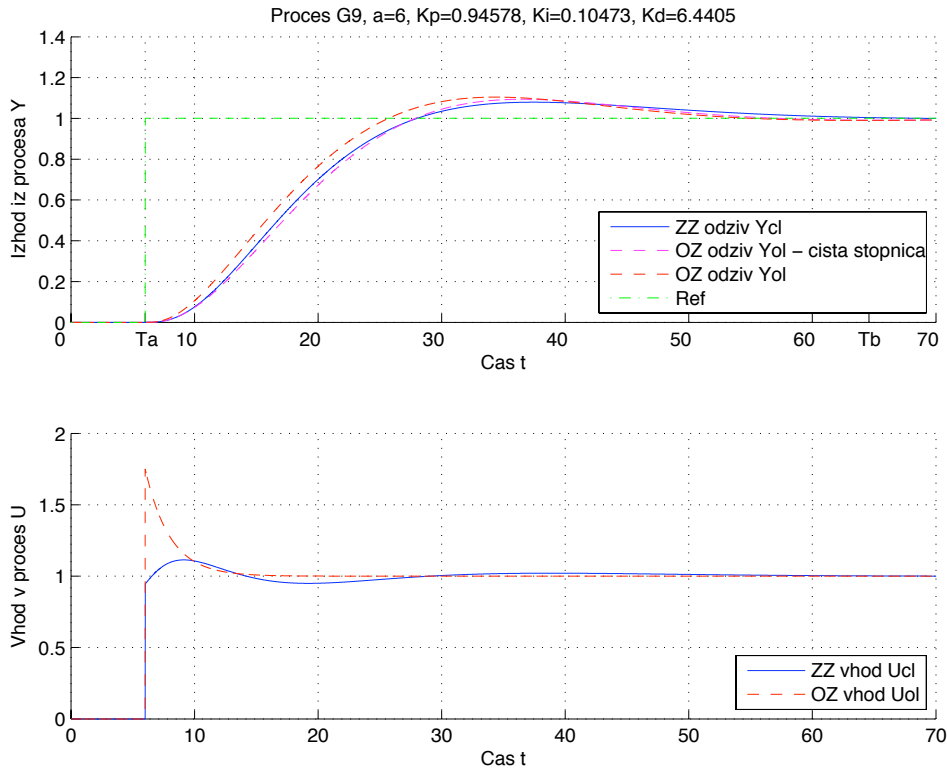
Slika 85: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 86: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 87: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



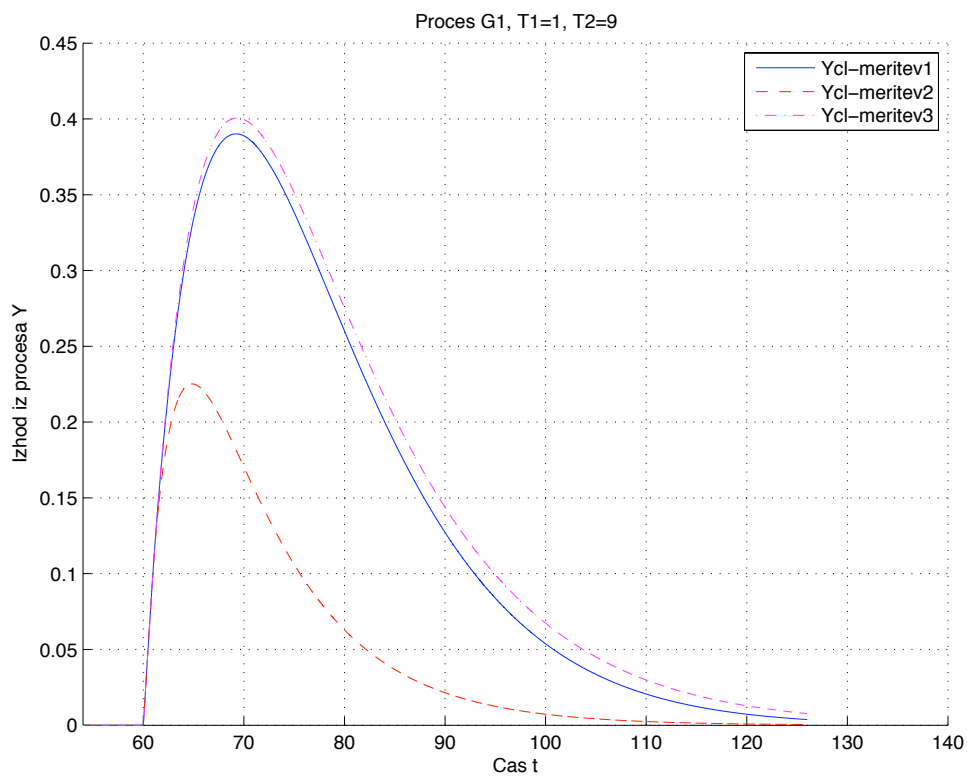
Slika 88: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj)



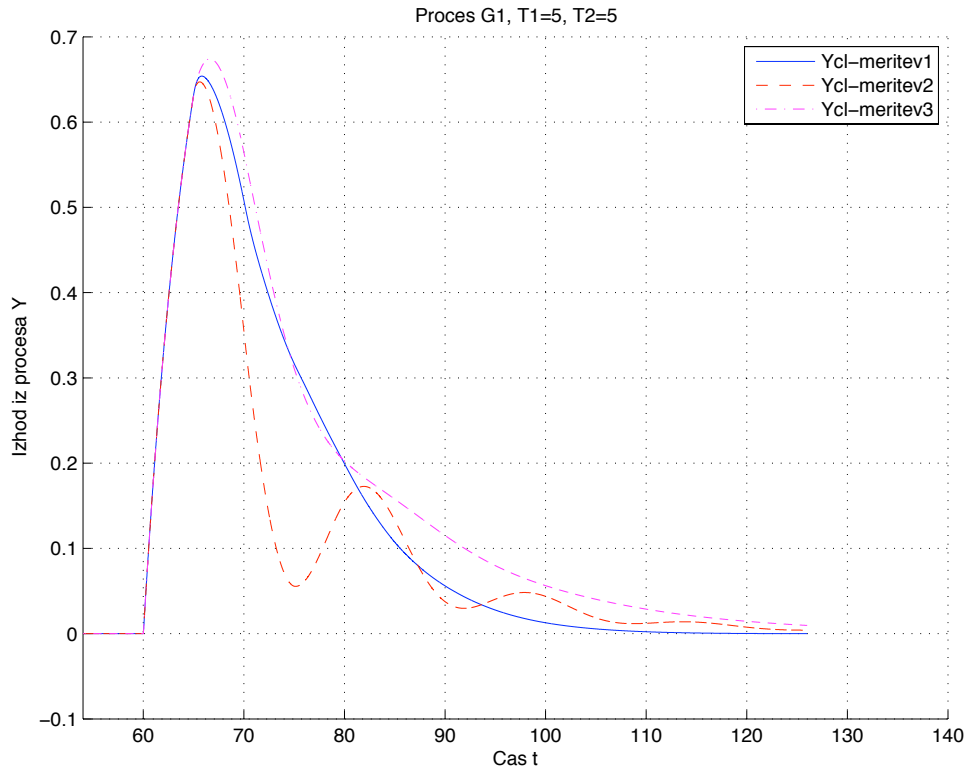
### 3.2 Preizkus občutljivosti metode na stopničasto motnjo – regulacijsko delovanje

Zaprtozančni sistem s parametri prikazanimi v tabeli 3 je bil preizkušen tudi za regulacijo motnje. V dodatku B so prikazani modeli, sestavljeni v okolju Matlab-Simulink, ki so bili uporabljeni za simulacijo odprtozančnega in zaprtozančnega sistema. Motnja je stopničaste oblike z amplitudo  $d(t)=1$  in nastane na vhodu procesa ob času  $T=60s$  ter referenca  $r_{CL}(t)=0$ .

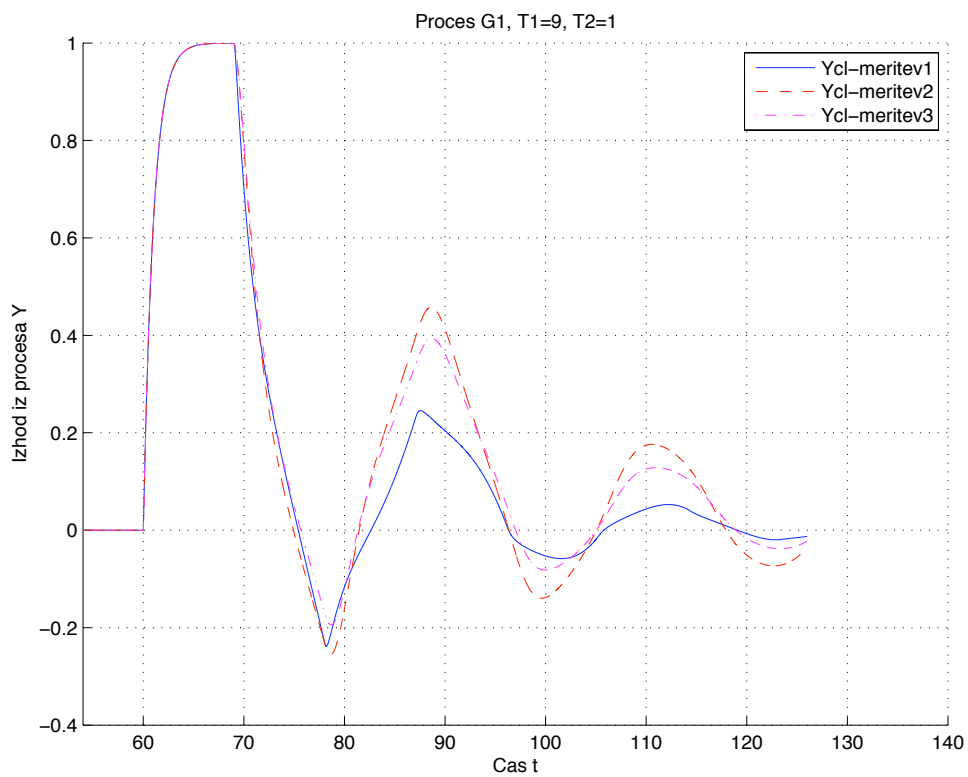
Slike 89 – 115 prikazujejo regulacijo motnje v primeru identificiranih parametrov iz prejšnjega primera (tabela 3) pri vseh treh meritvah z različnimi vhodnimi signali  $u_{OL}(t)$  ter različnimi referencami  $r(t)$ , ki so bile uporabljene za identifikacijo. Vsaka slika pripada enemu modelu procesa.



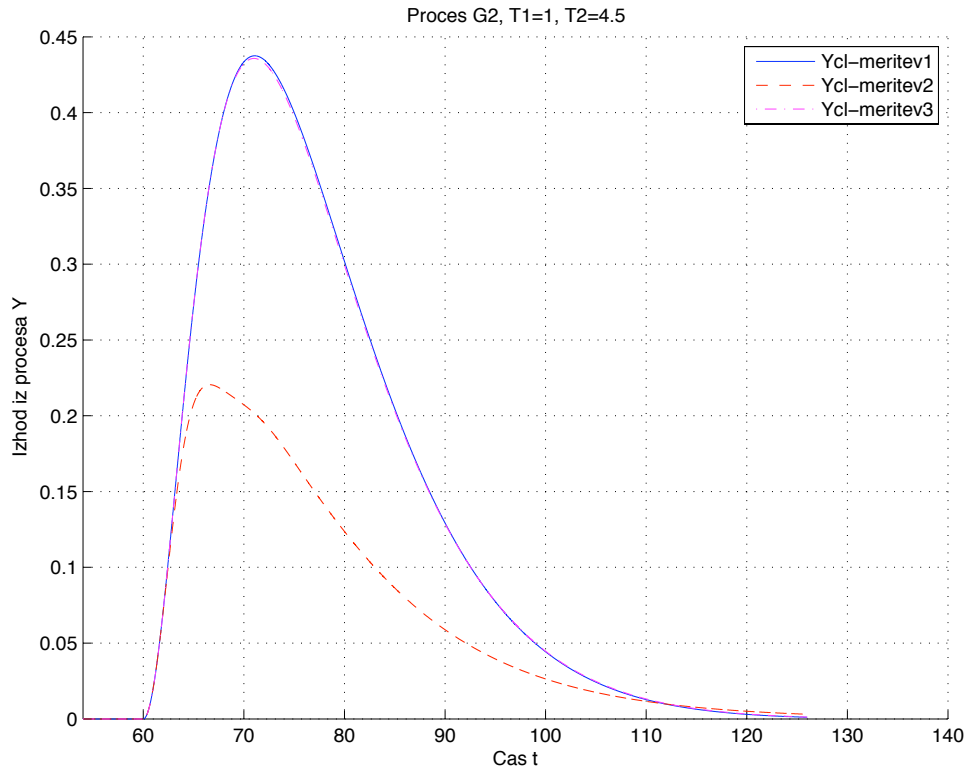
Slika 89: Zaprtozančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P1}(s)$ .



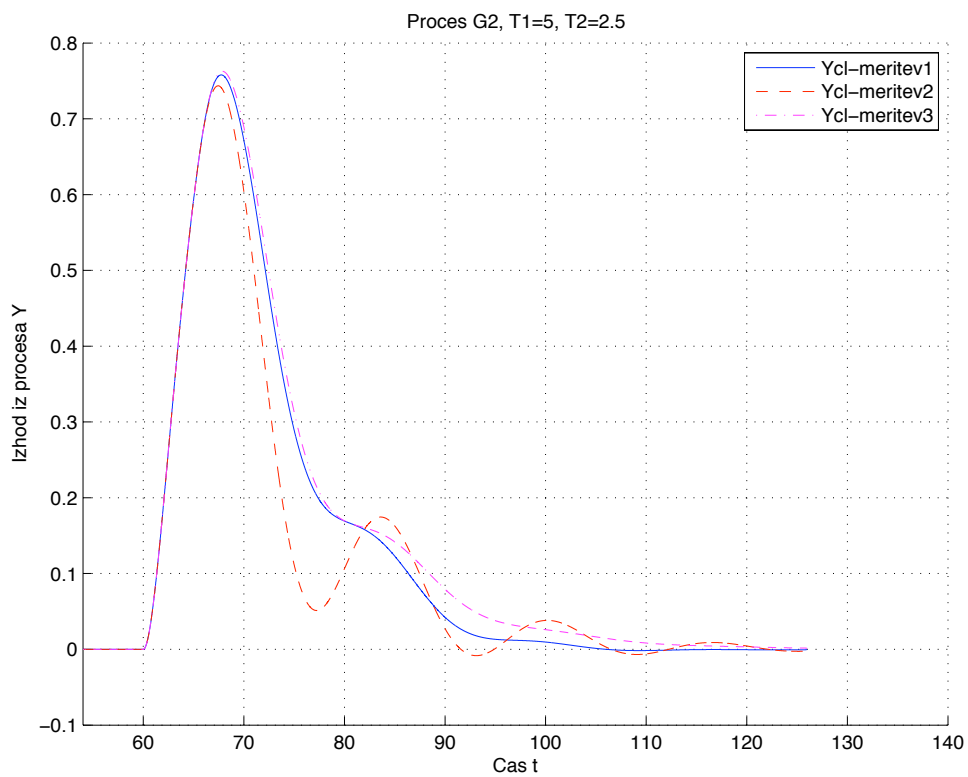
Slika 90: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P1}(s)$ .



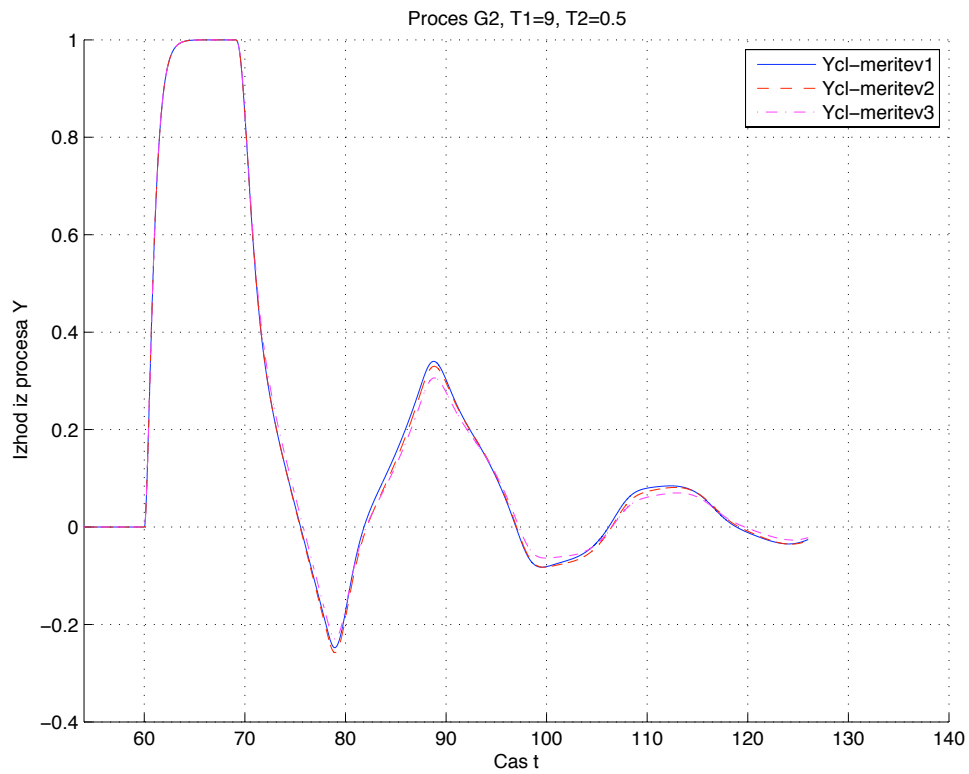
Slika 91: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P1}(s)$ .



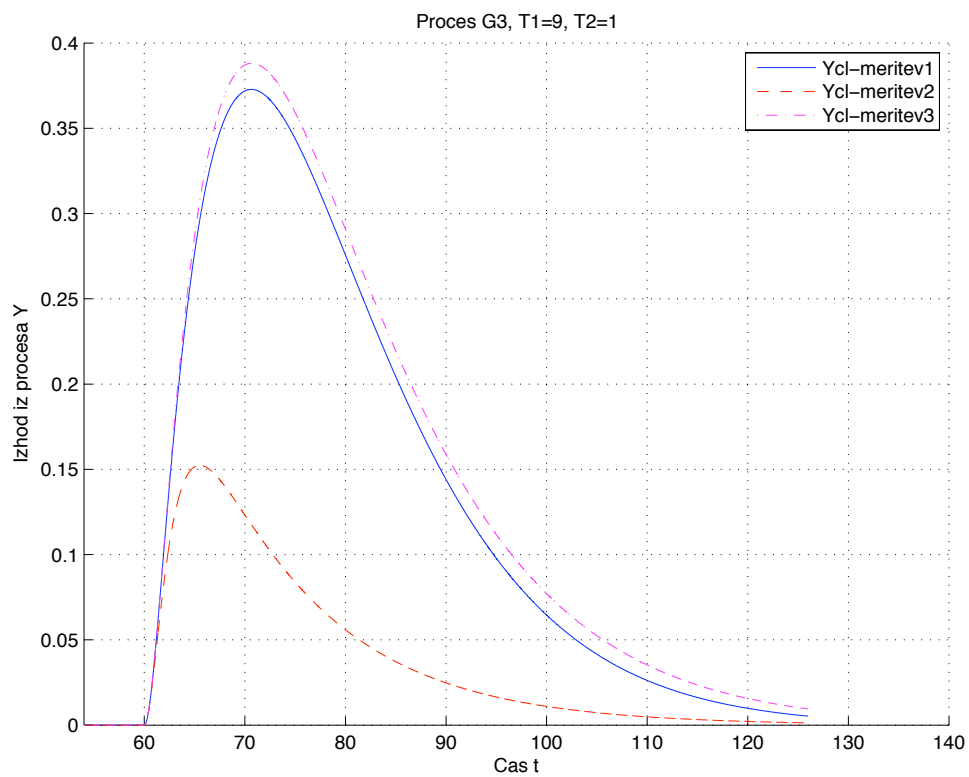
Slika 92: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P2}(s)$ .



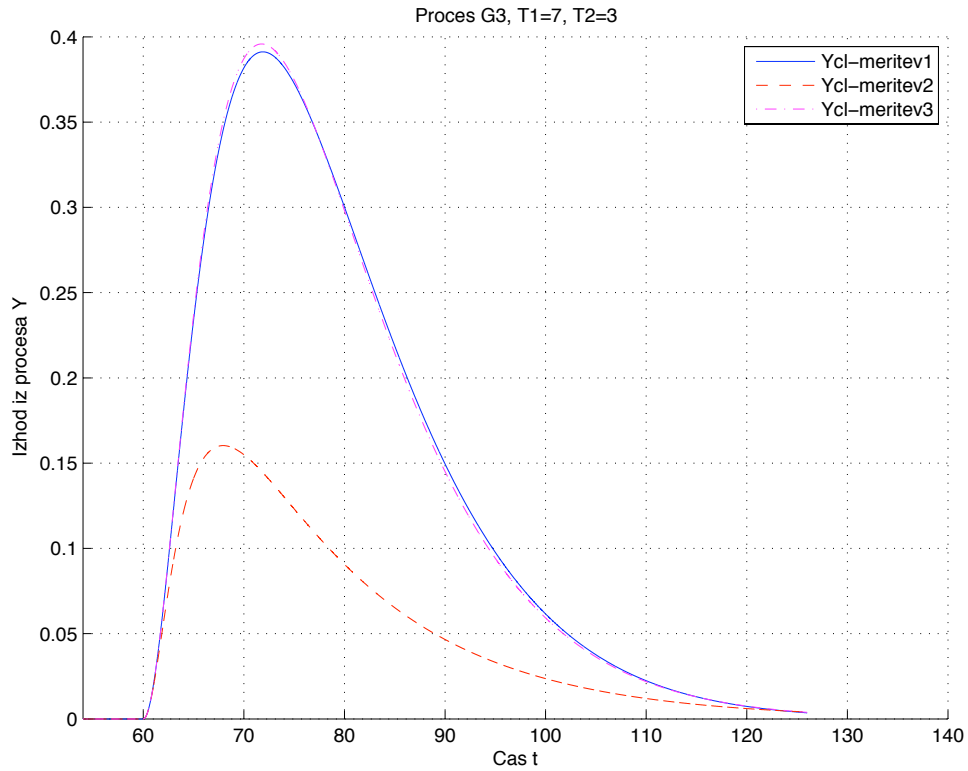
Slika 93: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P2}(s)$ .



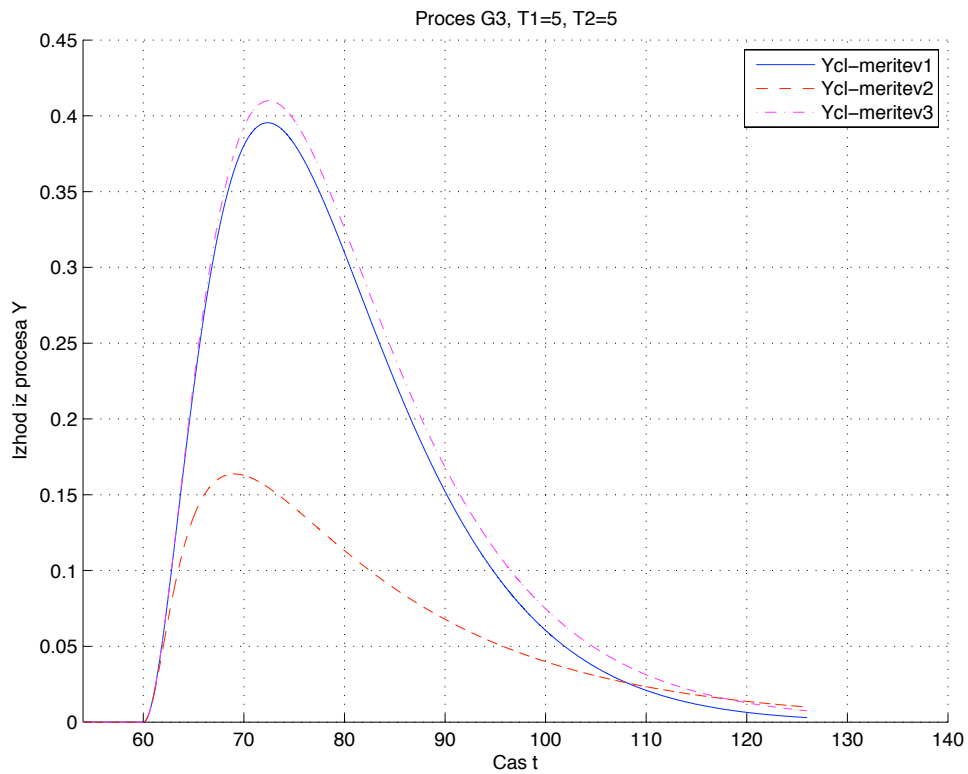
Slika 94: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P2}(s)$ .



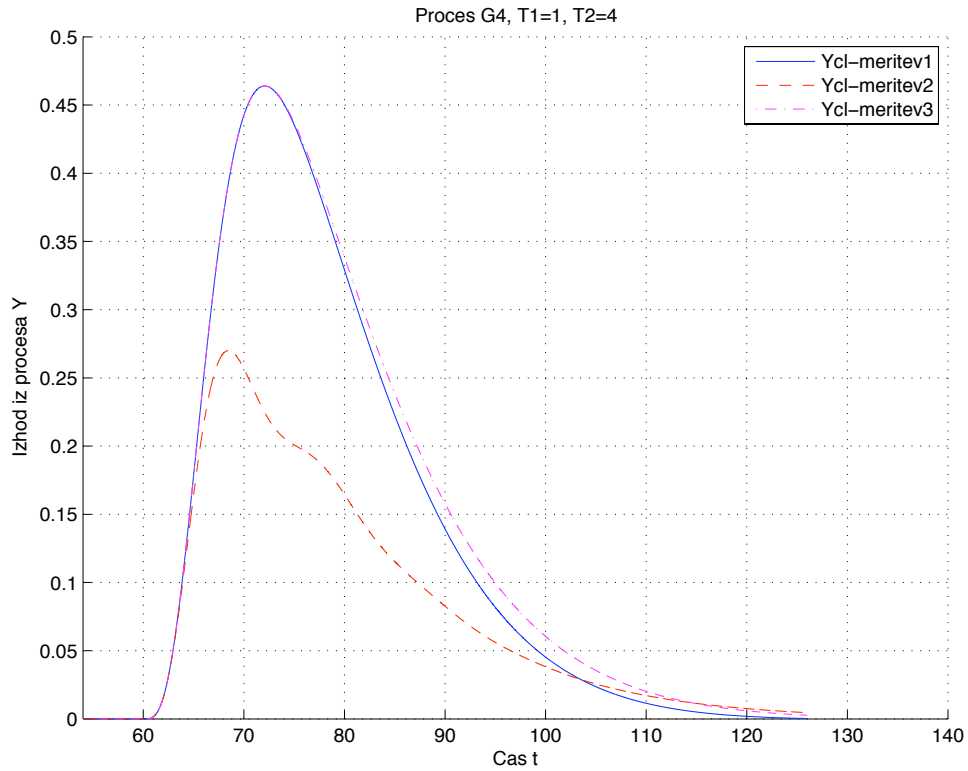
Slika 95: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P3}(s)$ .



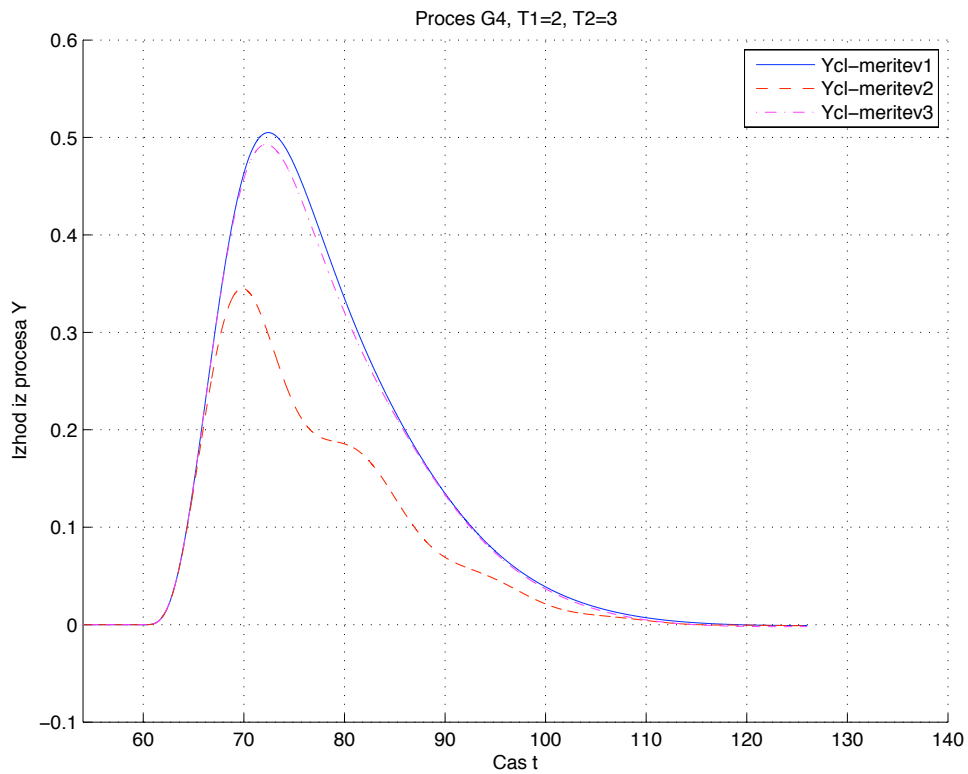
Slika 96: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P3}(s)$ .



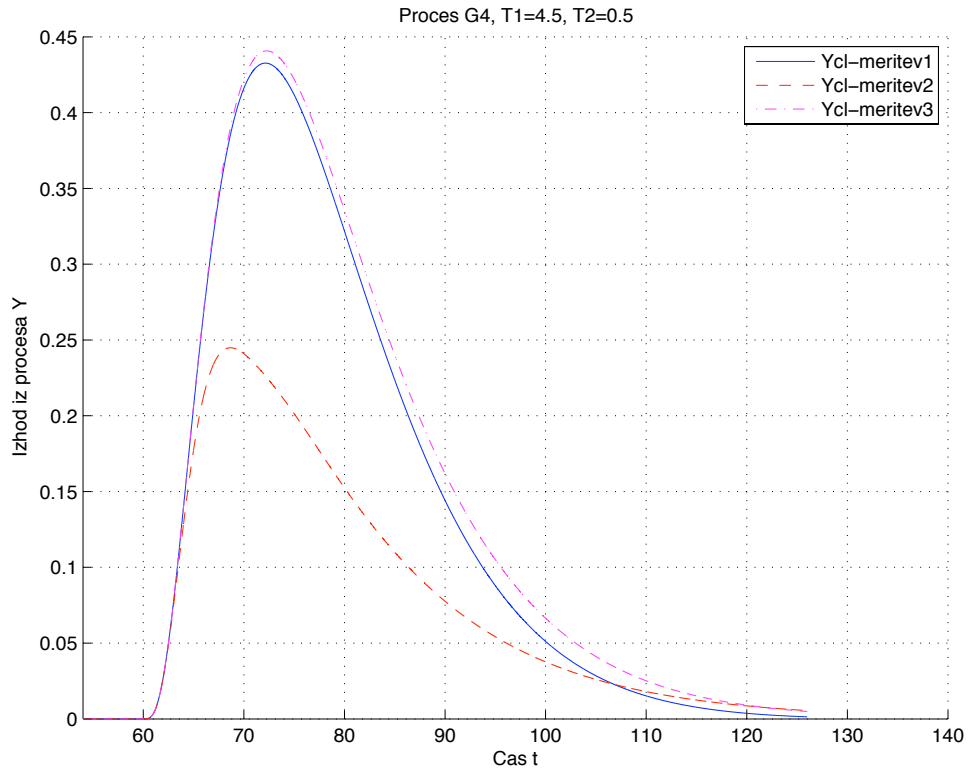
Slika 97: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P3}(s)$ .



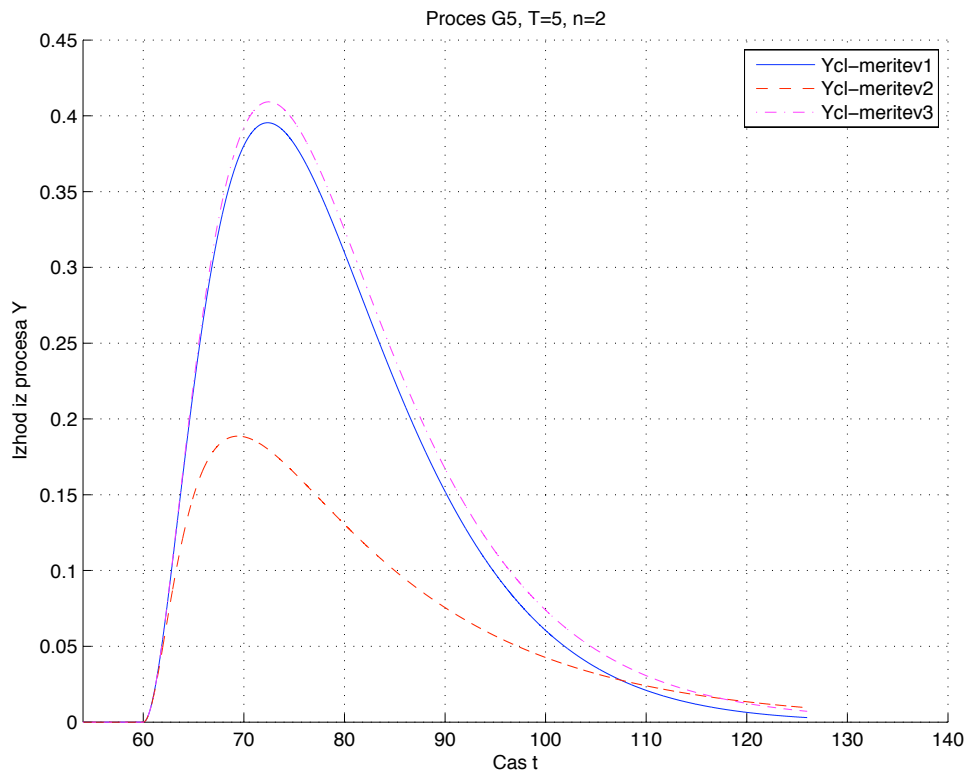
Slika 98: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P4}(s)$ .



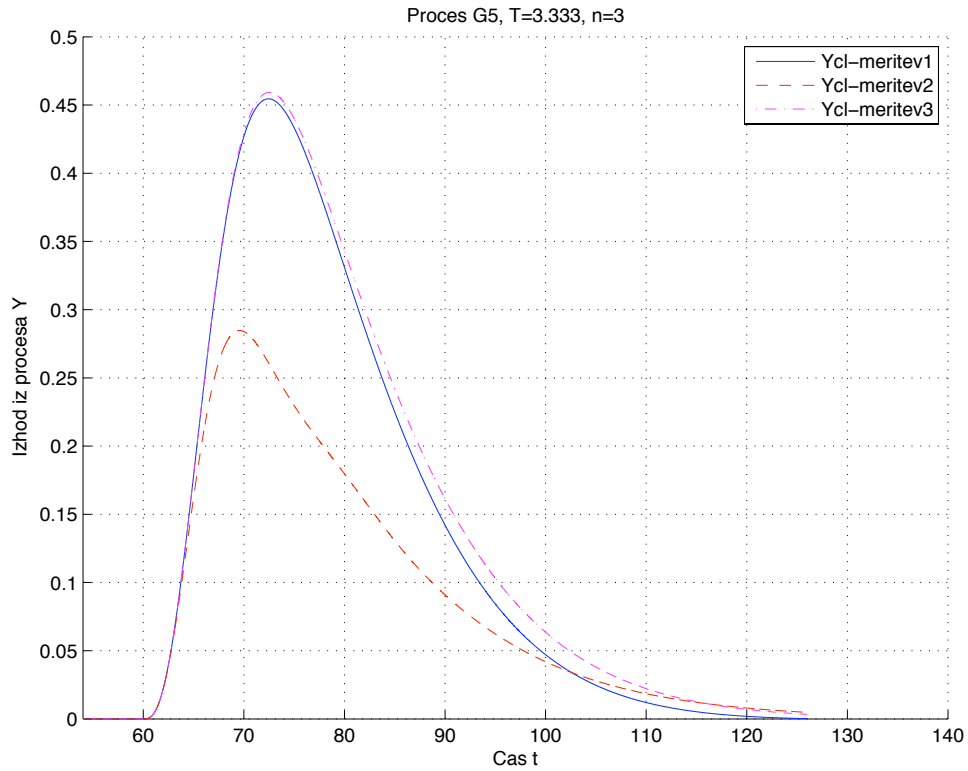
Slika 99: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P4}(s)$ .



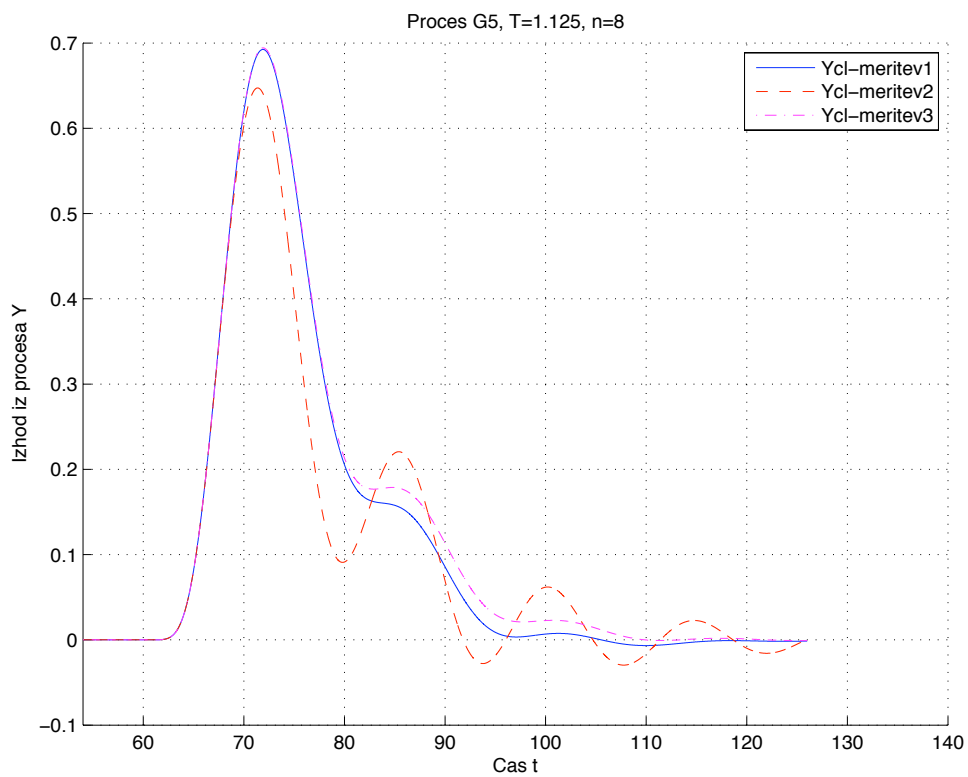
Slika 100: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P4}(s)$ .



Slika 101: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P5}(s)$ .

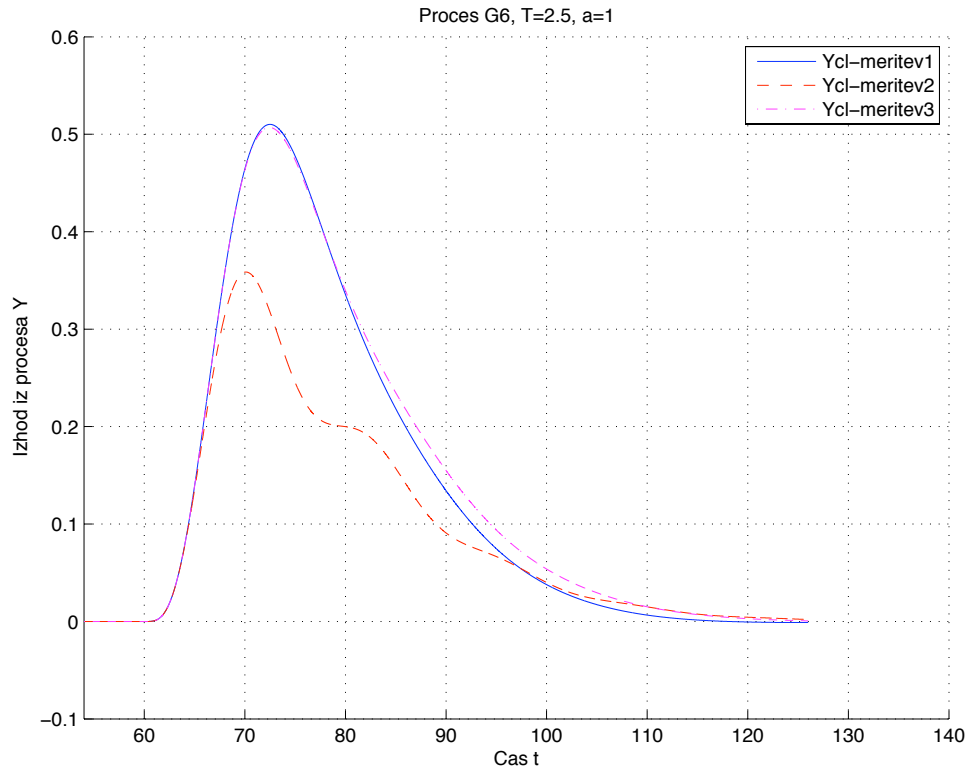


Slika 102: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P5}(s)$ .

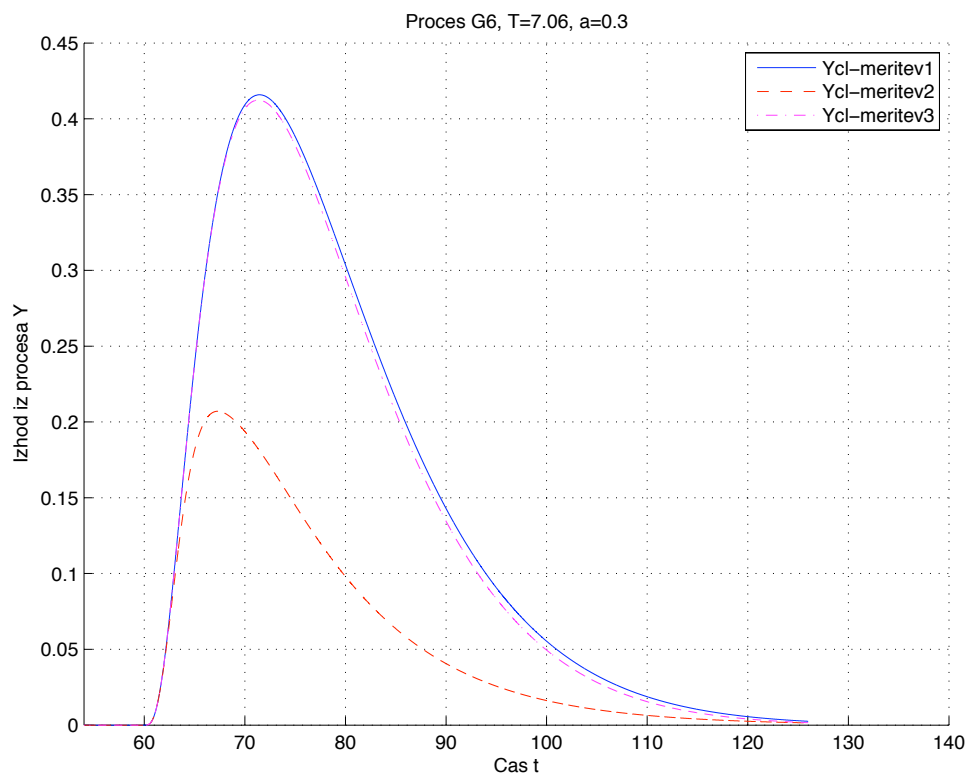


Slika 103: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P5}(s)$ .

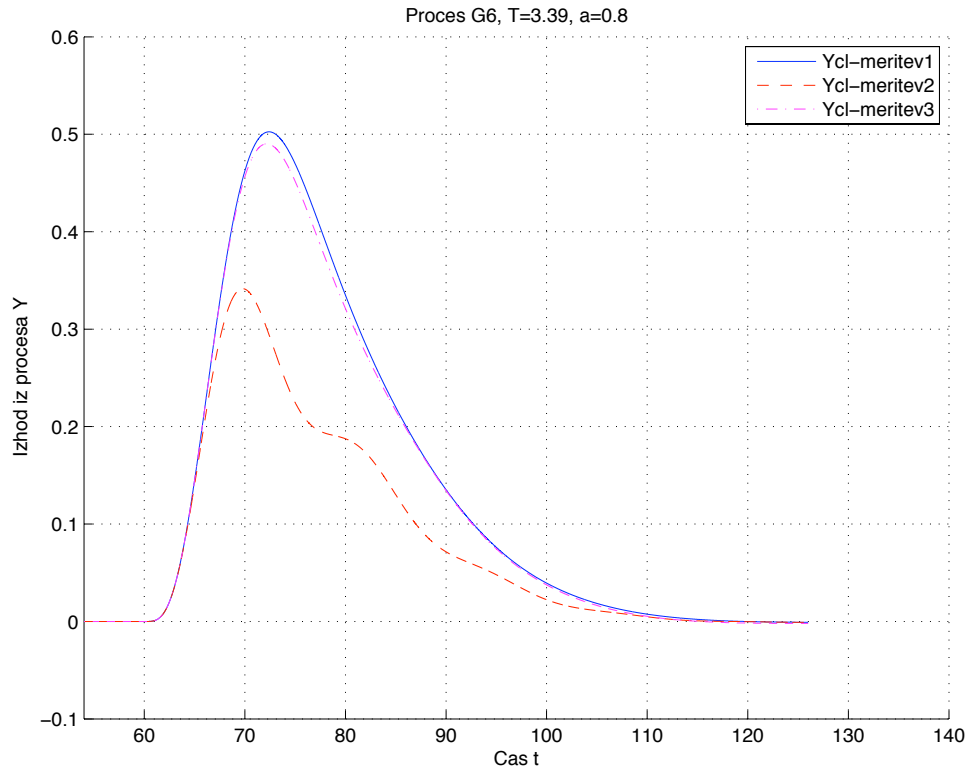




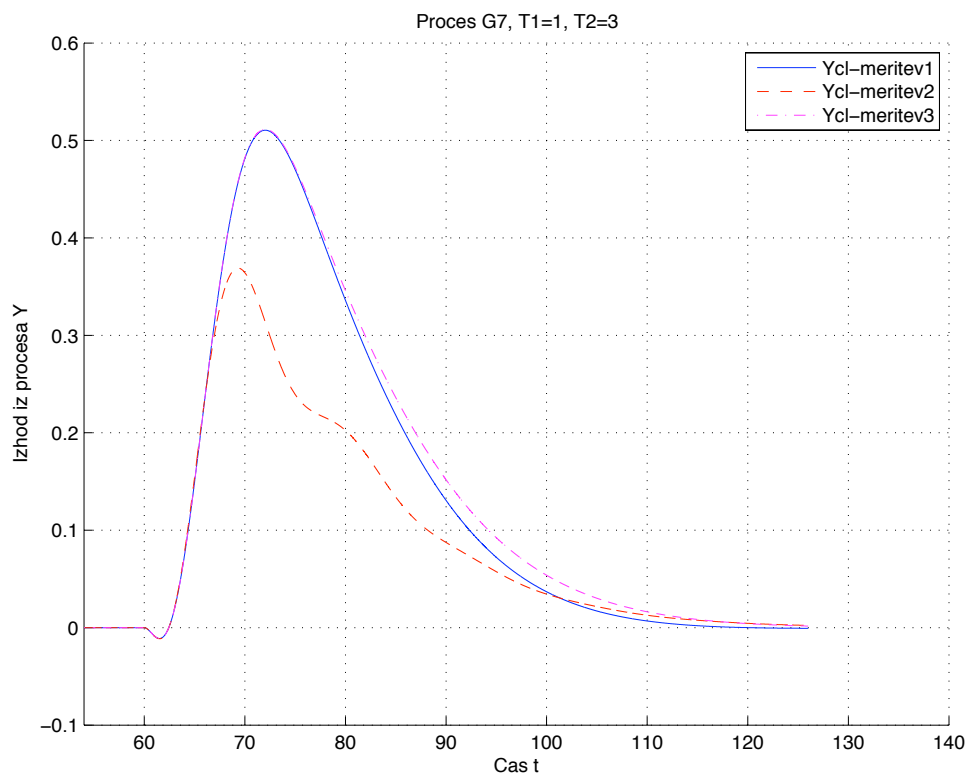
Slika 104: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P6}(s)$ .



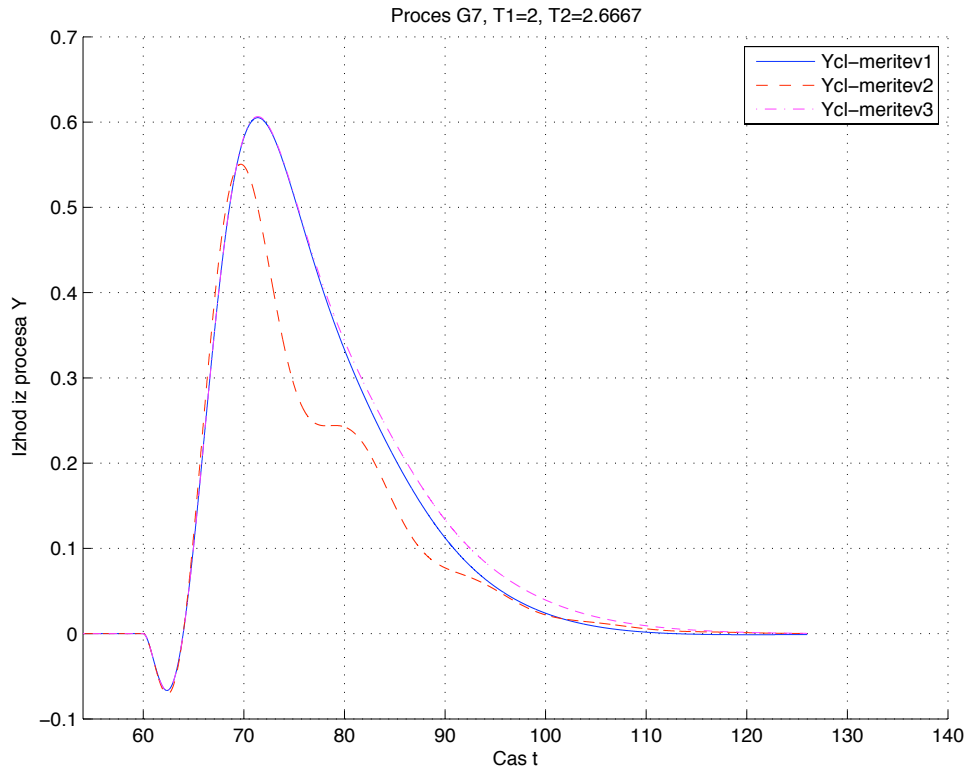
Slika 105: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P6}(s)$ .



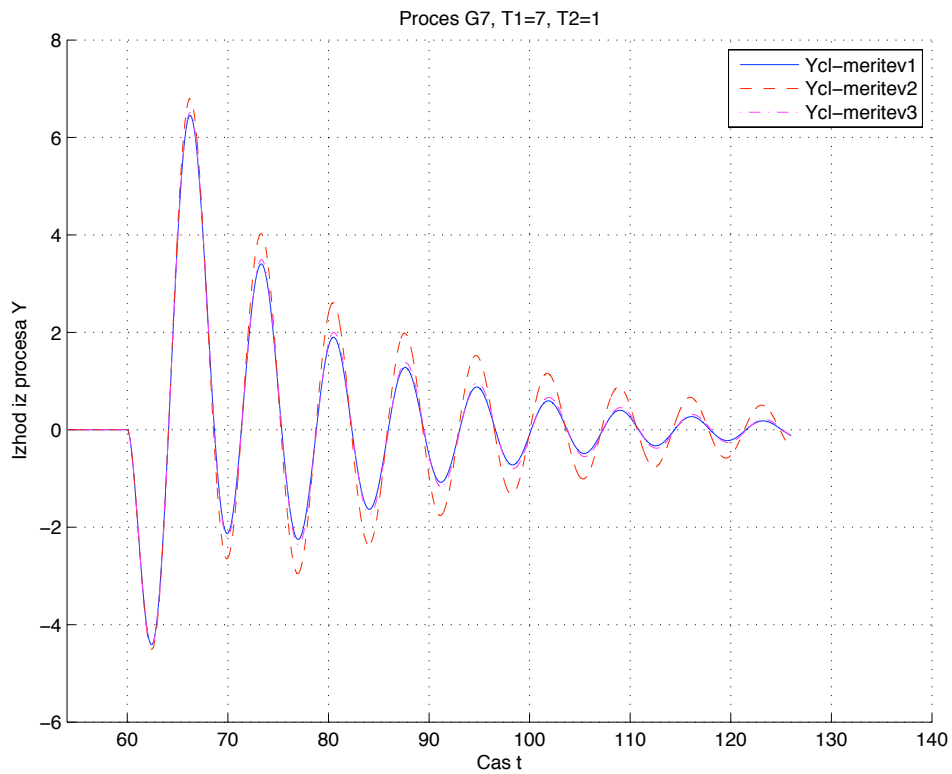
Slika 106: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P6}(s)$ .



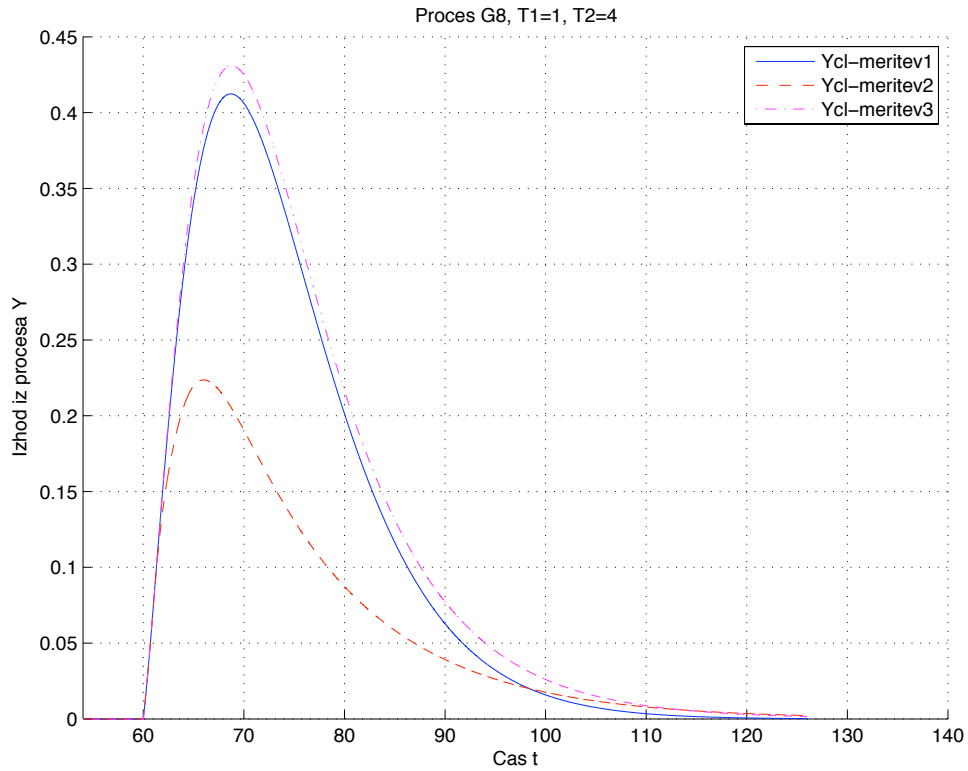
Slika 107: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P7}(s)$ .



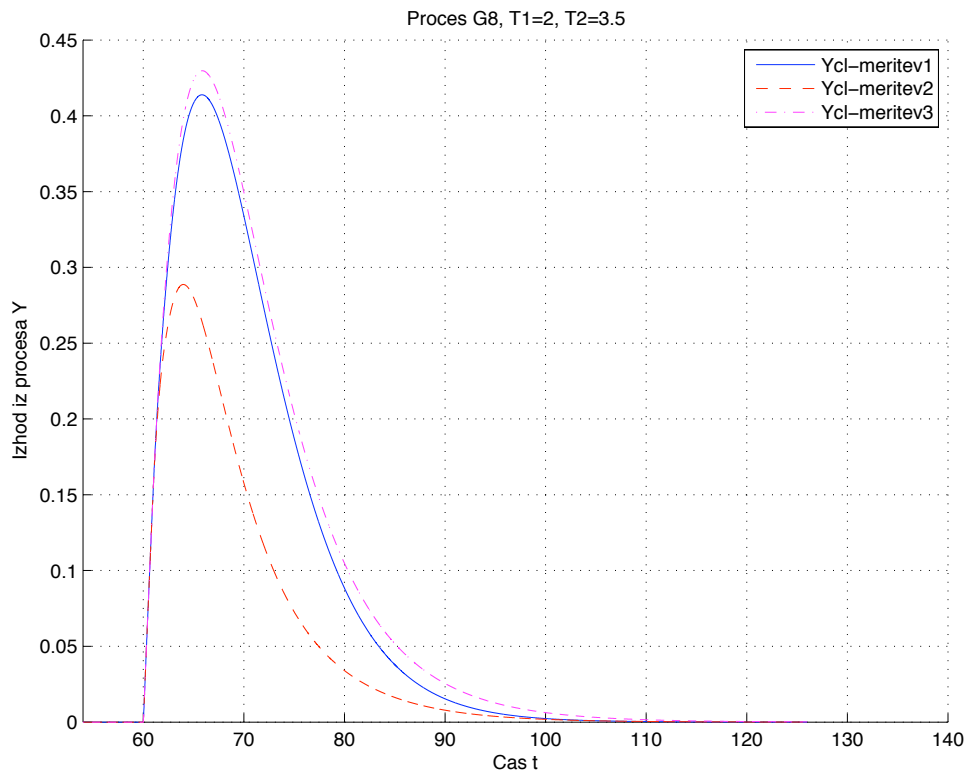
Slika 108: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P7}(s)$ .



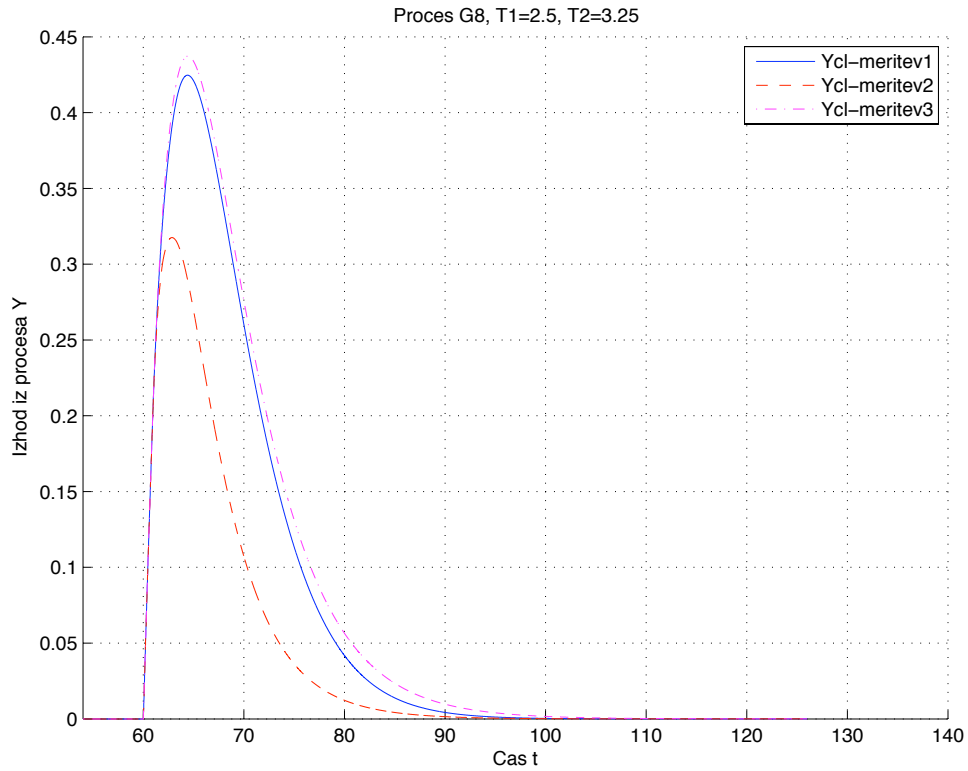
Slika 109: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P7}(s)$ .



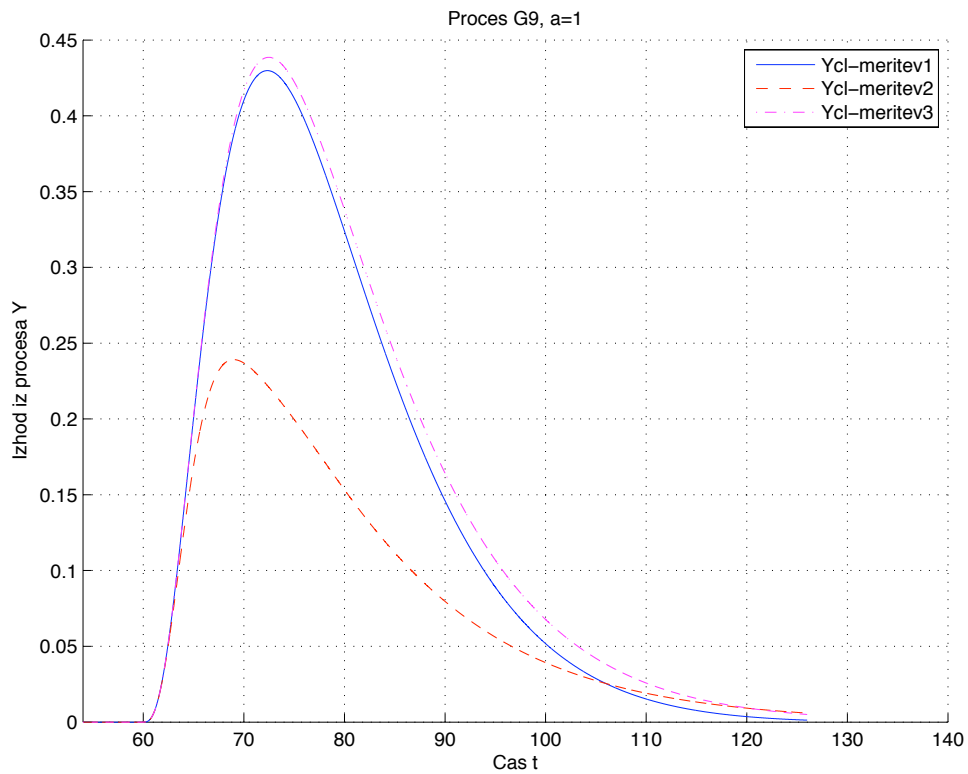
Slika 110: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{PB}(s)$ .



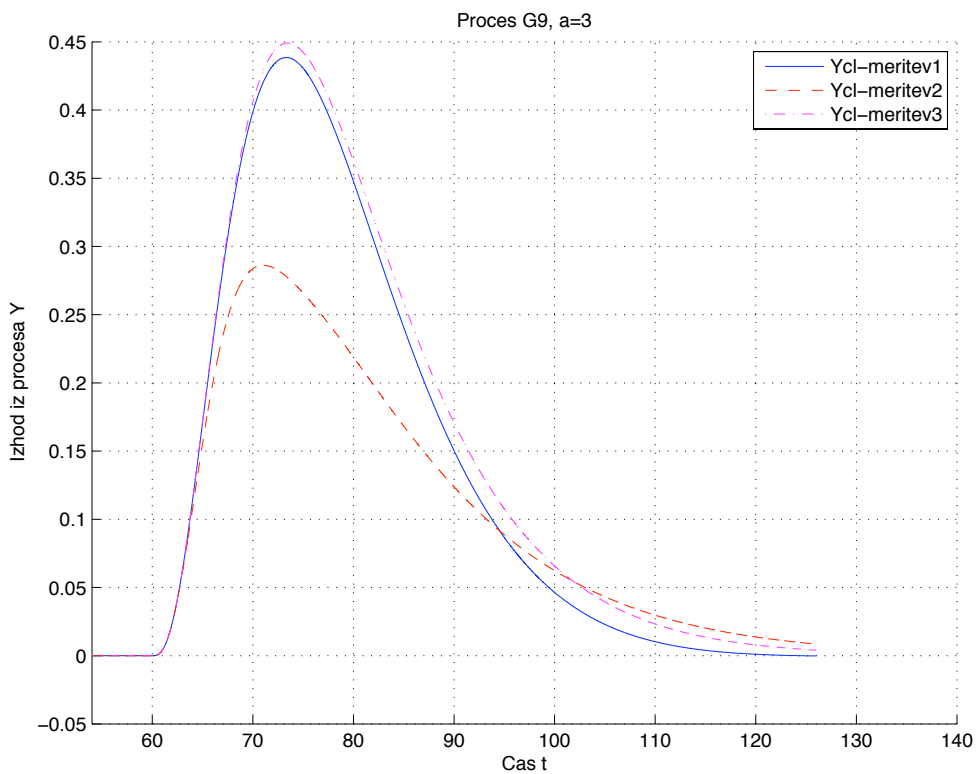
Slika 111: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{PB}(s)$ .



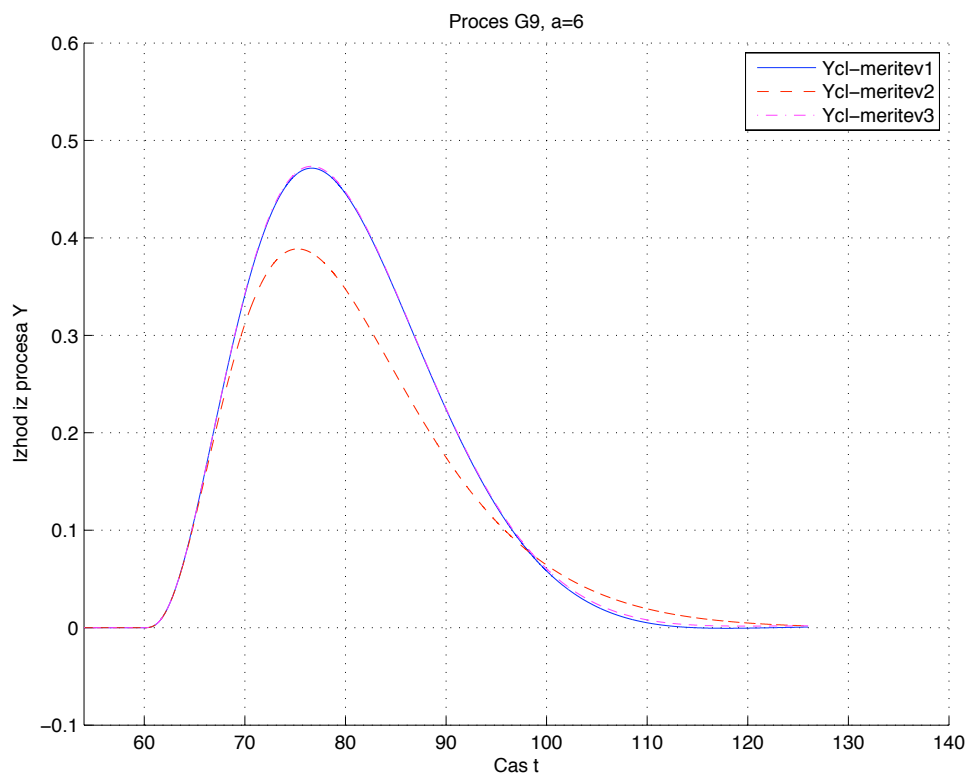
Slika 112: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{PB}(s)$ .



Slika 113: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P9}(s)$ .



Slika 114: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P9}(s)$ .



Slika 115: Zaprtoznančni odzivi  $y_{CL}(t)$  z različnimi parametri PID (tabela 3), identificiranimi pri vsaki meritvi za model procesa  $G_{P9}(s)$ .

### 3.3 Preizkus občutljivosti metode na šum na izhodu iz procesa

V dodatku C so prikazani modeli sestavljeni v okolju Matlab-Simulink, ki so bili uporabljeni za simulacijo odprtozančnega in zaprtozančnega sistema. Identificirani parametri PID pri simulaciji procesov  $G_{P1}(s)$  do  $G_{P9}(s)$  s prisotnim šumom na izhodu iz procesa so prikazani v tabeli 4.

Šum je bil modeliran z blokom NOISE v okolju Simulink s podatki: moč šuma  $N_{power}=0.0001$ , parameter  $N_{seed}=100$  in čas vzorčenja šuma  $N_s=0.05s$ . Čas vzorčenja je  $T_s=0.05s$ .

		Stopničast vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$		
		Stopničasta referenca R			Stopničasta referenca R			Skalirana referenca R		
		$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$
$G_{P1}$	$T_1=1$ $T_2=9$	0.9173	0.1149	0.061	2.6657	0.3001	0.6025	0.9465	0.1072	0.2706
	$T_1=5$ $T_2=5$	0.7238	0.1052	0.6873	1.315	0.1417	1.5314	0.7487	0.0909	0.8322
	$T_1=9$ $T_2=1$	0.5903	0.0913	0.5193	0.6427	0.0931	0.3632	0.596	0.0879	0.355
$G_{P2}$	$T_1=1$ $T_2=4.5$	0.8084	0.1074	0.4128	2.2158	0.1571	2.914	0.8626	0.0925	1.1216
	$T_1=5$ $T_2=2.5$	0.6868	0.0987	0.8857	0.9604	0.1111	1.4319	0.6995	0.089	0.9925
	$T_1=9$ $T_2=0.5$	0.5844	0.091	0.4783	0.6044	0.0906	0.4268	0.5847	0.0886	0.4179
$G_{P3}$	$T_1=9$ $T_2=1$	0.9257	0.1142	0.058	3.9521	0.36	1.1924	0.9493	0.0985	0.3787
	$T_1=7$ $T_2=3$	0.8566	0.1073	0.1895	2.9292	0.1926	1.9895	0.9102	0.0913	0.7864
	$T_1=5$ $T_2=5$	0.8429	0.1068	0.2483	2.6968	0.1641	2.0257	0.8955	0.088	0.8618
$G_{P4}$	$T_1=0.5$ $T_2=4.5$	0.7906	0.1057	0.5268	1.9223	0.1441	2.8807	0.8379	0.0902	1.2334
	$T_1=1$ $T_2=4$	0.7661	0.1014	0.6698	1.4529	0.125	2.3085	0.8068	0.0909	1.2193
	$T_1=2$ $T_2=3$	0.8114	0.1072	0.4083	2.0174	0.1506	2.2668	0.8575	0.0899	1.0056
$G_{P5}$	$T_1=5$ $n=2$	0.8429	0.1068	0.2483	2.3236	0.1584	1.5605	0.8912	0.0899	0.7522
	$T_1=7.06$ $n=0.3$	0.793	0.103	0.5096	1.6886	0.1341	2.1544	0.8367	0.0894	1.0946
	$T_1=3.39$ $n=0.8$	0.703	0.1083	0.8669	0.9522	0.1189	1.4463	0.718	0.1003	1.0382
$G_{P6}$	$T=2.5$ $\alpha=1$	0.7632	0.101	0.6826	1.4408	0.1248	2.3491	0.8039	0.0905	1.2484
	$T=3.33$ $\alpha=3$	0.8359	0.1074	0.2398	2.5527	0.1948	2.3957	0.8884	0.0934	0.912

	$T=1.125$ $\alpha=8$	0.7675	0.1016	0.6594	1.4633	0.127	2.3067	0.811	0.092	1.2203
$G_{P7}$	$T_1=1$ $T_2=3$	0.7603	0.1023	0.6624	1.5288	0.1334	2.6457	0.7966	0.0904	1.2843
	$T_1=2$ $T_2=2.67$	0.7139	0.1018	0.8331	1.1468	0.1256	2.1777	0.7313	0.0937	1.2811
	$T_1=7$ $T_2=1$	0.2816	0.101	0.2909	0.2839	0.1021	0.2963	0.2808	0.1013	0.2894
$G_{P8}$	$T_1=1$ $T_2=4$	0.8338	0.1312	0.2087	2.4548	0.2127	1.8021	0.8801	0.1132	0.683
	$T_1=2$ $T_2=3.5$	0.8526	0.1777	0.1098	1.9031	0.3109	0.6049	0.8792	0.1605	0.3114
	$T_1=5$ $T_2=2$	0.849	0.2097	0.0871	1.7022	0.3618	0.419	0.8608	0.191	0.2392
$G_{P9}$	$\alpha=1$	0.8128	0.1071	0.4233	2.0016	0.1448	2.1907	0.8562	0.0881	0.9942
	$\alpha=3$	0.791	0.0964	0.5192	1.4053	0.1143	1.6364	0.8307	0.0889	0.9623
	$\alpha=6$	0.6879	0.0822	0.9885	0.8913	0.0946	1.5249	0.715	0.082	1.265

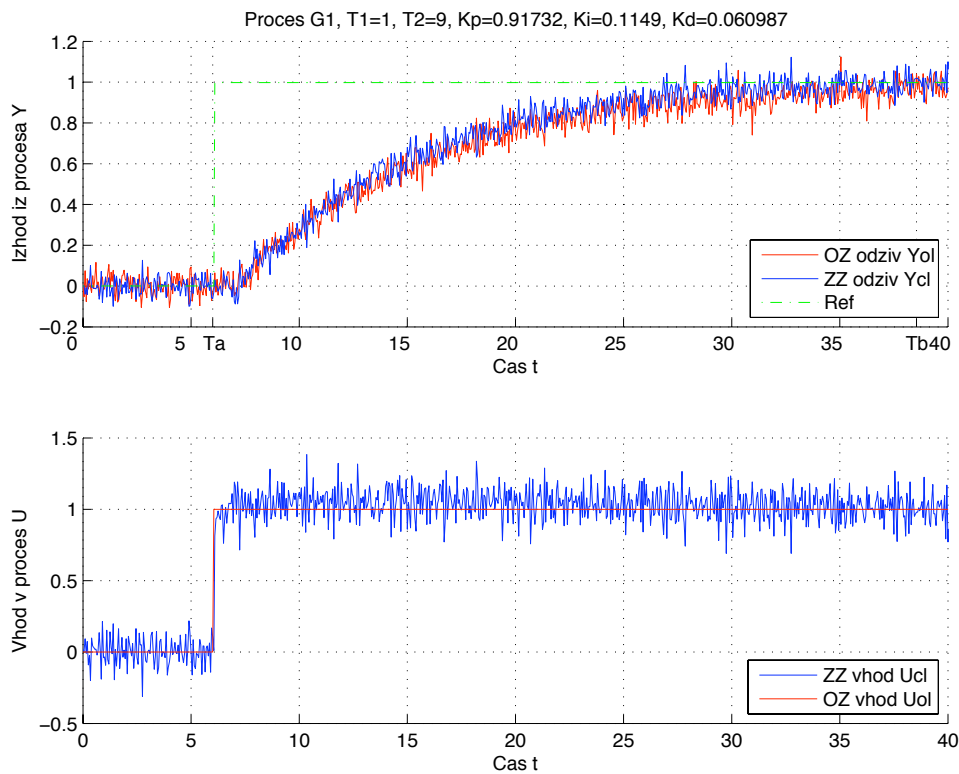
Tabela 4: Identificirani parametri PID z metodo enačenja za primer simulacije s šumom na izhodu. Stolpci 3, 4 in 5 prikazujejo identificirane parametre pri 1. meritvi, stolpci 6, 7 in 8 pri 2. meritvi, stolpci 9, 10 in 11 pa pri 3. meritvi.

Slike 116 – 196 prikazujejo pridobljene vhodne in izhodne signale meritev  $u_{OL}(t)$ ,  $y_{OL}(t)$ ,  $u_{CL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , ki je bil uporabljen za zaprtozankno simulacijo in je bil stopničaste oblike. V naslovih grafov so prikazani tudi podatki o procesu in izračunanih parametrih PID, ki so bili uporabljeni za regulacijo. S časoma  $T_a$  in  $T_b$  na časovni osi grafov je prikazan interval, ki določa dela signalov  $y_{OL}$  in  $u_{OL}$ , ki sta bila uporabljena za identifikacijo parametrov PID.

Grafi so razdeljeni v tri sklope, od katerih vsak pripada eni meritvi, znotraj posameznega sklopa pa si sledijo po vrsti glede na številko procesa. Pohitritveni vhodni signali  $u_{OL}(t)$  (drugi in tretji sklop) so bili določeni za vsak model procesa posebej, saj je tako zagotovljena optimalna pohitritev procesa.



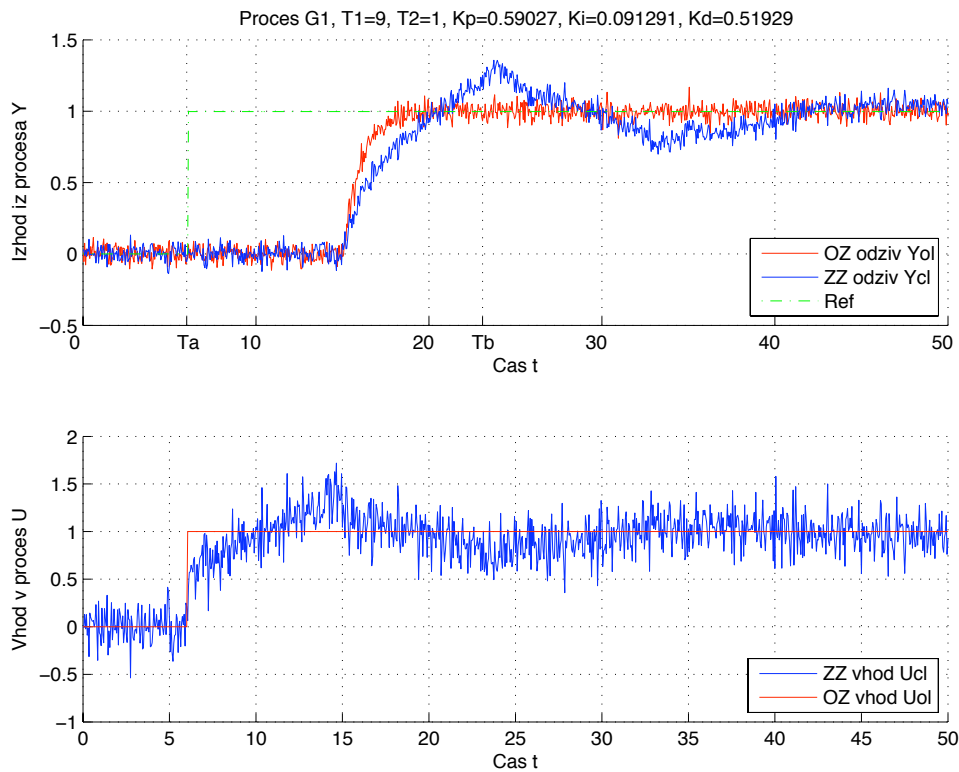
Stopničasto odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



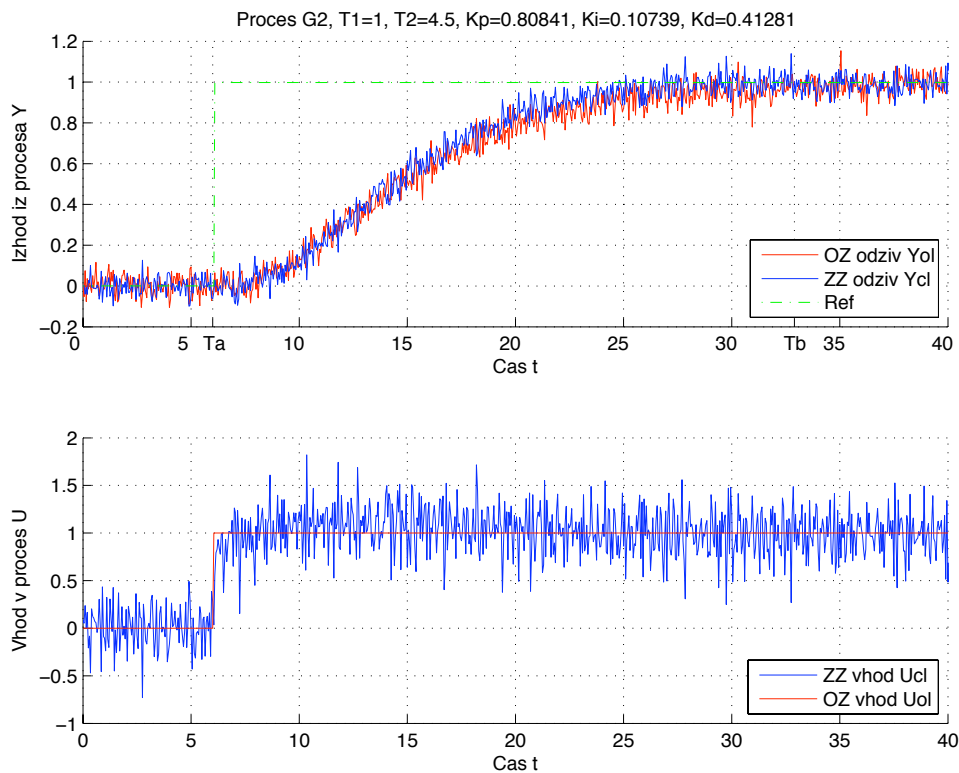
Slika 116: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



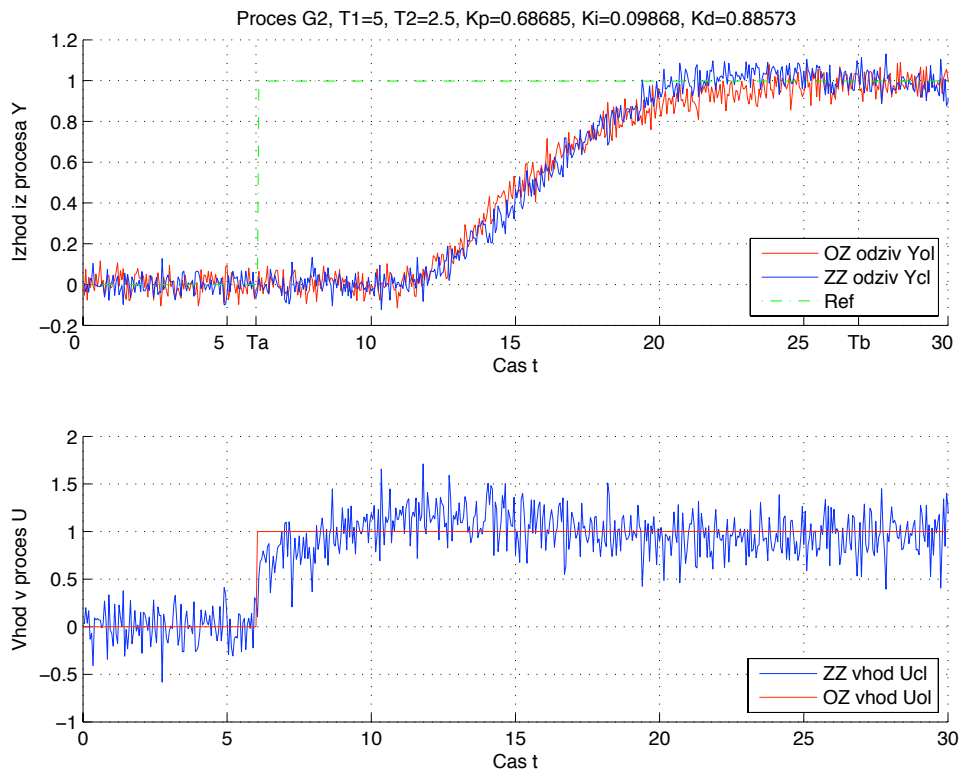
Slika 117: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



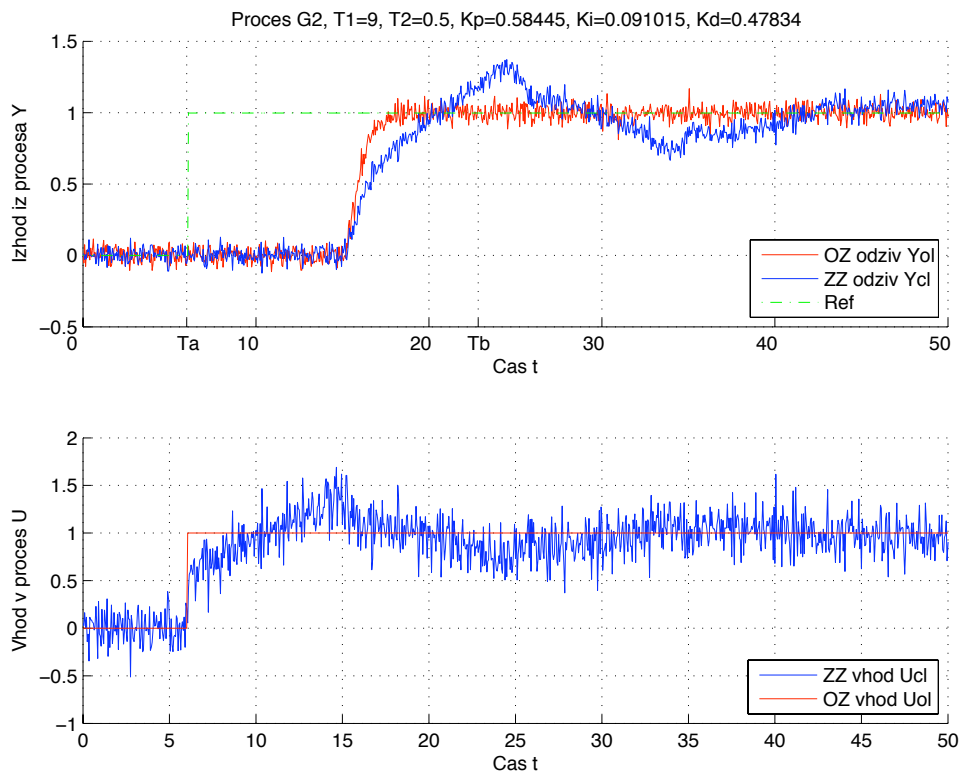
Slika 118: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



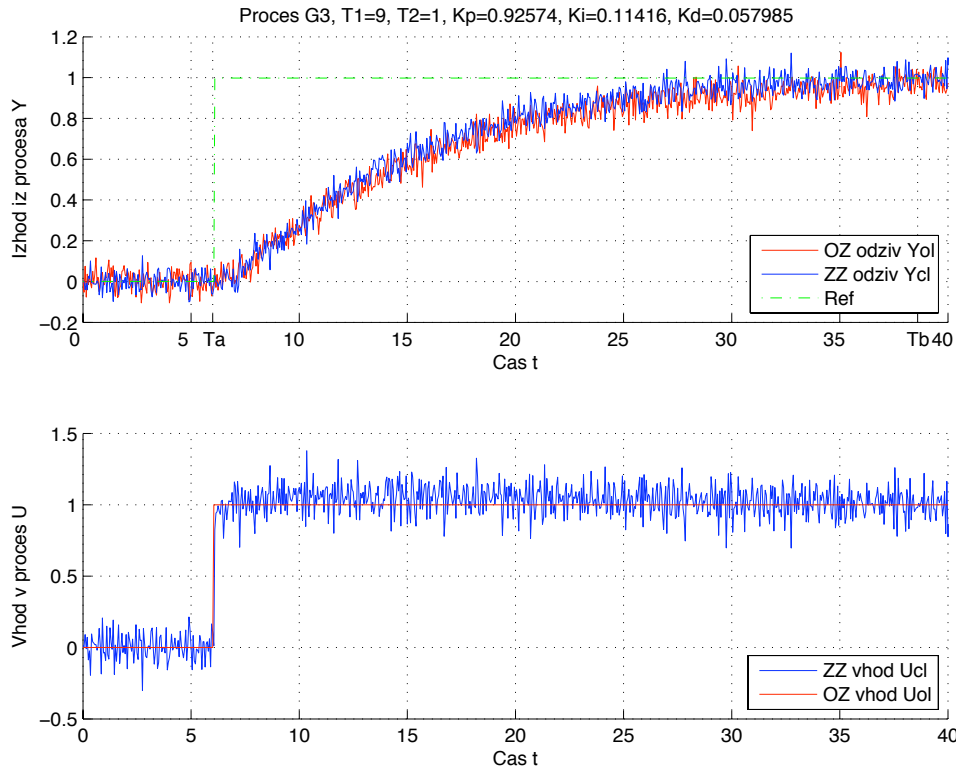
Slika 119: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



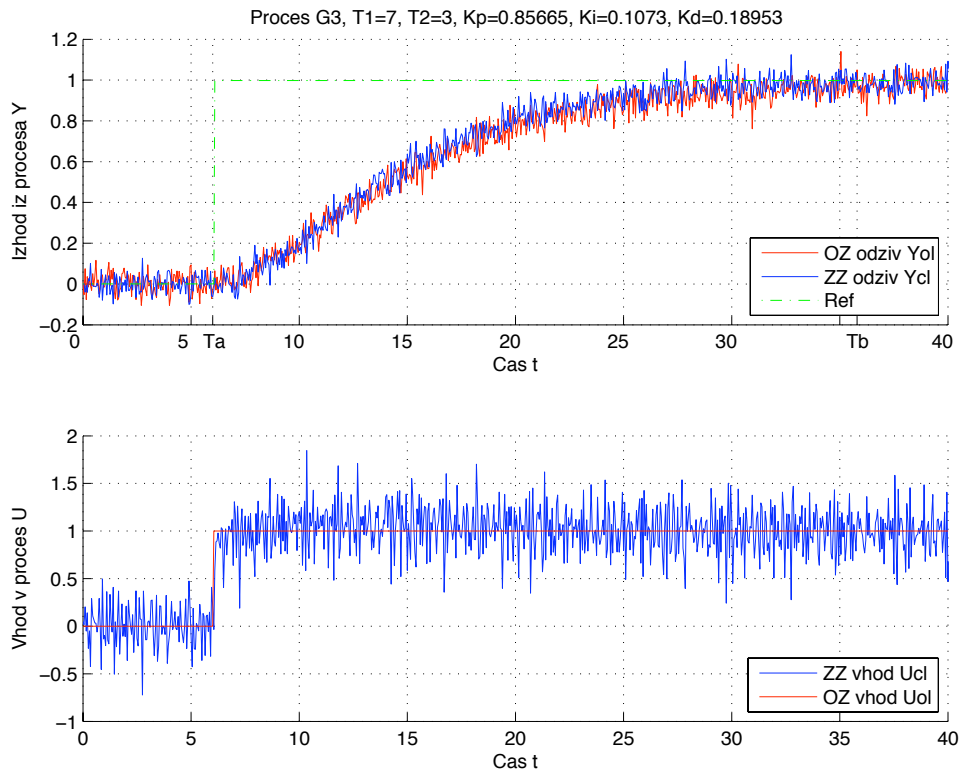
Slika 120: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



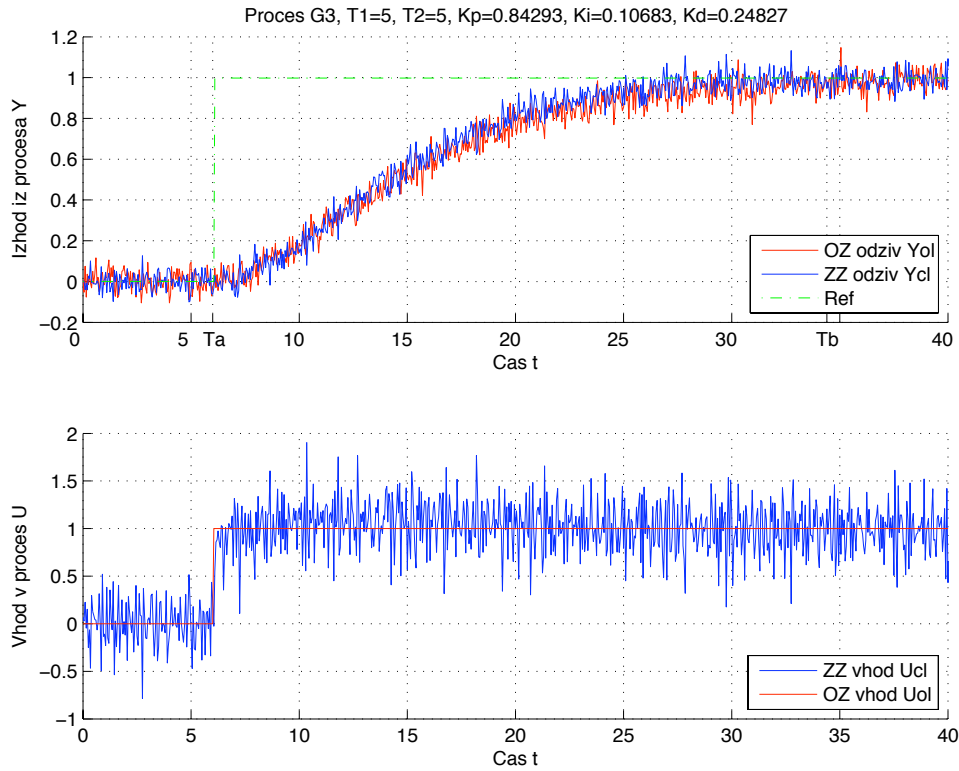
Slika 121: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



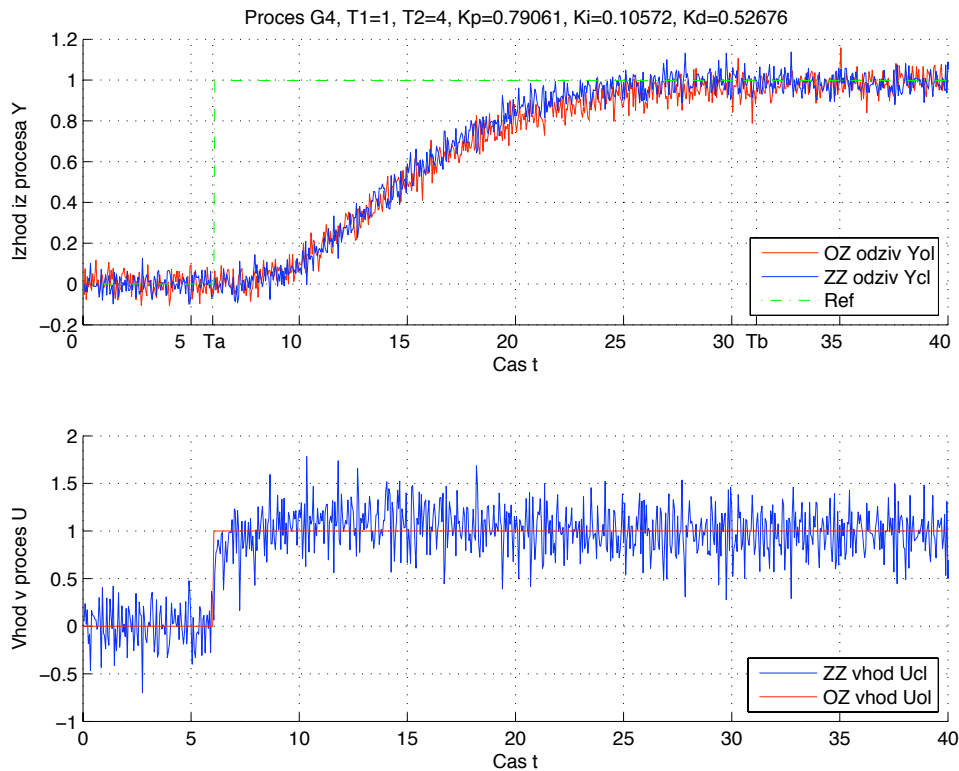
Slika 122: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



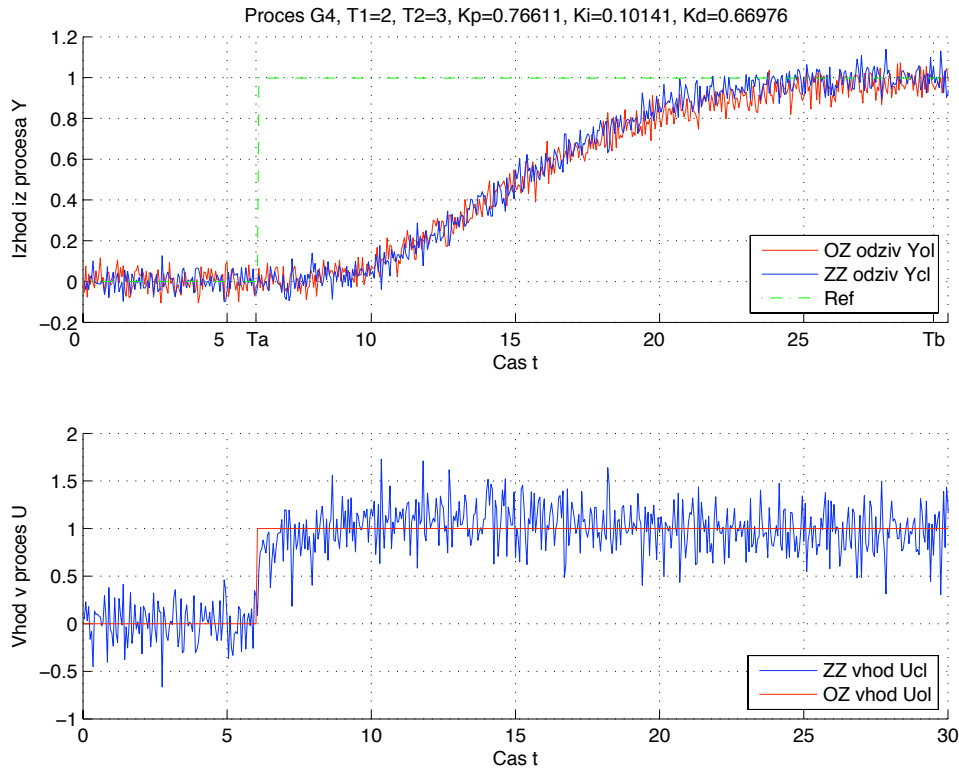
Slika 123: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



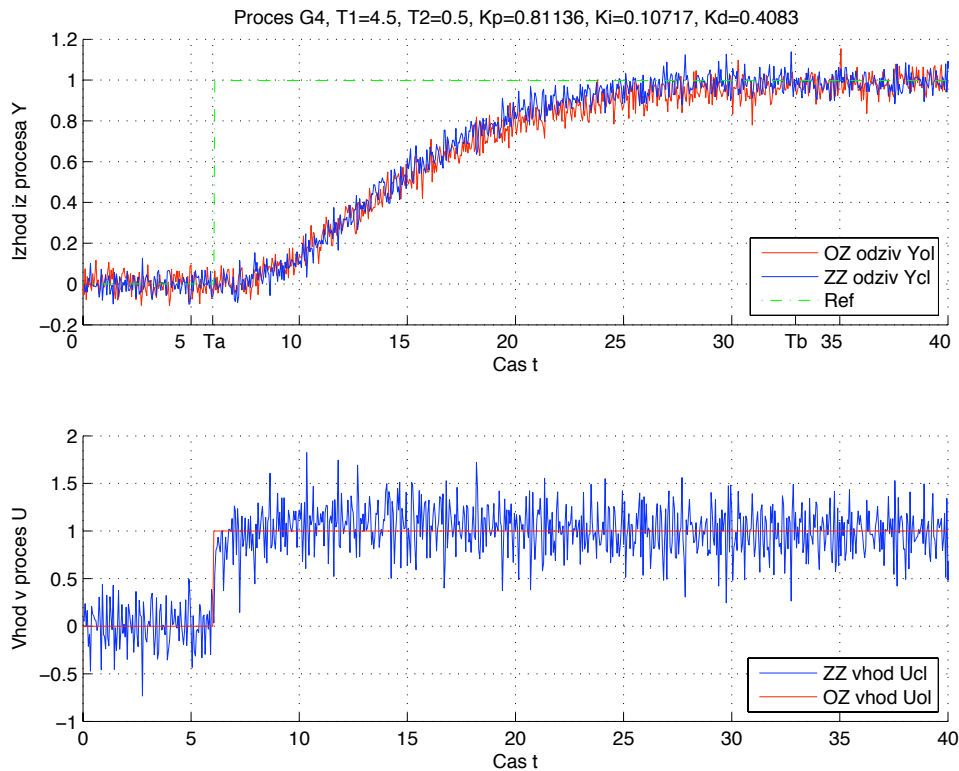
Slika 124: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



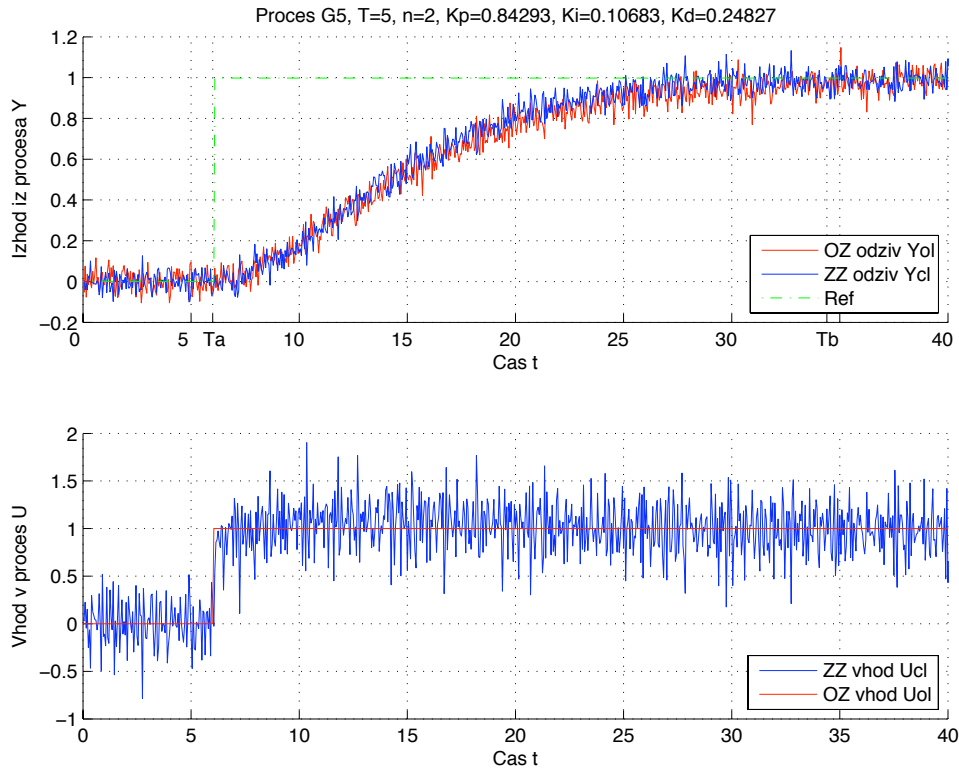
Slika 125: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



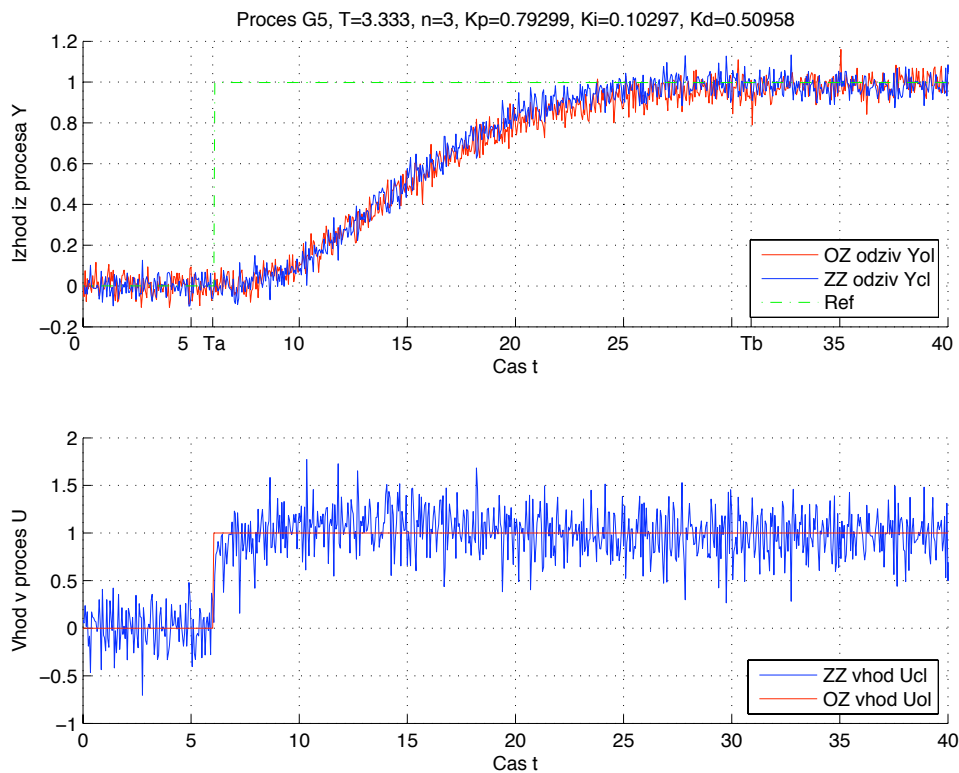
Slika 126: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



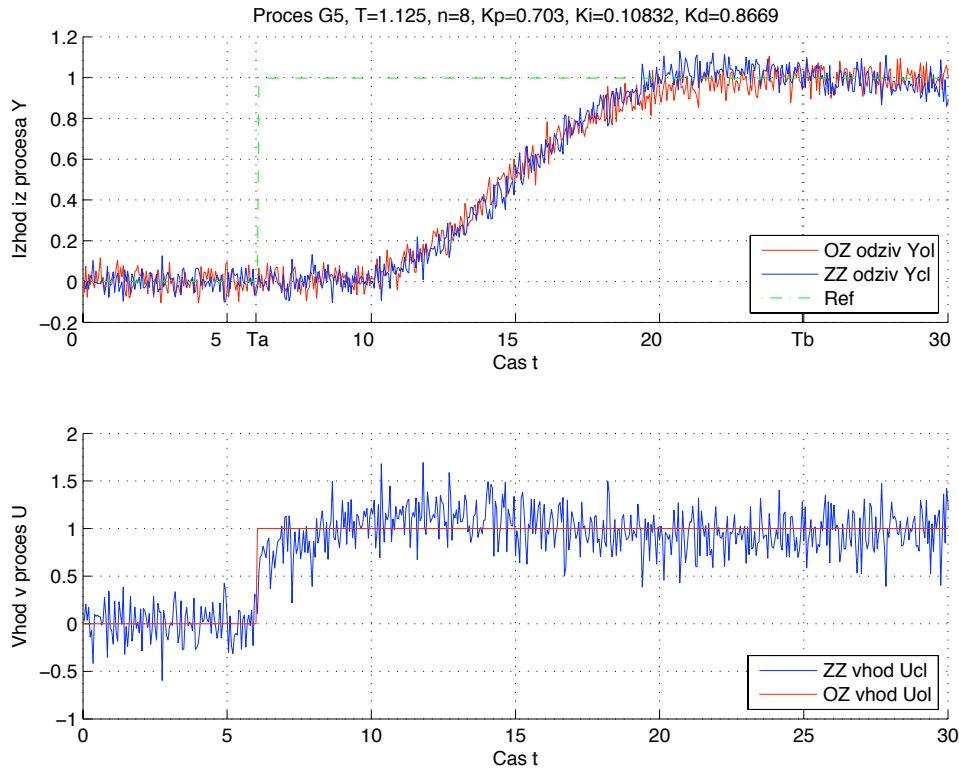
Slika 127: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



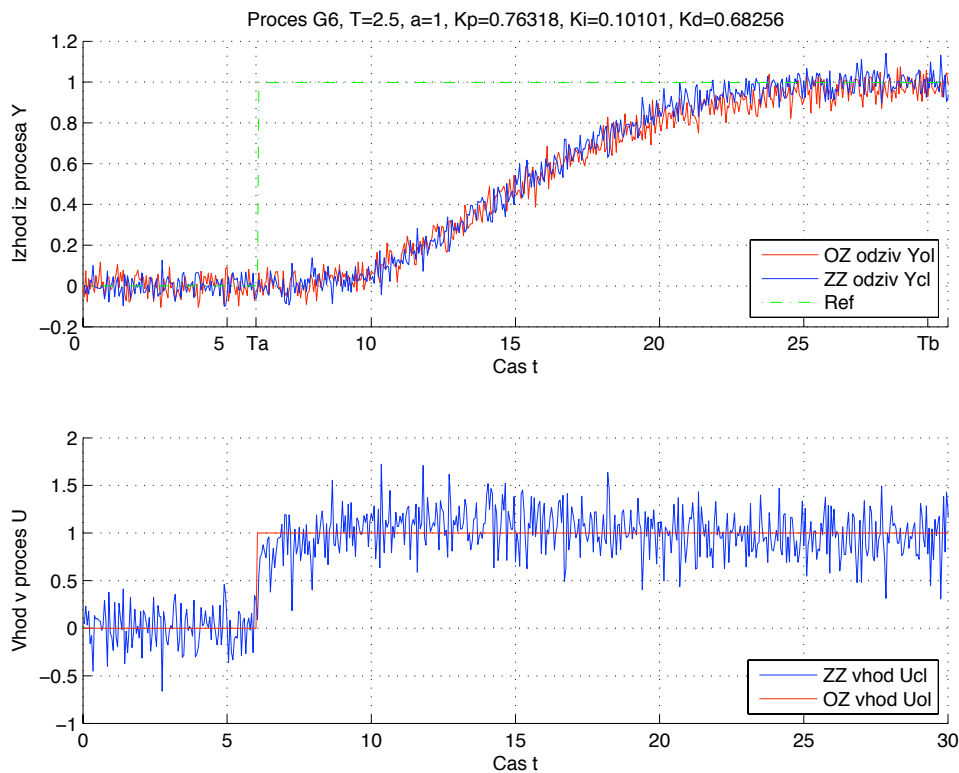
Slika 128: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 129: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

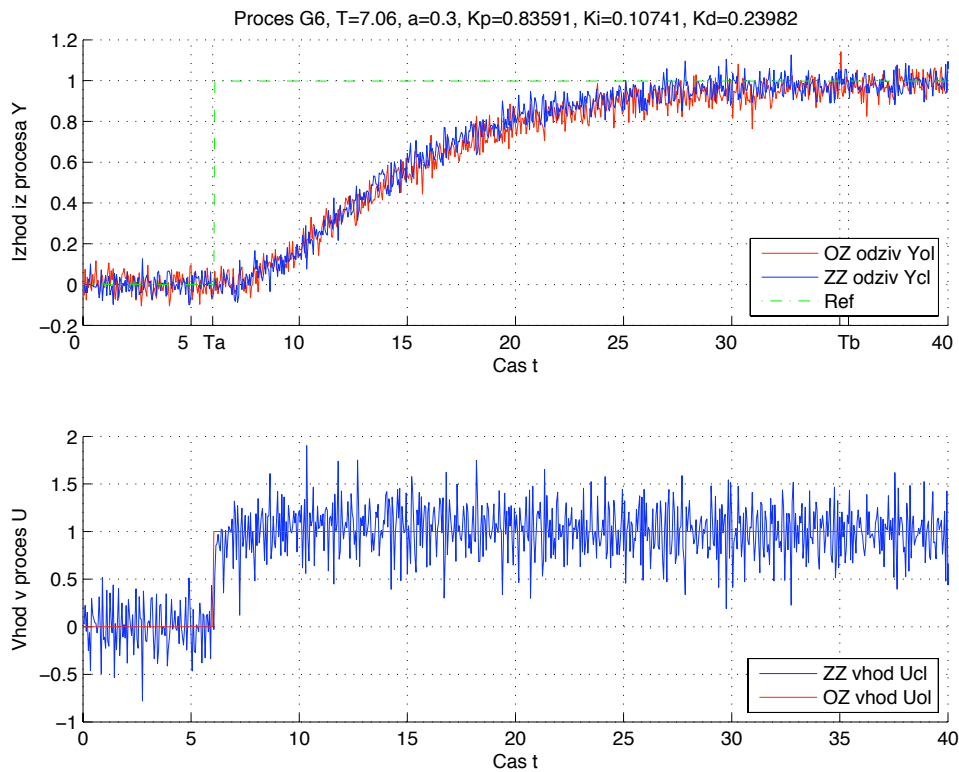


Slika 130: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

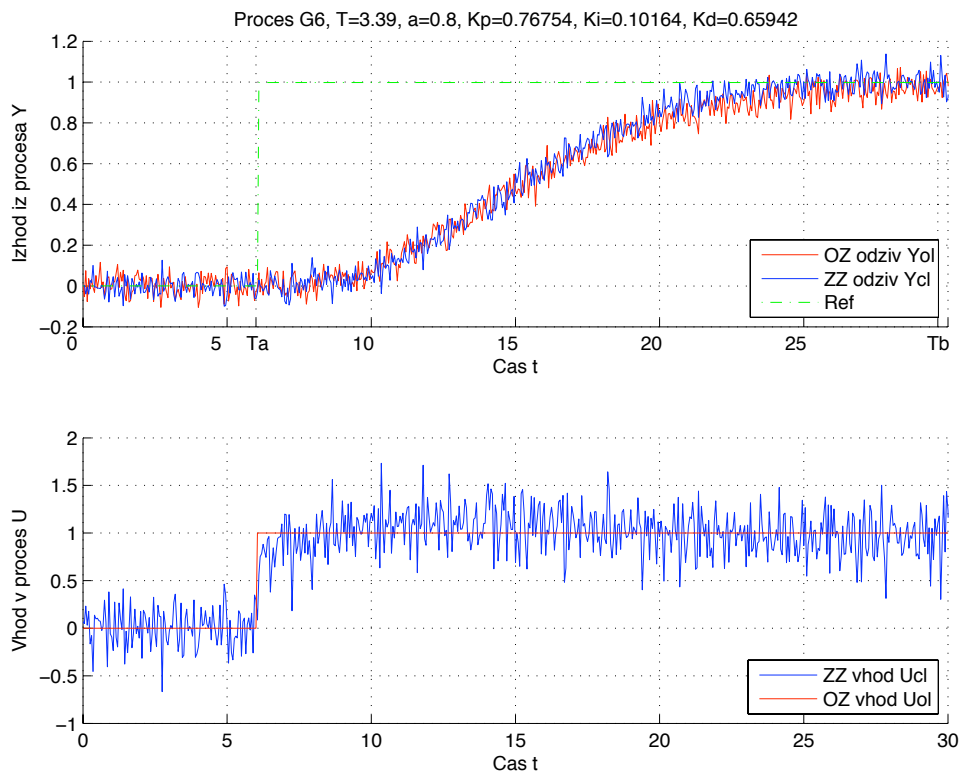


Slika 131: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

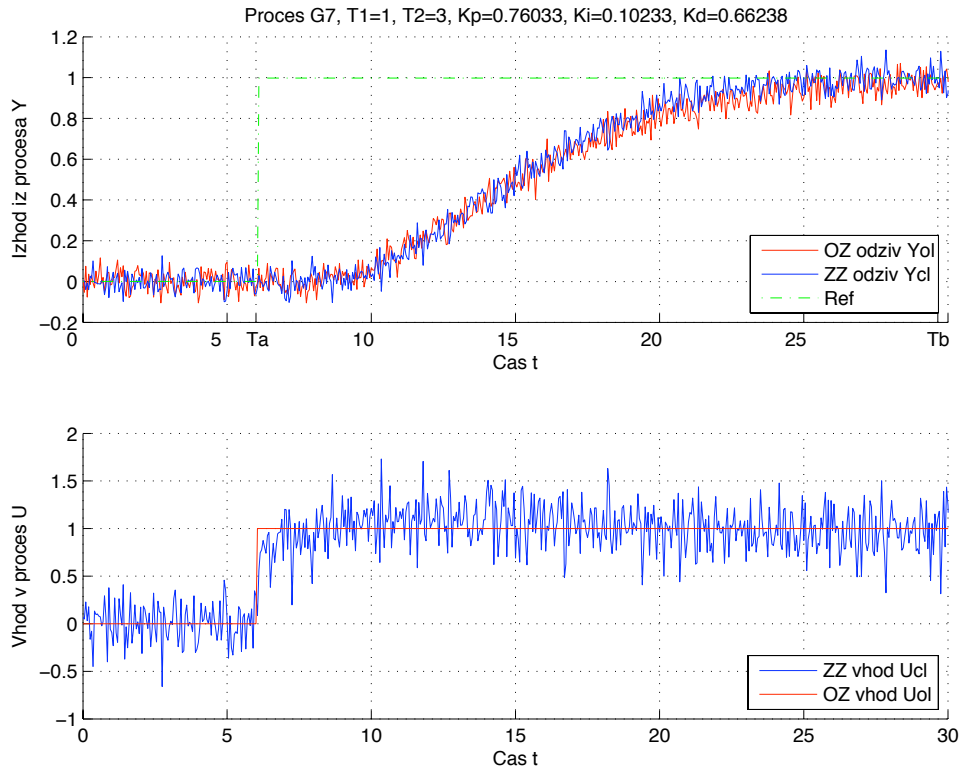




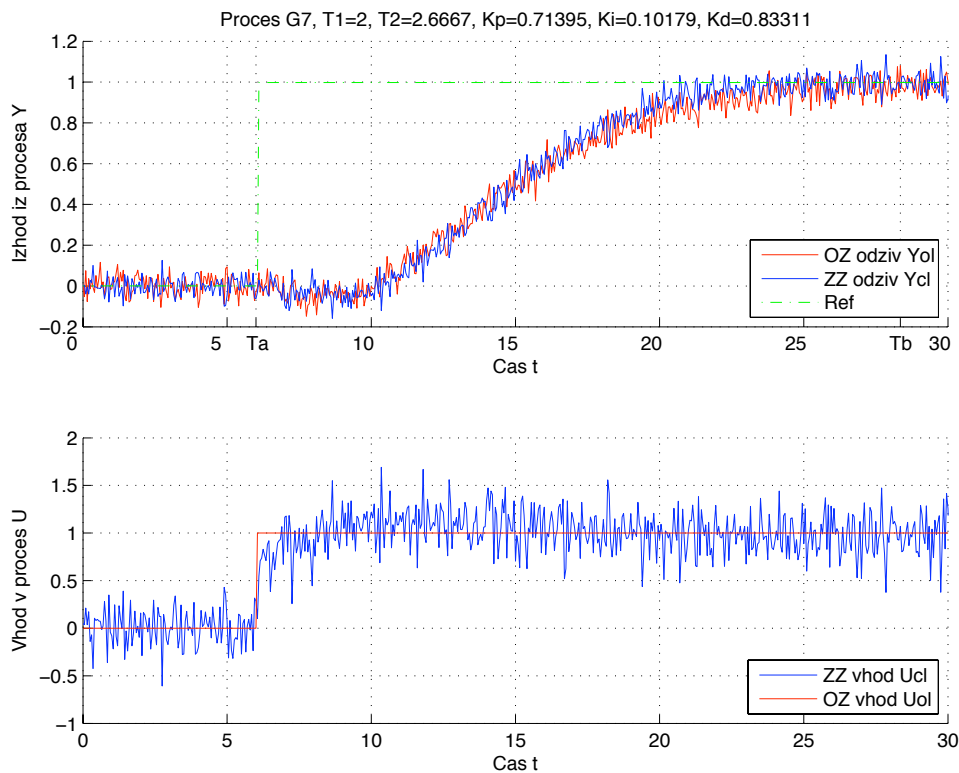
Slika 132: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 133: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 134: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



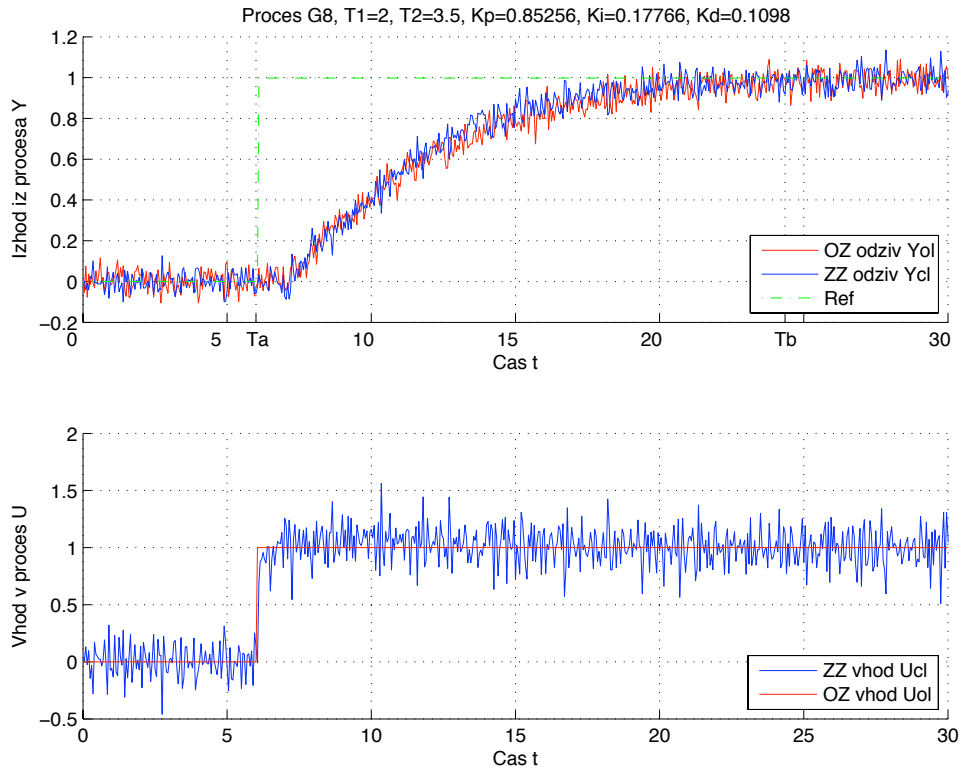
Slika 135: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 136: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



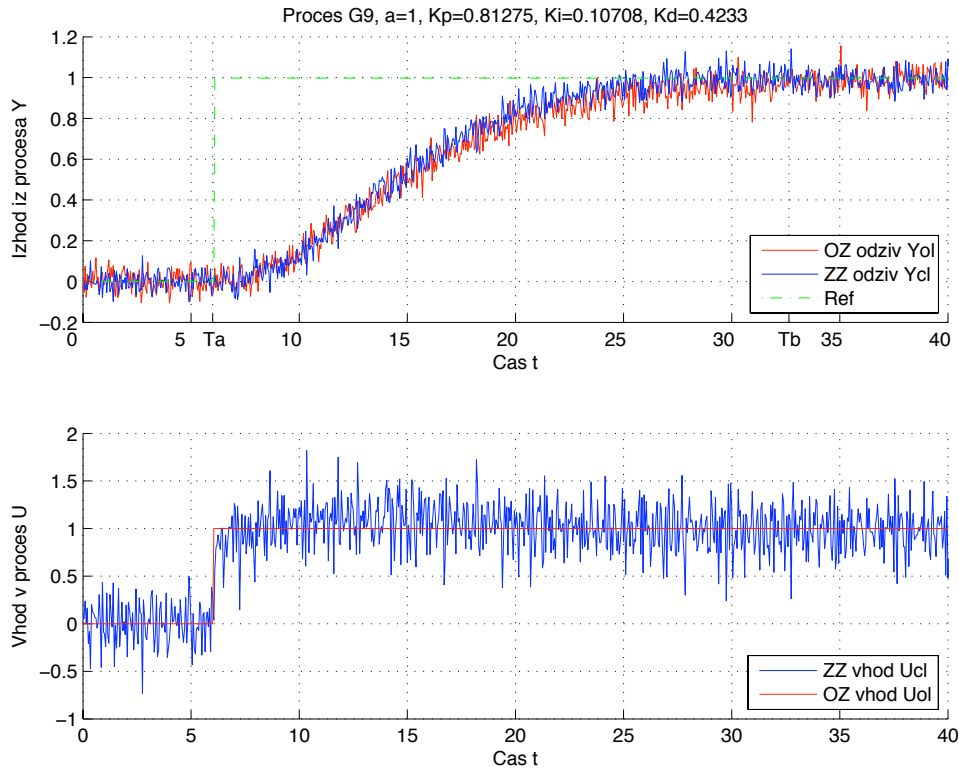
Slika 137: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



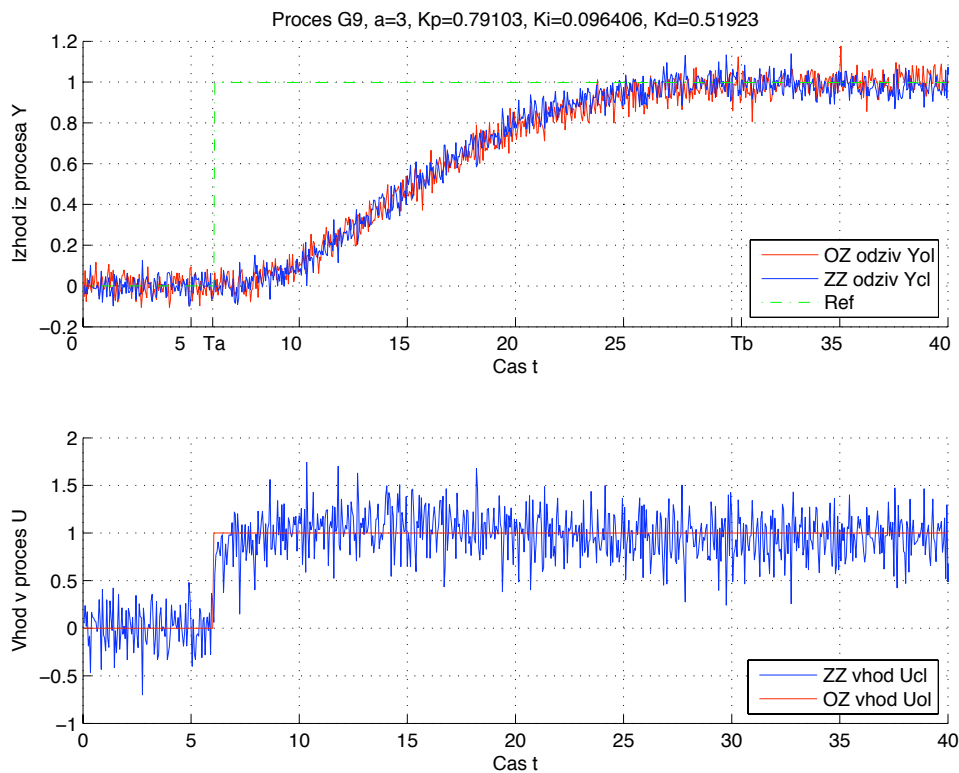
Slika 138: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



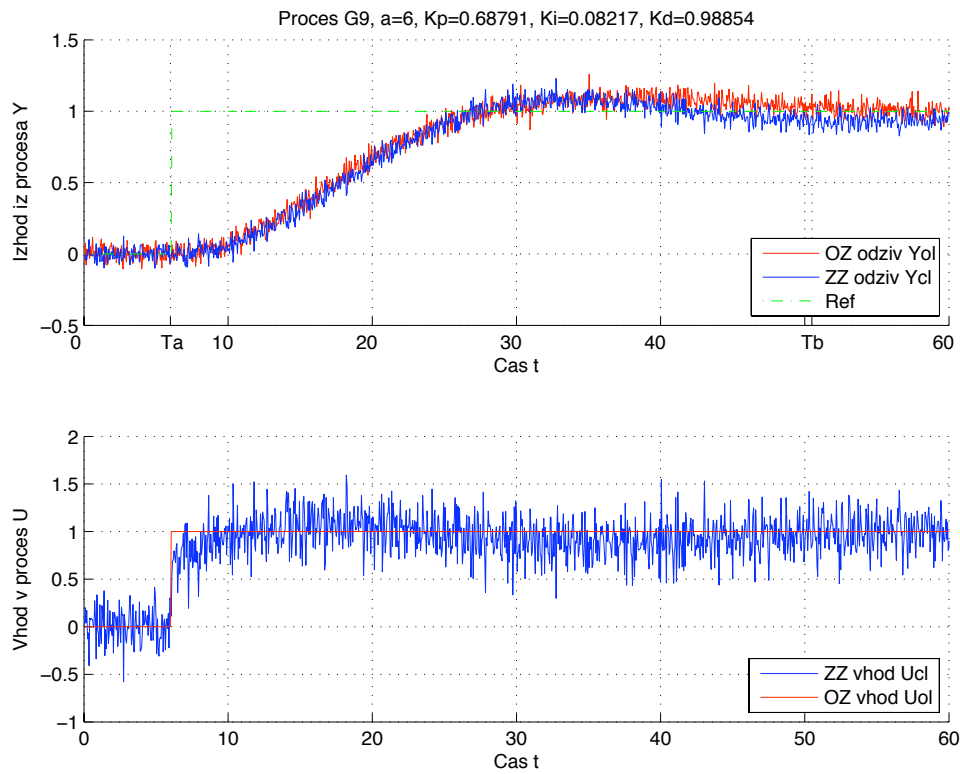
Slika 139: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 140: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

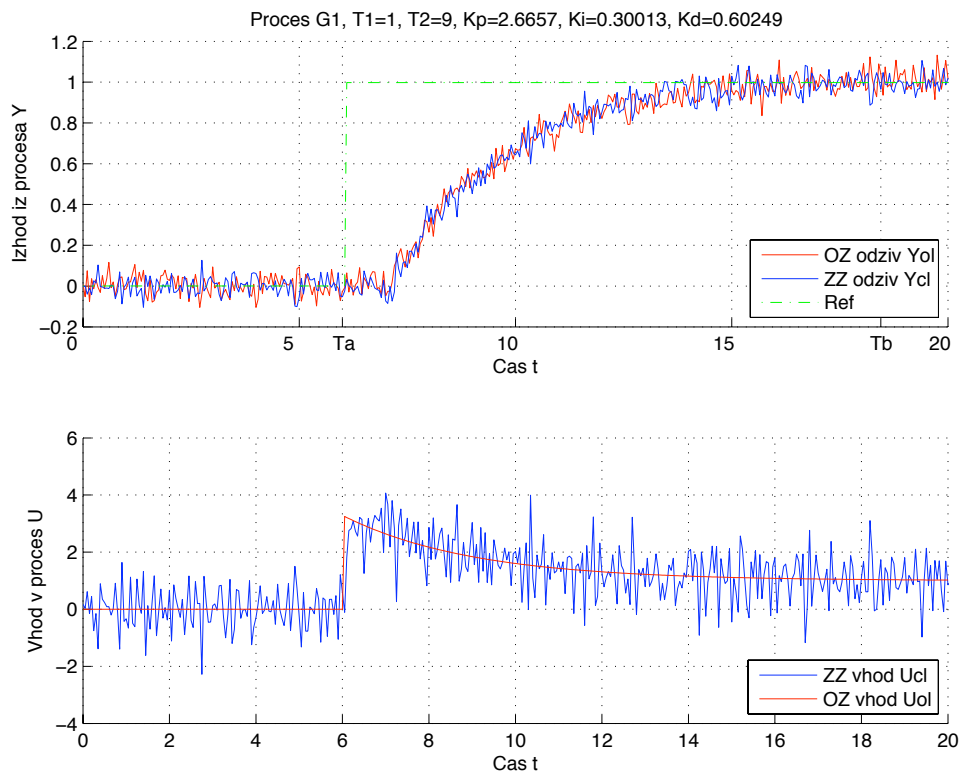


Slika 141: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

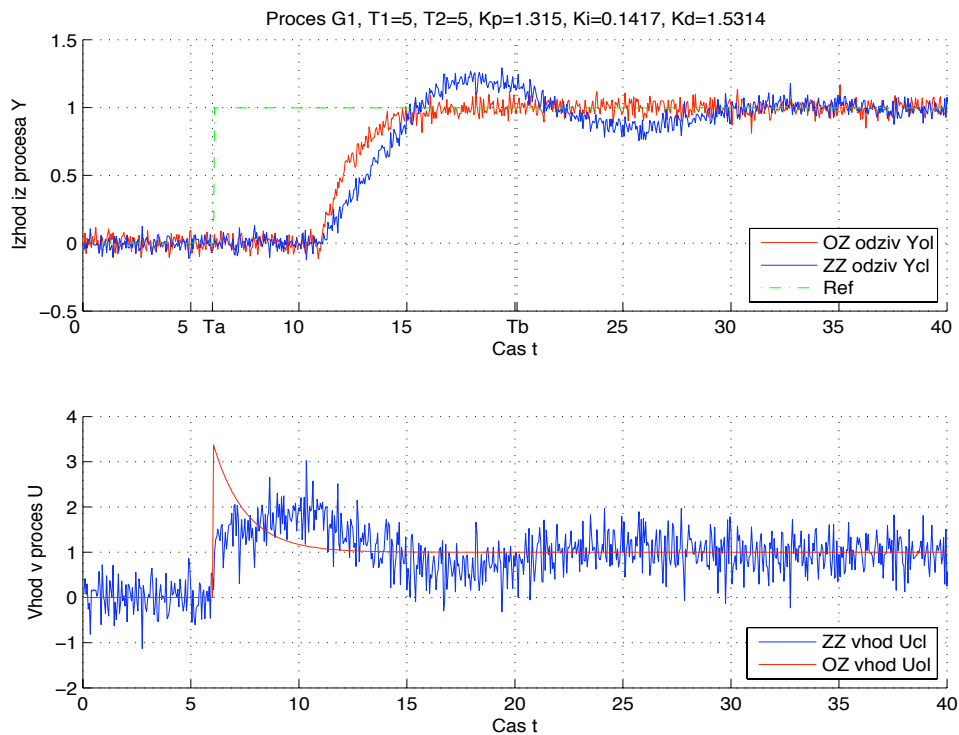


Slika 142: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

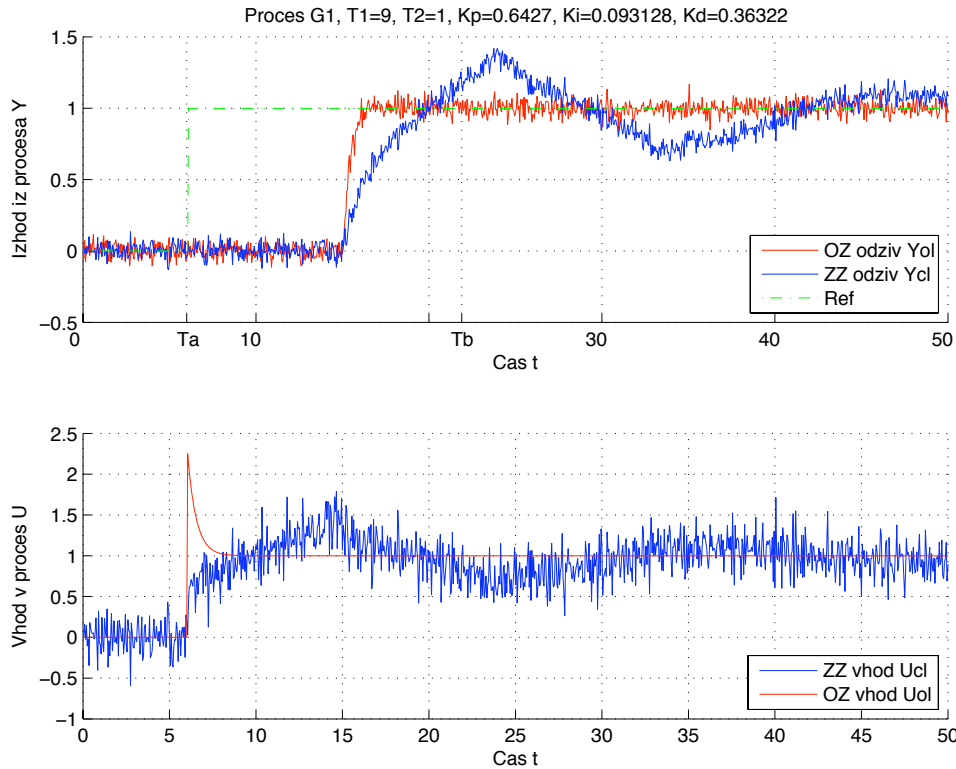
Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



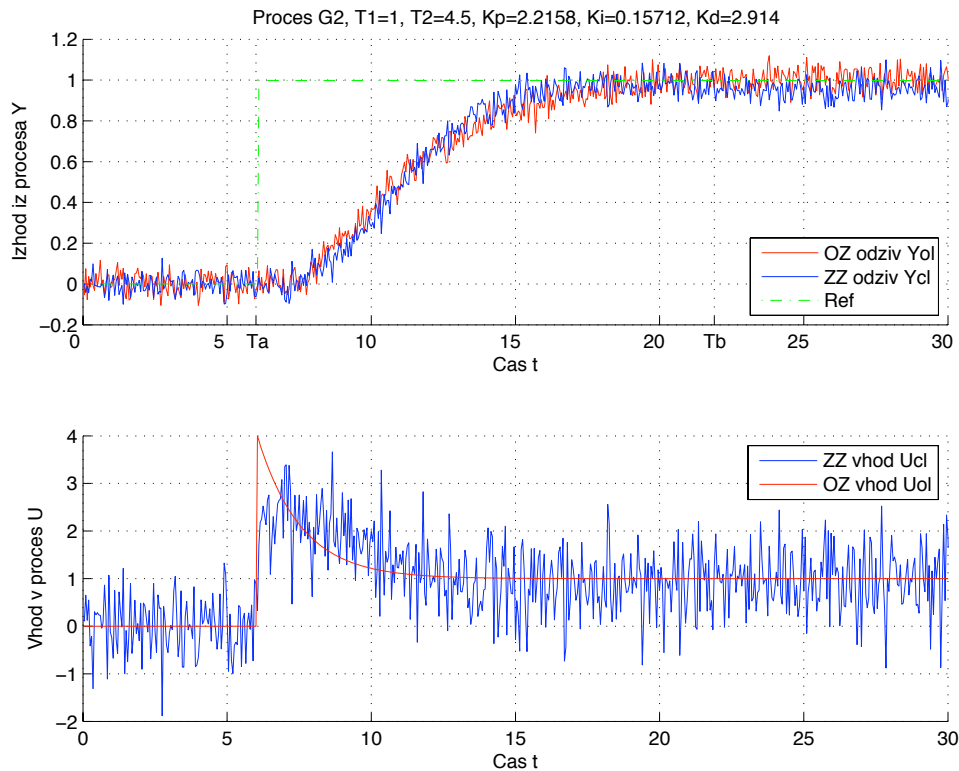
Slika 143: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 144: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

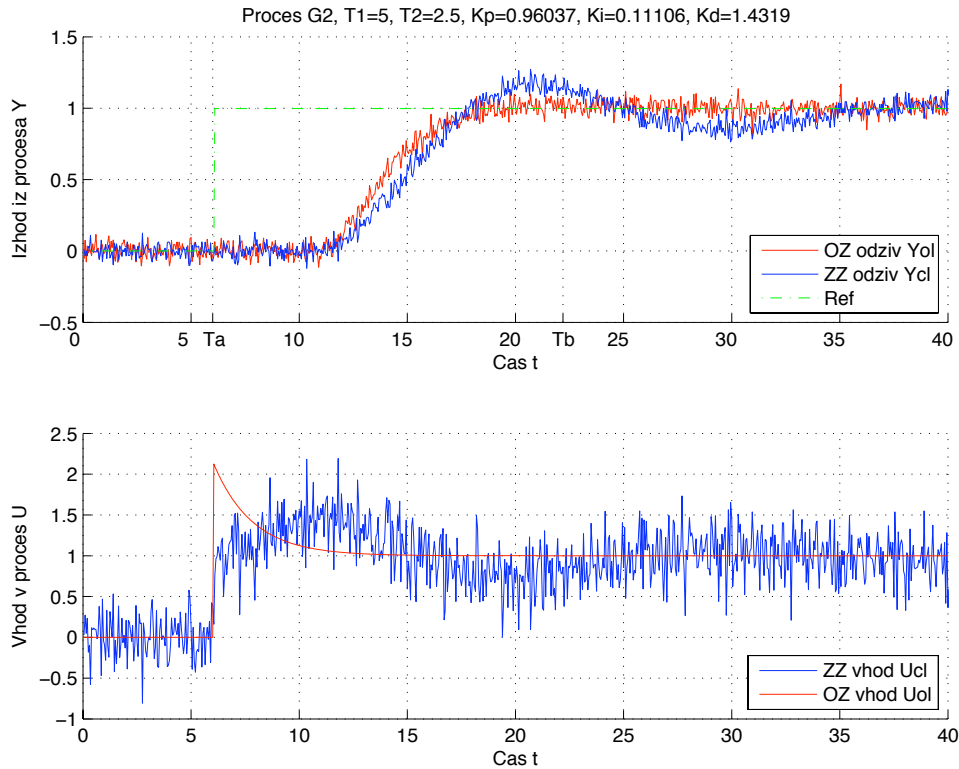


Slika 145: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

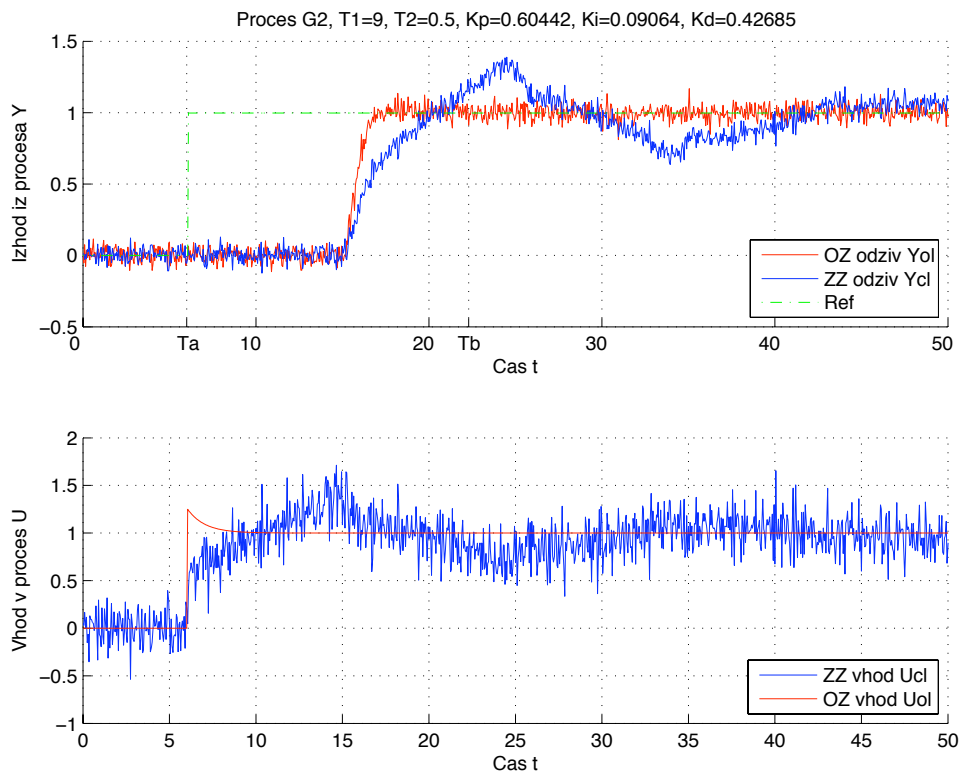


Slika 146: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

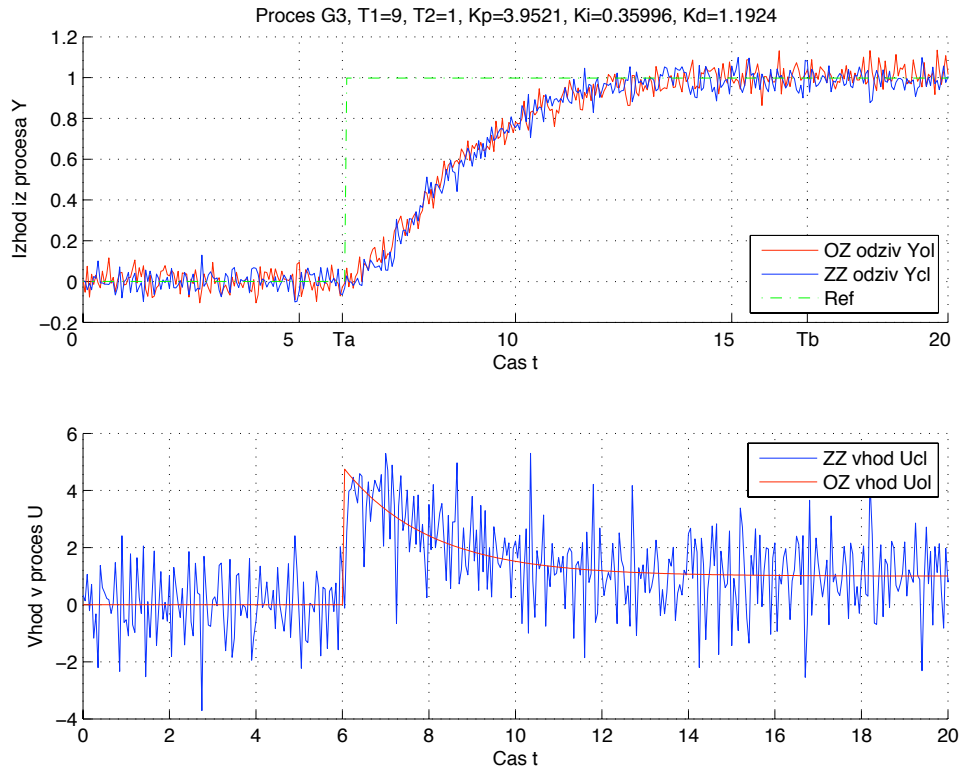




Slika 147: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 148: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



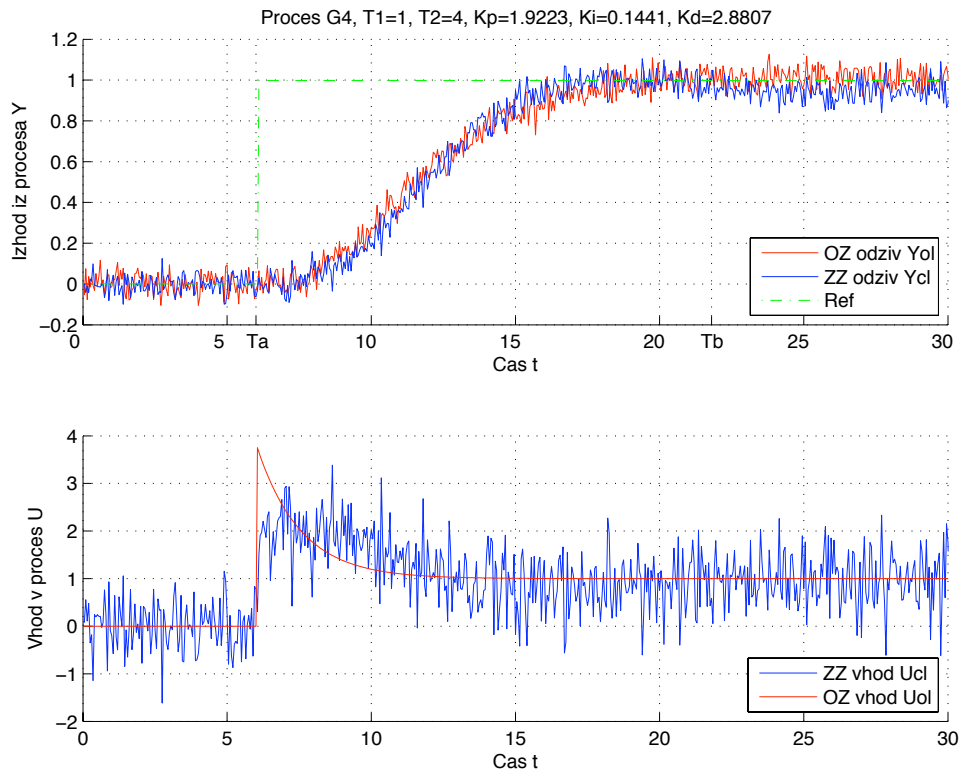
Slika 149: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 150: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



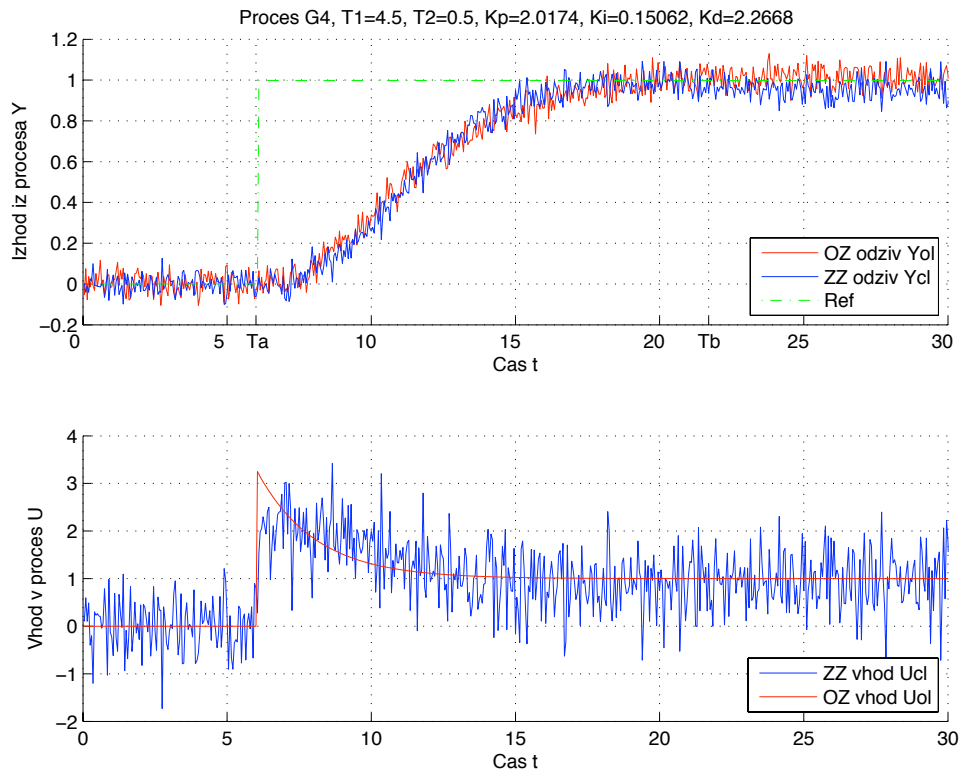
Slika 151: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



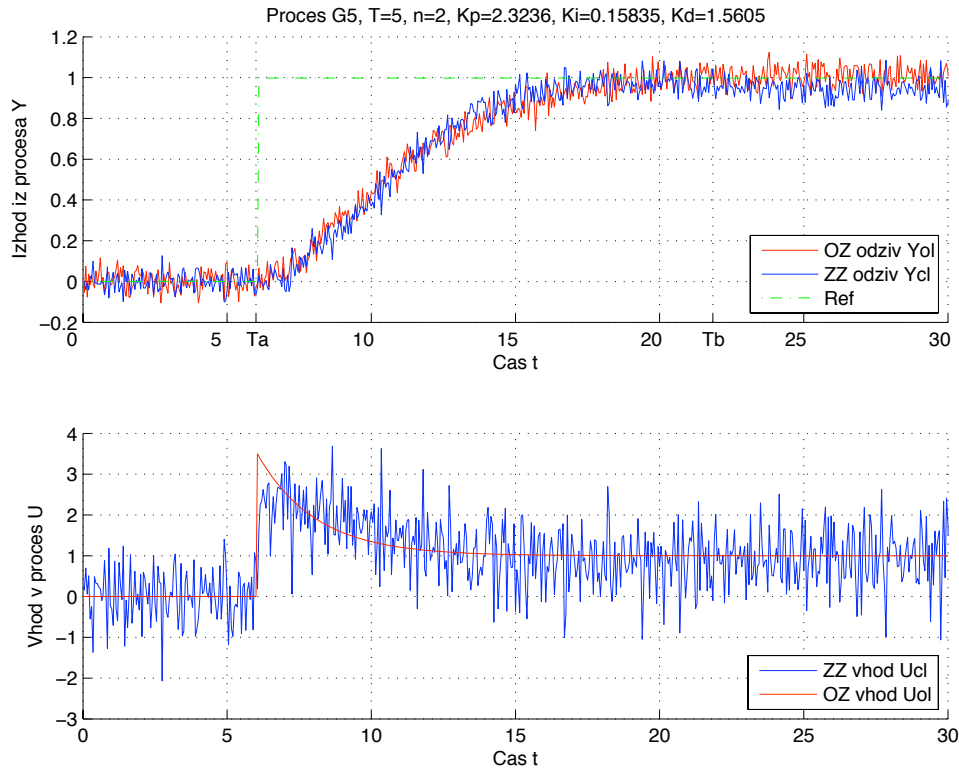
Slika 152: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



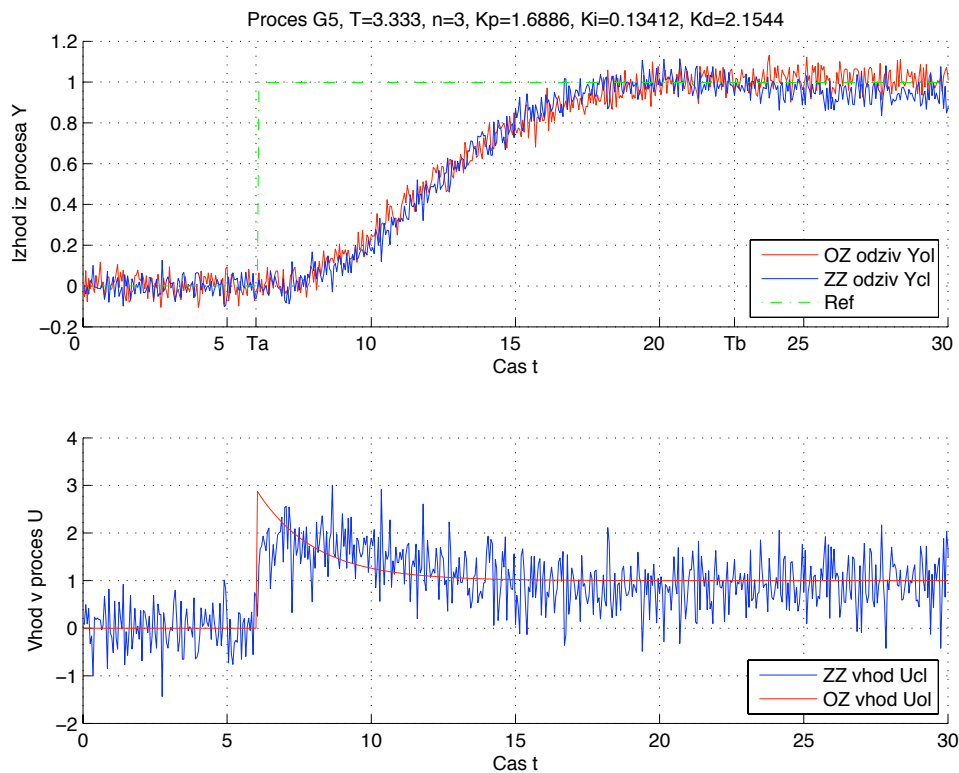
Slika 153: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



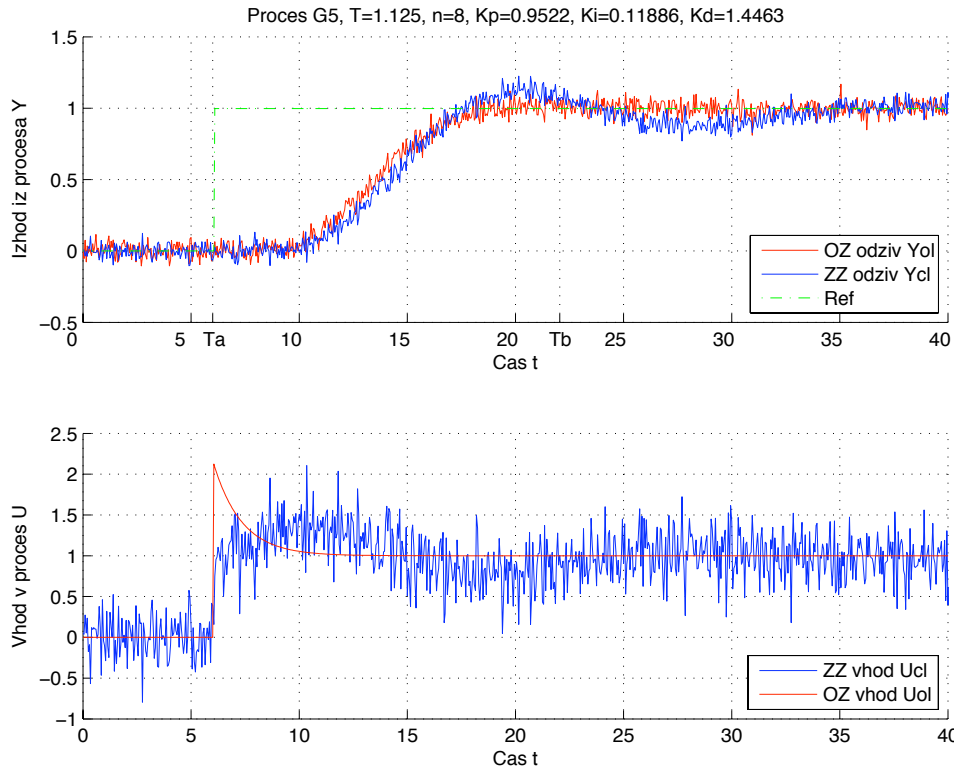
Slika 154: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



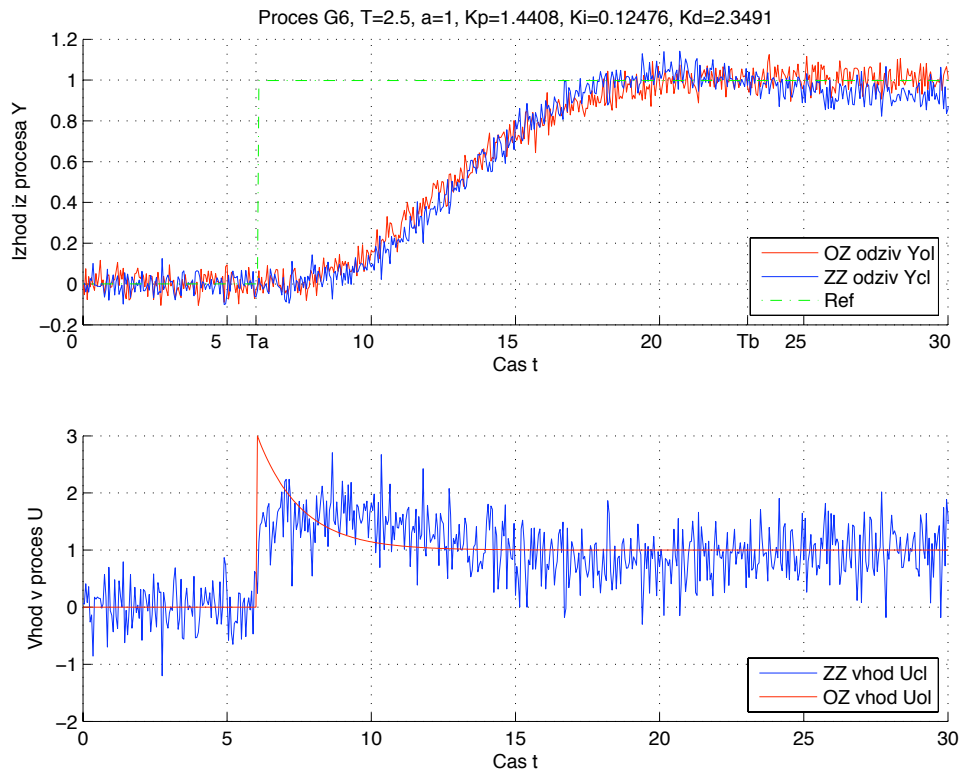
Slika 155: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



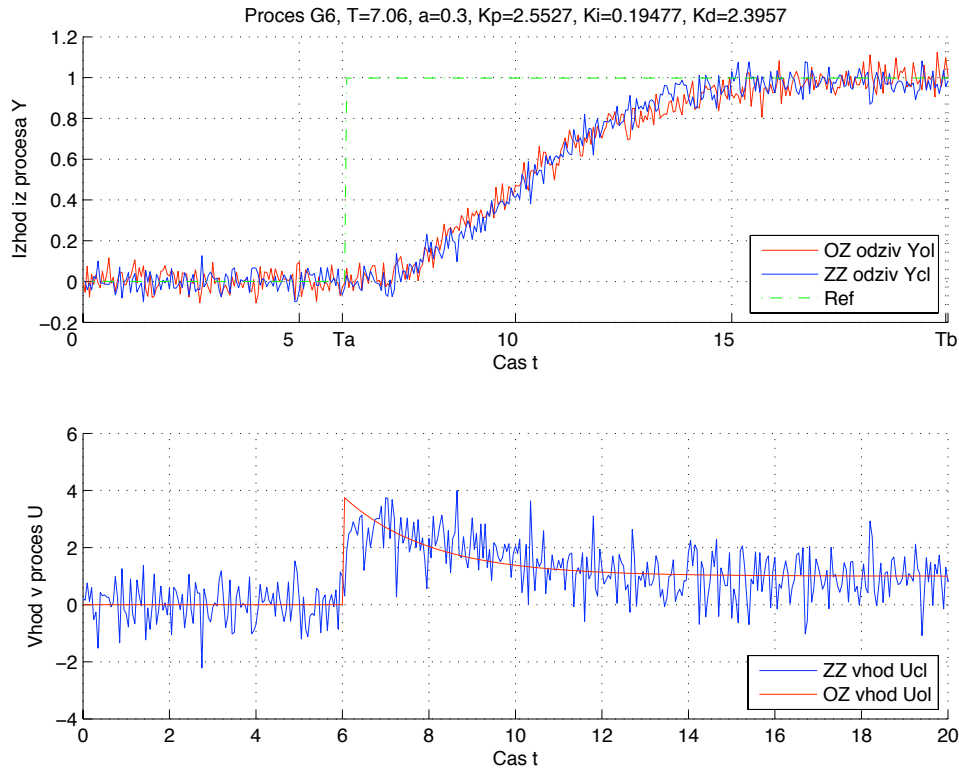
Slika 156: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



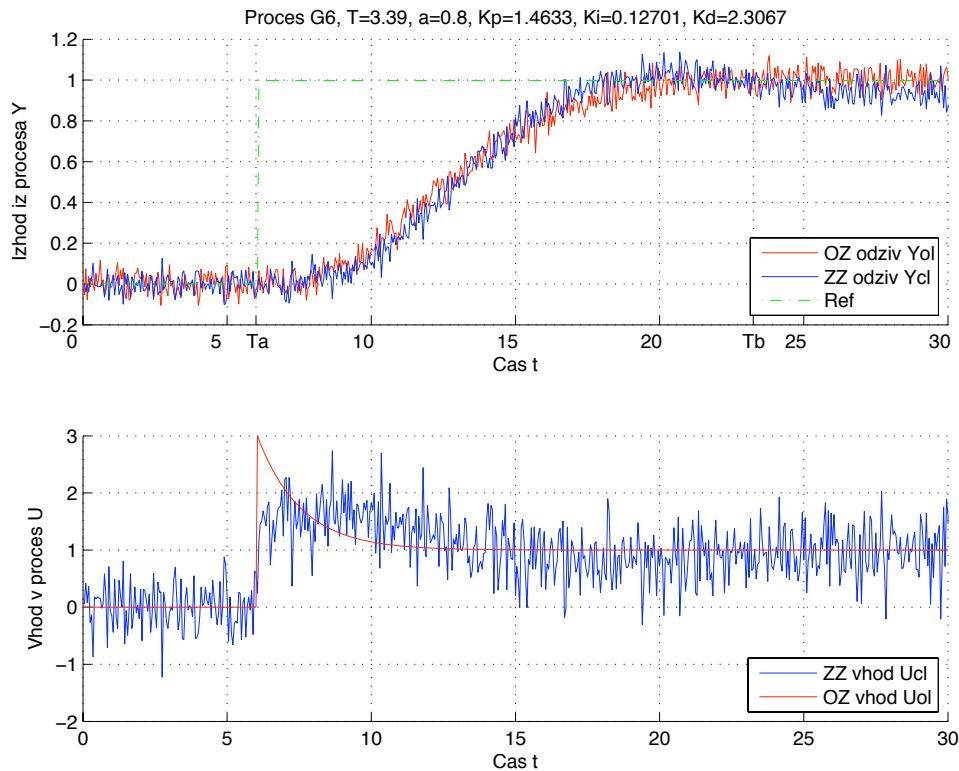
Slika 157: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 158: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



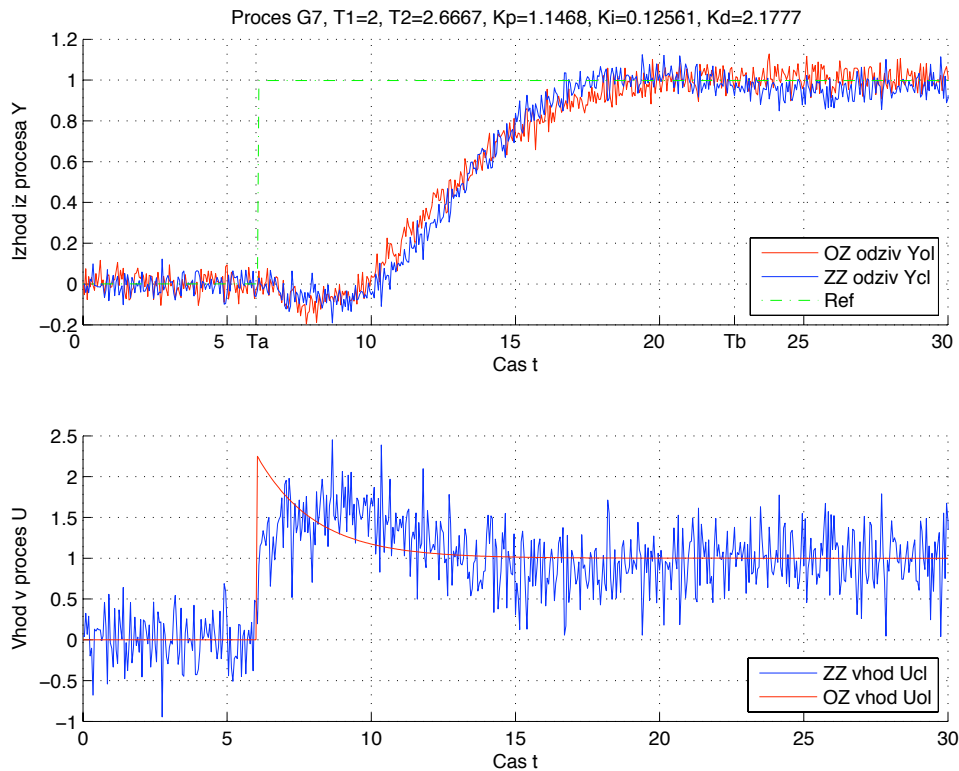
Slika 159: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 160: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

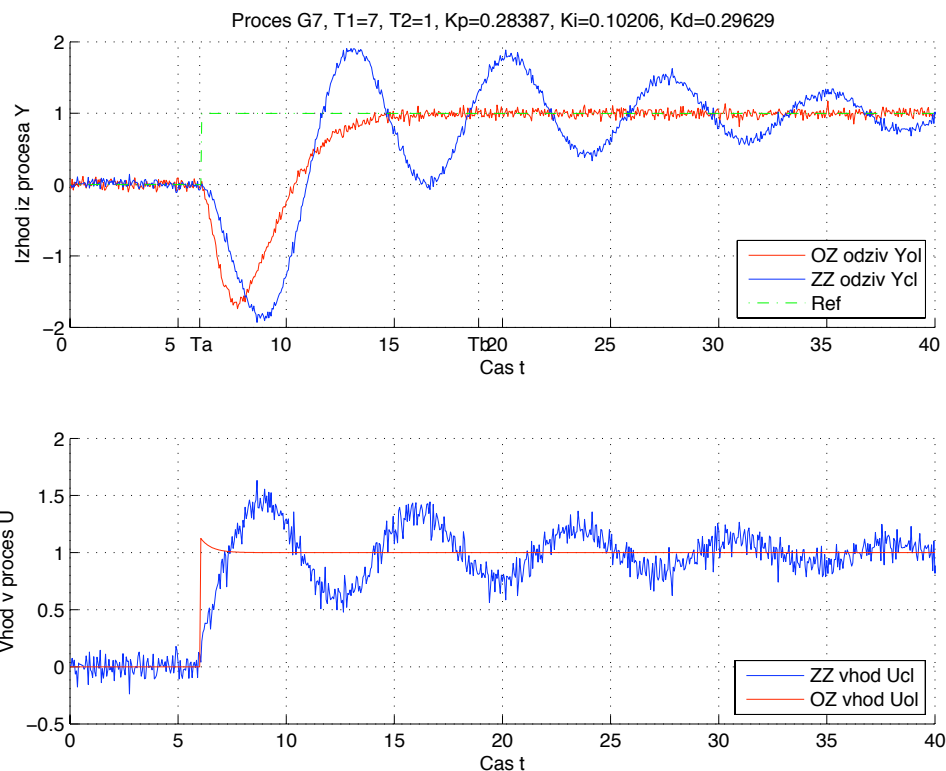


Slika 161: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 162: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).





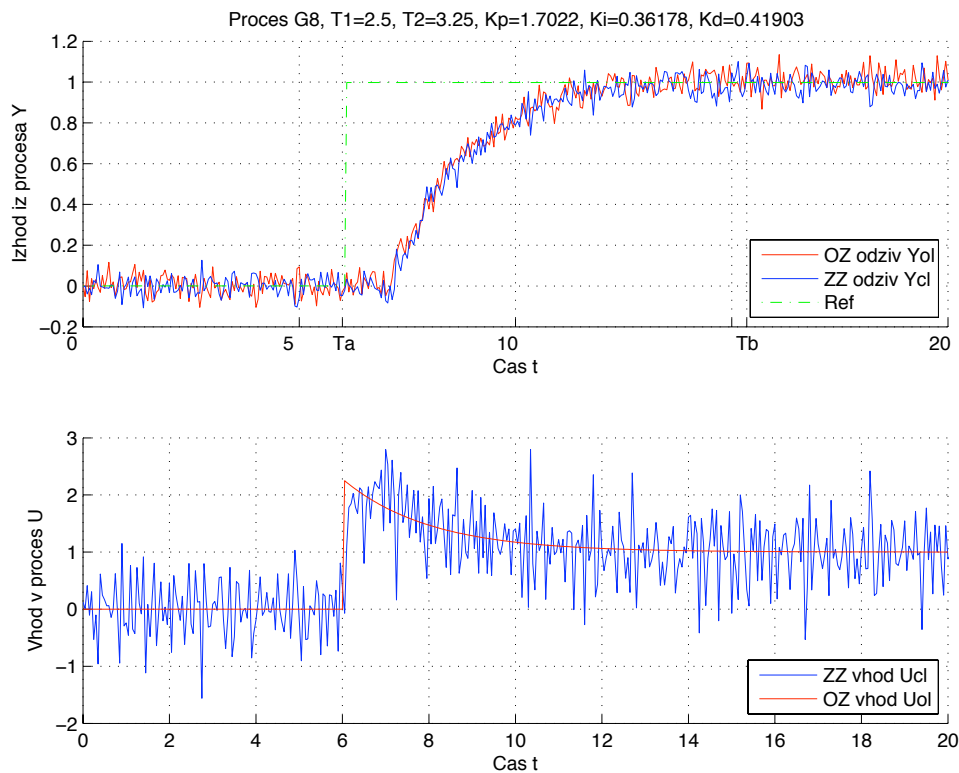
Slika 163: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



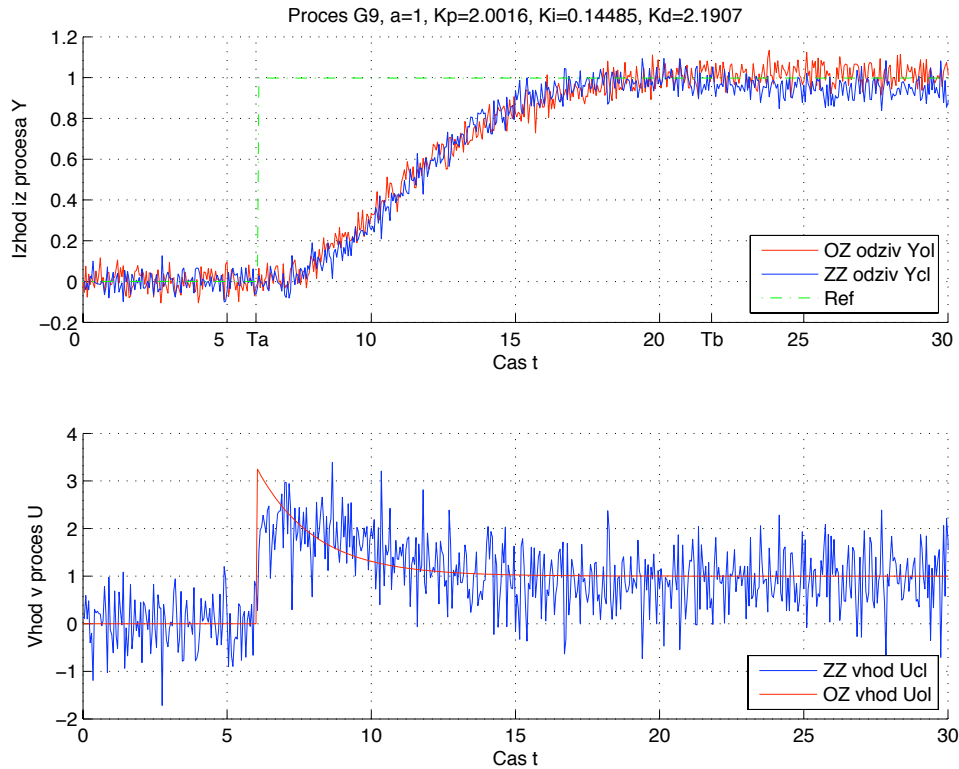
Slika 164: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



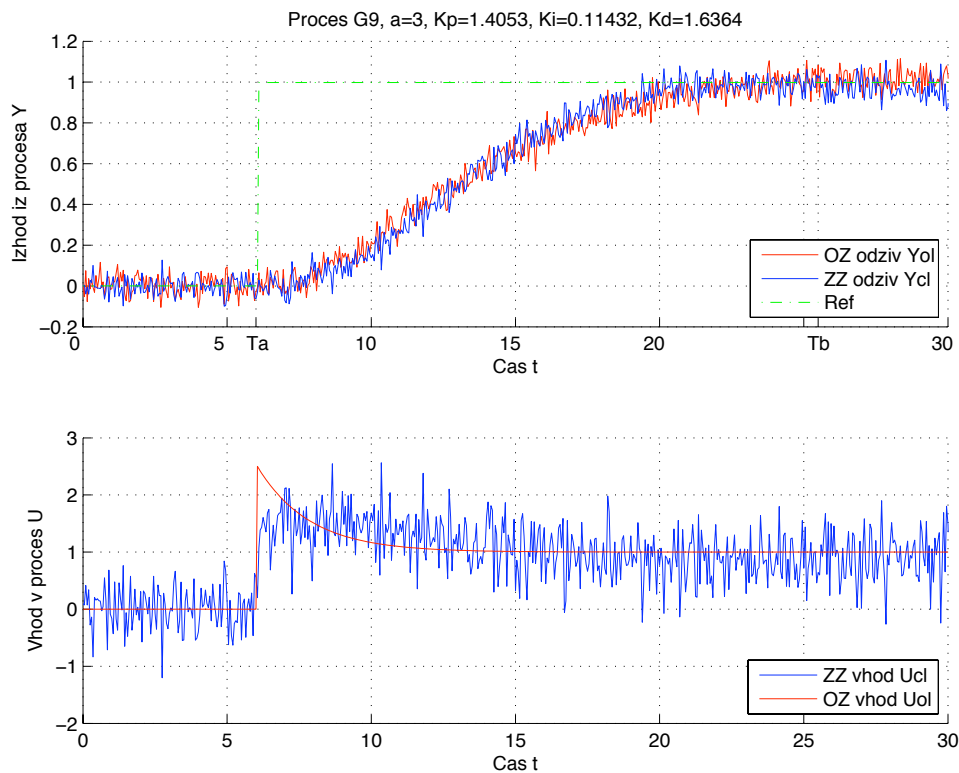
Slika 165: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



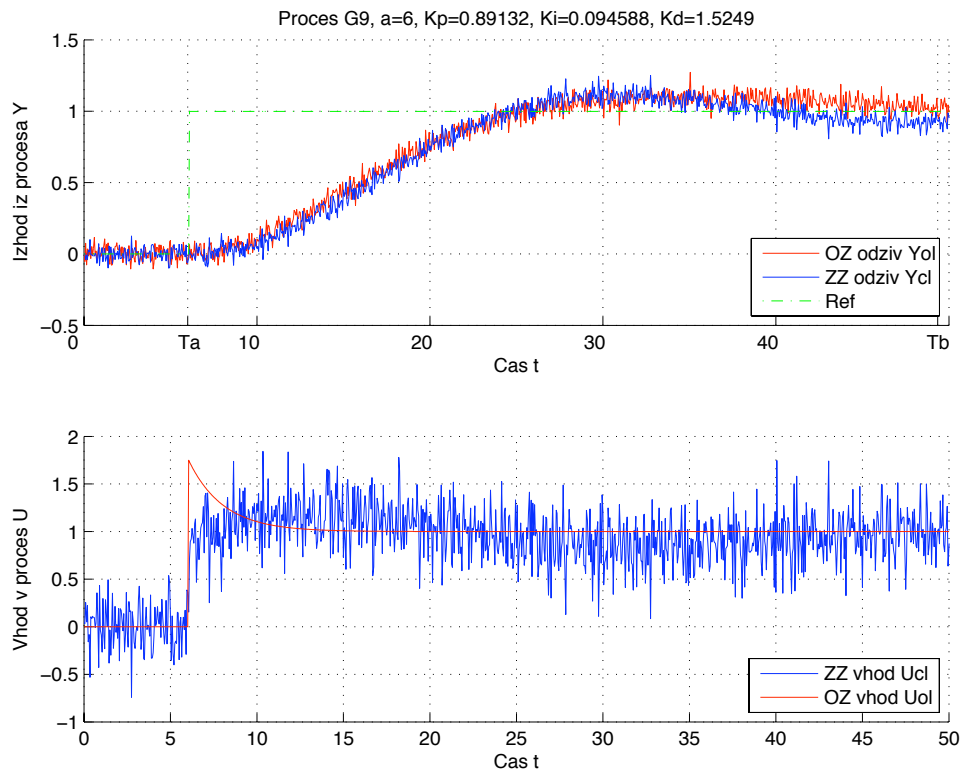
Slika 166: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 167: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

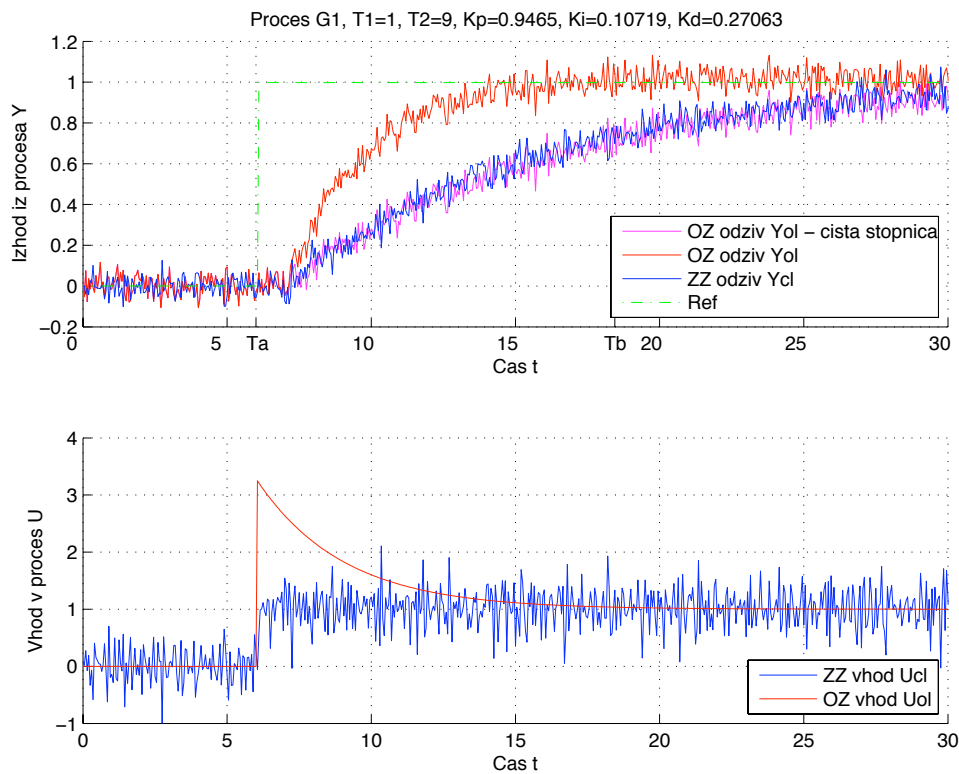


Slika 168: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

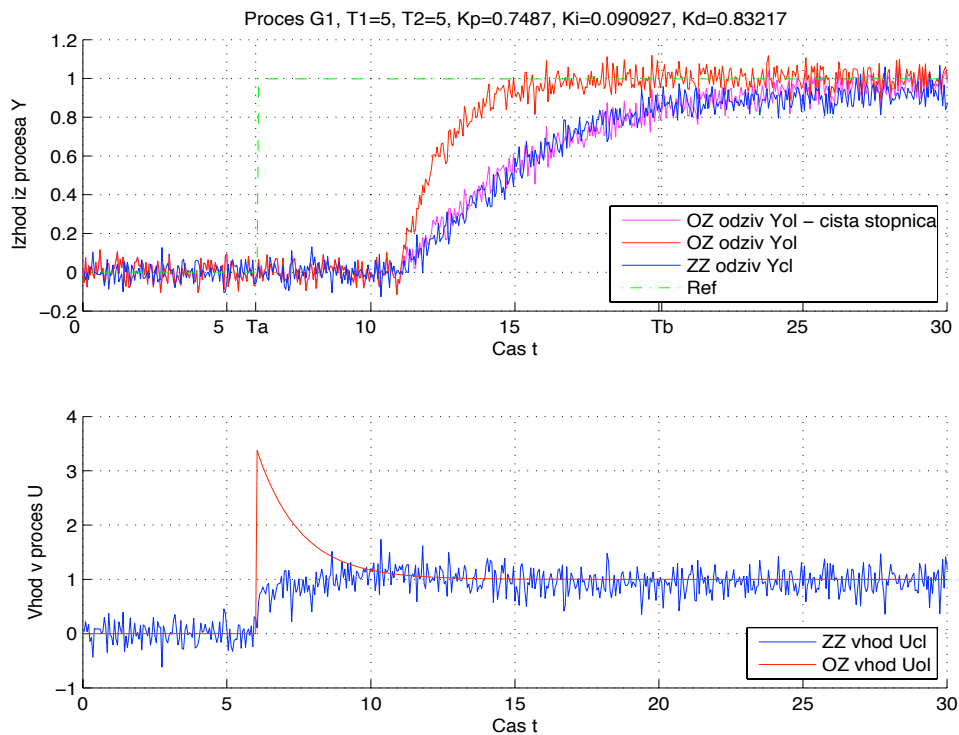


Slika 169: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

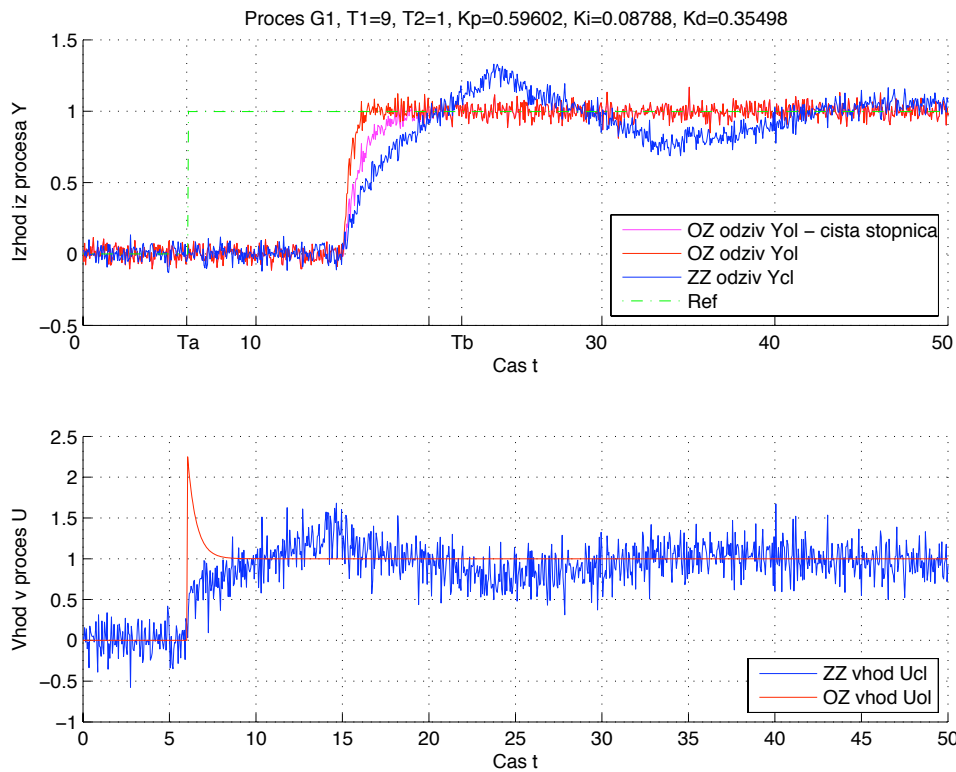
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



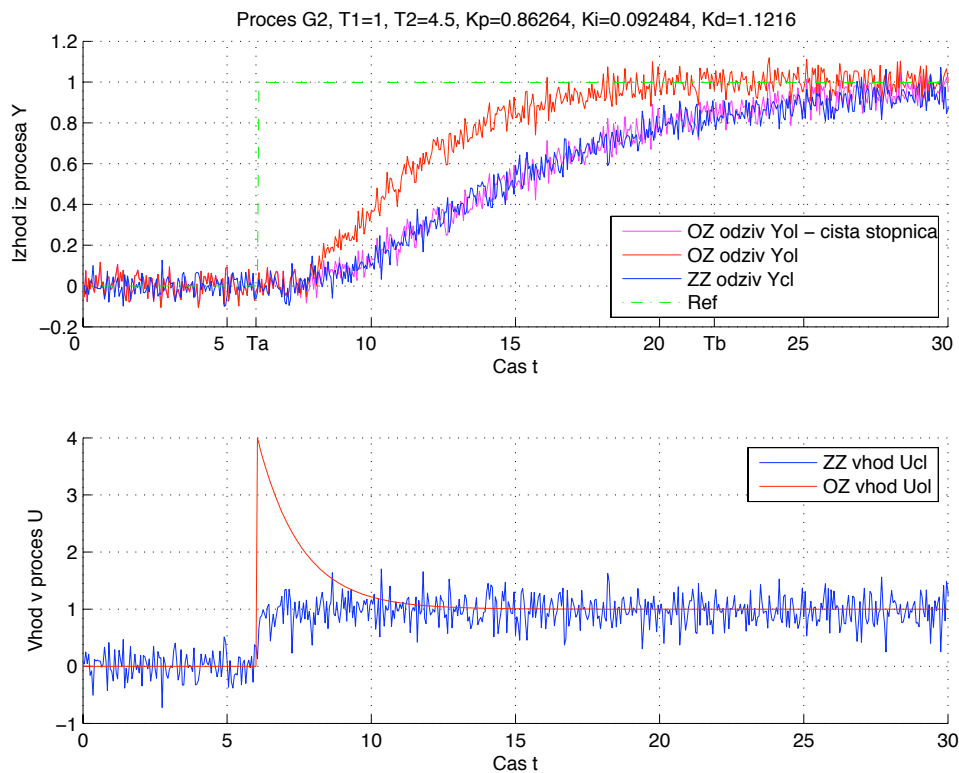
Slika 170: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



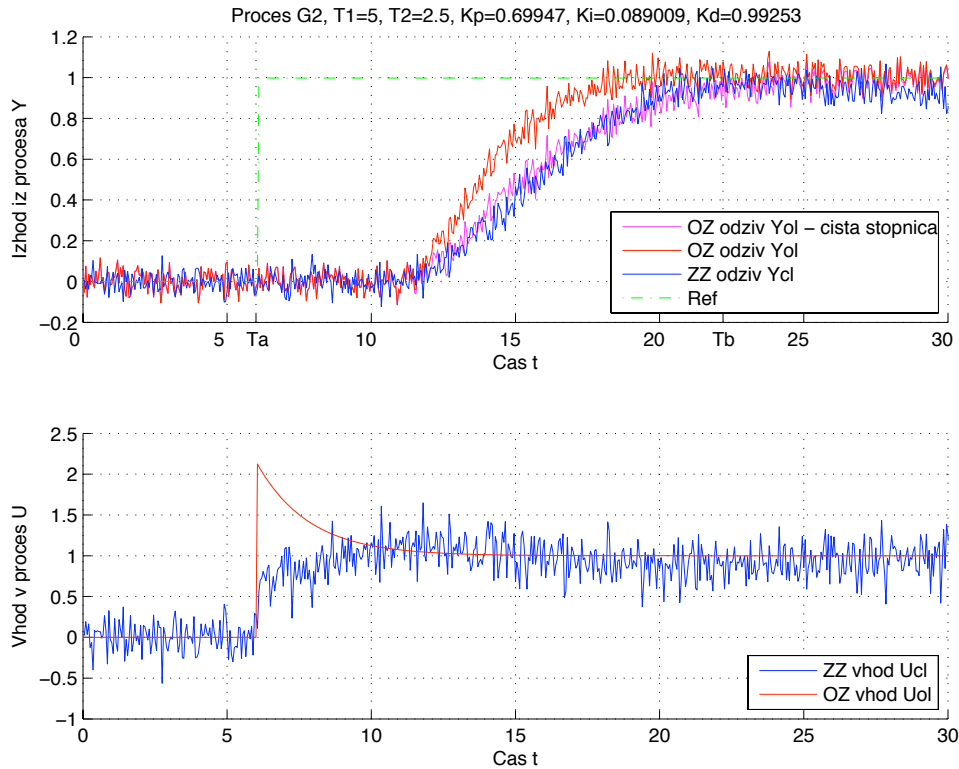
Slika 171: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



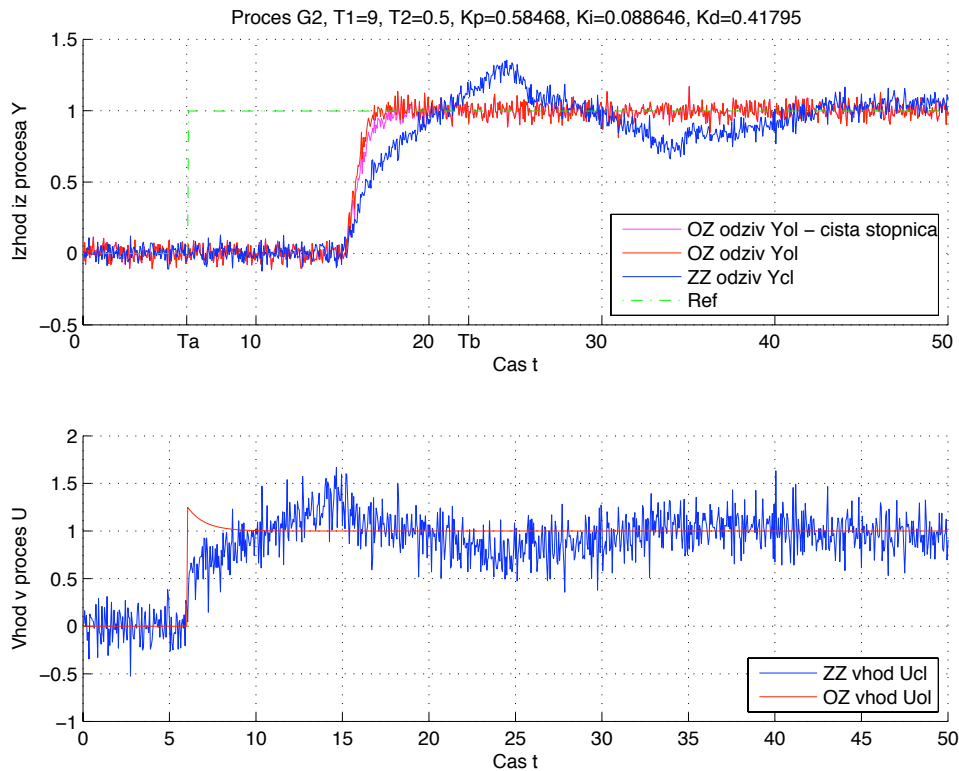
Slika 172: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



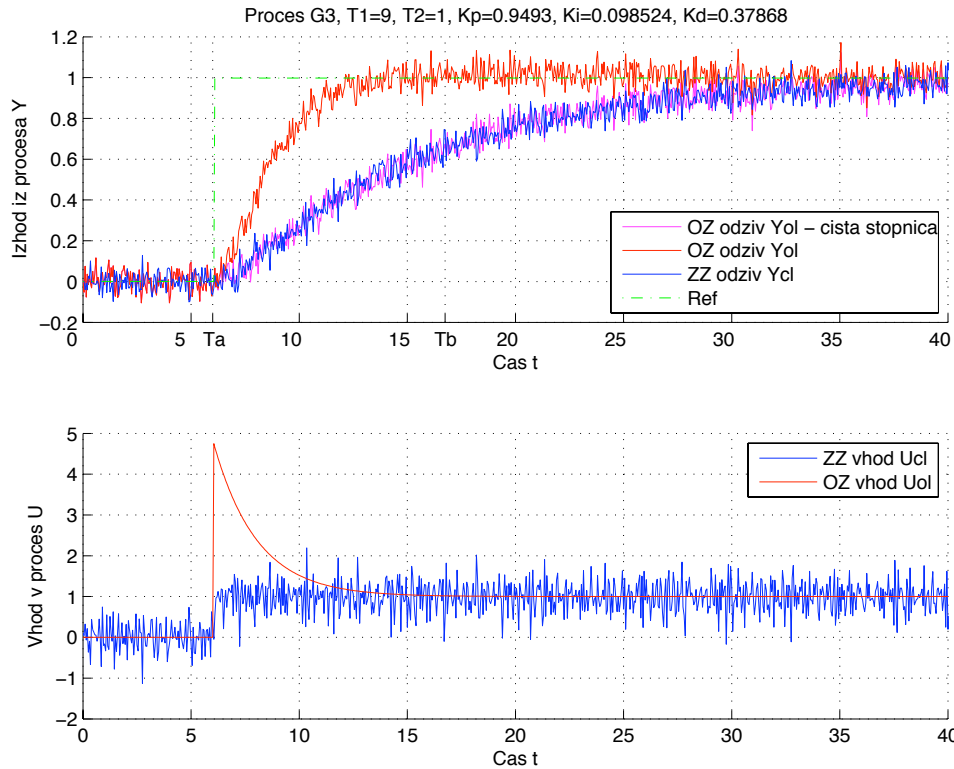
Slika 173: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



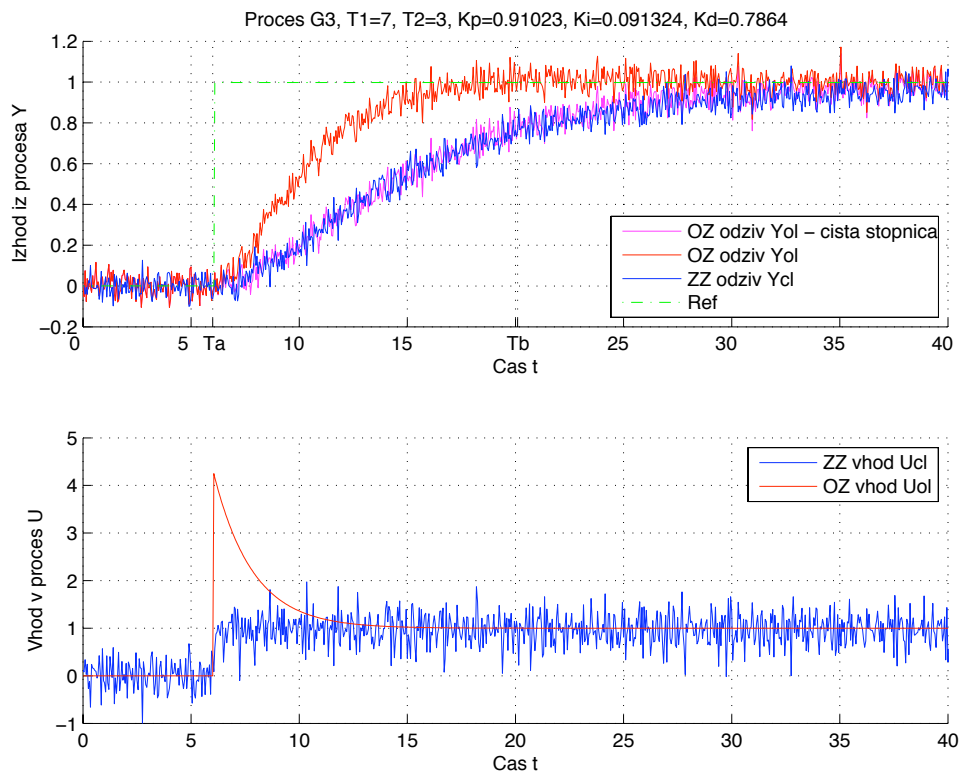
Slika 174: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 175: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

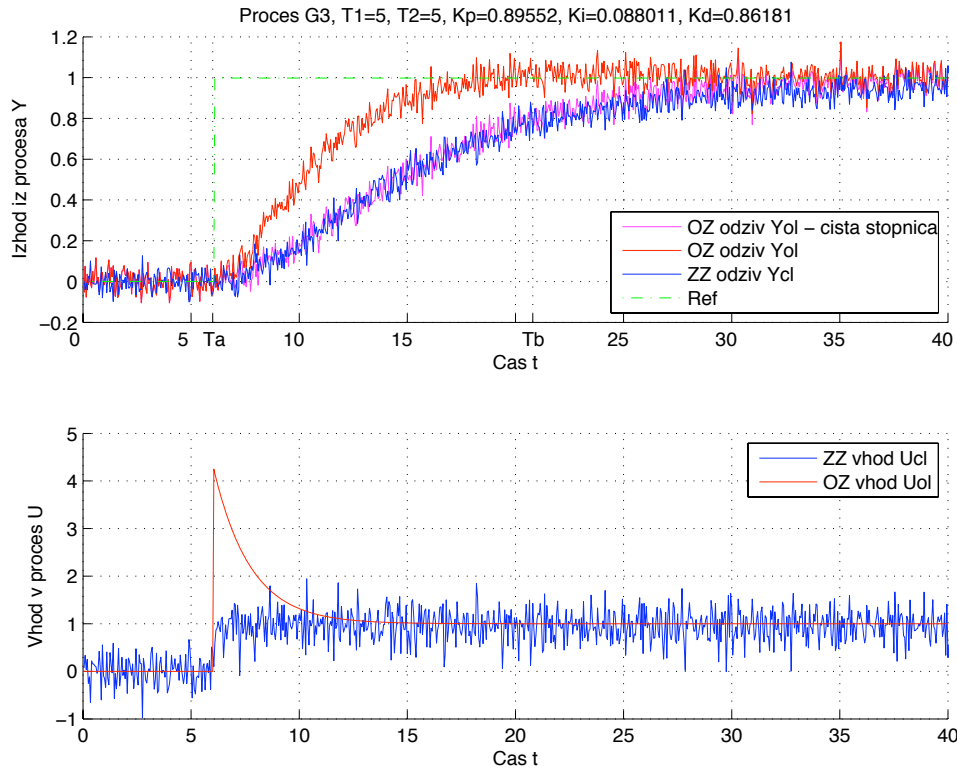


Slika 176: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

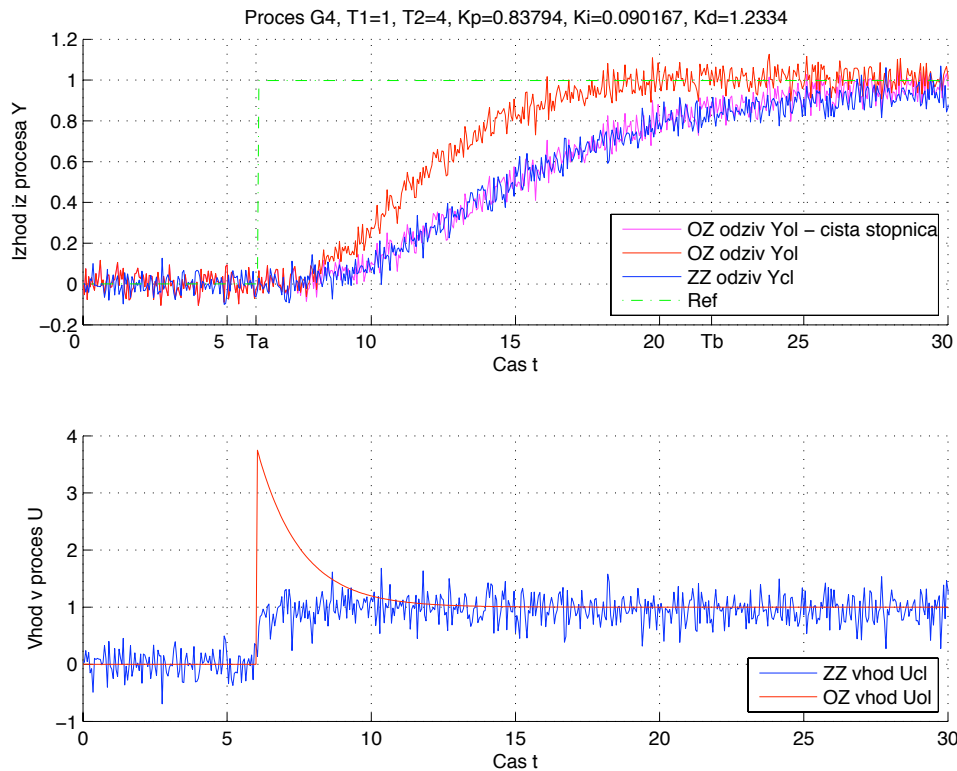


Slika 177: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

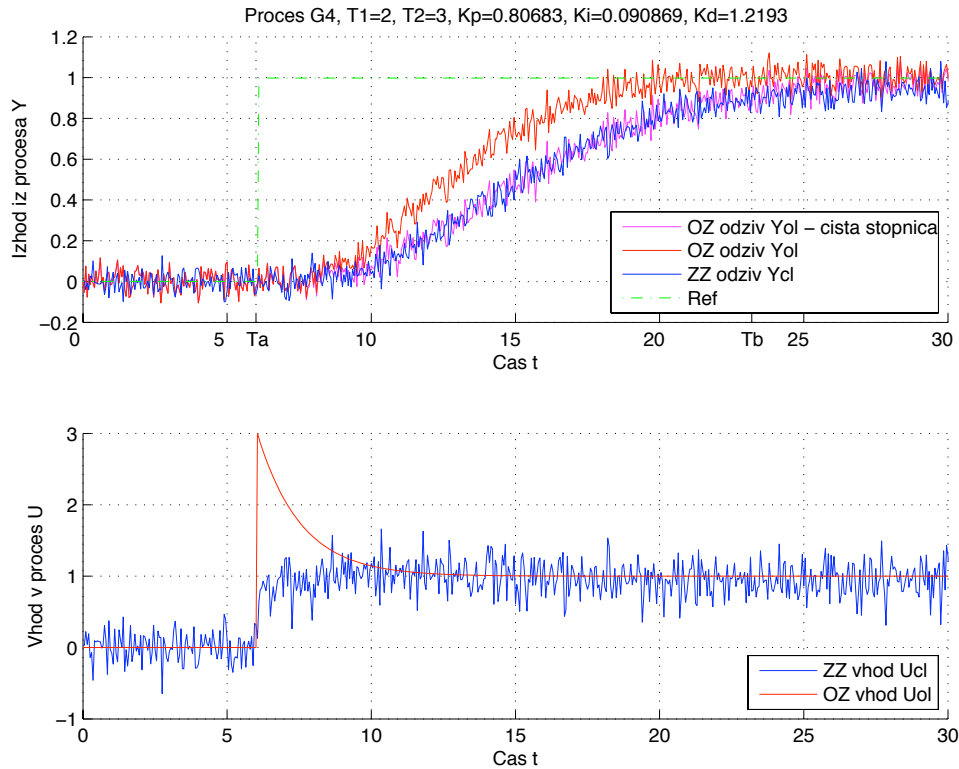




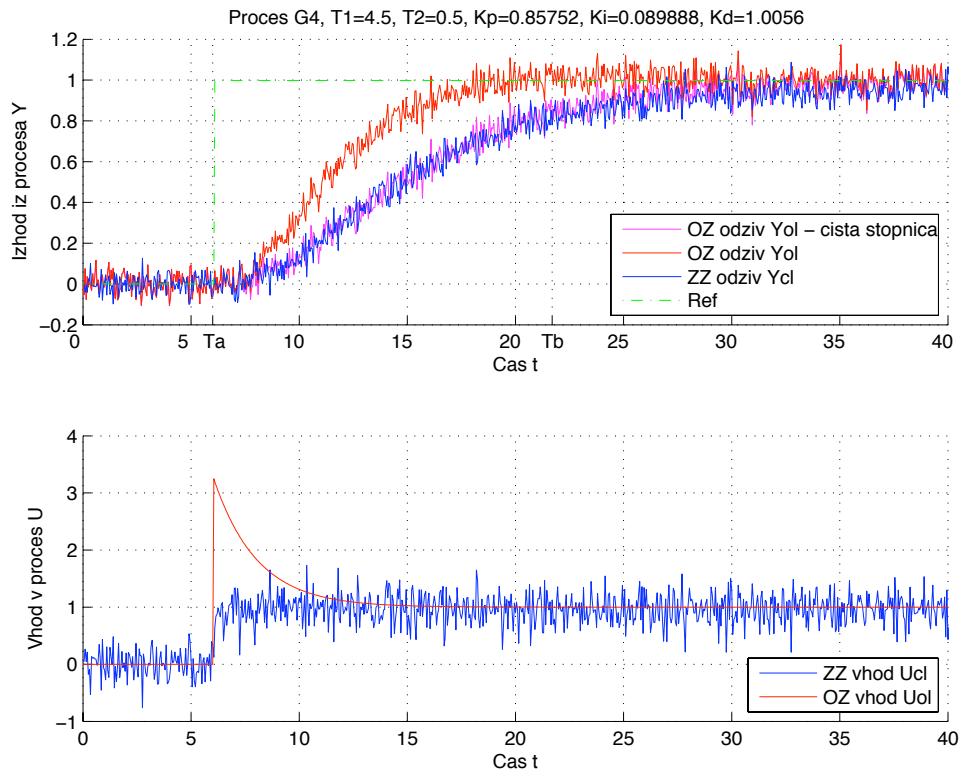
Slika 178: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



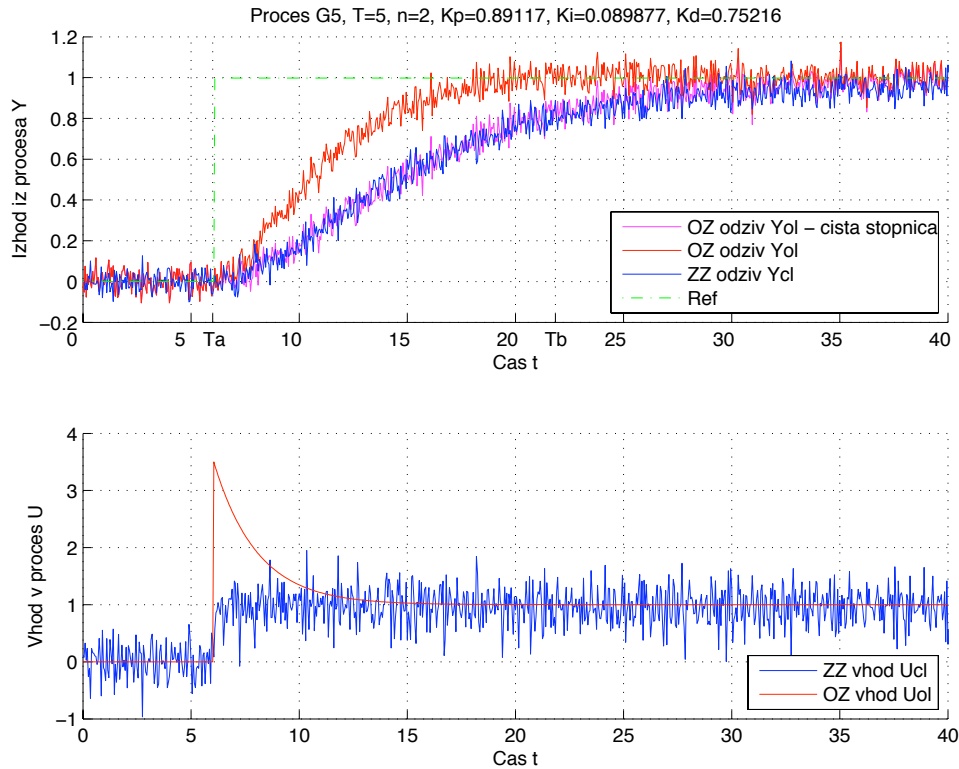
Slika 179: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



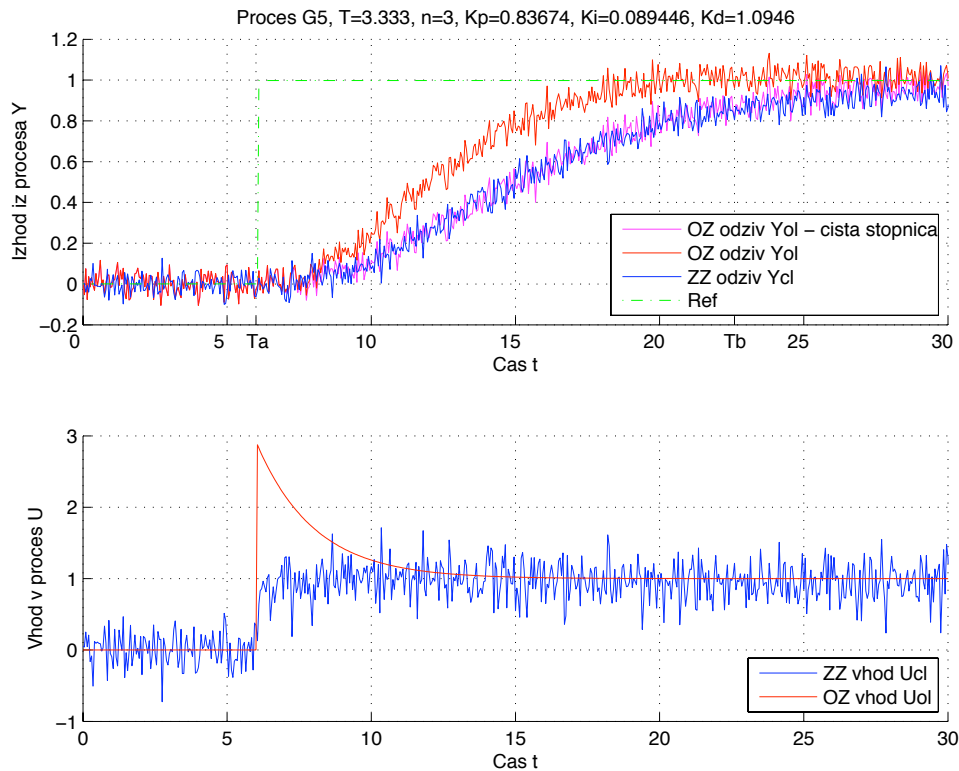
Slika 180: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



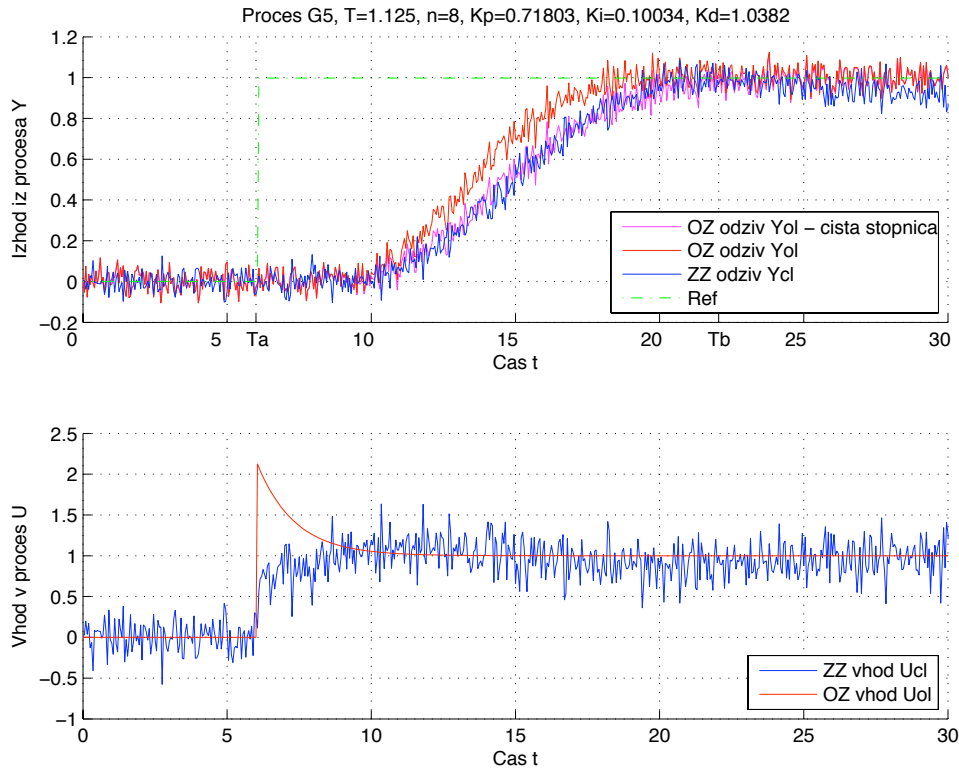
Slika 181: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



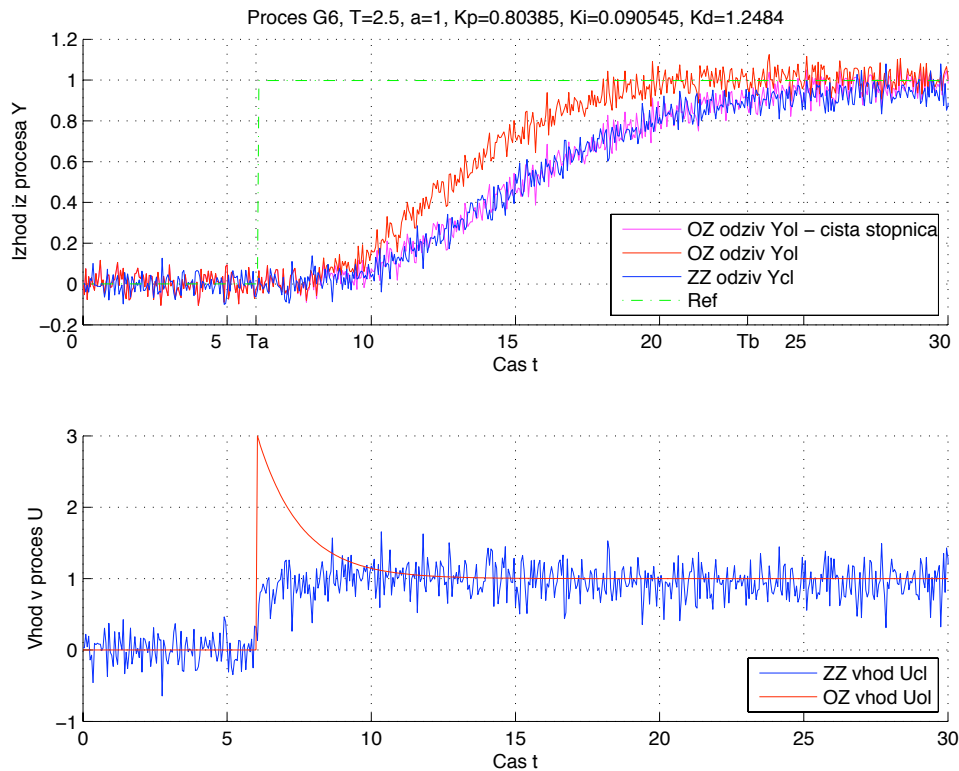
Slika 182: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



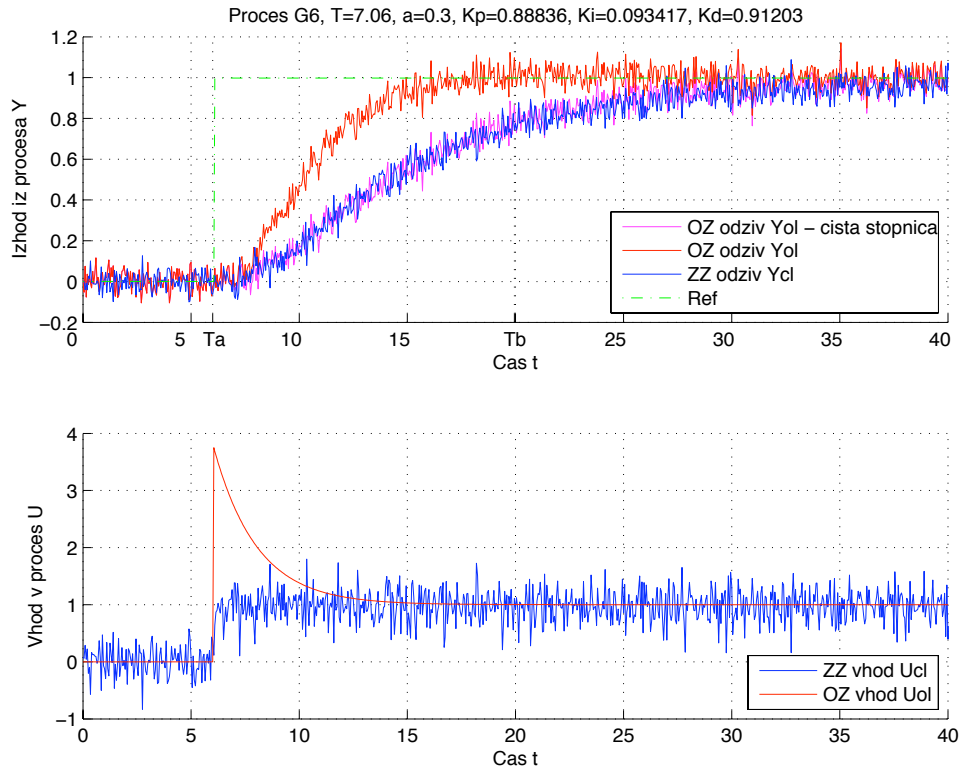
Slika 183: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



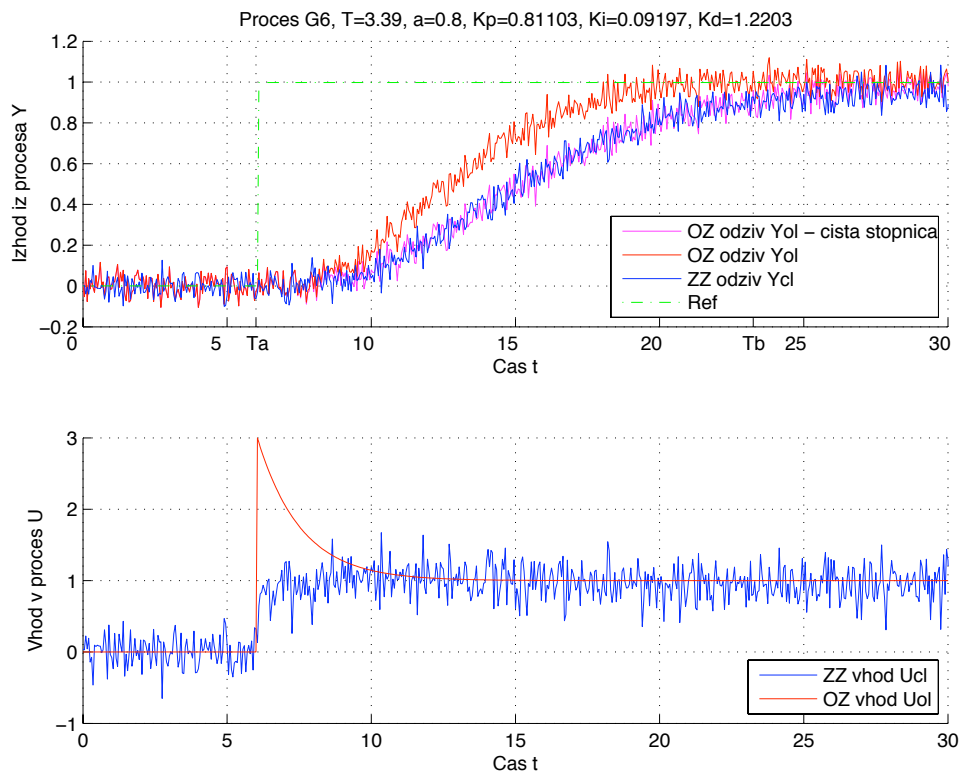
Slika 184: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



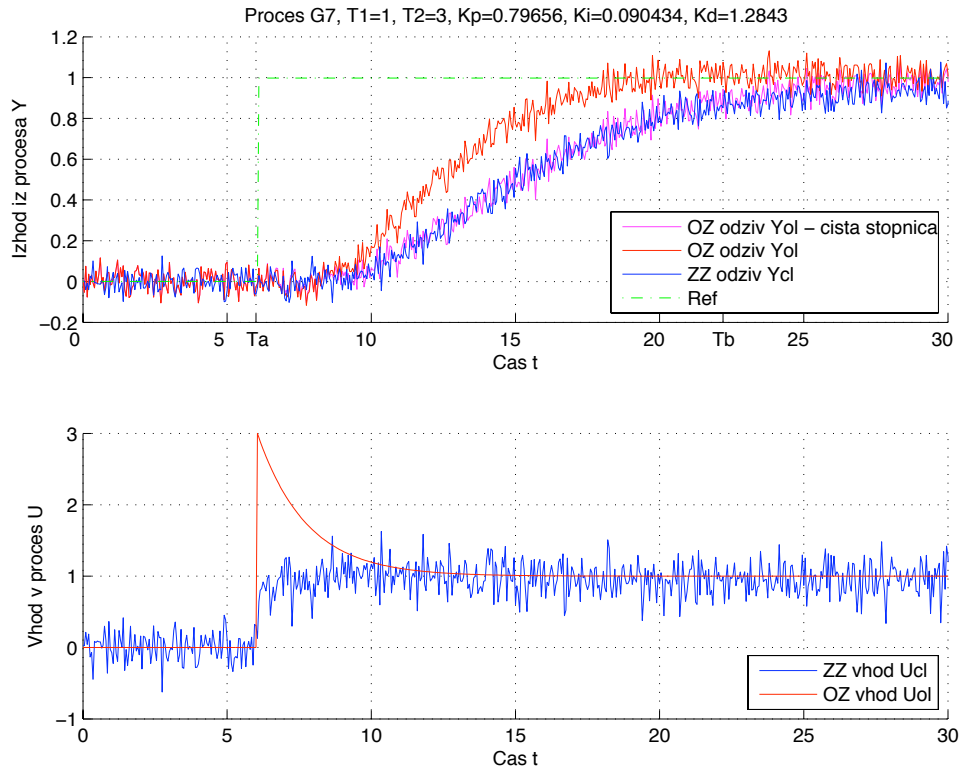
Slika 185: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



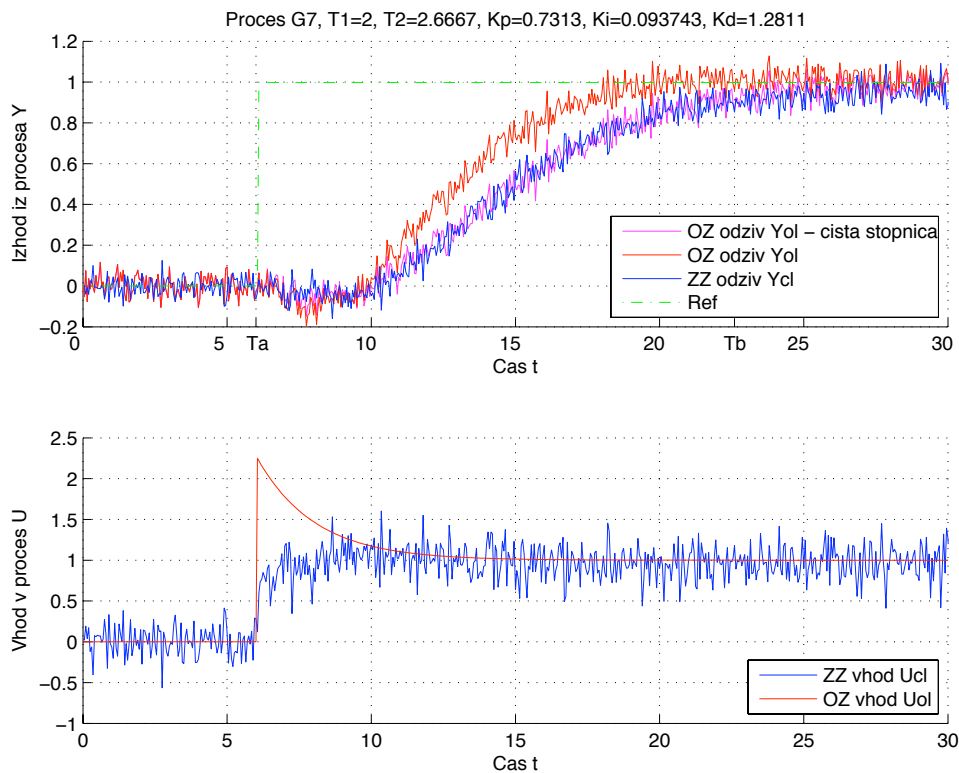
Slika 186: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



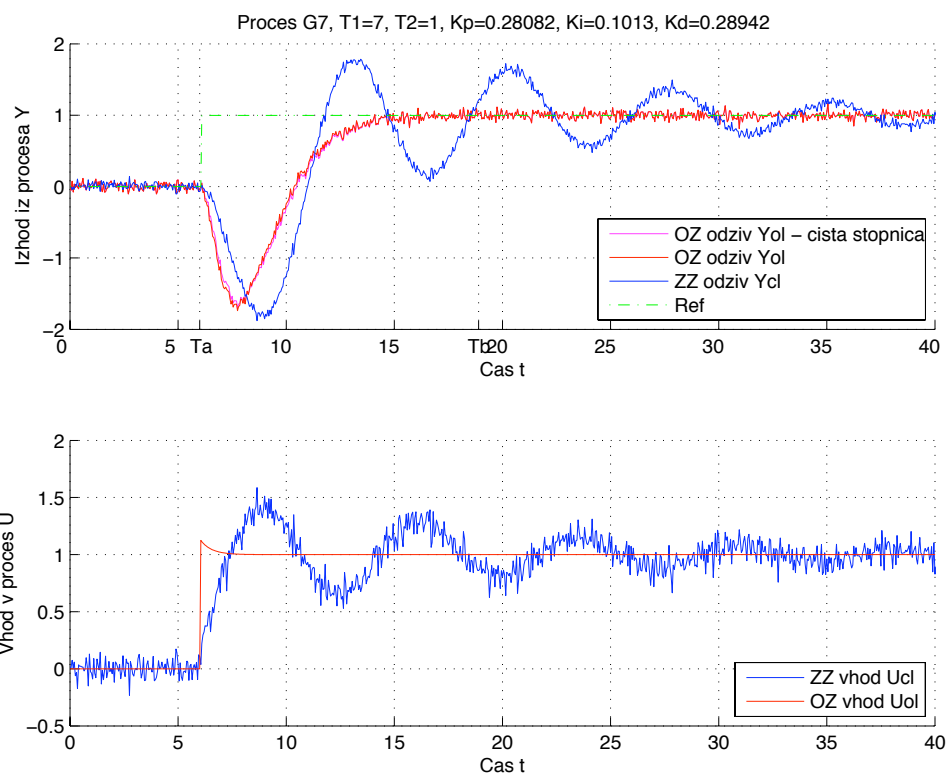
Slika 187: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



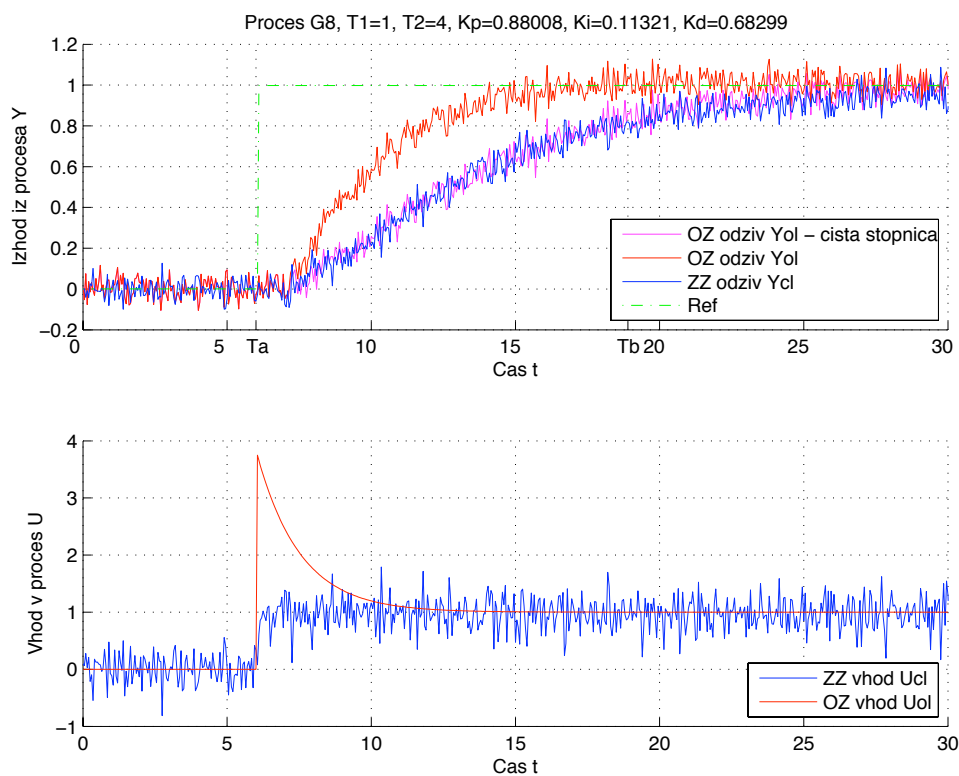
Slika 188: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



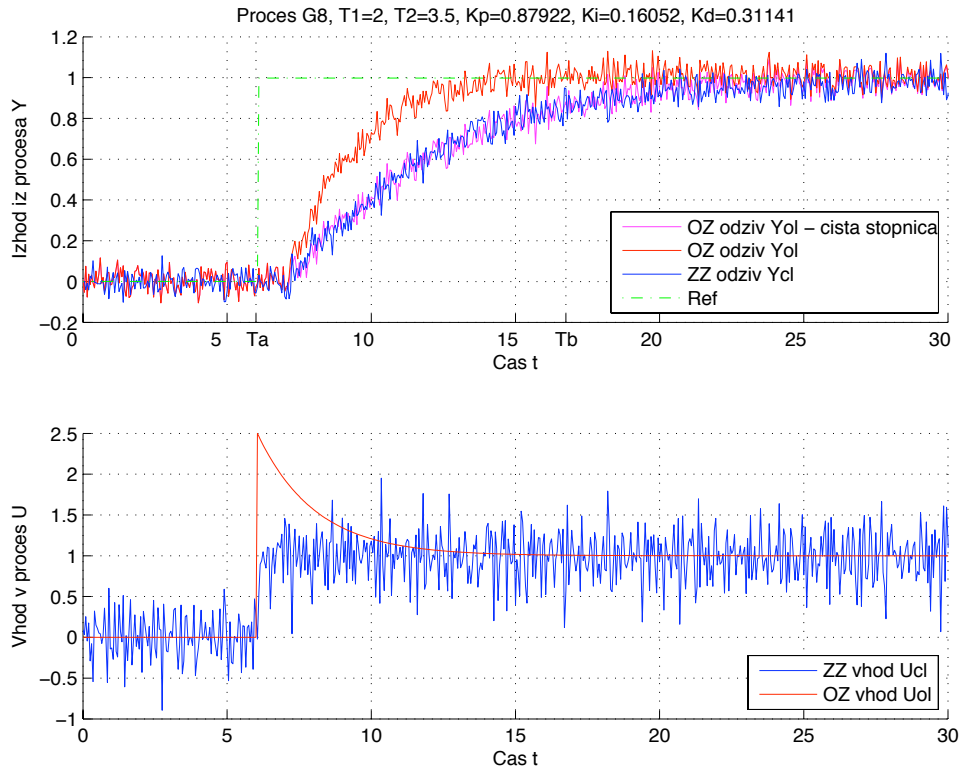
Slika 189: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



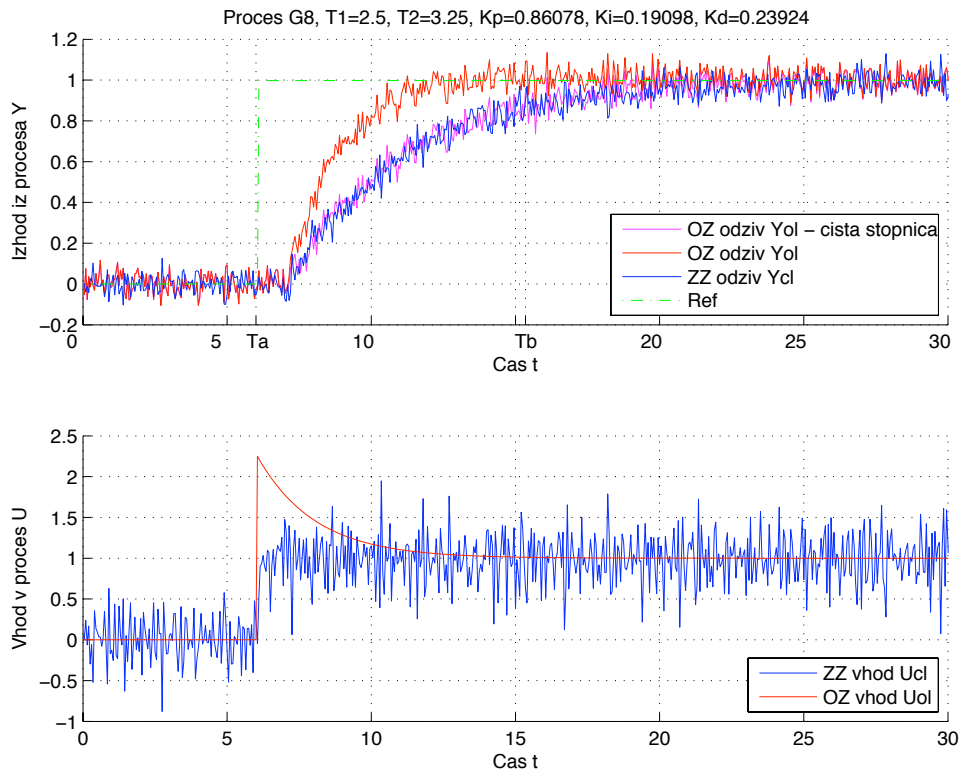
Slika 190: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 191: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

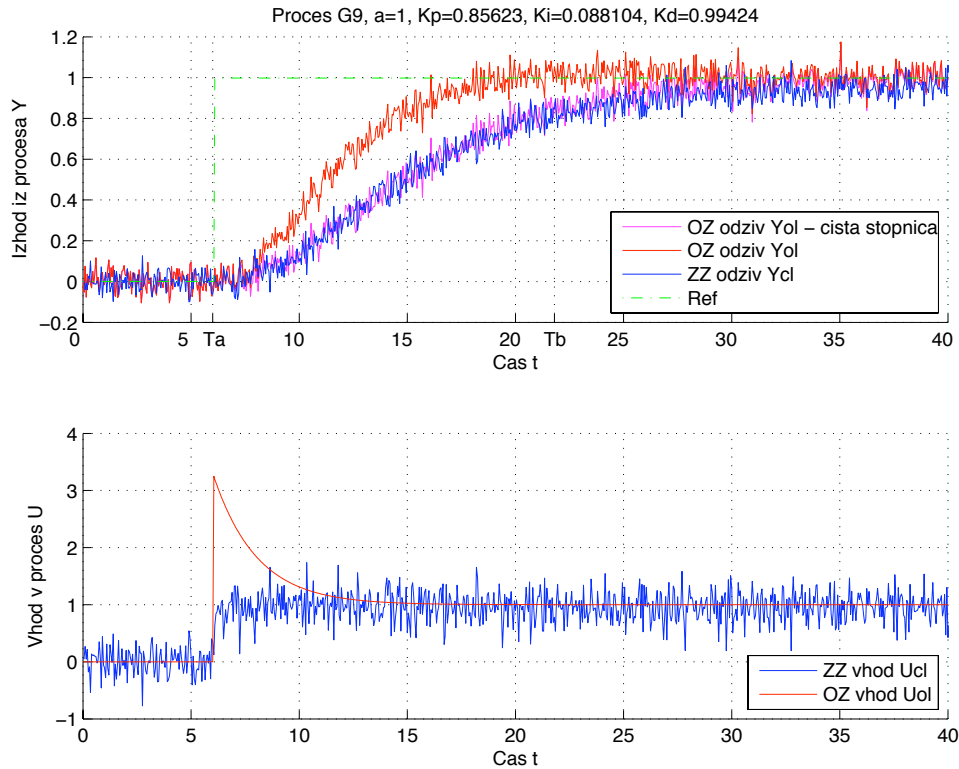


Slika 192: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

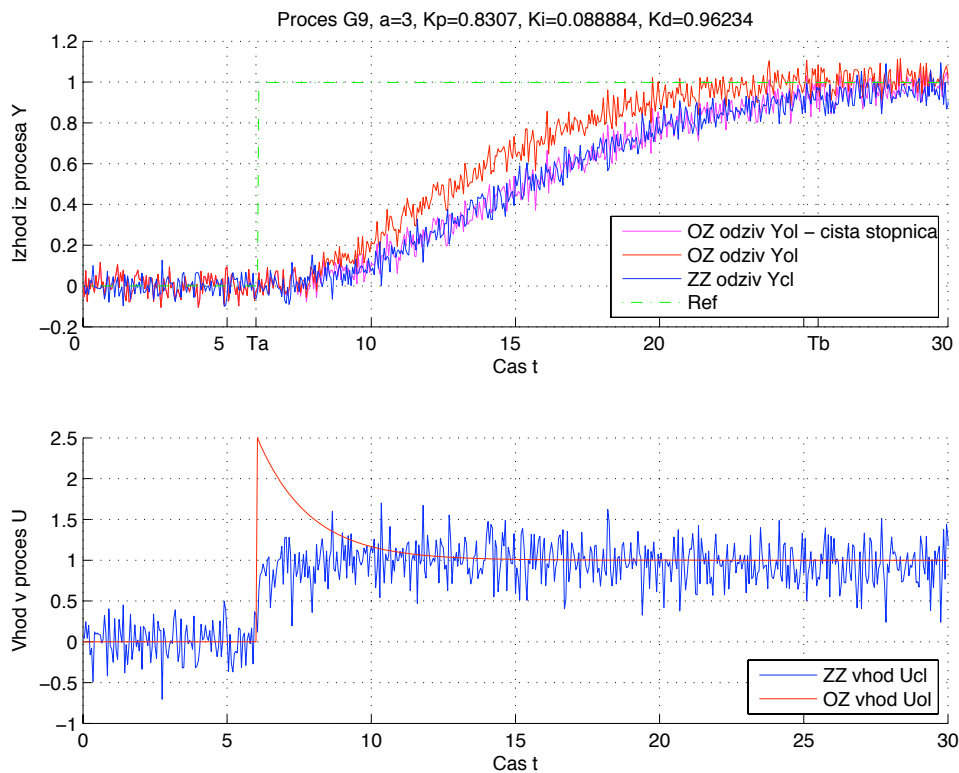


Slika 193: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

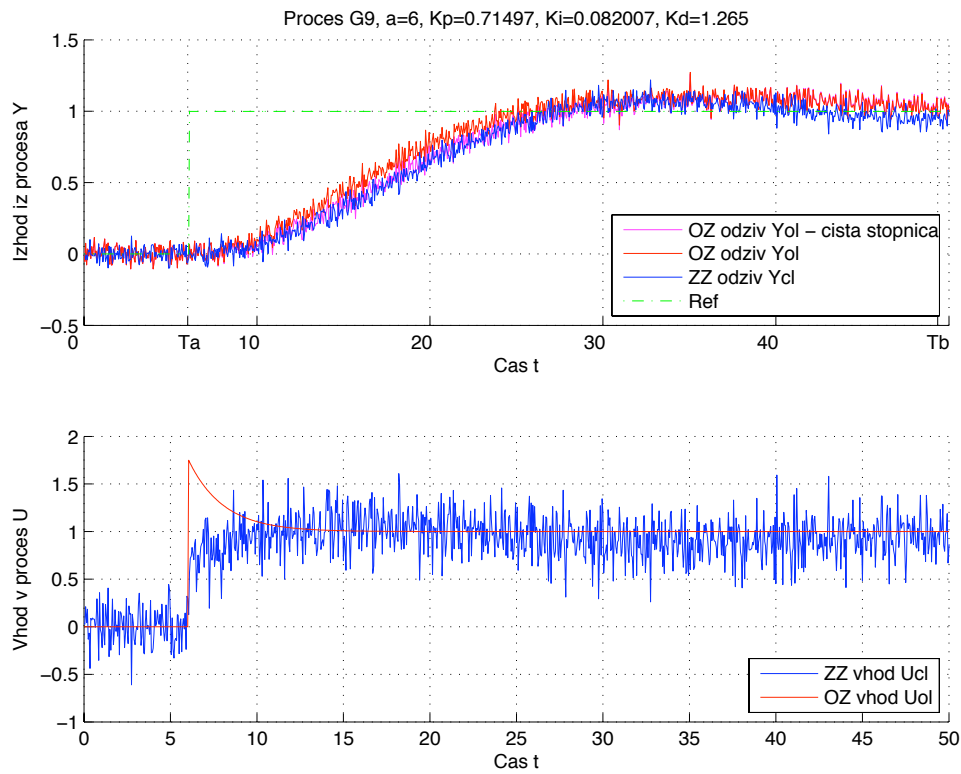




Slika 194: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 195: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 196: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

### 3.4 Preizkus občutljivosti metode na šum na vhodu v proces

V dodatku D so prikazani modeli, sestavljeni v okolju Matlab-Simulink, ki so bili uporabljeni za simulacijo odprtozančnega in zaprtozančnega sistema. Identificirani parametri PID pri simulaciji procesov  $G_{P1}(s)$  do  $G_{P9}(s)$  s prisotnim šumom na vhodu v proces so prikazani v tabeli 5.

Šum je bil modeliran z blokom NOISE v okolju Simulink s podatki: moč šuma  $N_{power}=0.01$ , parameter  $N_{seed}=100$  in čas vzorčenja šuma  $N_s=0.05s$ . Čas vzorčenja je  $T_s=0.05s$

		Stopničast vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$			Pohitritveni vhod $U_{OL}$		
		Stopničasta referenca R			Stopničasta referenca R			Skalirana referenca R		
		$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$	$K_P$	$K_I$	$K_D$
$G_{P1}$	$T_1=1$ $T_2=9$	1.0291	0.1279	1.0425	2.8736	0.3698	1.2908	1.0884	0.1418	0.7541
	$T_1=5$ $T_2=5$	0.7823	0.1233	1.2761	1.4	0.165	2.0203	0.8018	0.1039	1.1113
	$T_1=9$ $T_2=1$	0.5347	0.1005	0.4422	0.5819	0.1076	0.5769	0.5466	0.1005	0.5548
$G_{P2}$	$T_1=1$ $T_2=4.5$	0.9243	0.1283	1.7	2.8565	0.2319	7.1453	0.9691	0.1146	2.2388
	$T_1=5$ $T_2=2.5$	0.7474	0.1203	1.434	1.0483	0.139	2.1543	0.7627	0.1091	1.5072
	$T_1=9$ $T_2=0.5$	0.5296	0.1004	0.4909	0.5582	0.1018	0.6287	0.5429	0.0992	0.6139
$G_{P3}$	$T_1=9$ $T_2=1$	1.0995	0.1271	1.6671	4.648	0.4415	3.5397	1.093	0.1245	1.0829
	$T_1=7$ $T_2=3$	1.0143	0.1258	1.8665	4.0755	0.2977	7.5686	1.0455	0.1134	1.9579
	$T_1=5$ $T_2=5$	0.9781	0.1287	1.6801	3.9309	0.2734	8.5941	1.0375	0.1117	2.2178
$G_{P4}$	$T_1=0.5$ $T_2=4.5$	0.9002	0.127	1.8865	2.3618	0.2138	6.3827	0.9312	0.1138	2.38
	$T_1=1$ $T_2=4$	0.8671	0.1248	1.9994	1.7517	0.1789	5.214	0.8969	0.1165	2.485
	$T_1=2$ $T_2=3$	0.9295	0.1282	1.7458	2.5116	0.223	5.7381	0.9723	0.1146	2.1894
$G_{P5}$	$T_1=5$ $n=2$	0.9781	0.1287	1.6801	3.3352	0.2489	7.3984	1.0473	0.1149	2.2855
	$T_1=7.06$ $n=0.3$	0.9058	0.1264	1.8912	2.0784	0.1954	5.3625	0.9467	0.1149	2.3843
	$T_1=3.39$ $n=0.8$	0.7755	0.1305	1.8469	1.0326	0.1528	2.1956	0.7674	0.1248	1.5538
$G_{P6}$	$T=2.5$ $\alpha=1$	3.0458	0.0822	15.679	3.2565	0.0806	28.42	2.9886	0.0766	25.6879
	$T=3.33$ $\alpha=3$	0.968	0.1291	1.6381	3.0497	0.2715	5.293	0.9945	0.1155	1.7847

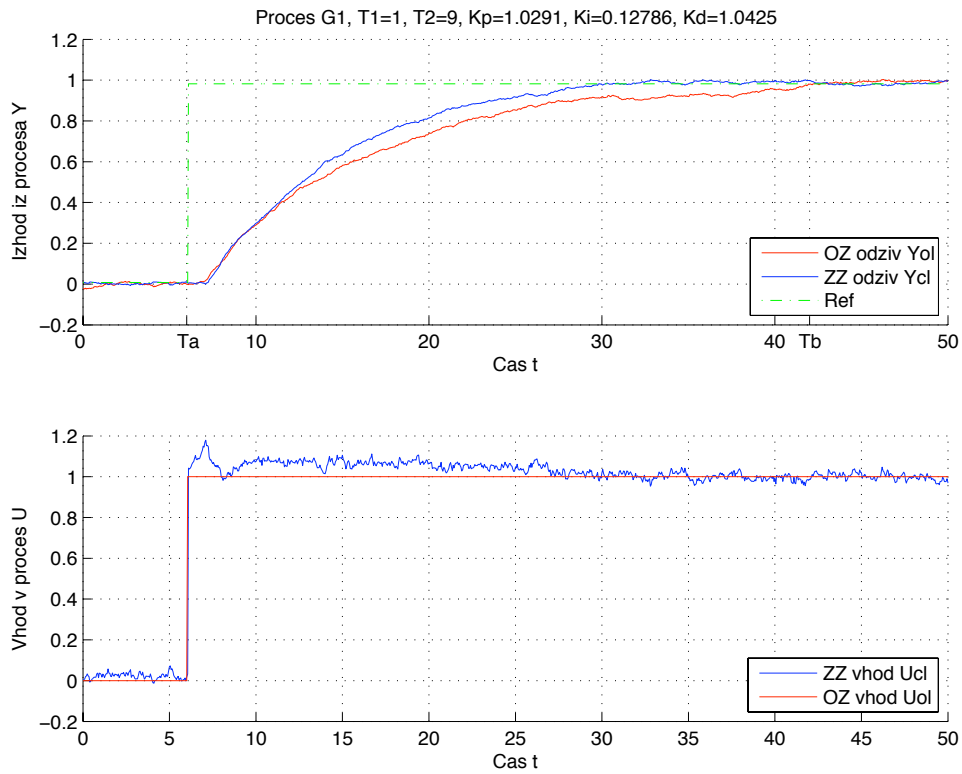
	$T=1.125$ $\alpha=8$	0.8693	0.1248	1.9981	1.7695	0.1794	5.3206	0.9001	0.1166	2.5121
$G_{P7}$	$T_1=1$ $T_2=3$	0.8569	0.1251	1.9462	1.7563	0.1853	4.7419	0.8725	0.1141	2.232
	$T_1=2$ $T_2=2.67$	0.7846	0.1233	1.8529	1.2415	0.1622	3.1396	0.784	0.1165	1.9039
	$T_1=7$ $T_2=1$	0.2592	0.1033	0.1937	0.2763	0.0993	0.2017	0.2738	0.0986	0.1977
$G_{P8}$	$T_1=1$ $T_2=4$	0.9609	0.1593	1.2281	3.1443	0.307	4.8454	0.9966	0.1392	1.4797
	$T_1=2$ $T_2=3.5$	0.9683	0.2129	0.7114	2.1481	0.3801	1.4483	0.9871	0.1959	0.7603
	$T_1=5$ $T_2=2$	0.9449	0.2541	0.4784	1.8556	0.4374	0.8973	0.9576	0.2363	0.557
$G_{P9}$	$\alpha=1$	0.9304	0.1278	1.767	2.534	0.2205	5.9445	0.9777	0.1138	2.2652
	$\alpha=3$	0.89	0.124	1.6652	1.8505	0.1684	5.8241	0.9654	0.1166	2.7602
	$\alpha=6$	0.8511	0.0786	3.6417	1.218	0.0892	6.2711	0.8556	0.0771	3.7215

Tabela 5: Identificirani parametri PID z metodo enačenja za primer simulacije s šumom na vhodu. Stolpci 3, 4 in 5 prikazujejo identificirane parametre pri 1. meritvi, stolpci 6, 7 in 8 pri 2. meritvi, stolpci 9, 10 in 11 pa pri 3. meritvi.

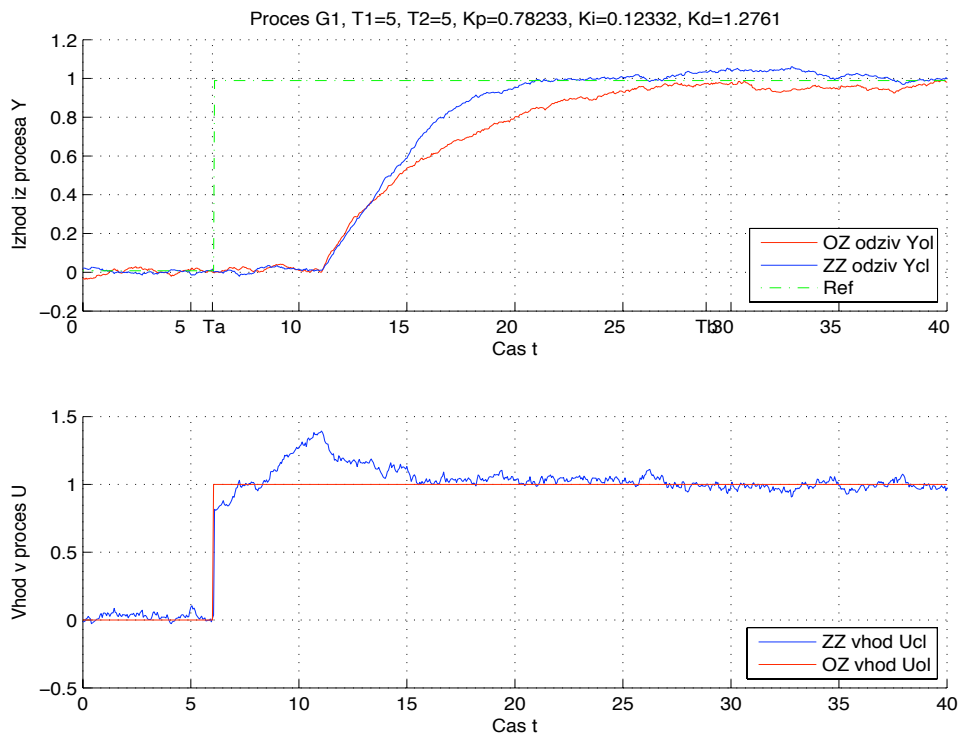
Slike od 197 do 277 prikazujejo pridobljene vhodne in izhodne signale meritev  $u_{OL}(t)$ ,  $y_{OL}(t)$ ,  $u_{CL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , ki je bil uporabljen za zaprtozankno simulacijo in je bil stopničaste oblike. V naslovih grafov so prikazani tudi podatki o procesu in izračunanih parametrih PID, ki so bili uporabljeni za regulacijo. S časoma  $T_a$  in  $T_b$  na časovni osi grafov je prikazan interval, ki določa dela signalov  $y_{OL}$  in  $u_{OL}$ , ki sta bila uporabljena za identifikacijo parametrov PID.

Grafi so razdeljeni v tri sklope, od katerih vsak pripada eni meritvi, znotraj posameznega sklopa pa si sledijo po vrsti glede na številko procesa. Pohitritveni vhodni signali  $u_{OL}(t)$  (drugi in tretji sklop) so bili določeni za vsak model procesa posebej, saj je tako zagotovljena optimalna pohitritev procesa.

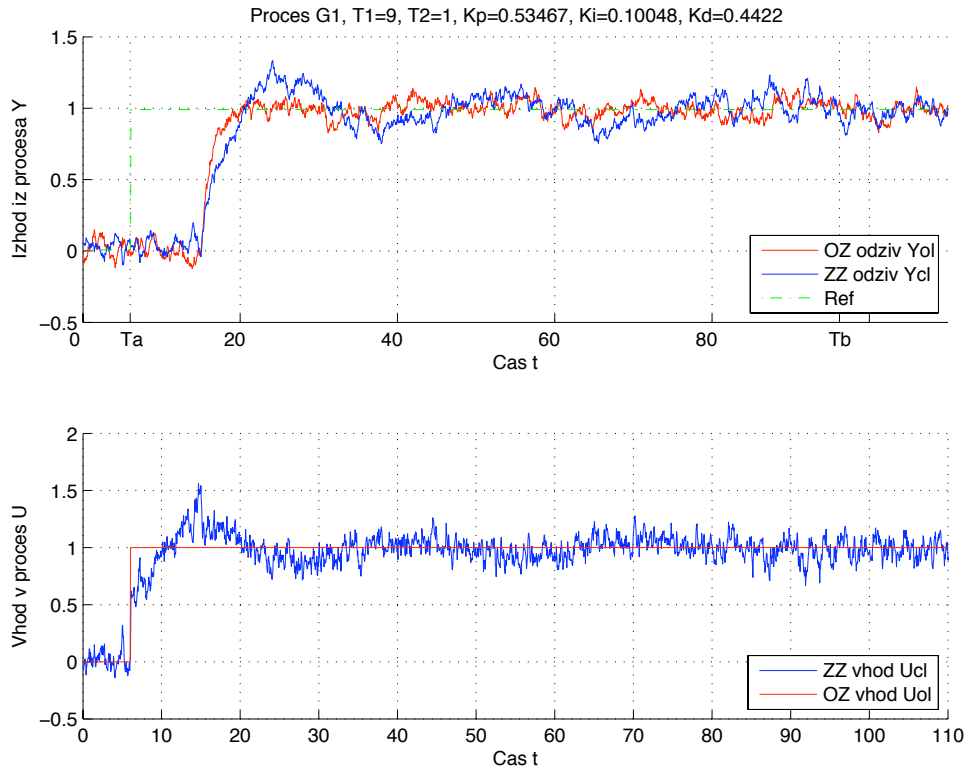
Stopničasto odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



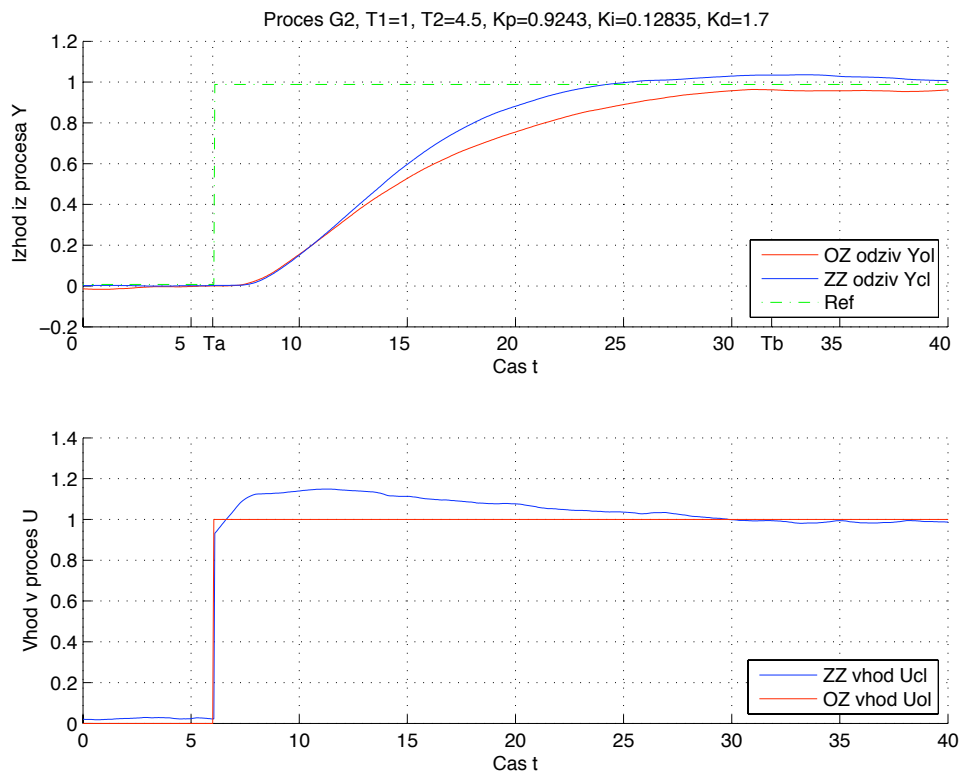
Slika 197: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



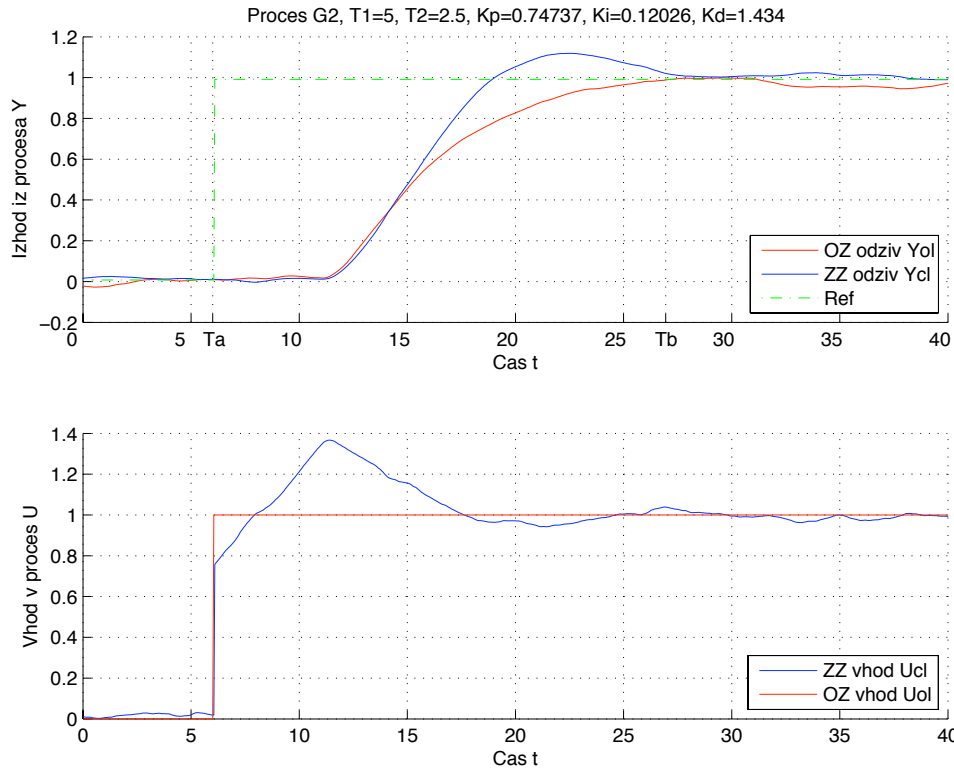
Slika 198: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 199: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



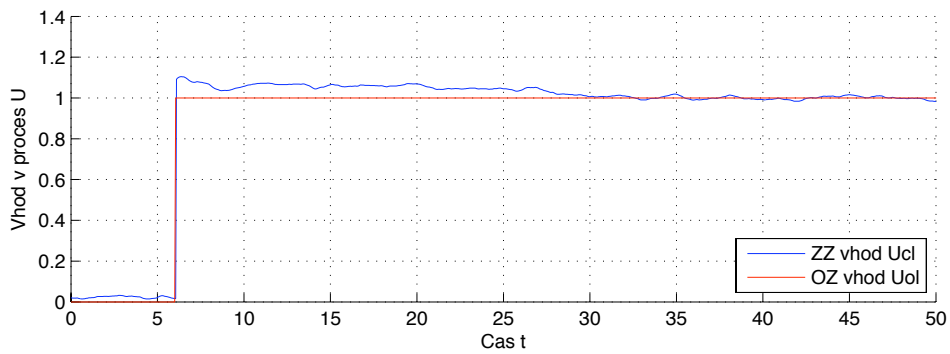
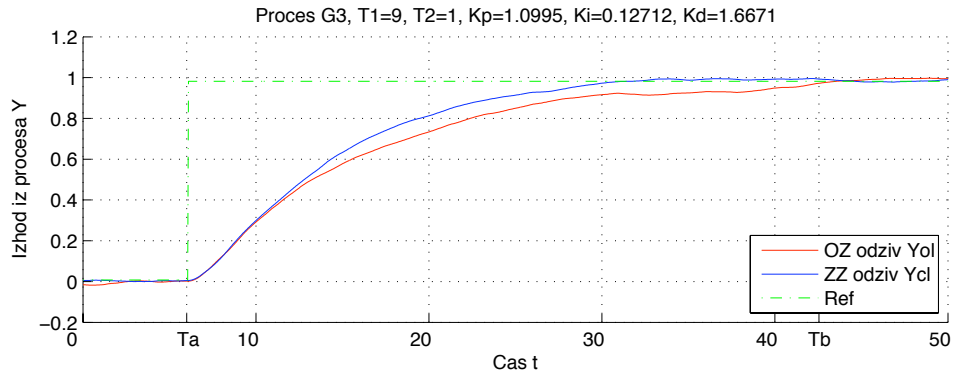
Slika 200: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



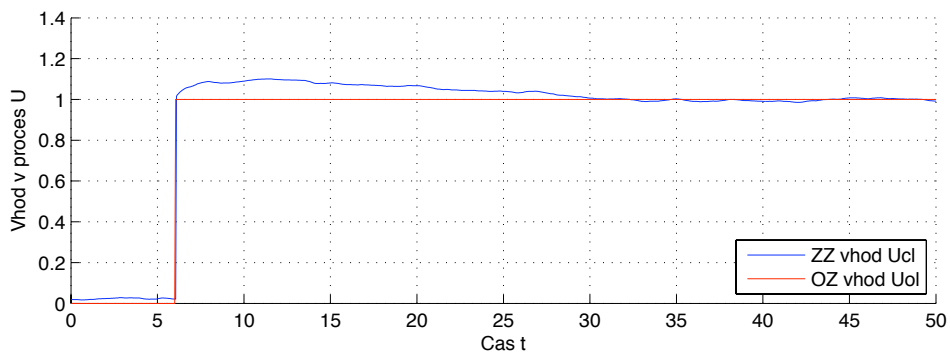
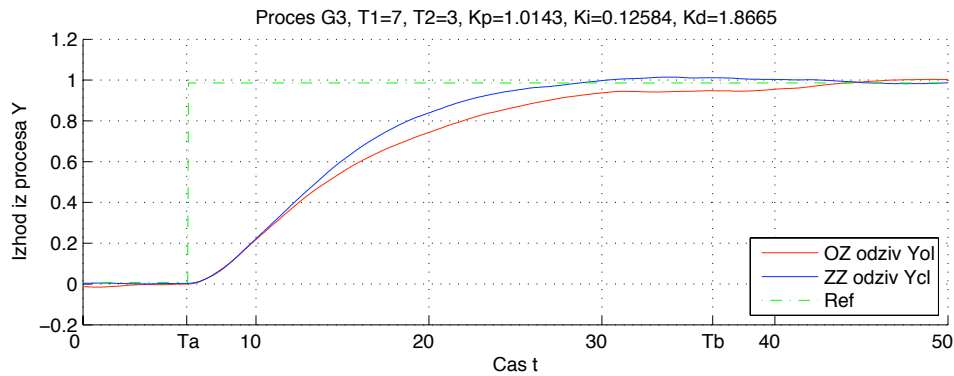
Slika 201: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 202: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

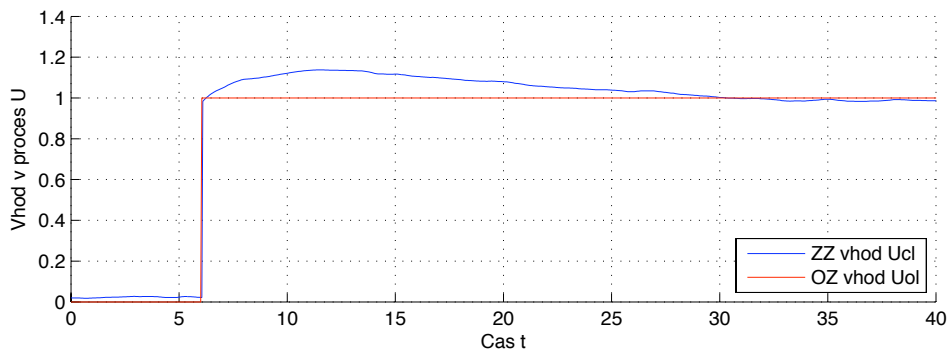
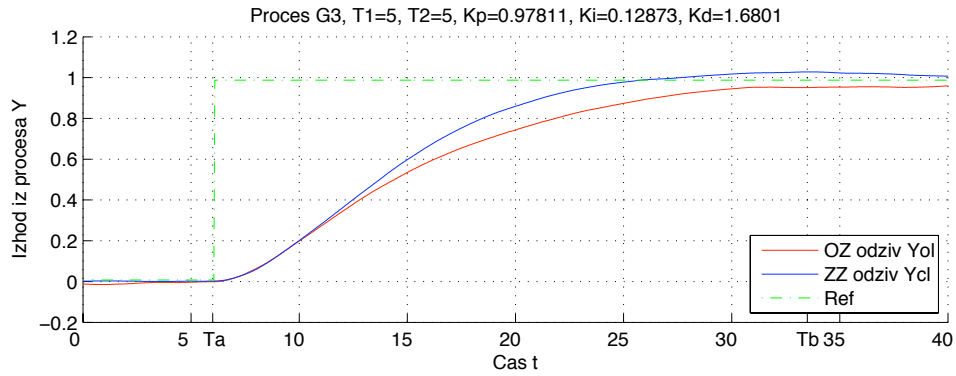


Slika 203: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

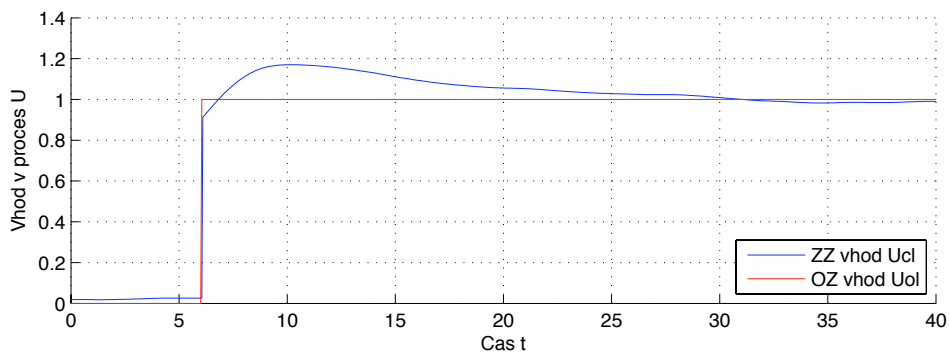
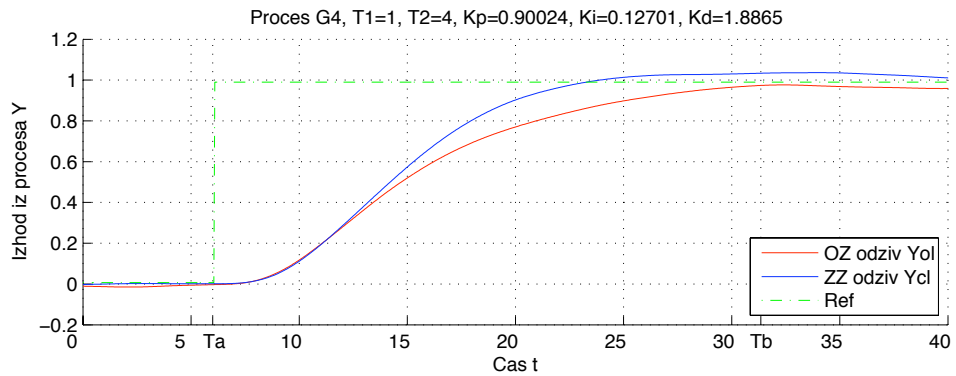


Slika 204: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

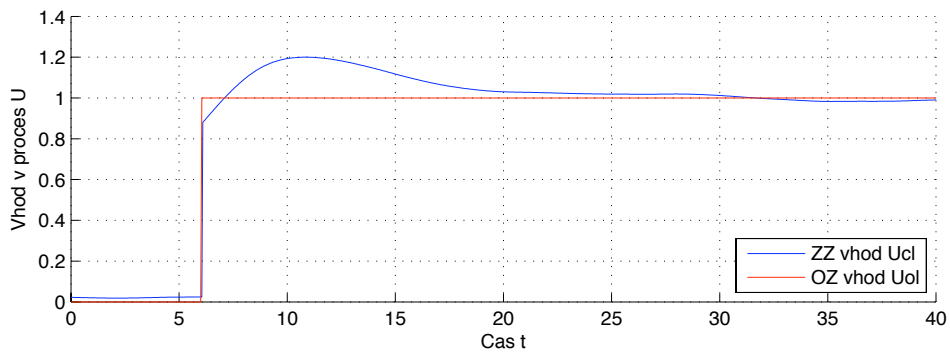
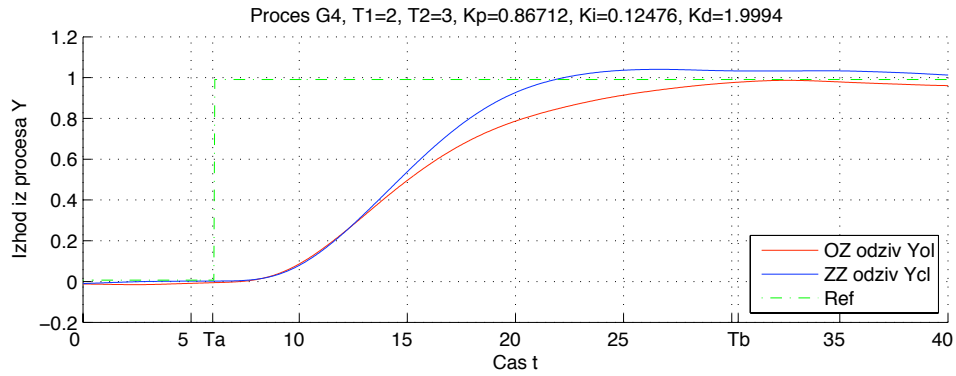




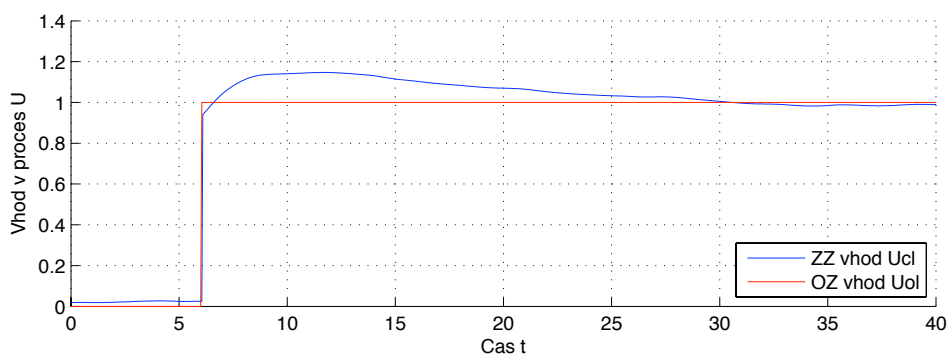
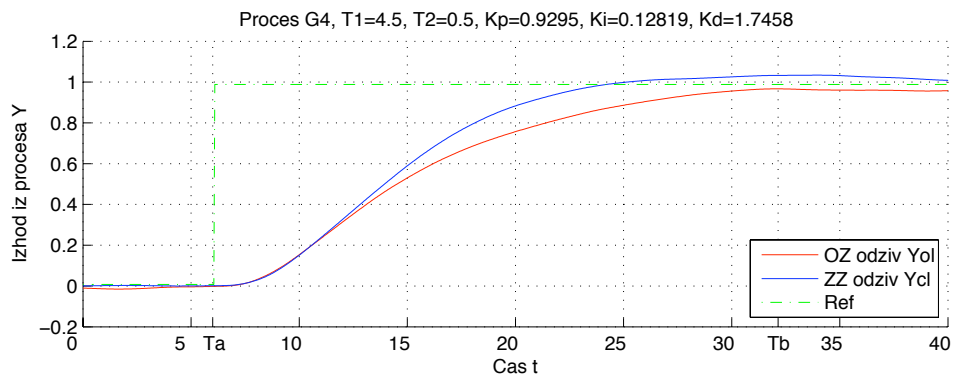
Slika 205: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



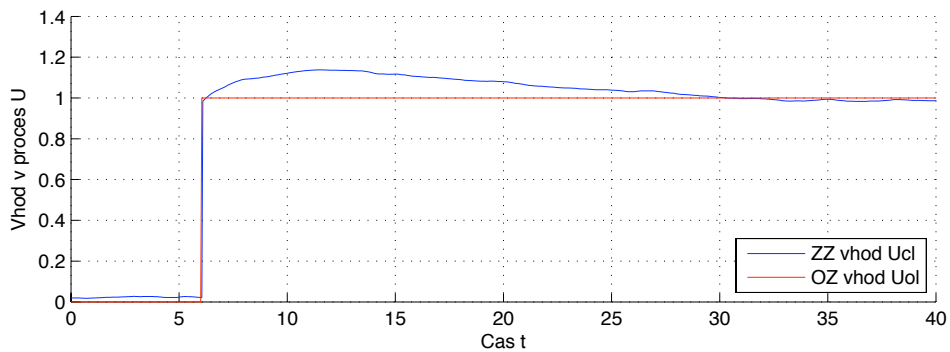
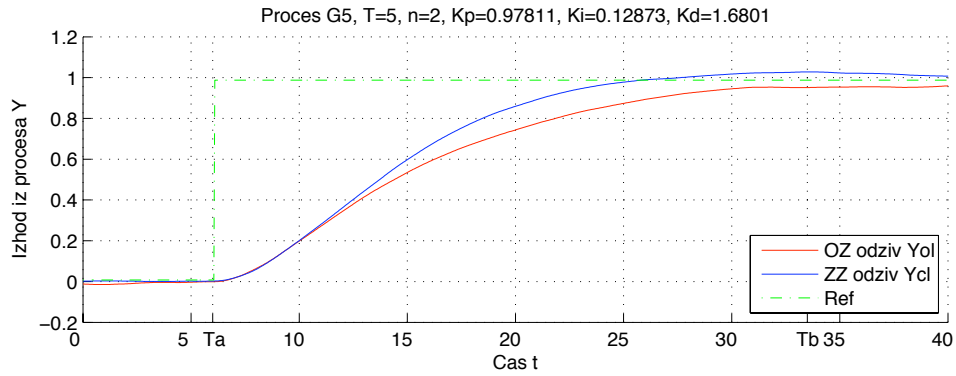
Slika 206: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



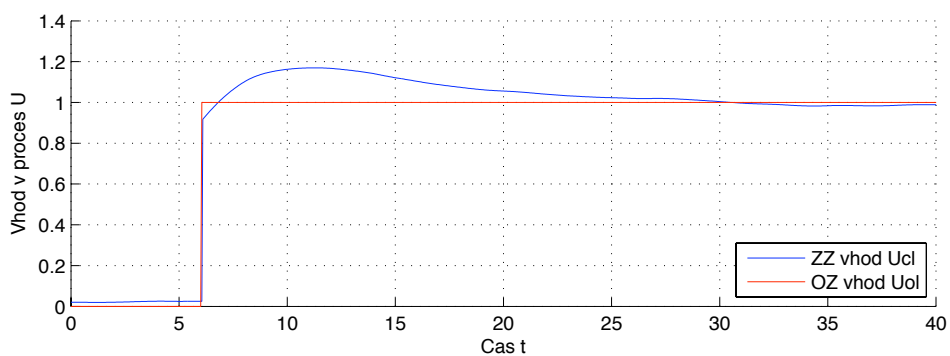
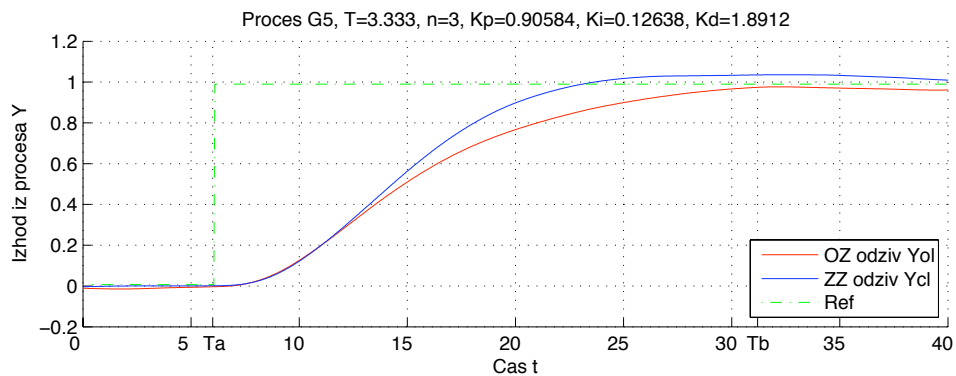
Slika 207: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



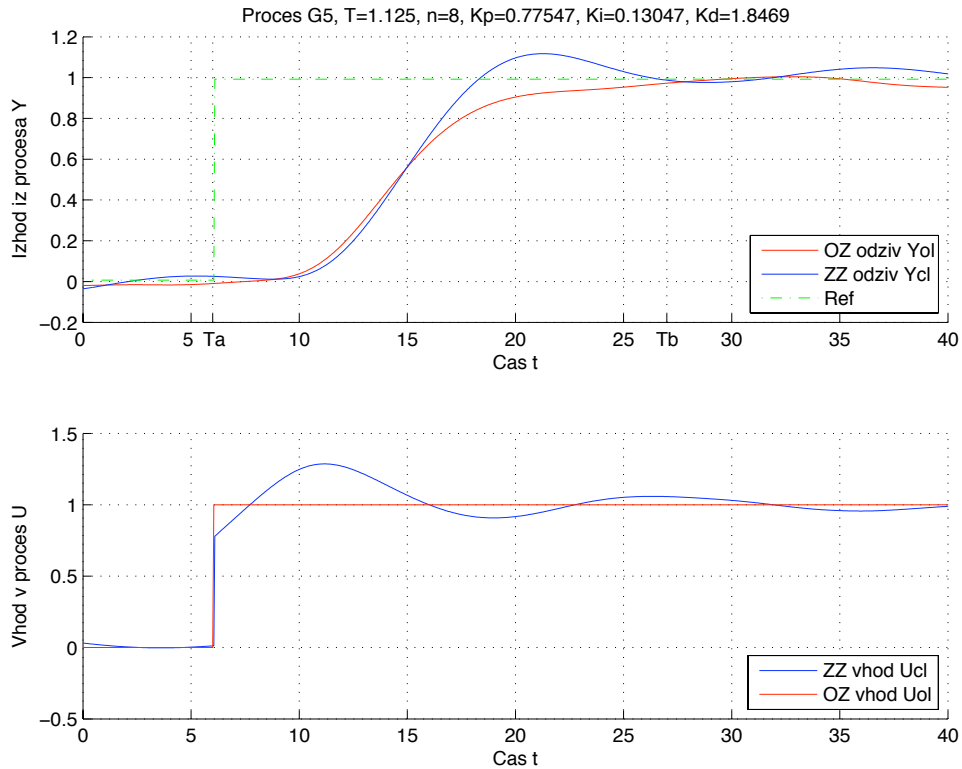
Slika 208: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



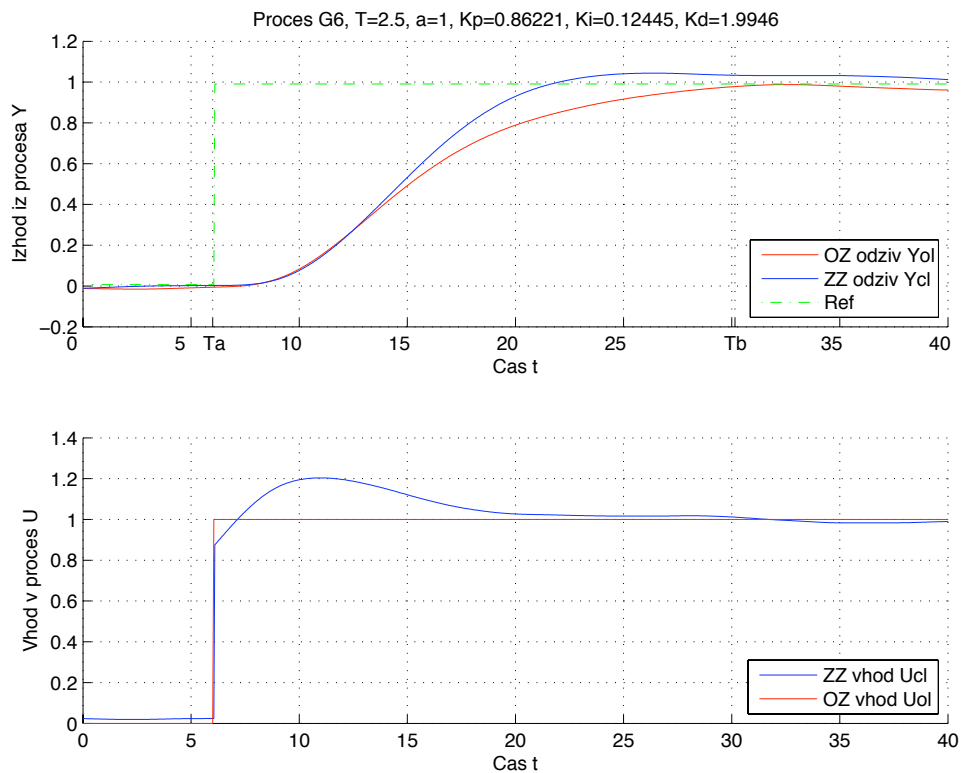
Slika 209: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



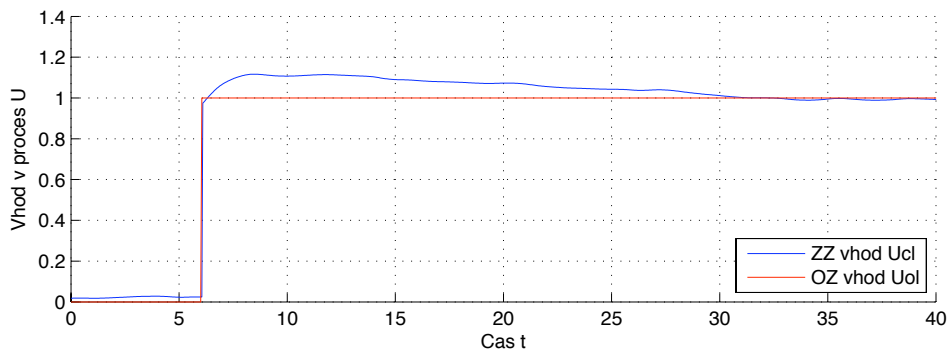
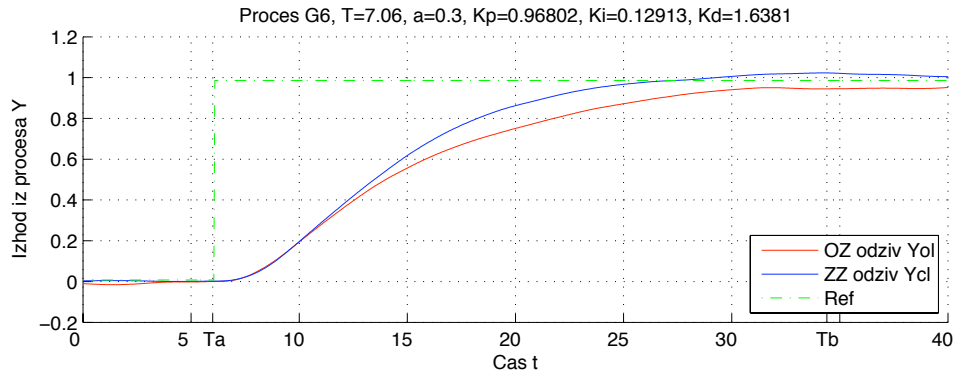
Slika 210: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



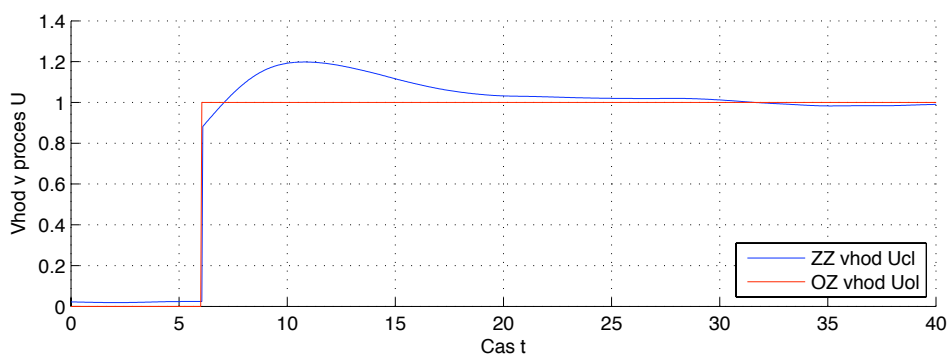
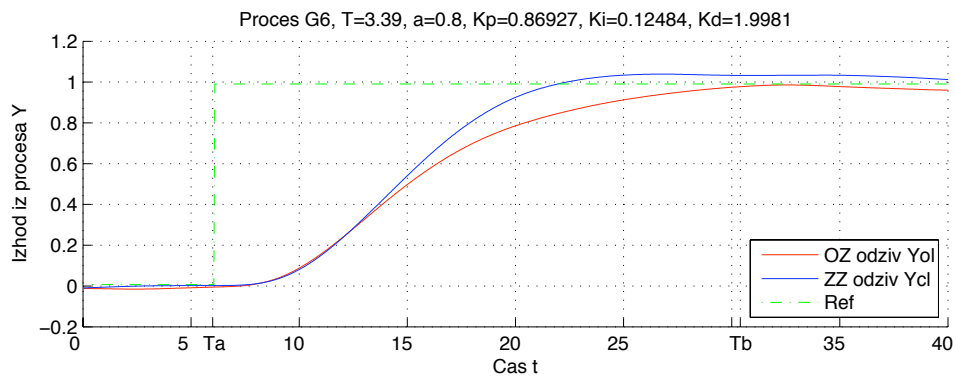
Slika 211: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



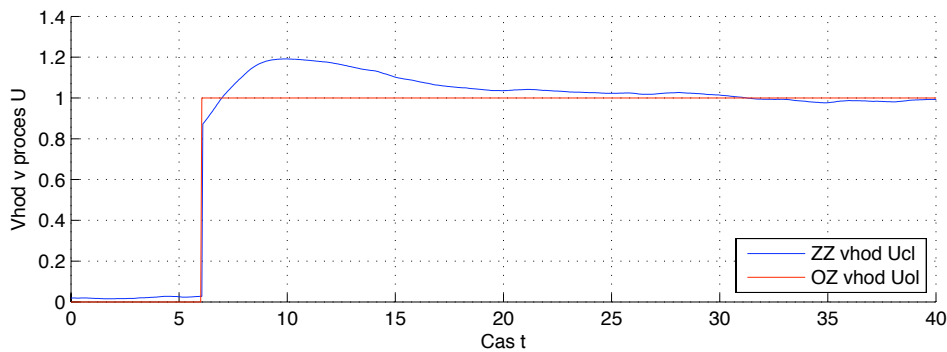
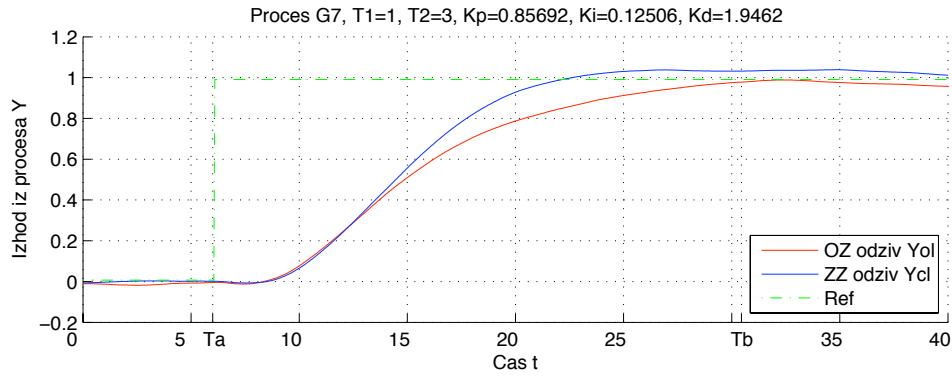
Slika 212: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



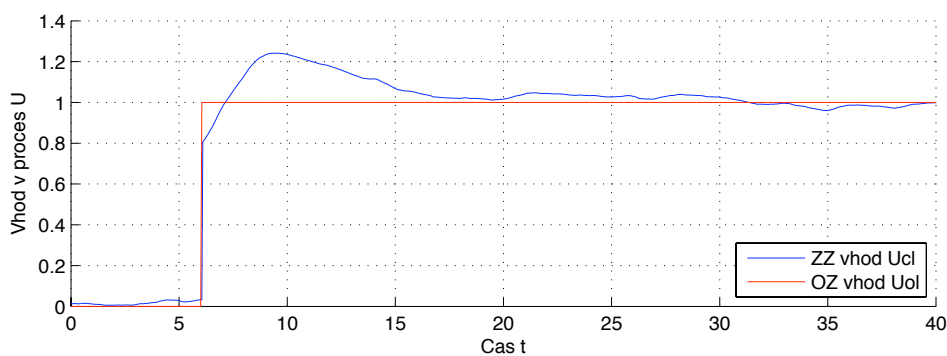
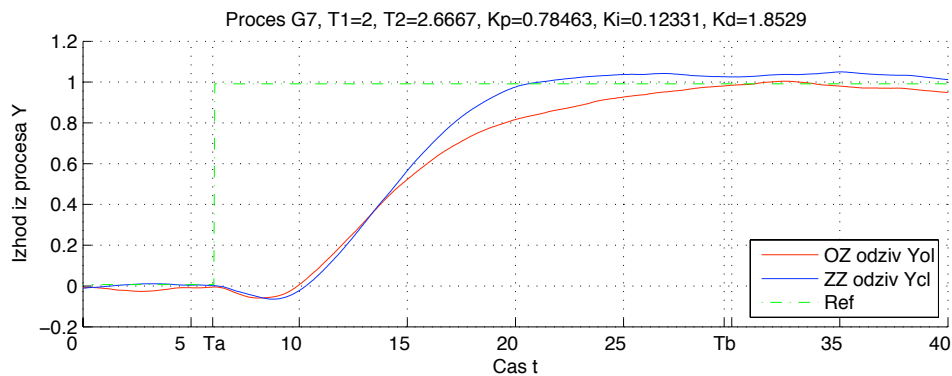
Slika 213: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



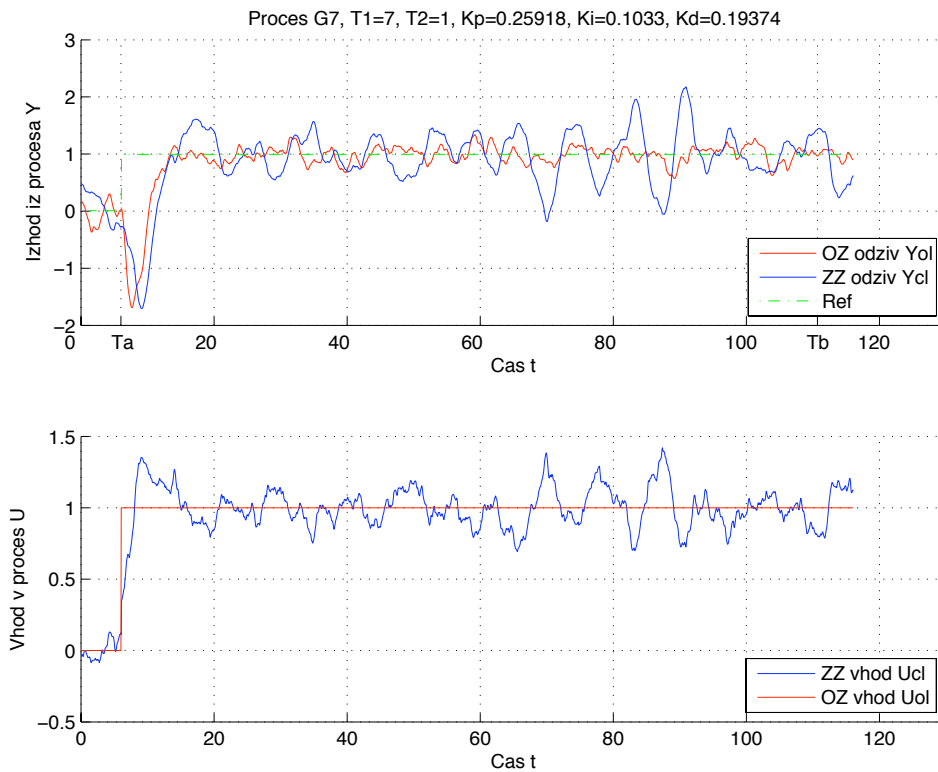
Slika 214: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



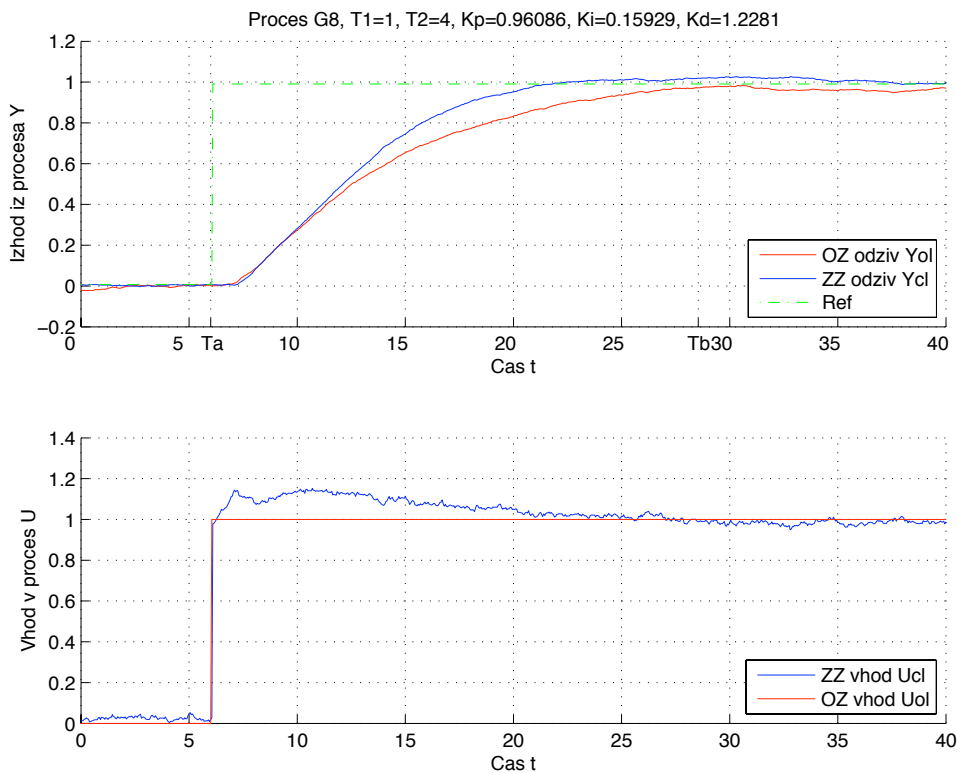
Slika 215: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



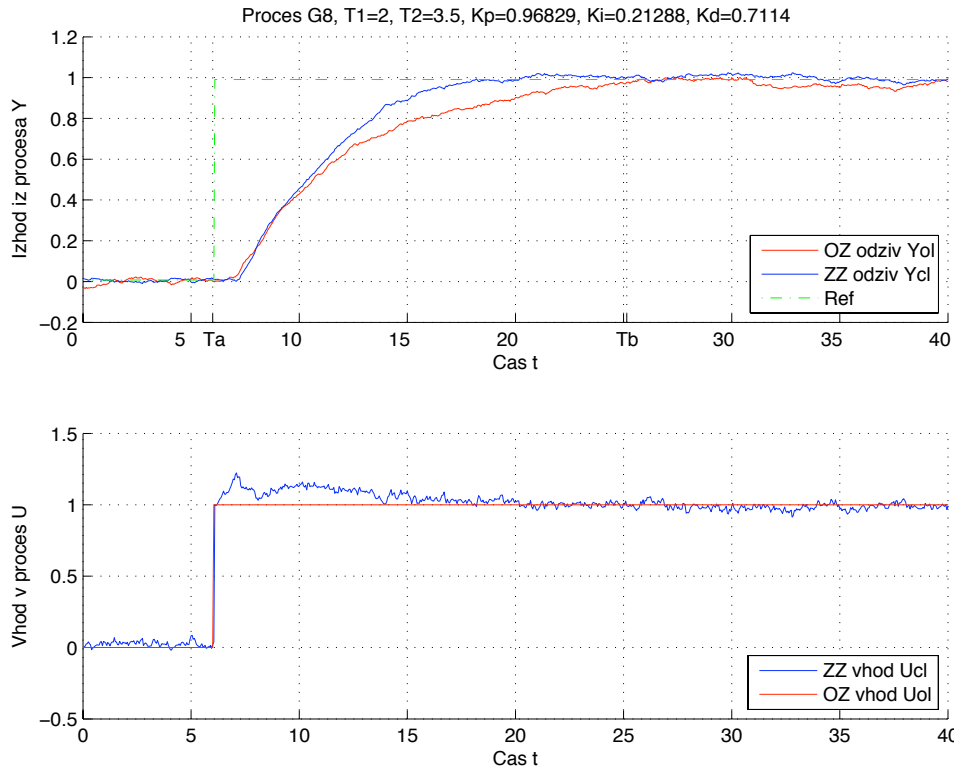
Slika 216: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



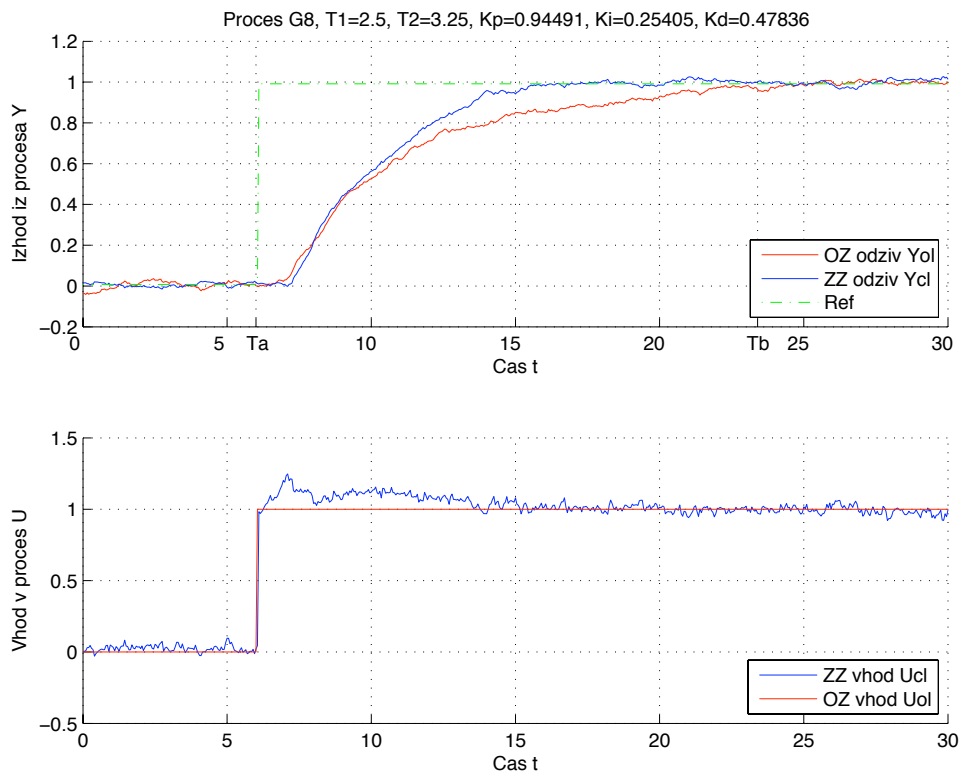
Slika 217: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 218: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

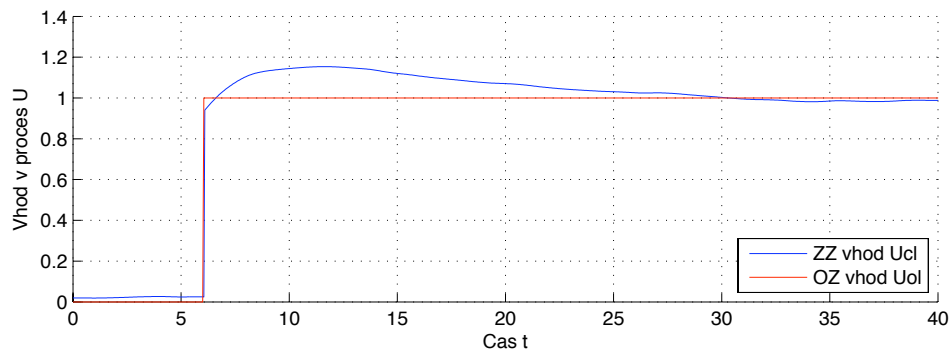
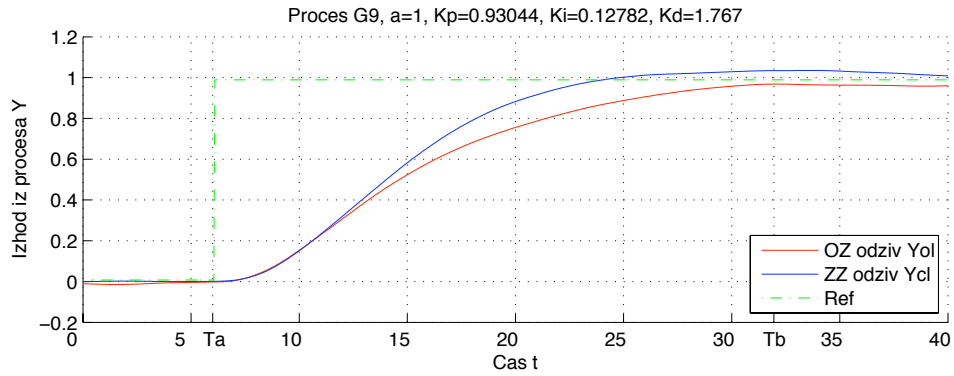


Slika 219: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

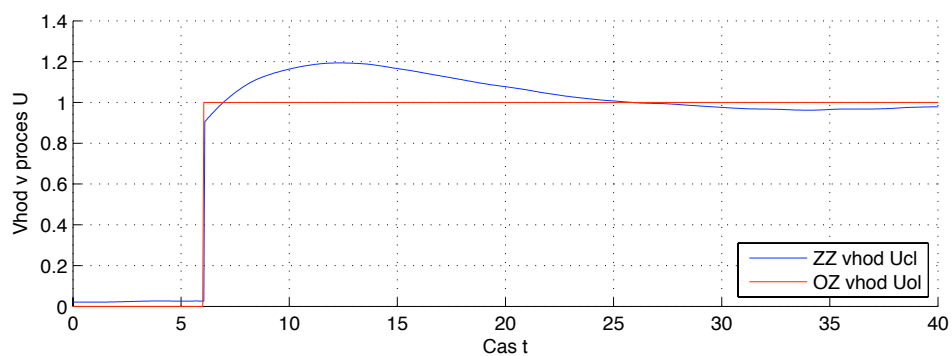
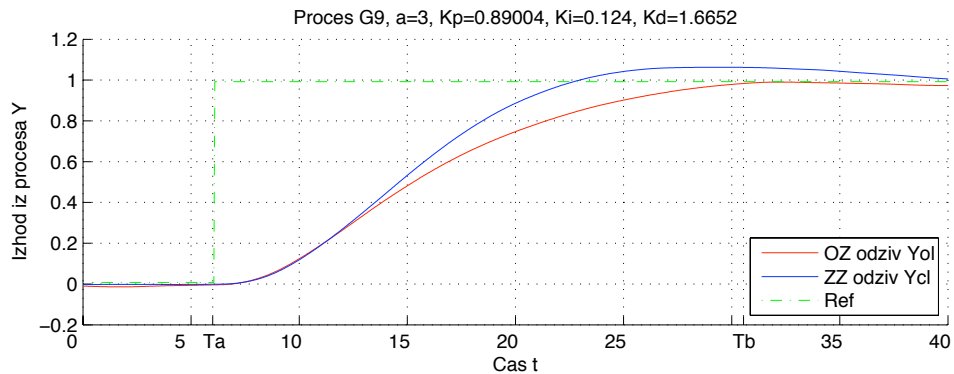


Slika 220: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

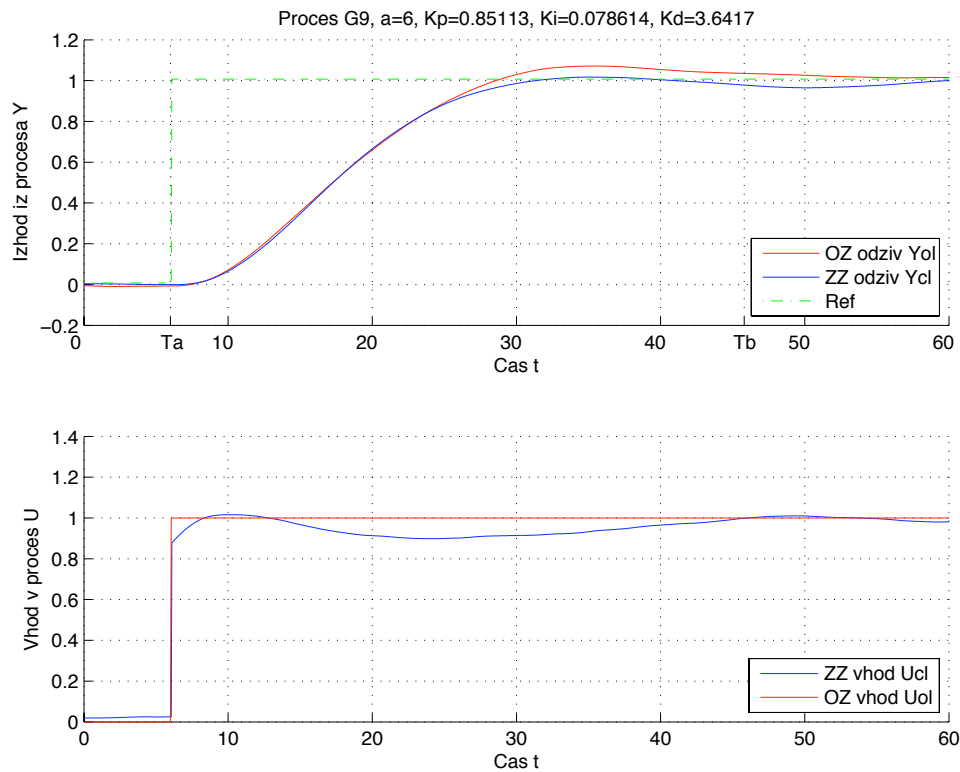




Slika 221: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{p9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

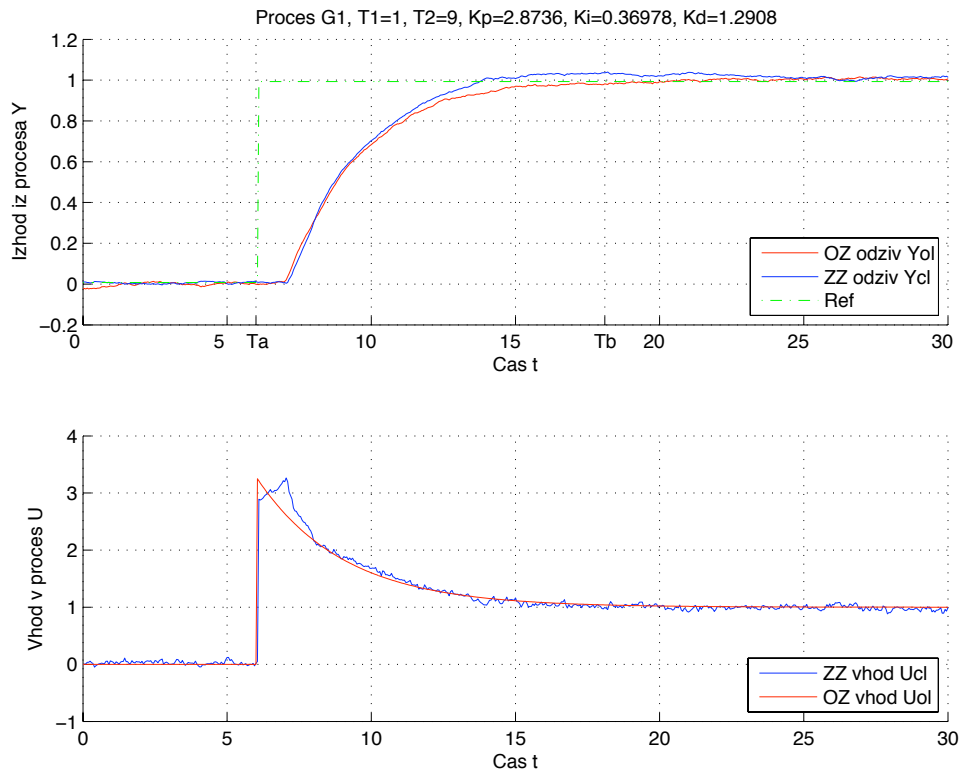


Slika 222: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{p9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

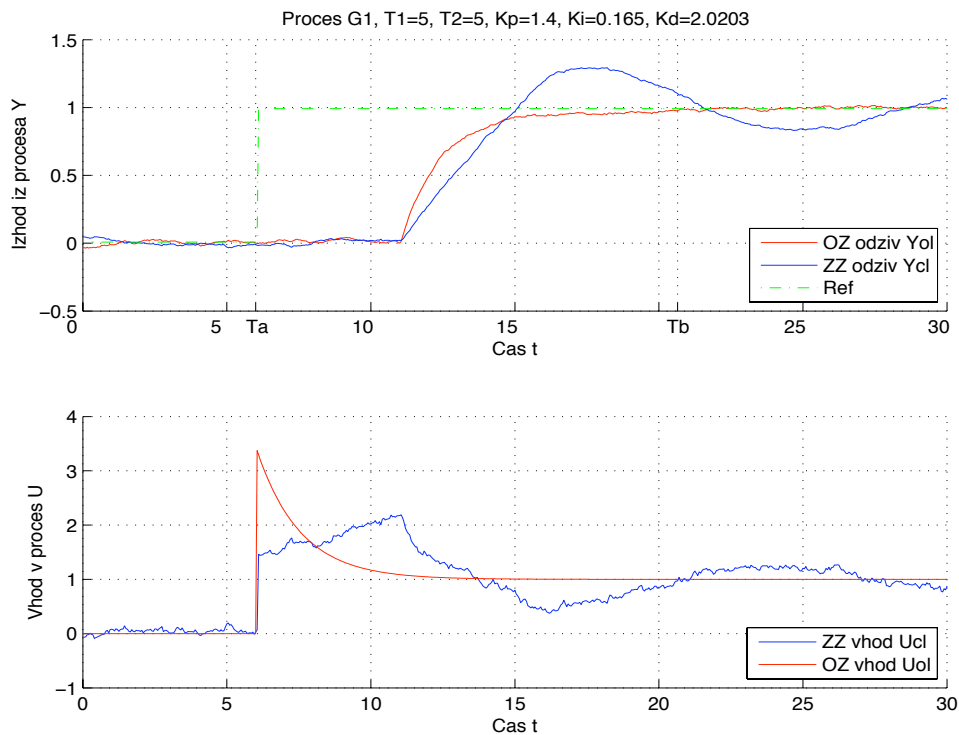


Slika 223: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

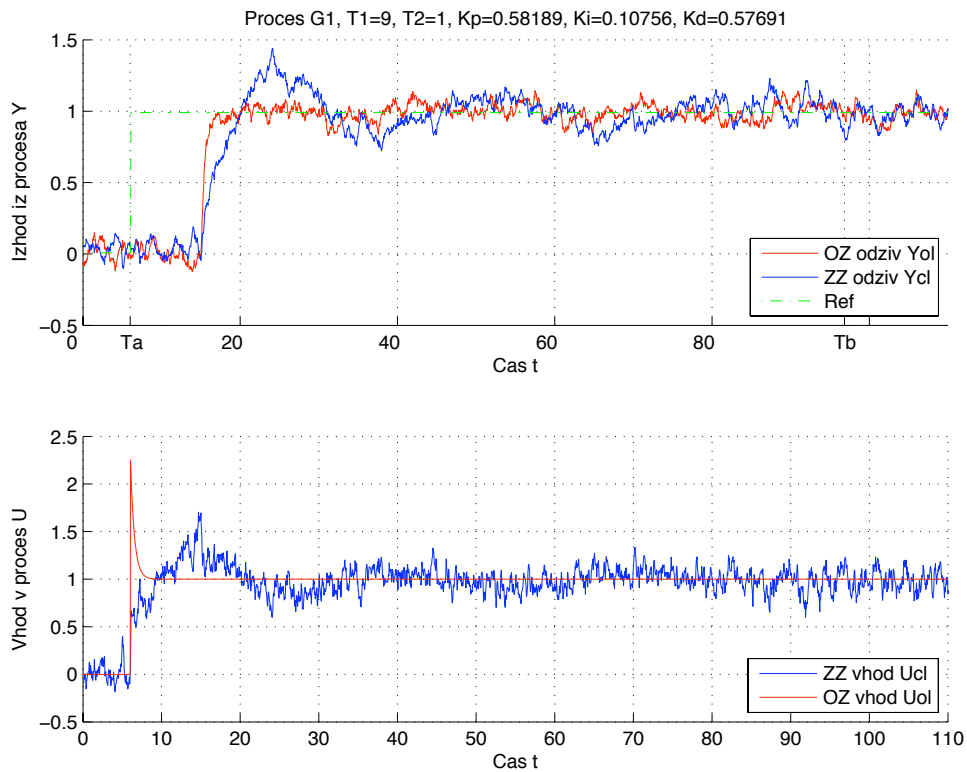
Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



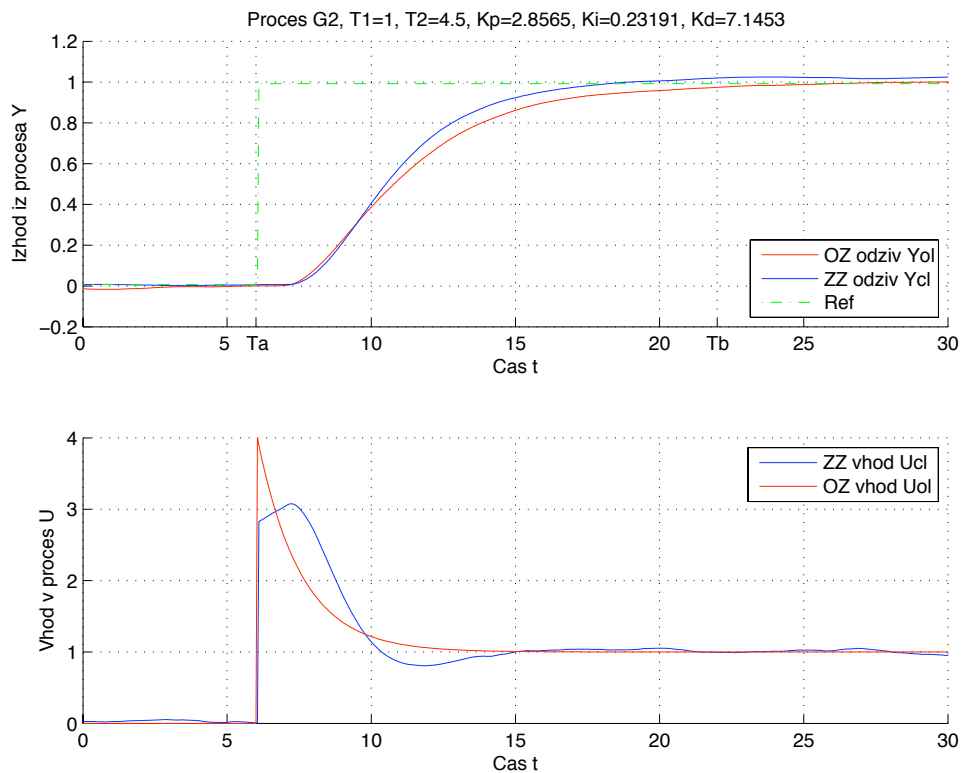
Slika 224: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



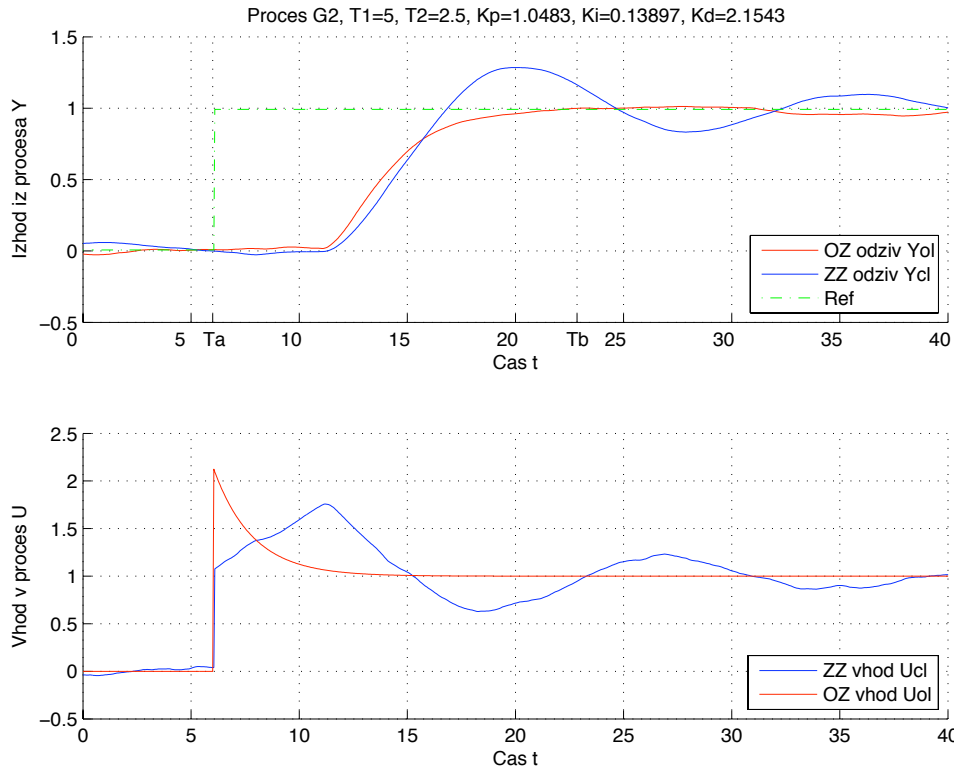
Slika 225: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



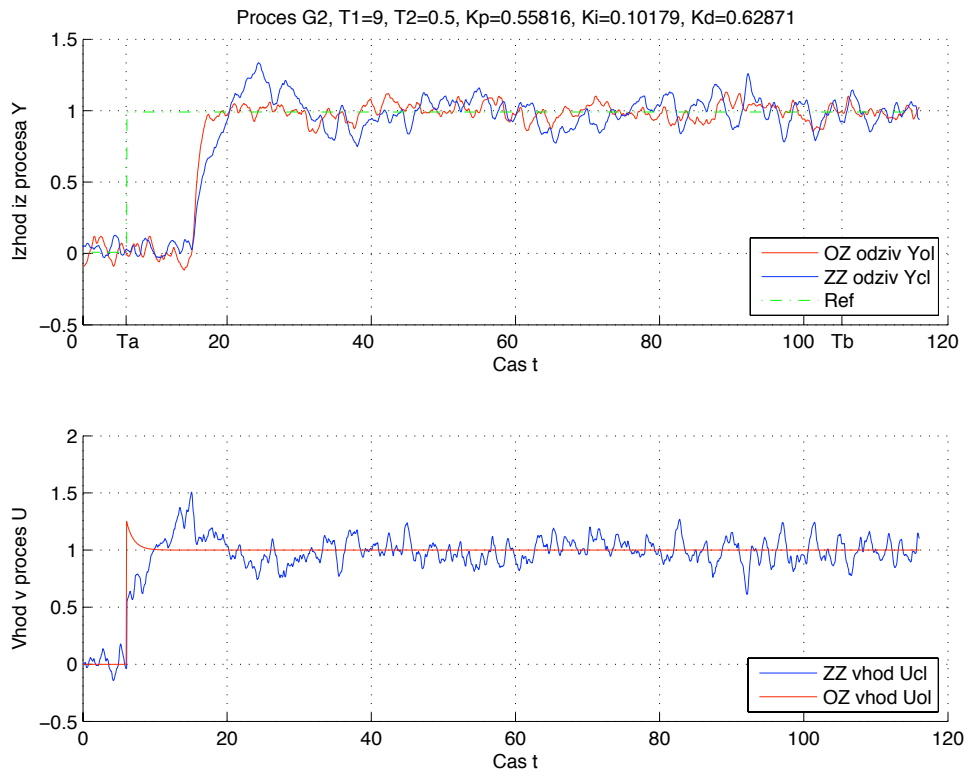
Slika 226: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



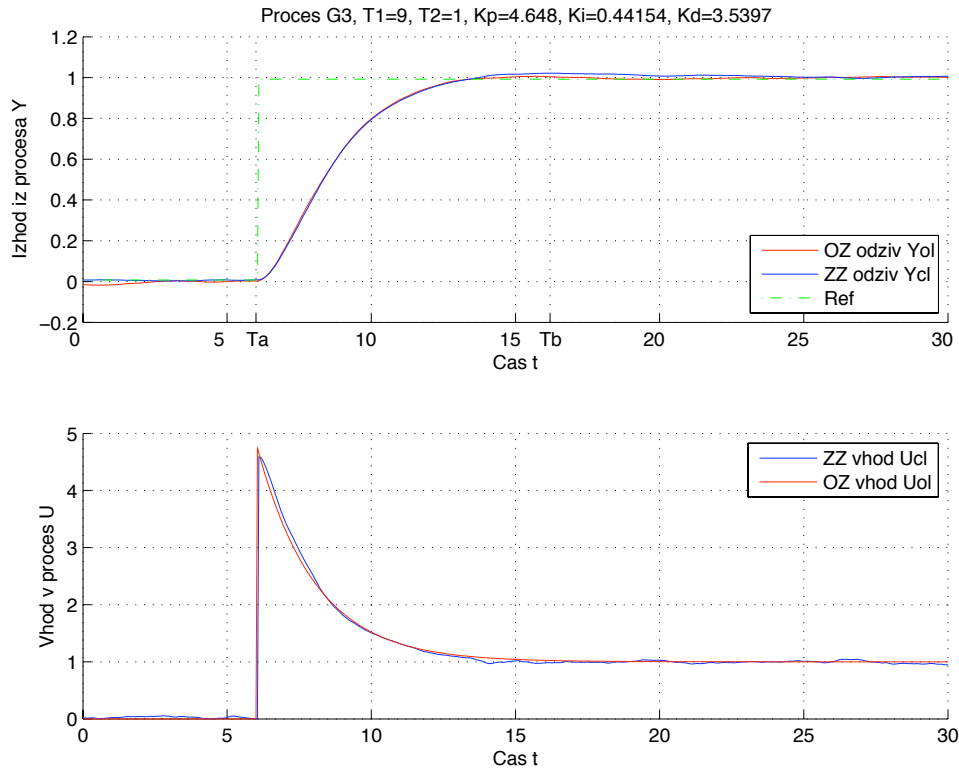
Slika 227: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



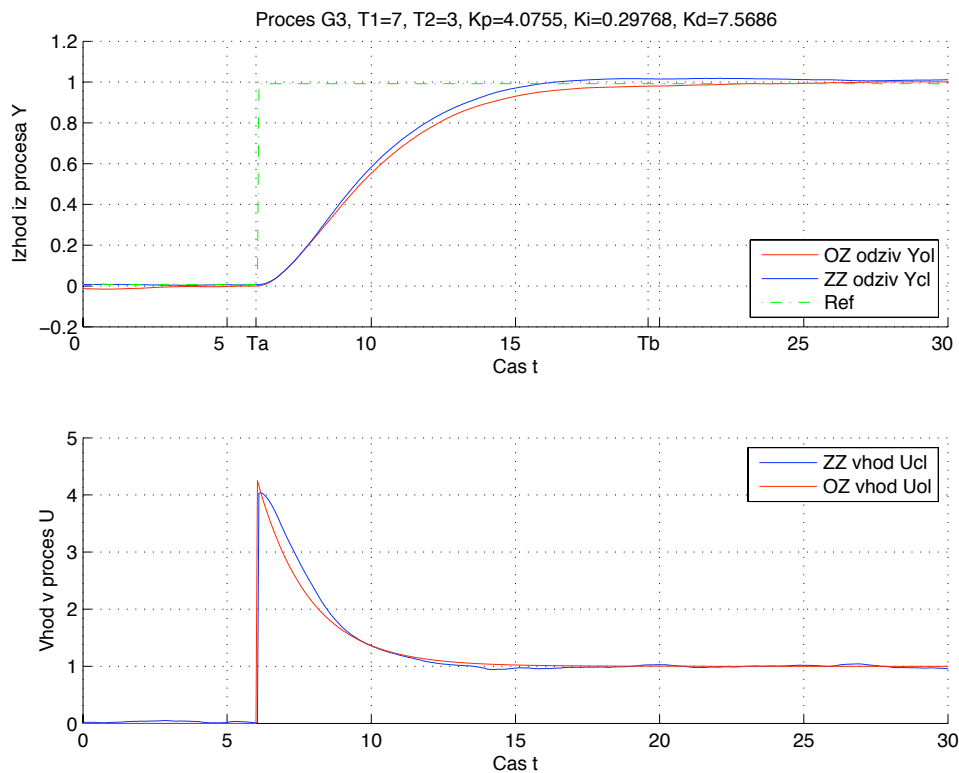
Slika 228: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



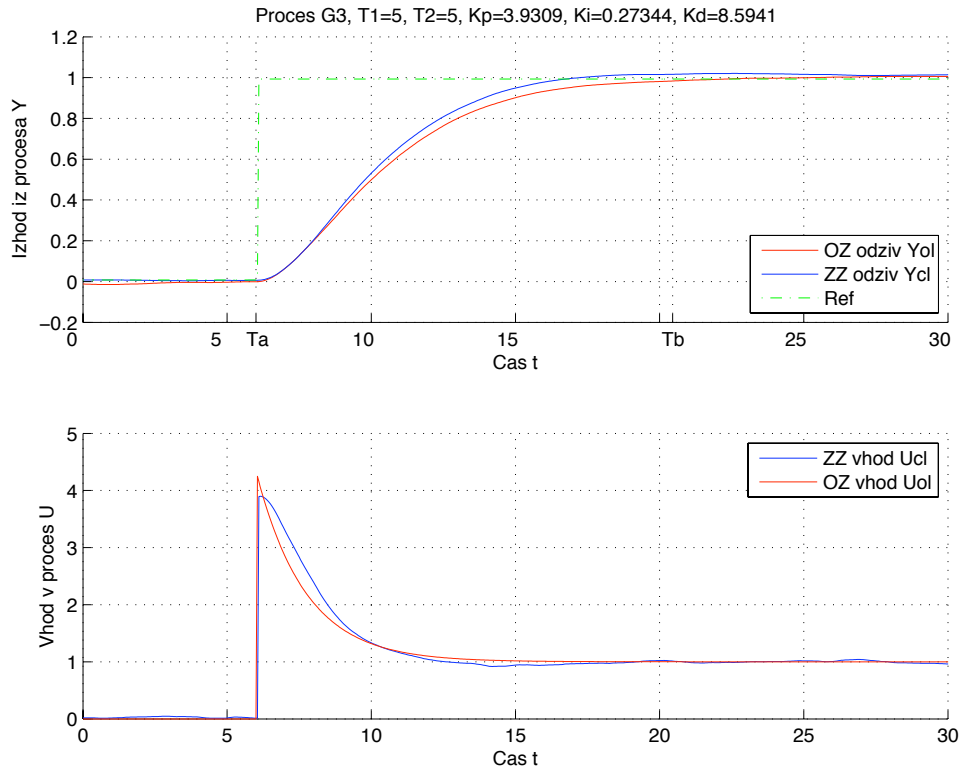
Slika 229: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



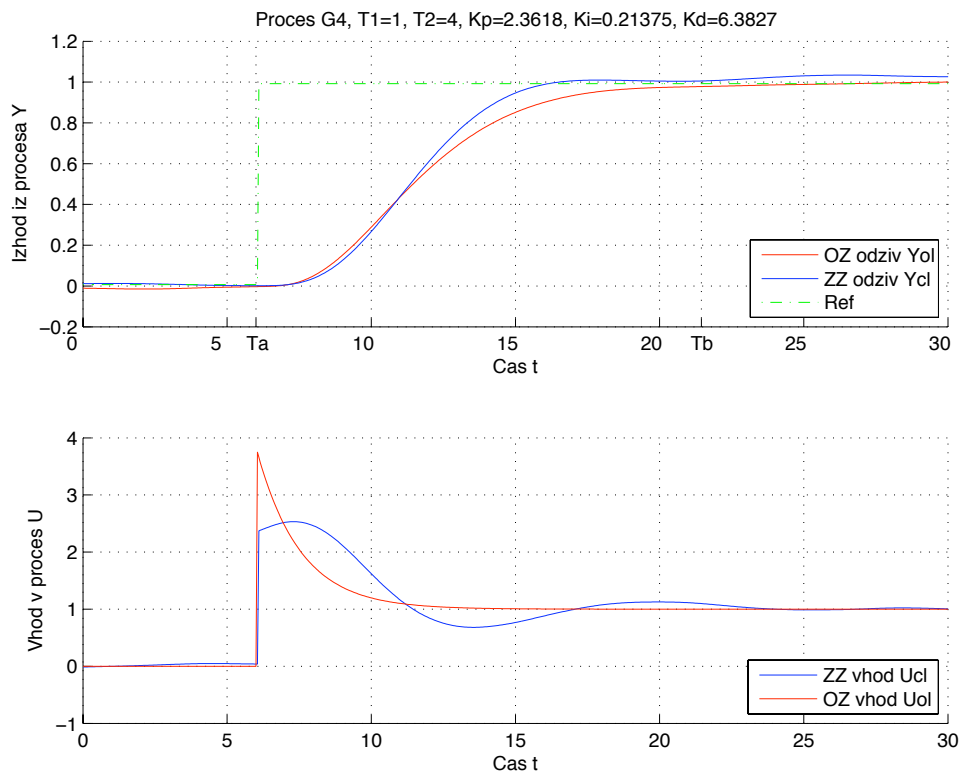
Slika 230: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



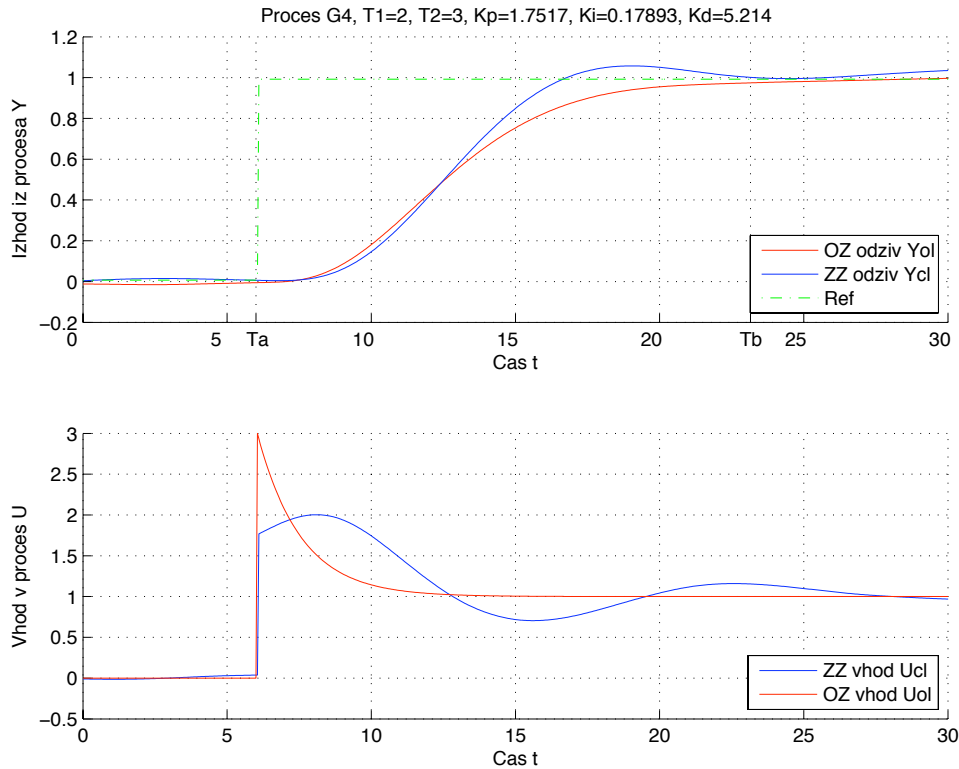
Slika 231: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



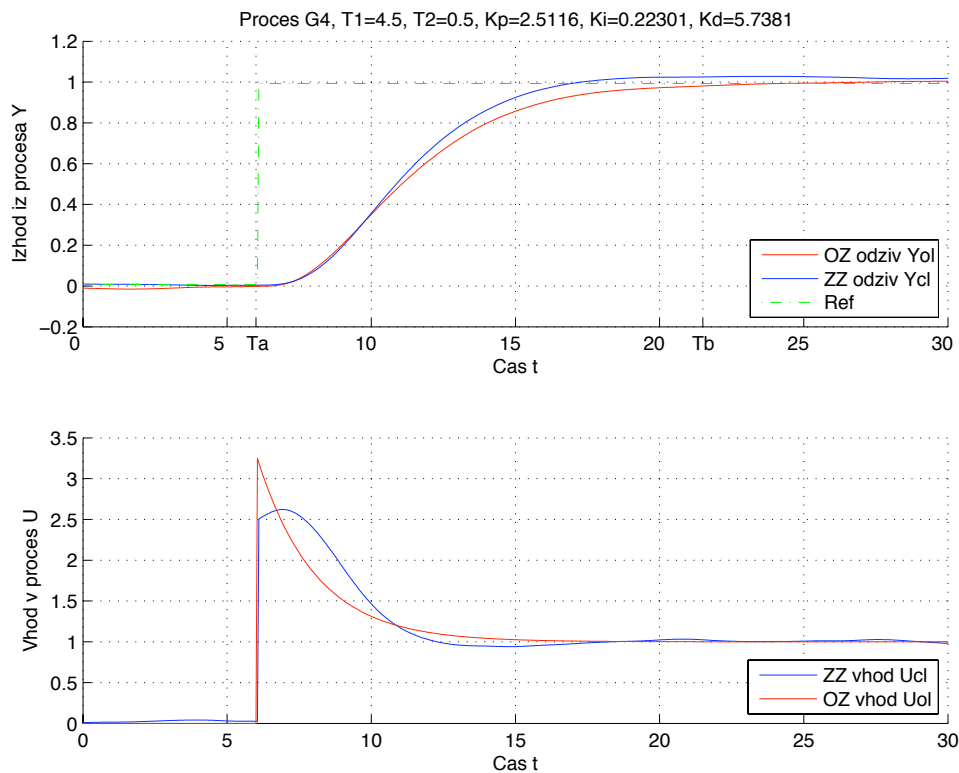
Slika 232: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 233: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

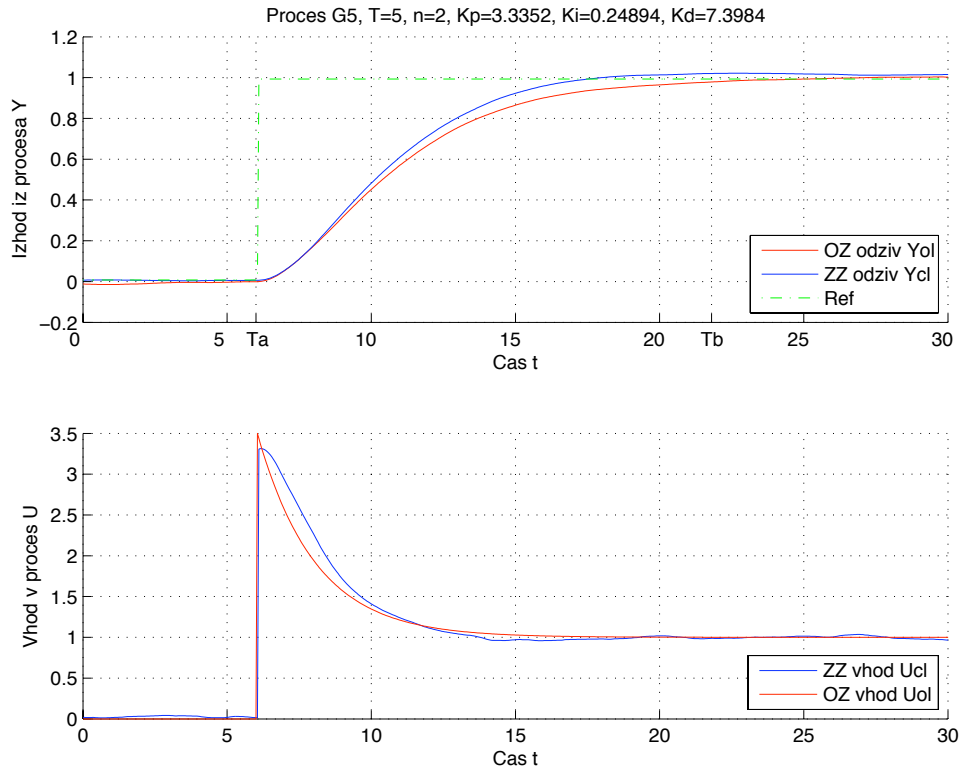


Slika 234: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

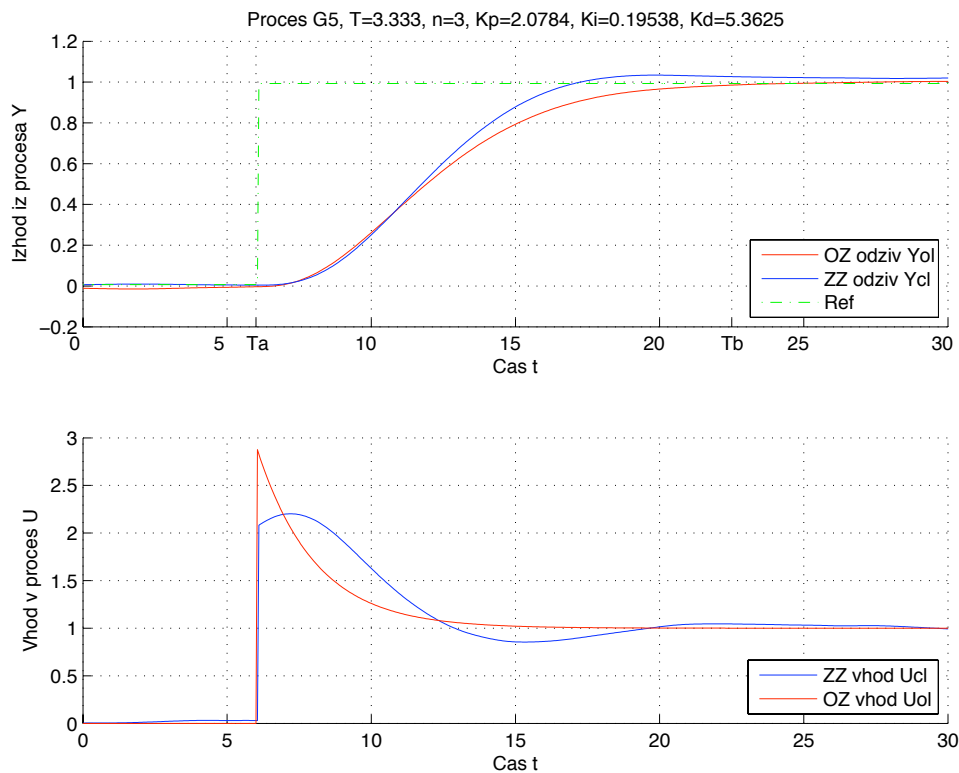


Slika 235: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

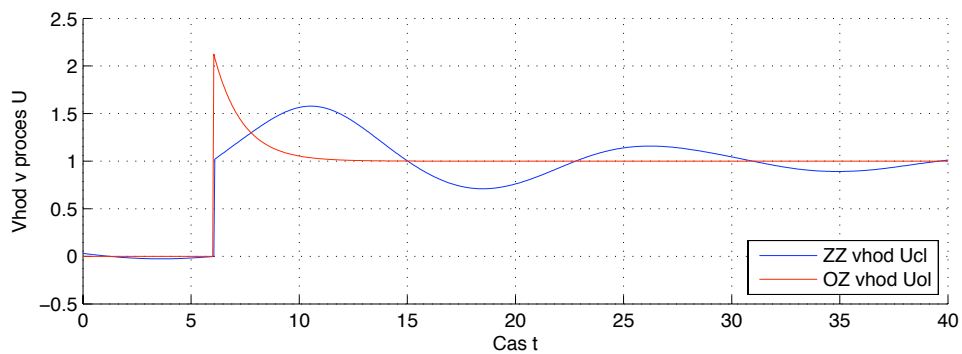
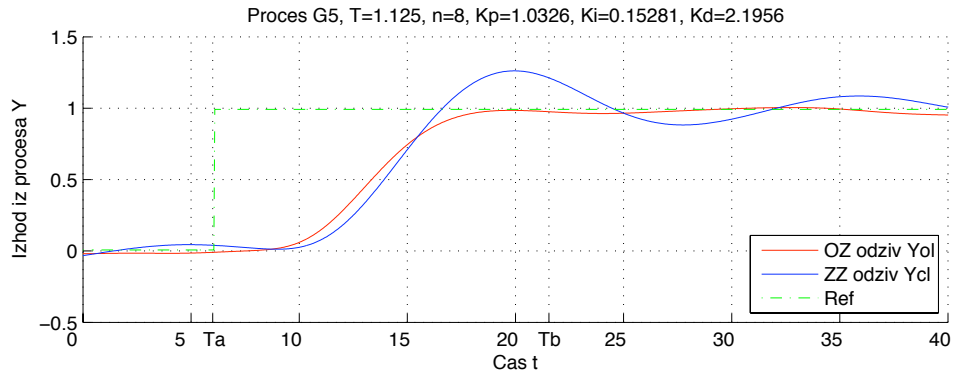




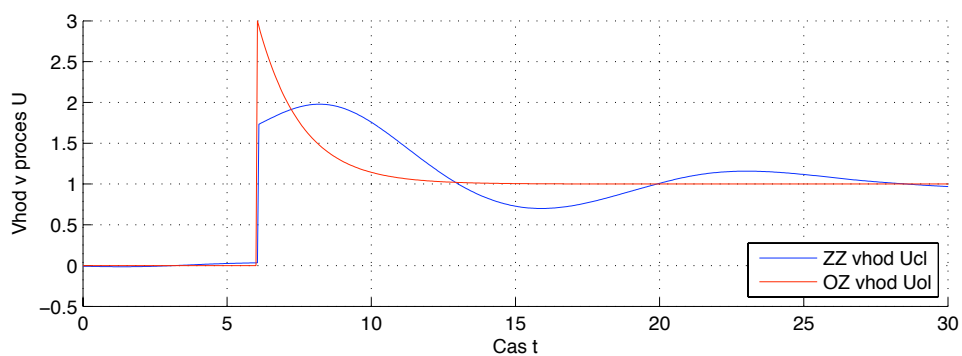
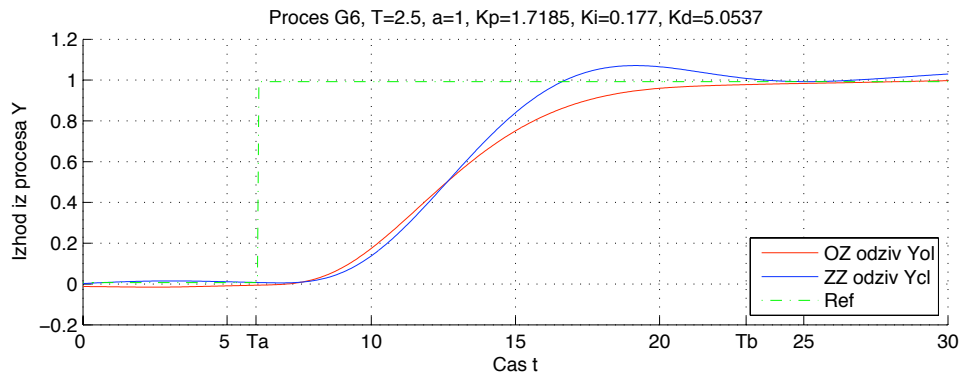
Slika 236: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



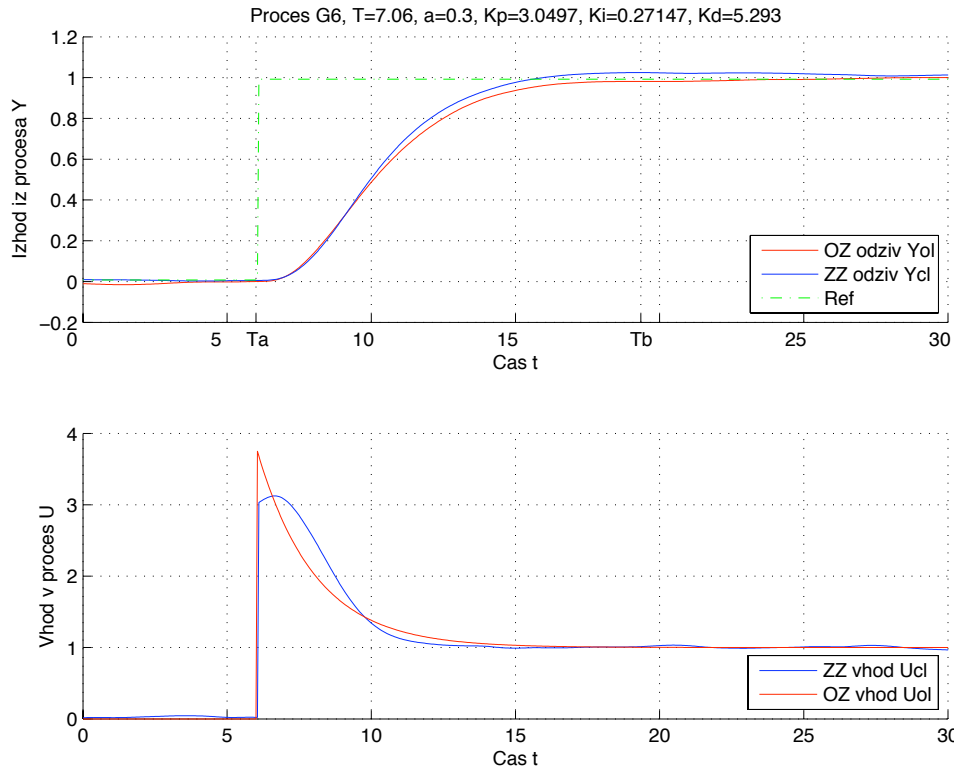
Slika 237: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



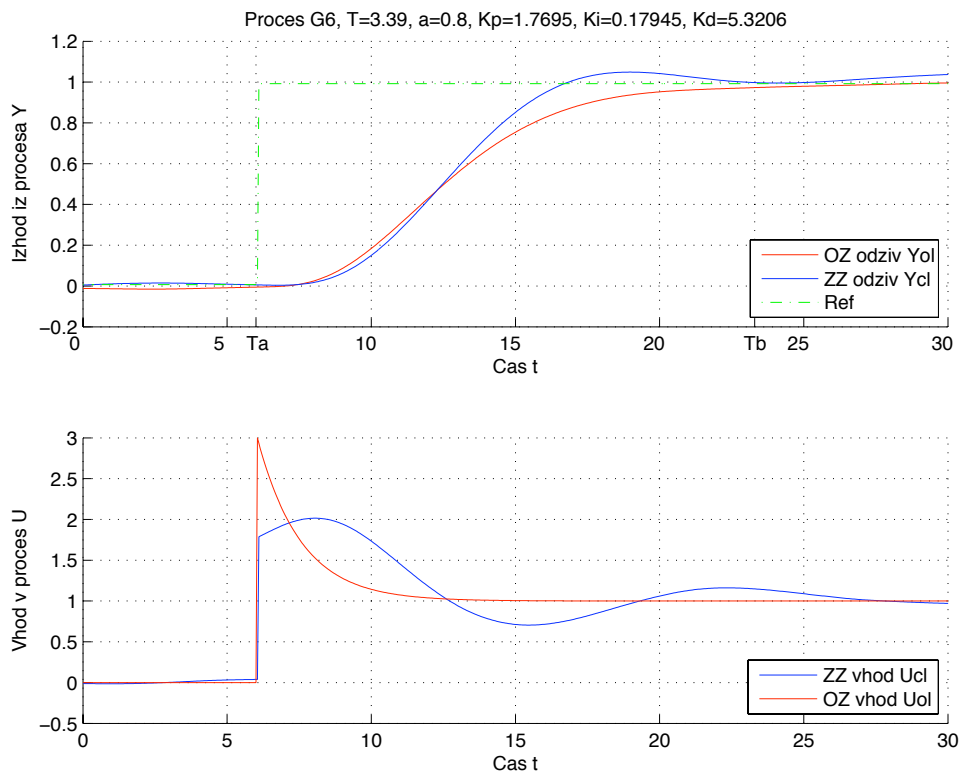
Slika 238: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



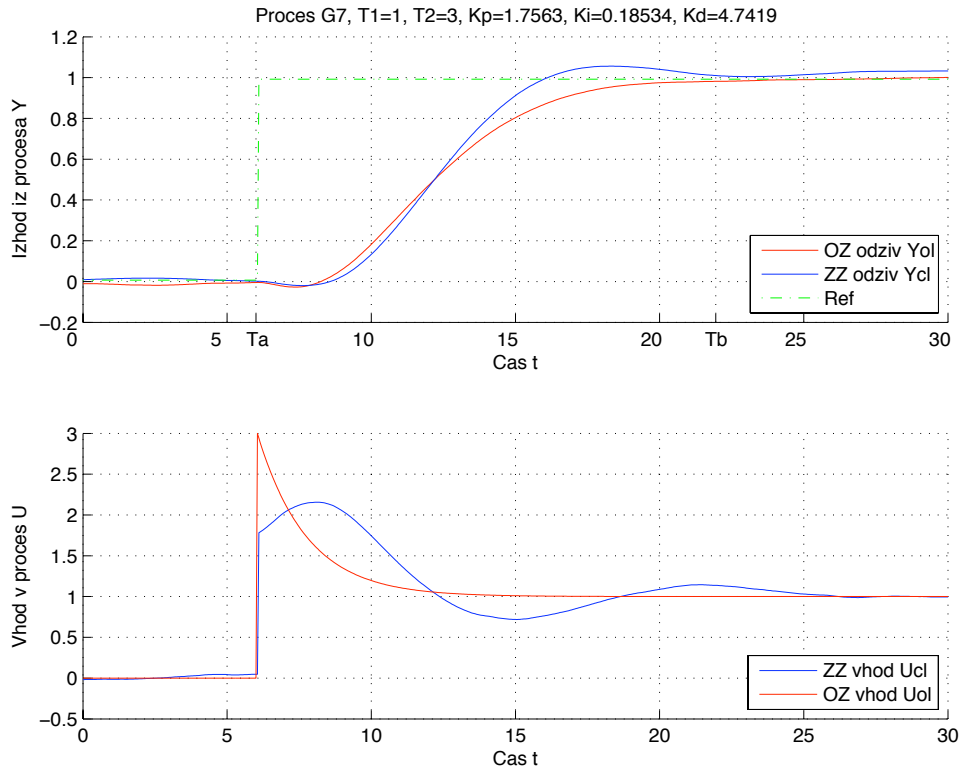
Slika 239: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



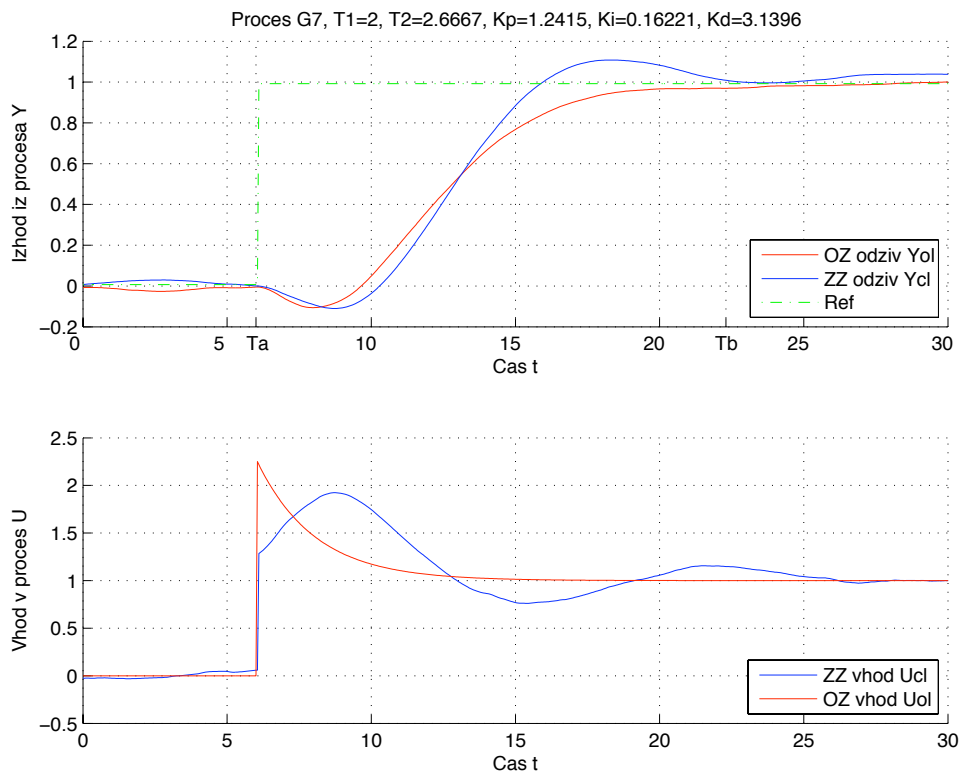
Slika 240: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



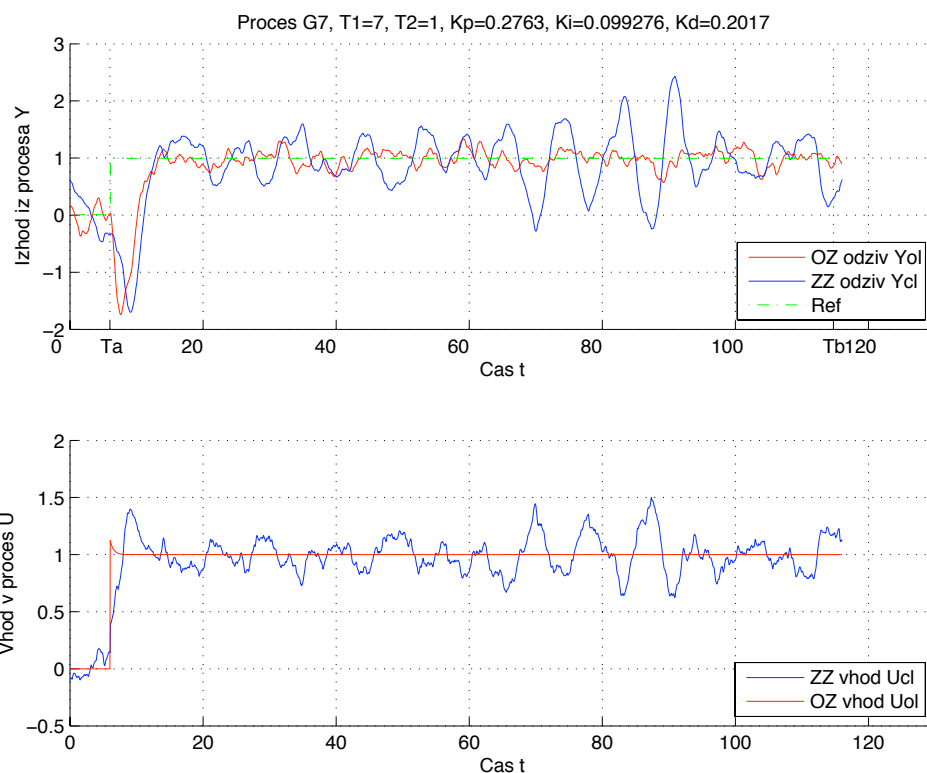
Slika 241: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



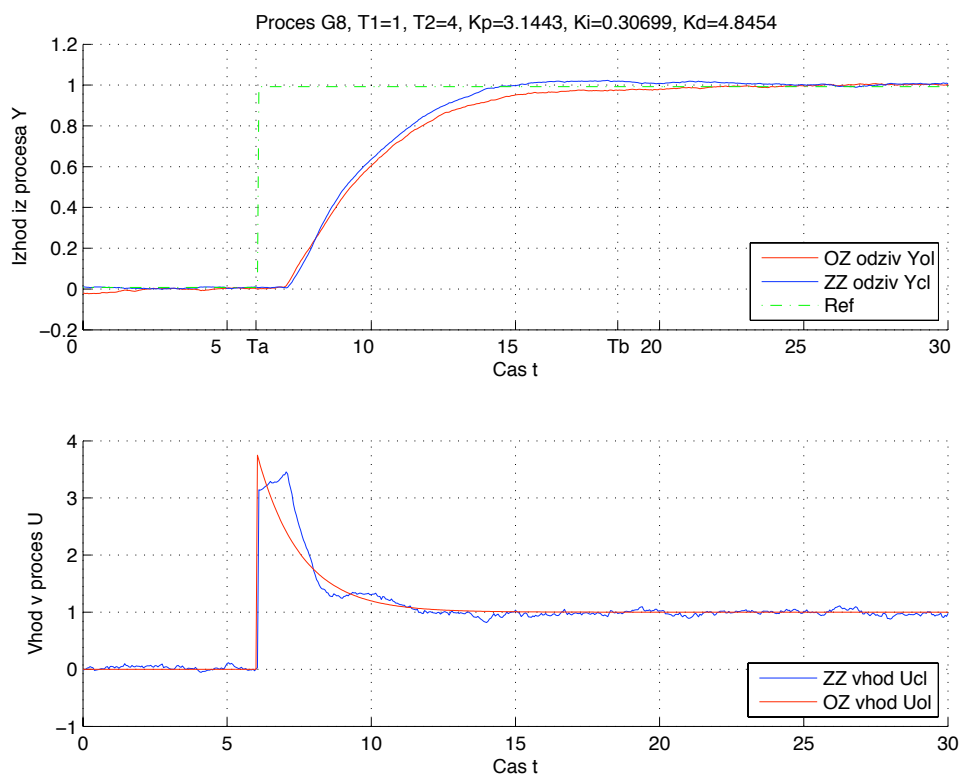
Slika 242: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



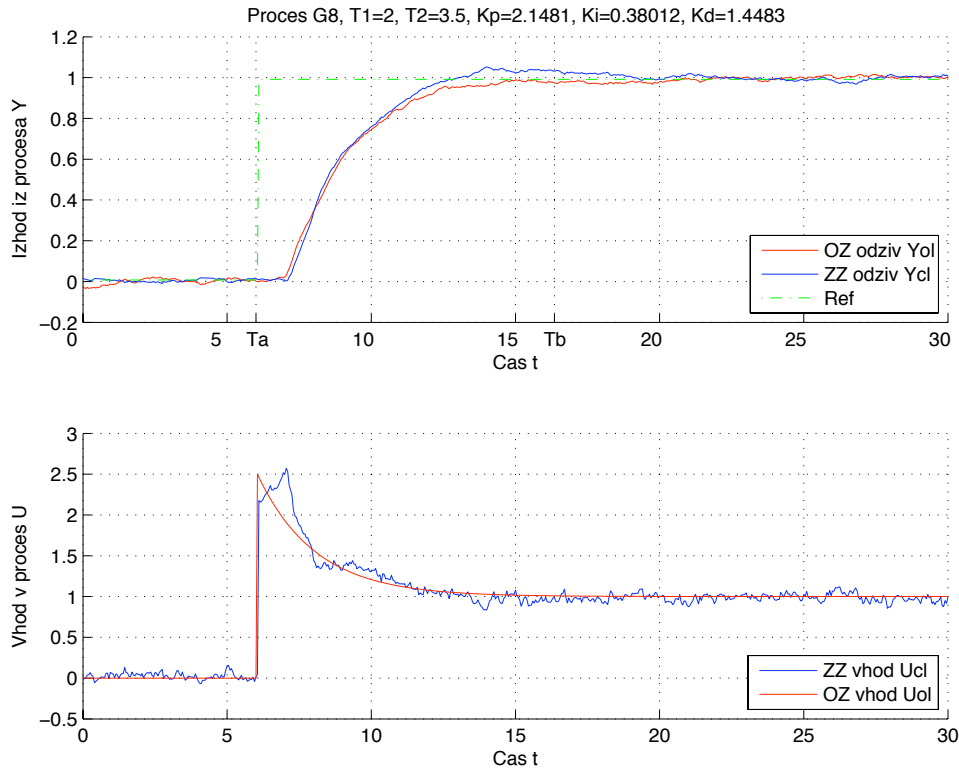
Slika 243: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



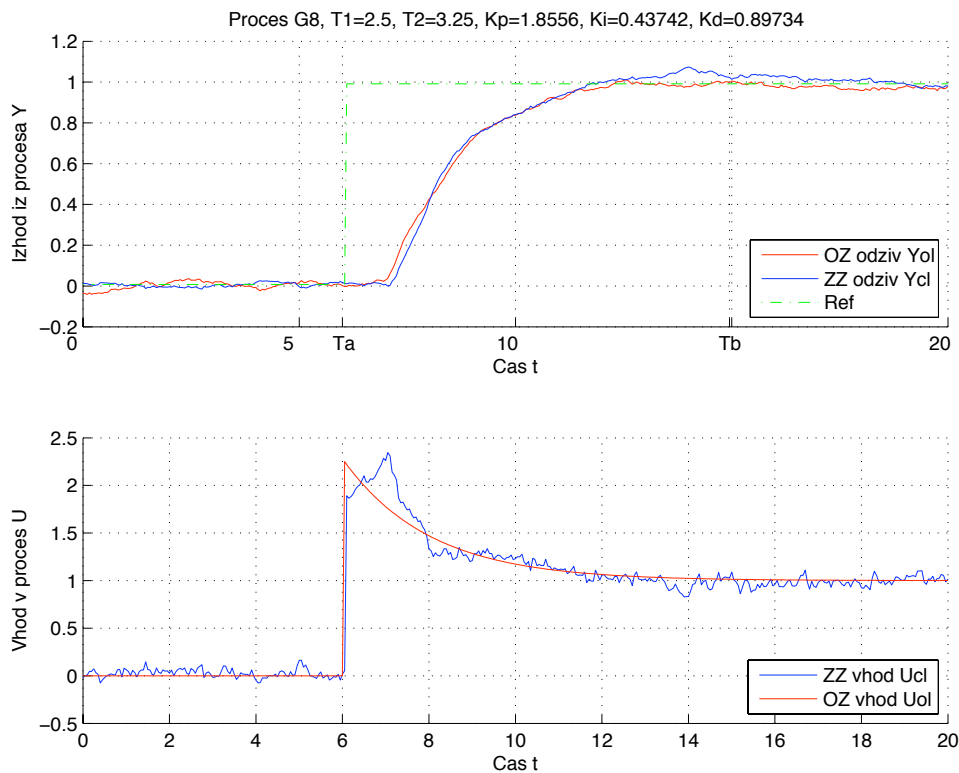
Slika 244: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



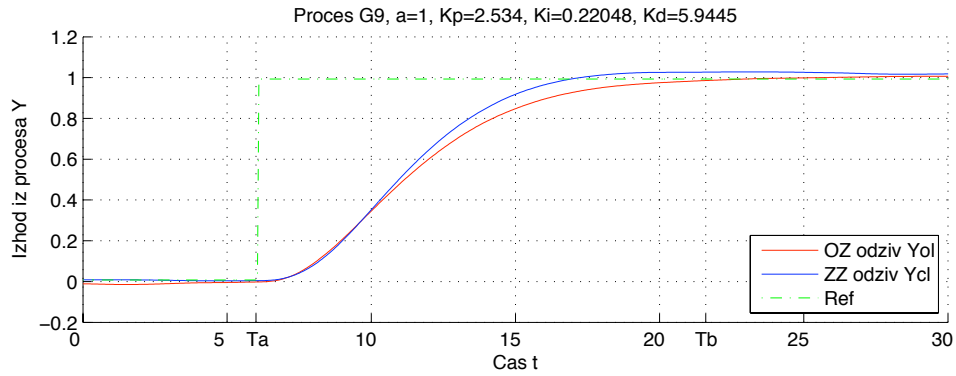
Slika 245: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



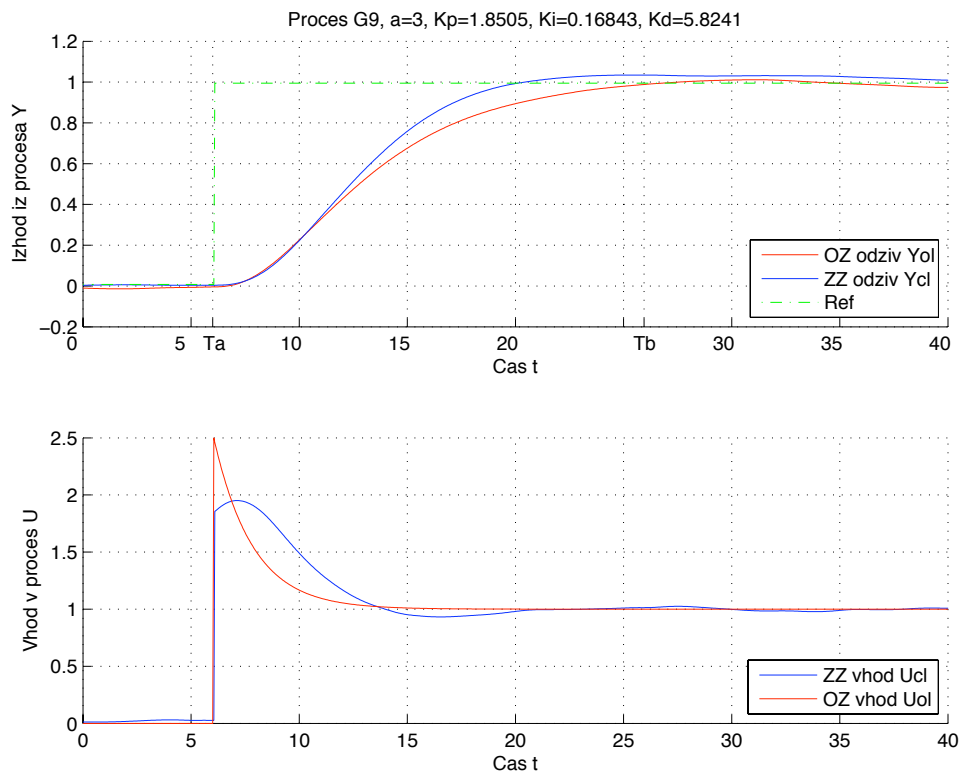
Slika 246: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



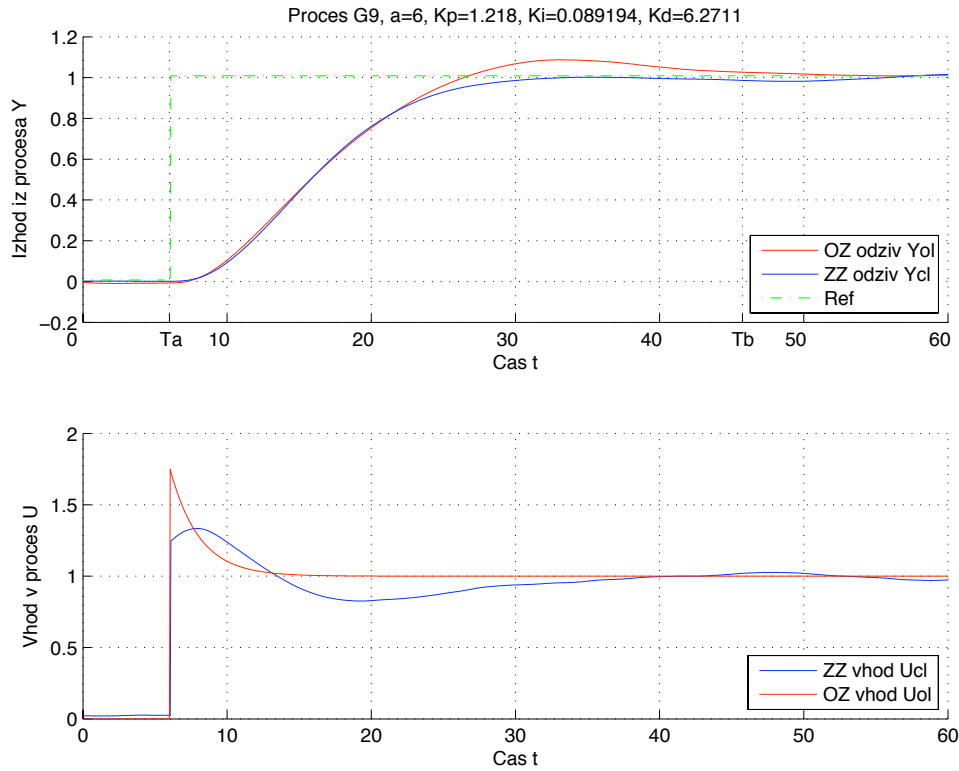
Slika 247: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 248: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



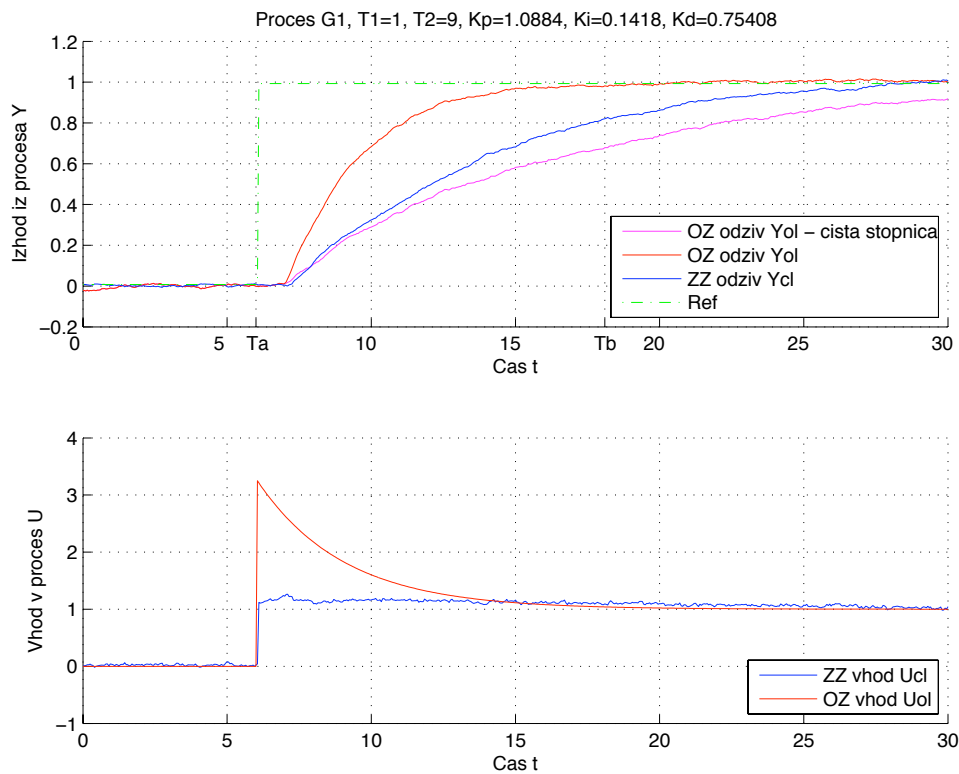
Slika 249: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



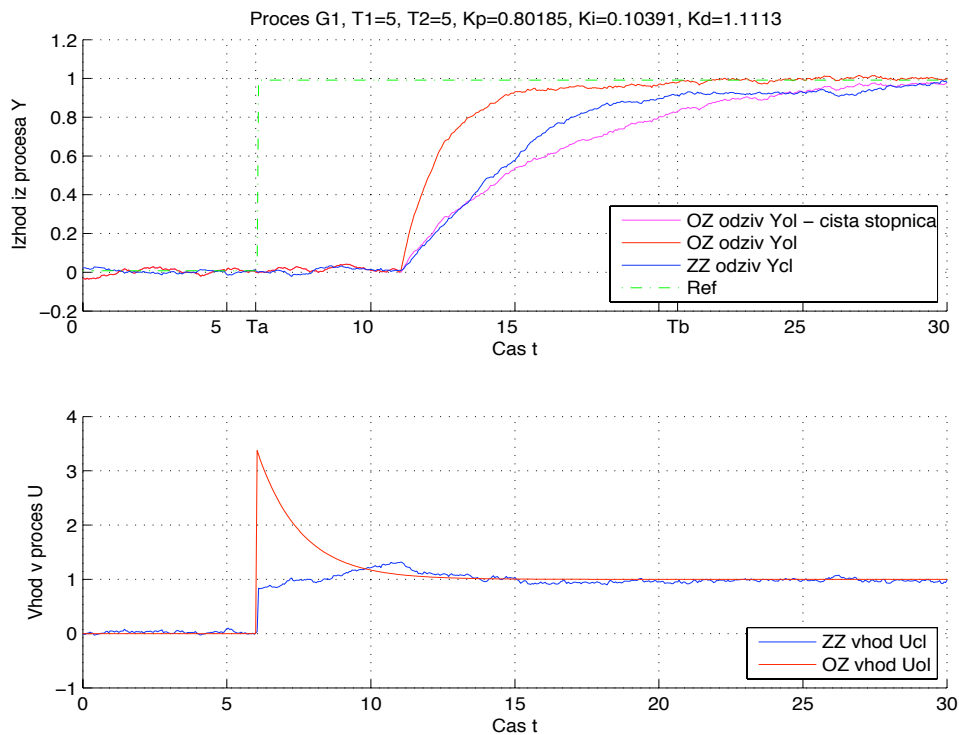
Slika 250: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in skaliran referenčni signal  $r(t)$



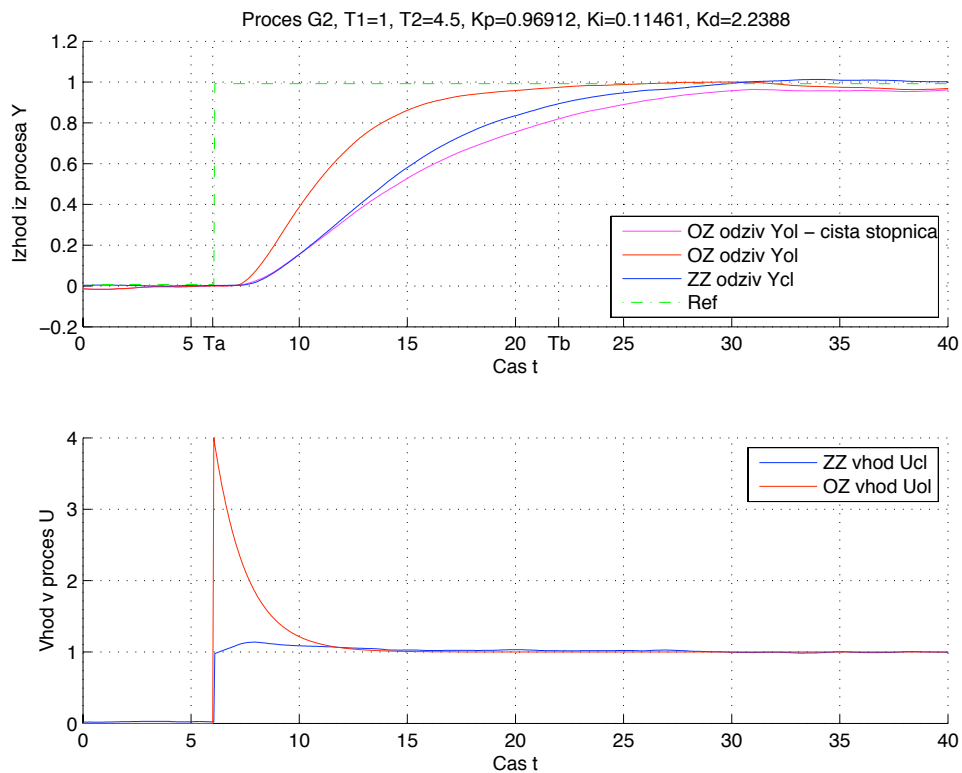
Slika 251: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



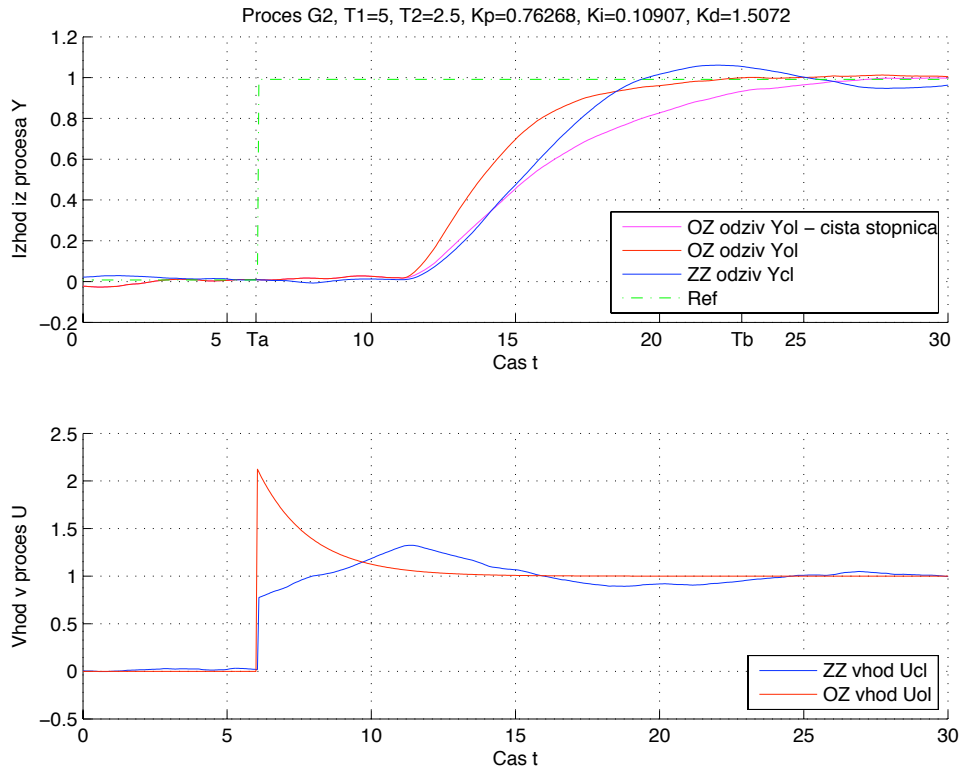
Slika 252: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



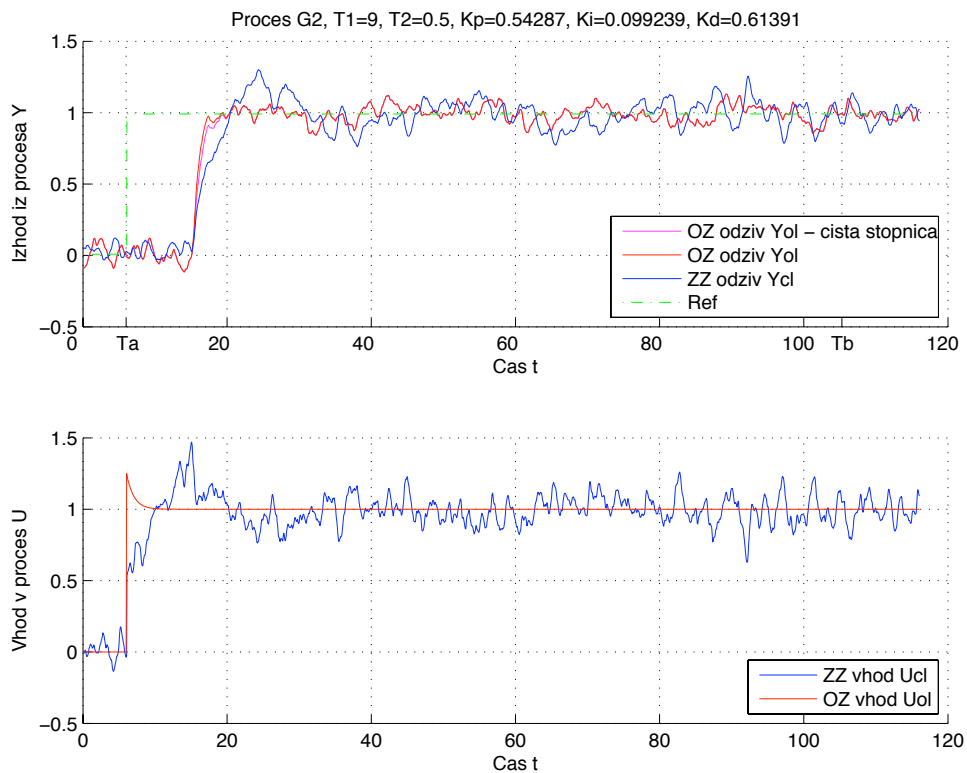
Slika 253: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P1}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



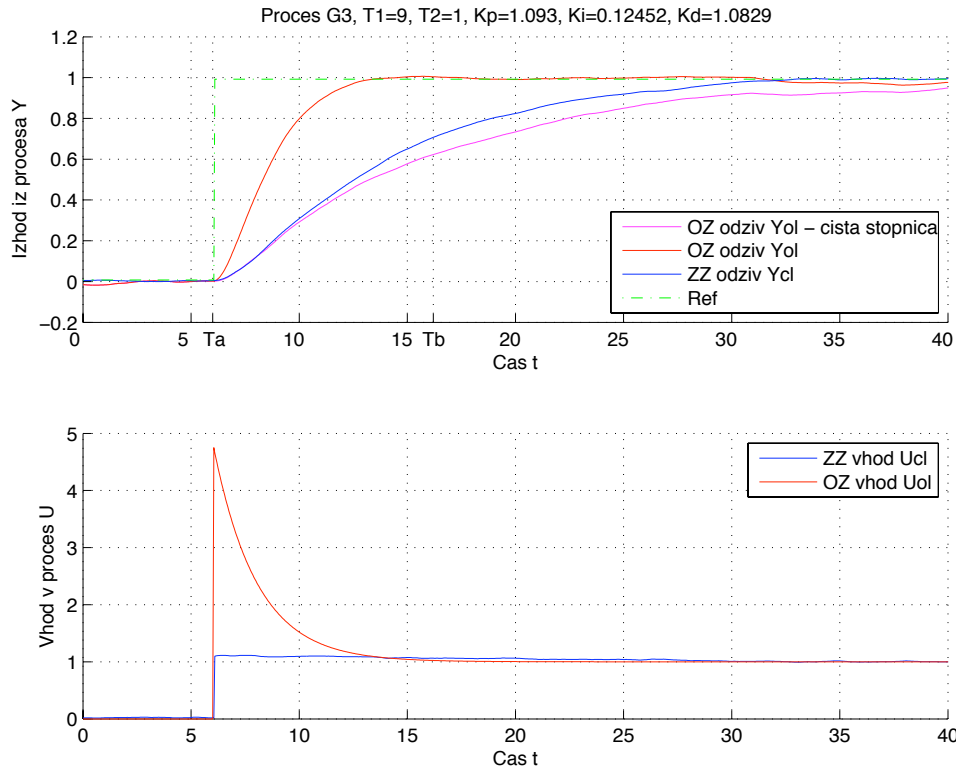
Slika 254: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



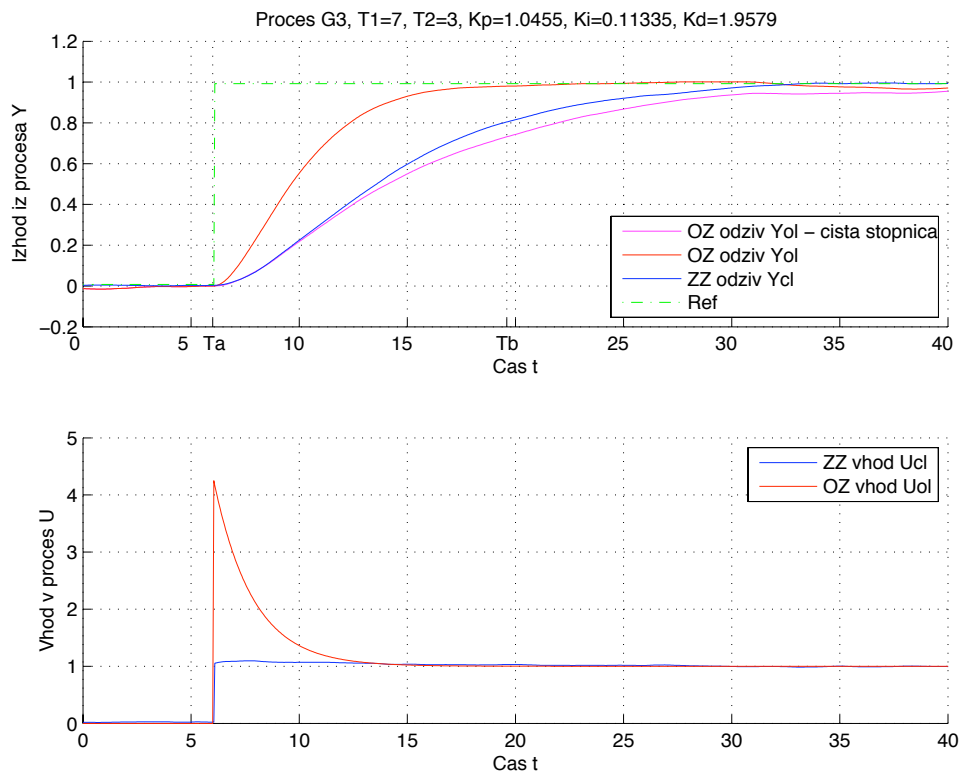
Slika 255: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



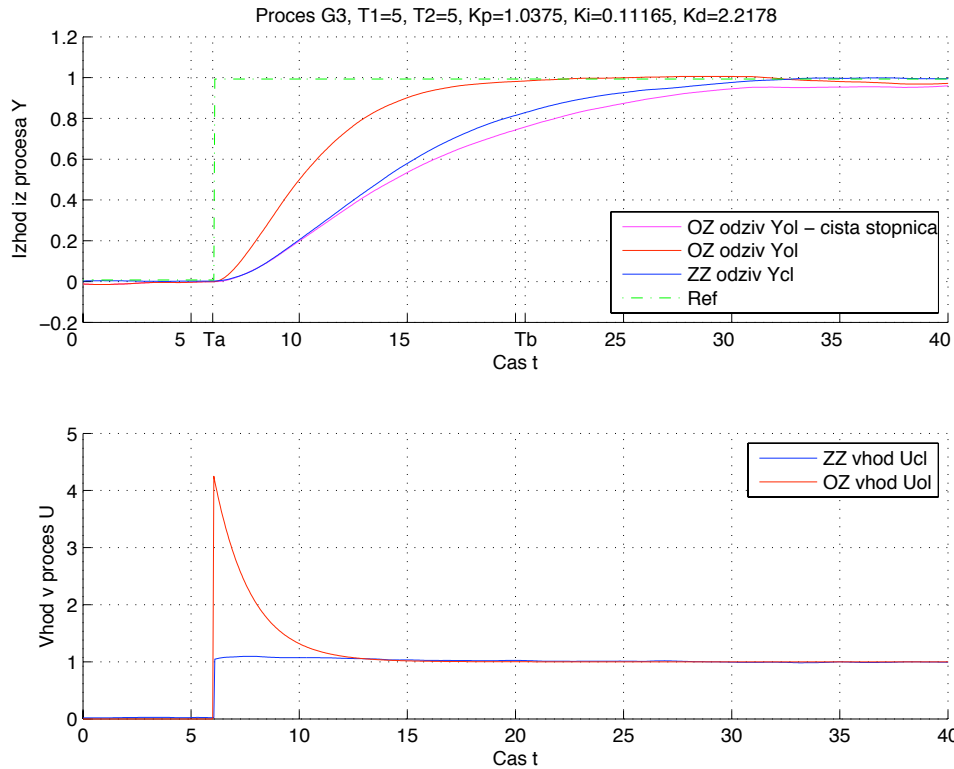
Slika 256: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P2}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



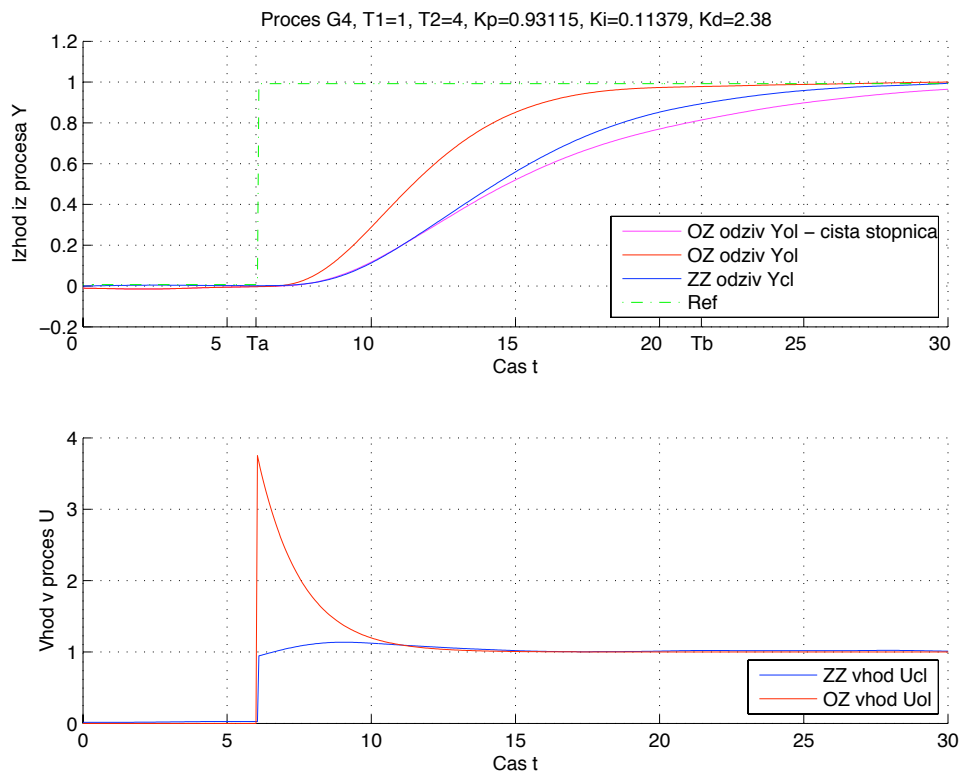
Slika 257: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



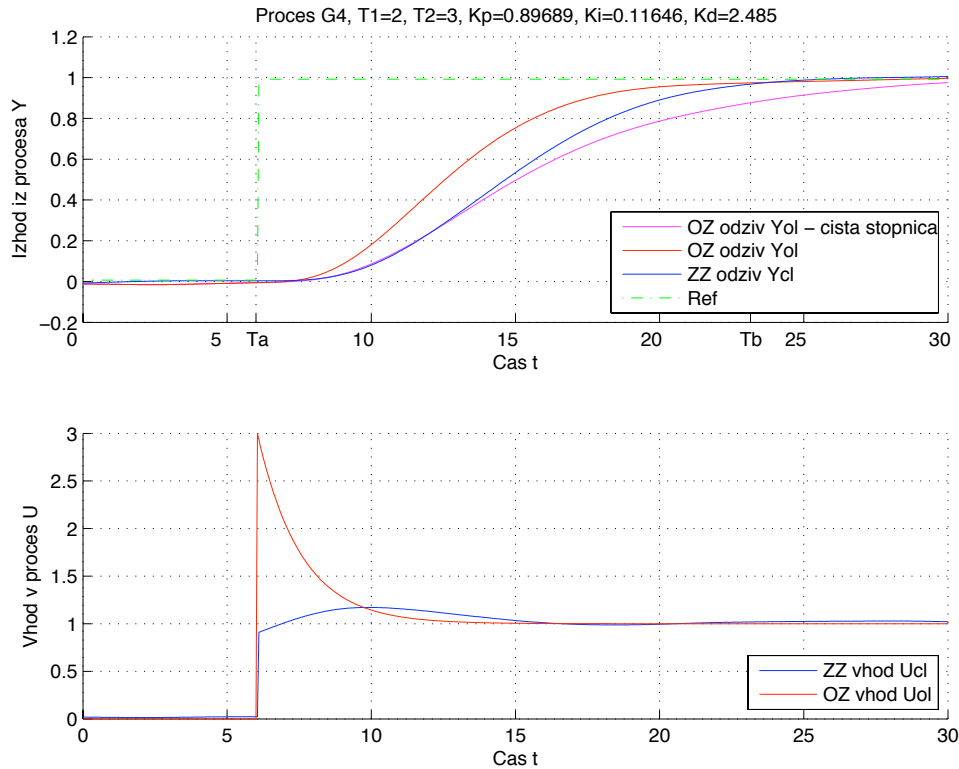
Slika 258: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



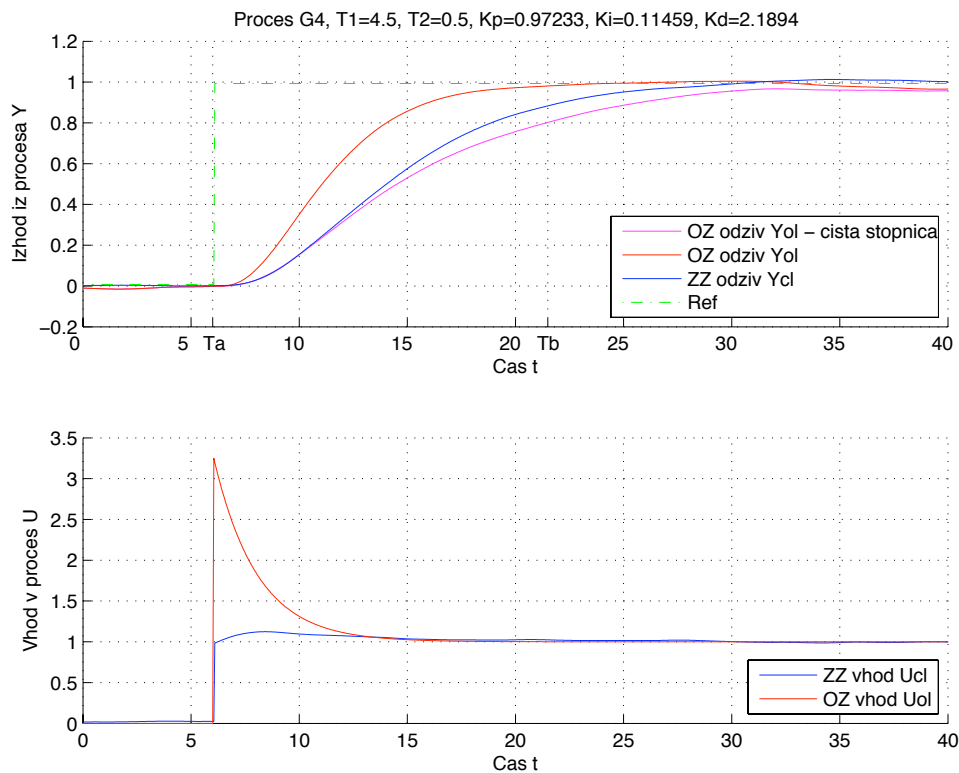
Slika 259: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P3}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



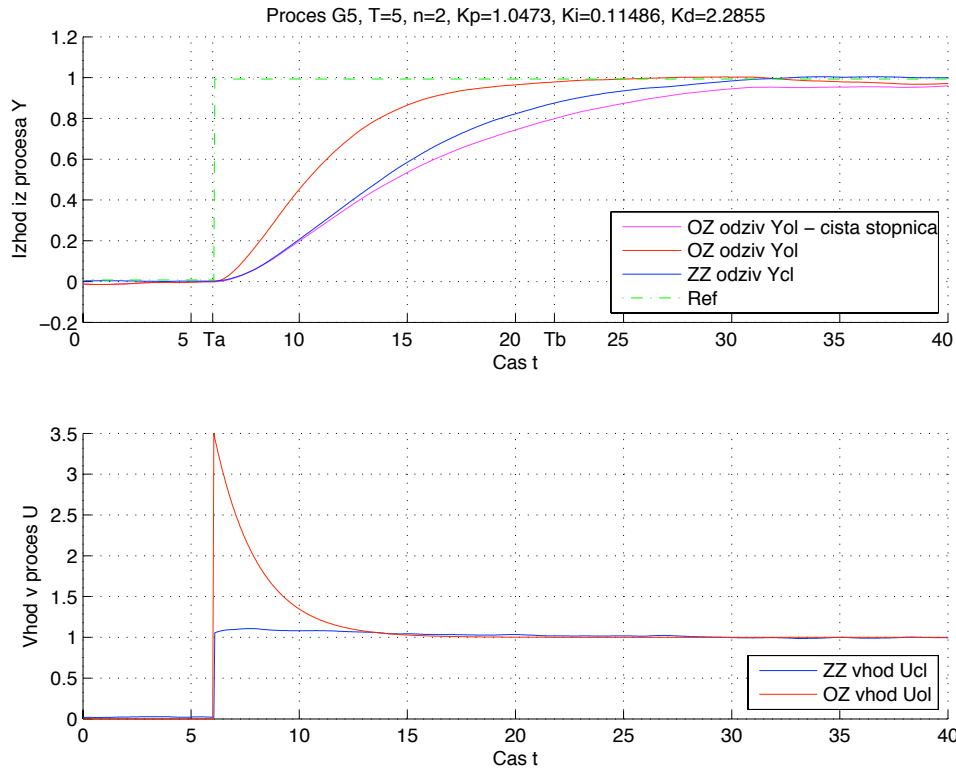
Slika 260: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



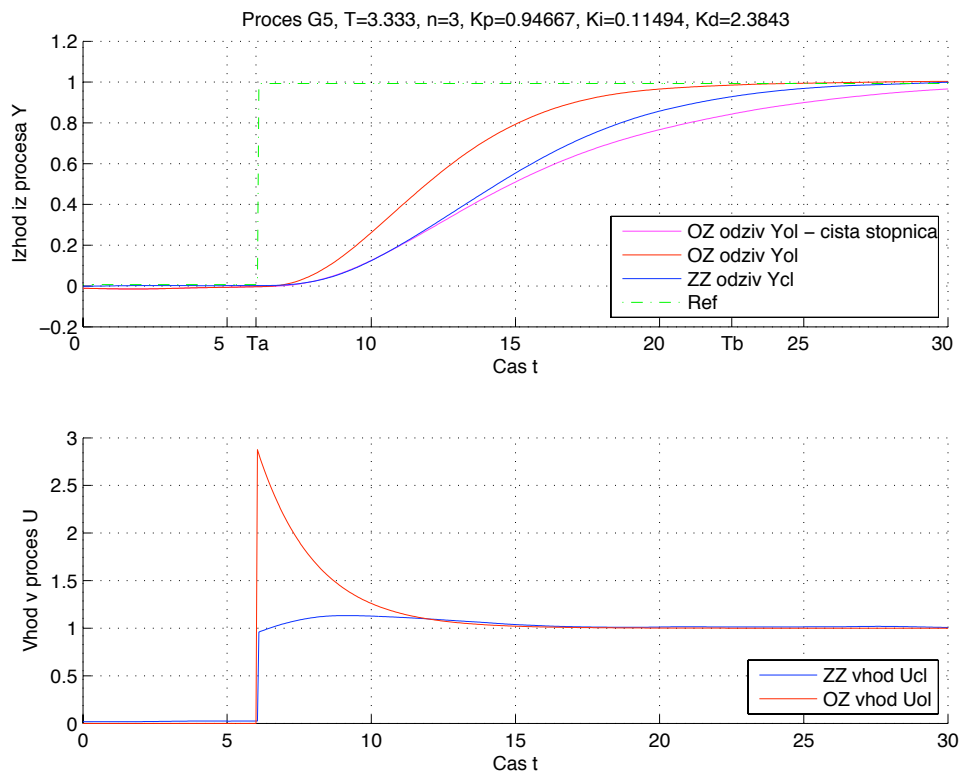
Slika 261: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



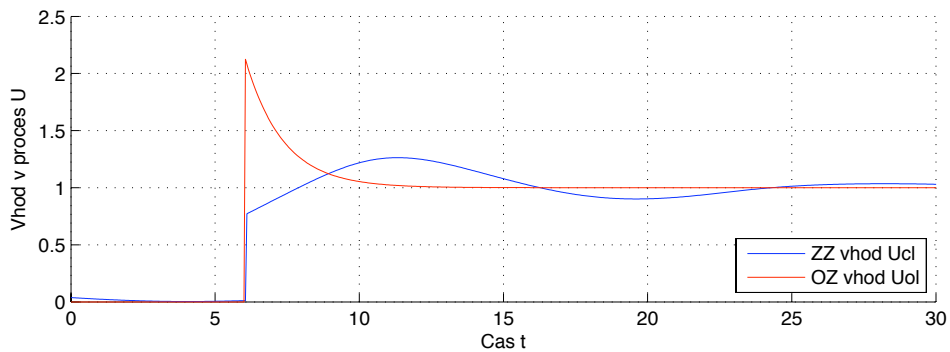
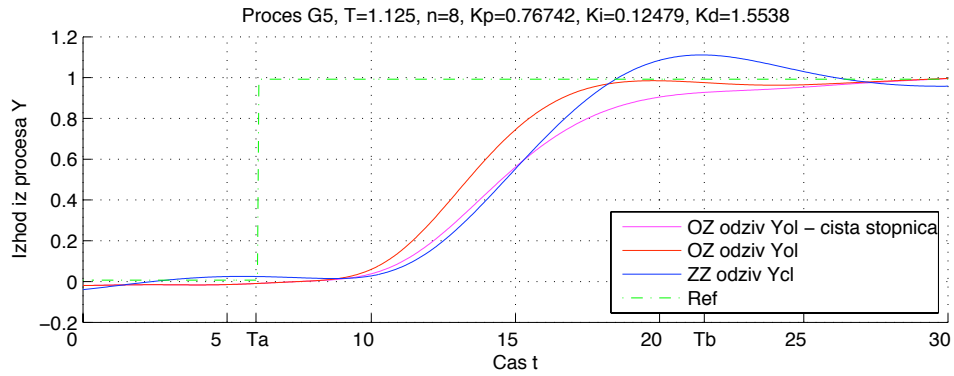
Slika 262: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P4}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



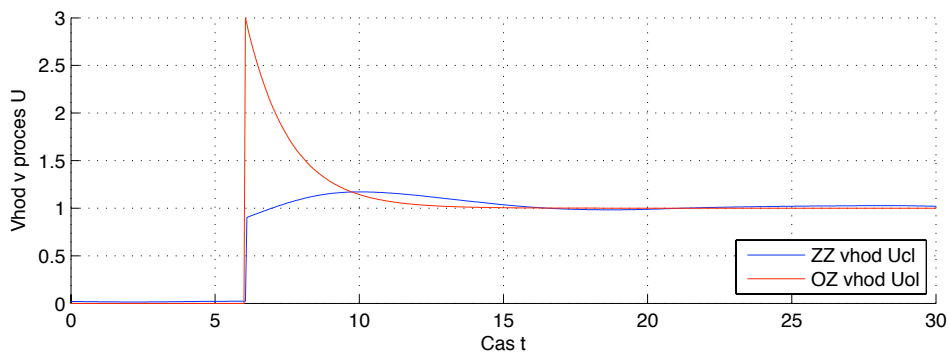
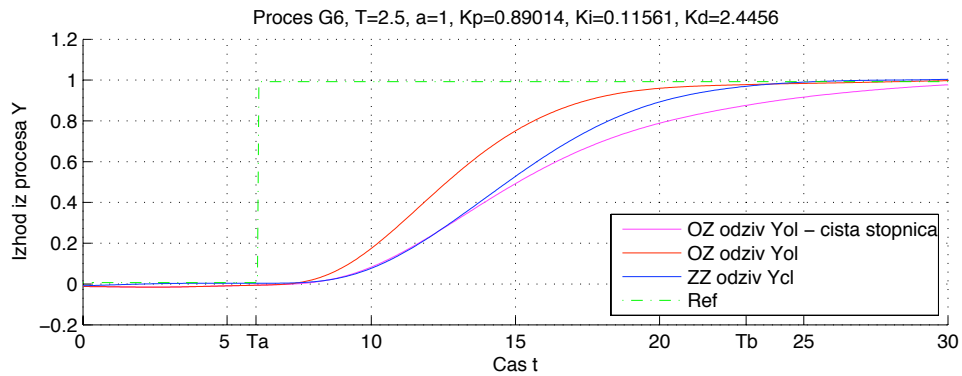
Slika 263: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 264: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

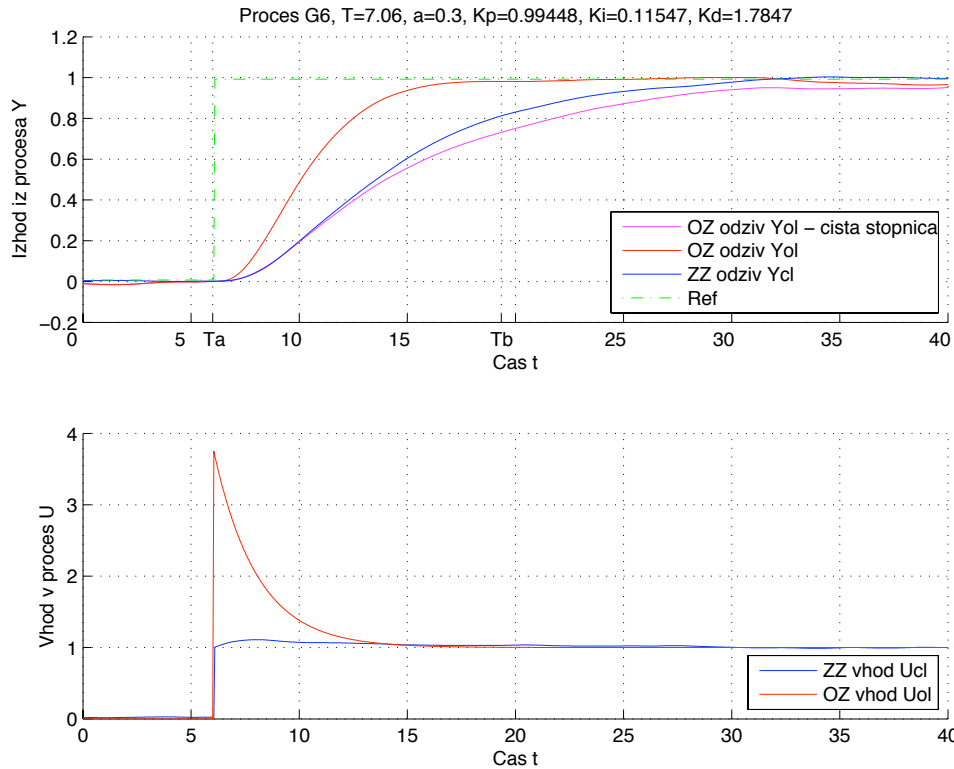


Slika 265: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P5}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

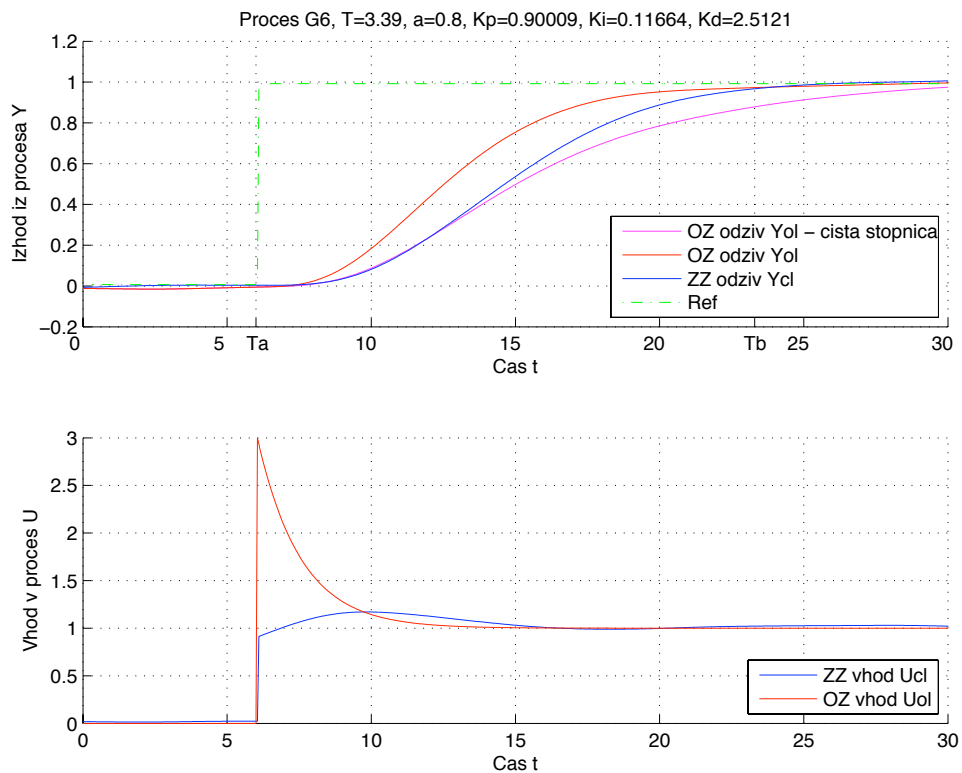


Slika 266: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

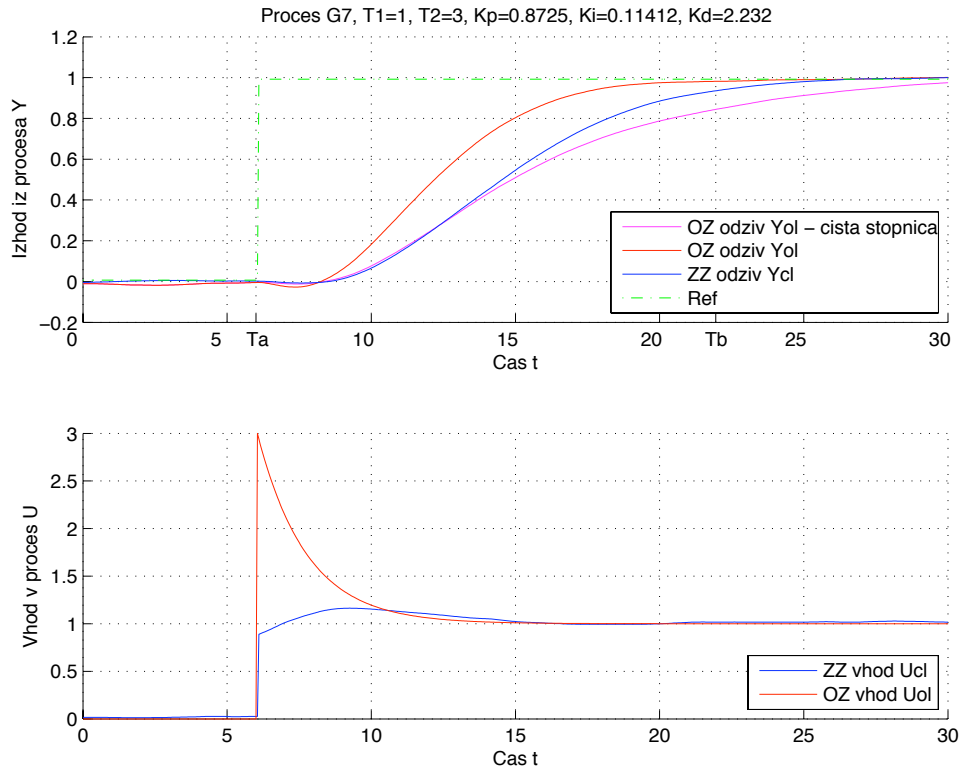




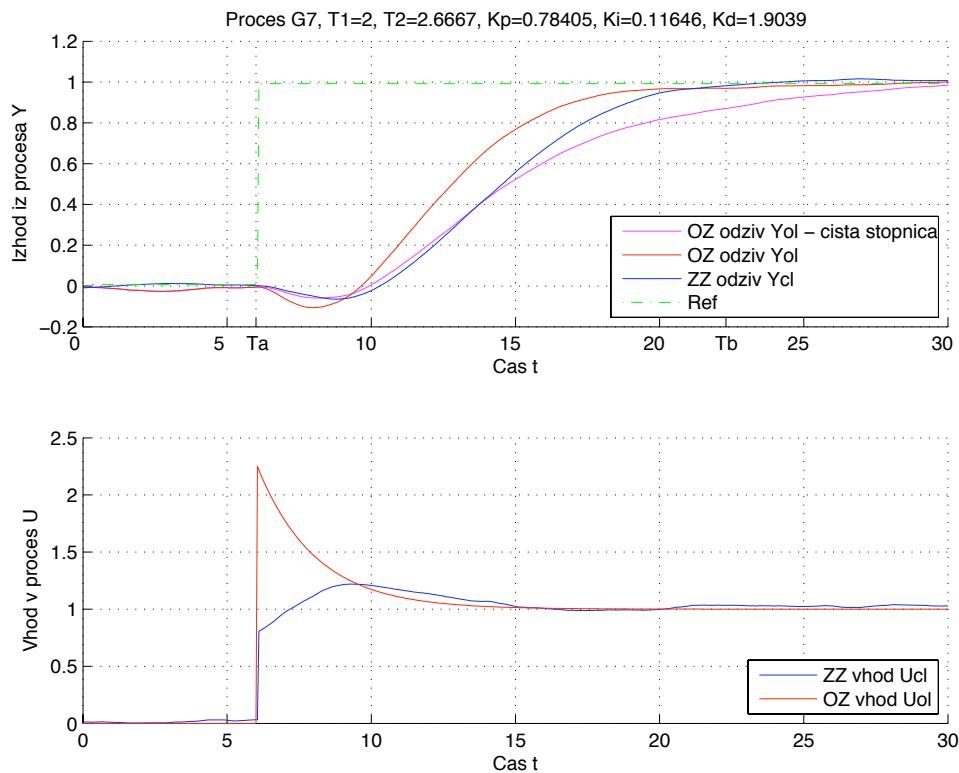
Slika 267: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



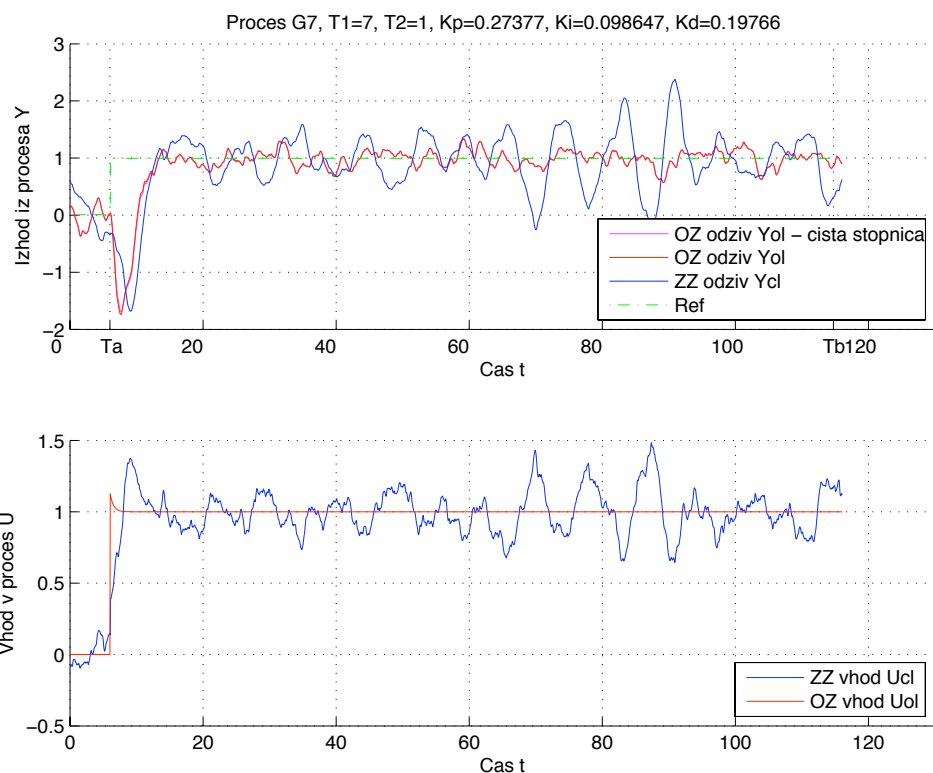
Slika 268: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P6}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



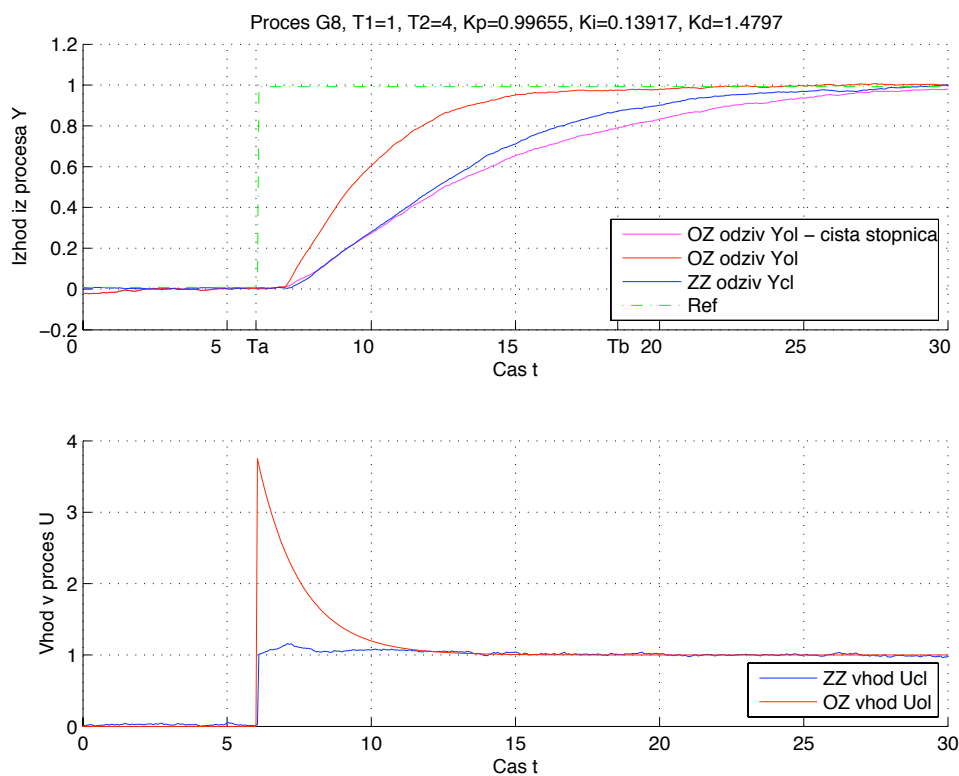
Slika 269: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



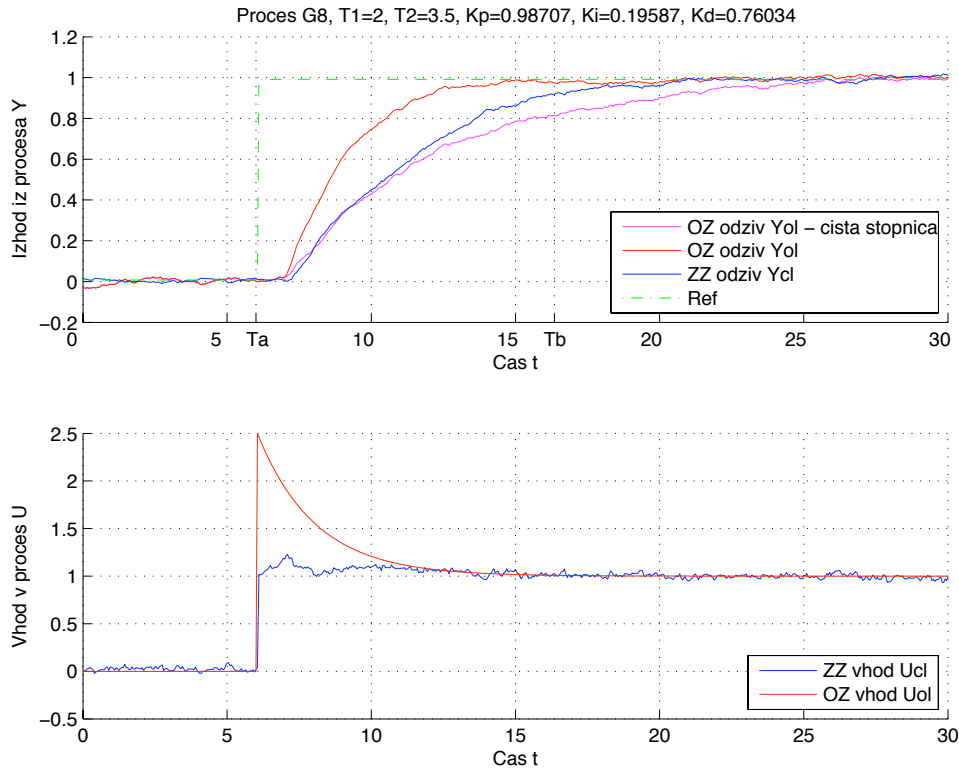
Slika 270: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



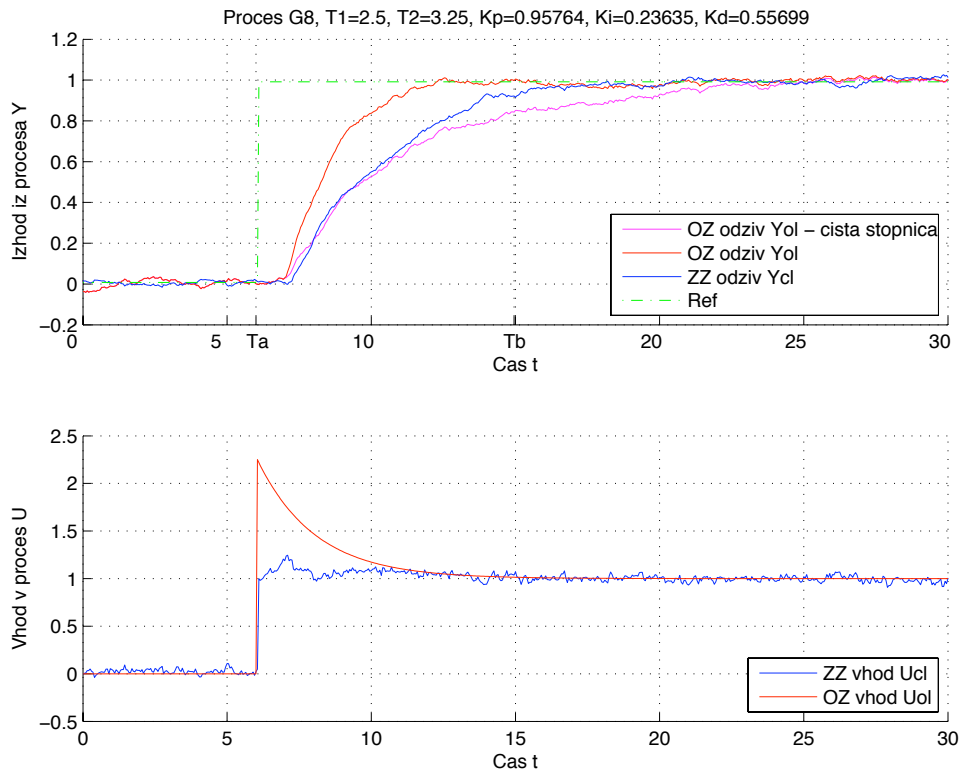
Slika 271: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P7}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



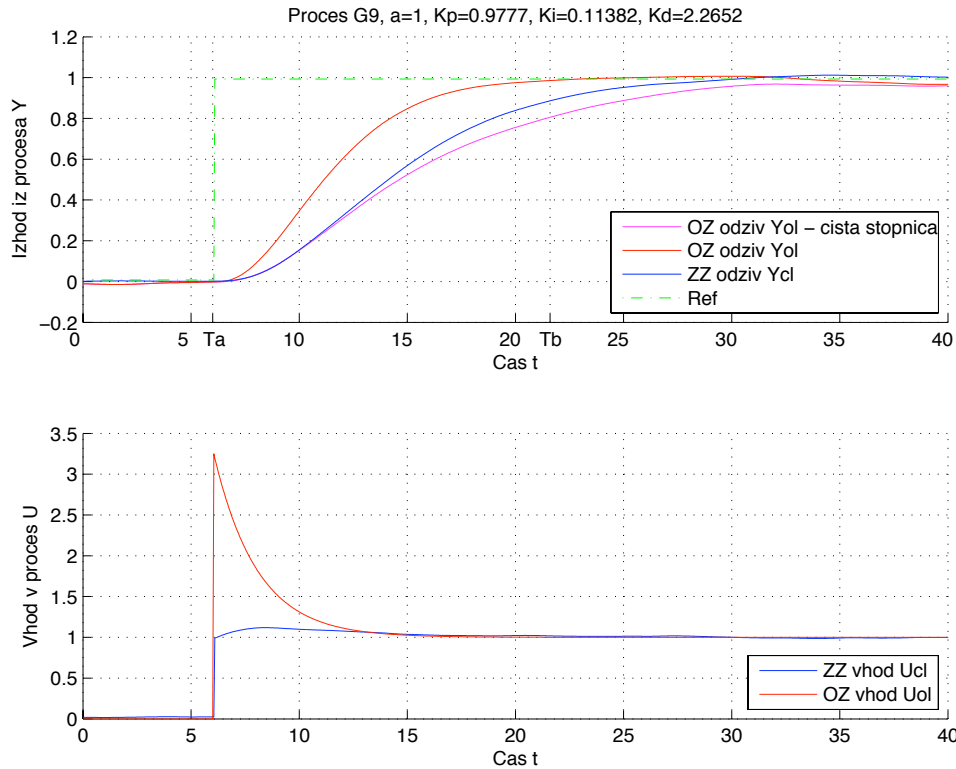
Slika 272: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



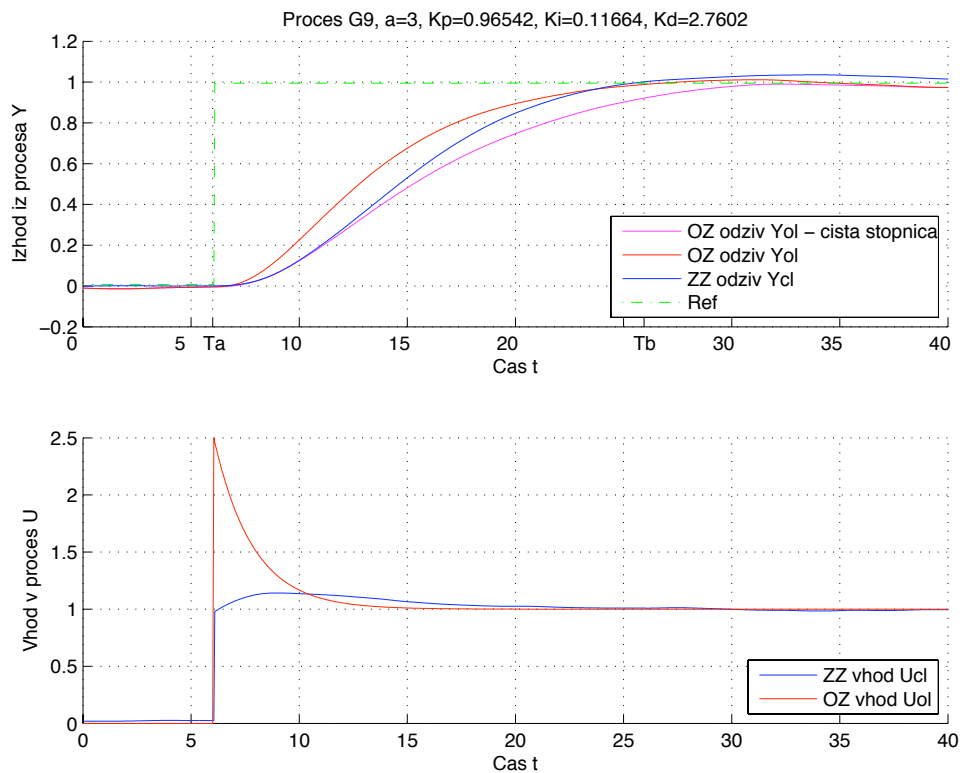
Slika 273: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



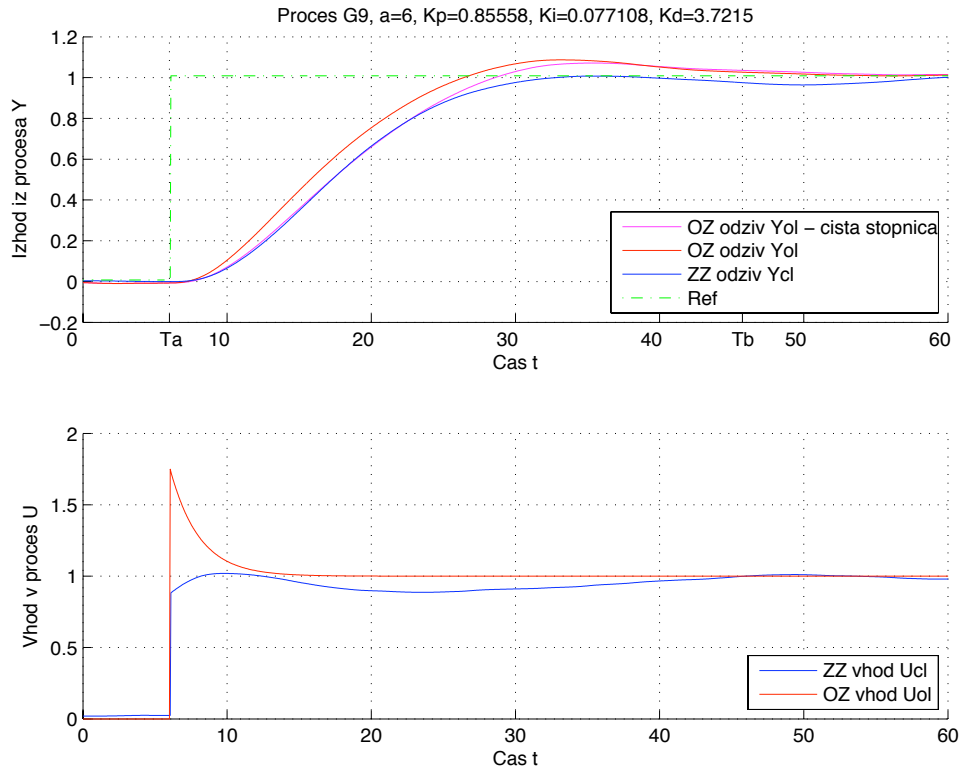
Slika 274: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P8}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 275: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

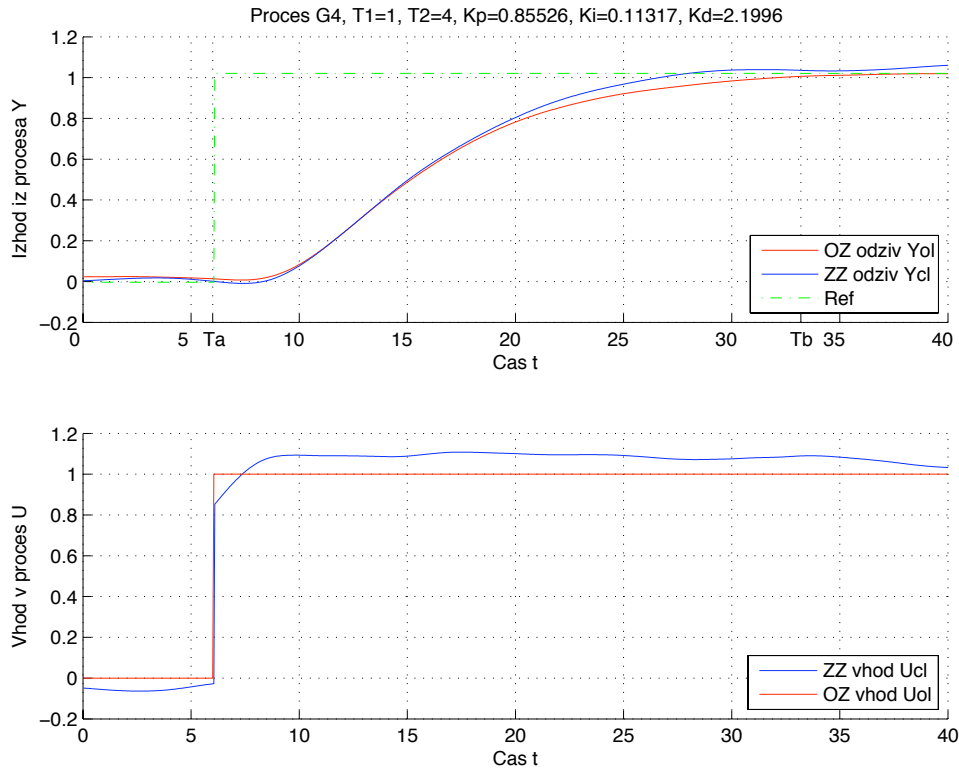


Slika 276: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

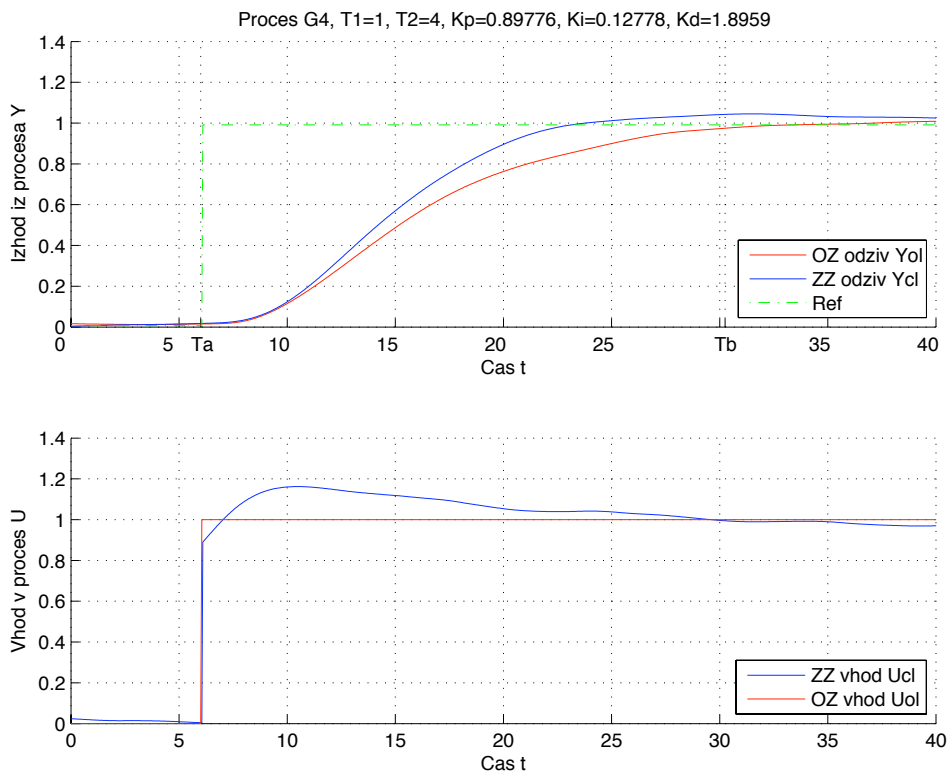


Slika 277: Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke modela procesa  $G_{P9}(s)$  (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

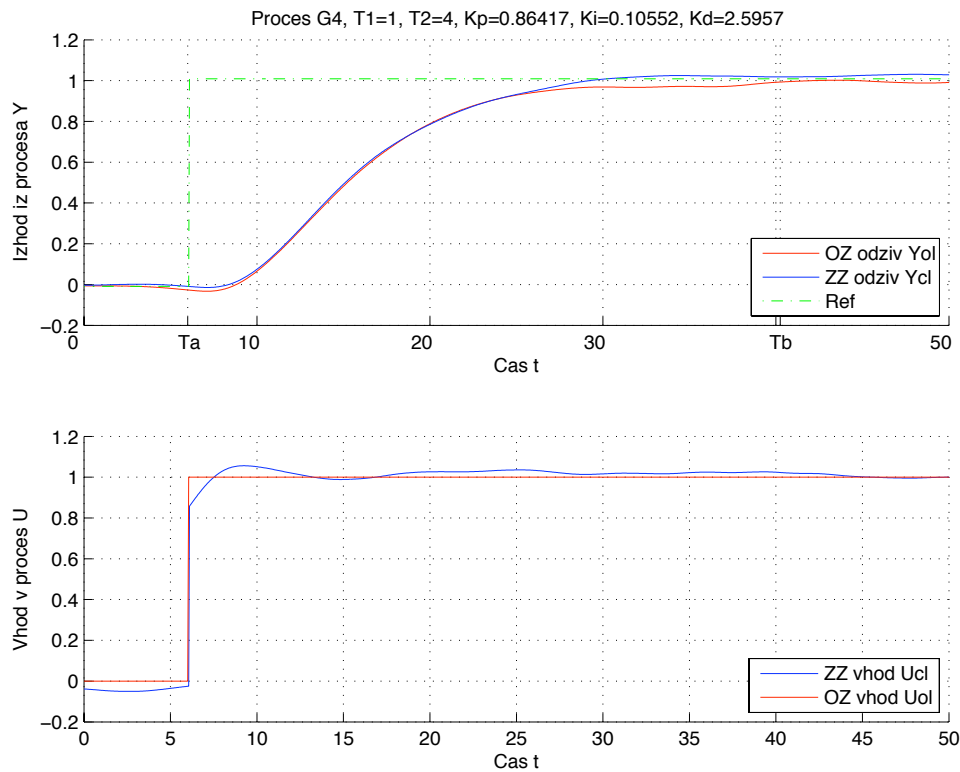
V primeru prisotnosti šuma na vhodu v proces (slike 197 – 277) se šum na izhod prenese preko filtra, ki ga pomeni model procesa sam, zato na izhodu šum ni tako opazen. Metoda enačenja se je tudi v tem primeru izkazala za relativno robustno, vendar nekoliko manj kot v primeru prisotnega šuma na izhodu iz procesa. Opazno je namreč manjše odstopanje zaprtozančnega odziva  $y_{CL}(t)$  od odprtozančnega odziva  $y_{OL}(t)$ , manj pa tudi odstopanje  $y_{CL}(t)$  pri sledenju referenci  $r_{CL}(t)$ . V večini primerov zaprtozančni odziv  $y_{CL}(t)$  prehiteva odprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$ , vendar se je izkazalo, da je to, v največji meri, posledica vrste šuma oziroma konstante šuma  $N_{seed}$ , ki je bila v zgornjih primerih enaka  $N_{seed}=100$ . Za primer vzemimo proces  $G_{P4}(s) = \frac{1}{(1+4s)^2(1+s)^2}$ , katerega odziv na stopničasto vzbujanje prikazuje slika 206. Slike 278 – 280 prikazuje podobne preizkuse na istem modelu procesa, le da smo izbrali različne konstante šuma  $N_{seed}$ , in sicer  $N_{seed}=200, 400$  in  $800$ .



Slika 278: Model procesa  $G_{P4}(s)$ , konstanta šuma Nseed=200



Slika 279: Model procesa  $G_{P4}(s)$ , konstanta šuma Nseed=400



Slika 280: Model procesa  $G_{P_4}(s)$ , konstanta šuma  $N_{seed}=800$

Opazimo, da je v primerih, ko je konstanta  $N_{seed}=200$  ali  $N_{seed}=800$ , delovanje boljše, saj je odstopanje med  $y_{cl}(t)$  in  $y_{ol}(t)$  bistveno manjše, tako da lahko zaključimo, da so odstopanja v zgornjih primerih vsaj deloma posledica vrste šuma.



## 4. Preizkus metode enačenja na realnih napravah

### 4.1 Motor-generator AMIRA DR300

#### **Opis naprave:**

Modelna naprava Amira DR-300 (slika 281) je namenjena študiju regulacije hitrosti vrtenja in regulacije kota osi vrtenja (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Glavna sestavna dela naprave sta komandni modul in mehanski sistem, ki ga sestavljata dva DC motorja in lamelna sklopka ter senzor hitrosti – taho generator oziroma senzor zasuka – inkrementalni dajalnik položaja.



Slika 281: Naprava Amira motor generator DR300.

Matematični model procesa je določen z enačbo:

$$U_a - E = R_a I_a + L_a \dot{I}_a \quad (15)$$

kjer je  $U_a$  napetost rotorja,  $E$  inducirana napetost v rotorju,  $I_a$  rotorski tok,  $R_a$  vsota upornosti v rotorskem krogu in  $L_a$  induktivnost v rotorskem krogu.

Inducirana rotorska napetost  $E$  je funkcija hitrosti vrtenja rotorja  $\omega$  in indukcijske konstante motorja  $K_b$ , tako velja

$$E = K_b \omega \quad (16)$$

Povezavo med mehanskim in električnim delom dobimo, če uporabimo moment, ki ga proizvaja motor

$$T_L = K_m I_a, \quad (17)$$

kjer je  $T_L$  proizveden moment,  $K_m$  momentna konstanta motorja in  $I_a$  rotorski tok.

Momentna ravnotežna enačba ima obliko

$$T_L = J\dot{\omega} + f\omega, \quad (18)$$

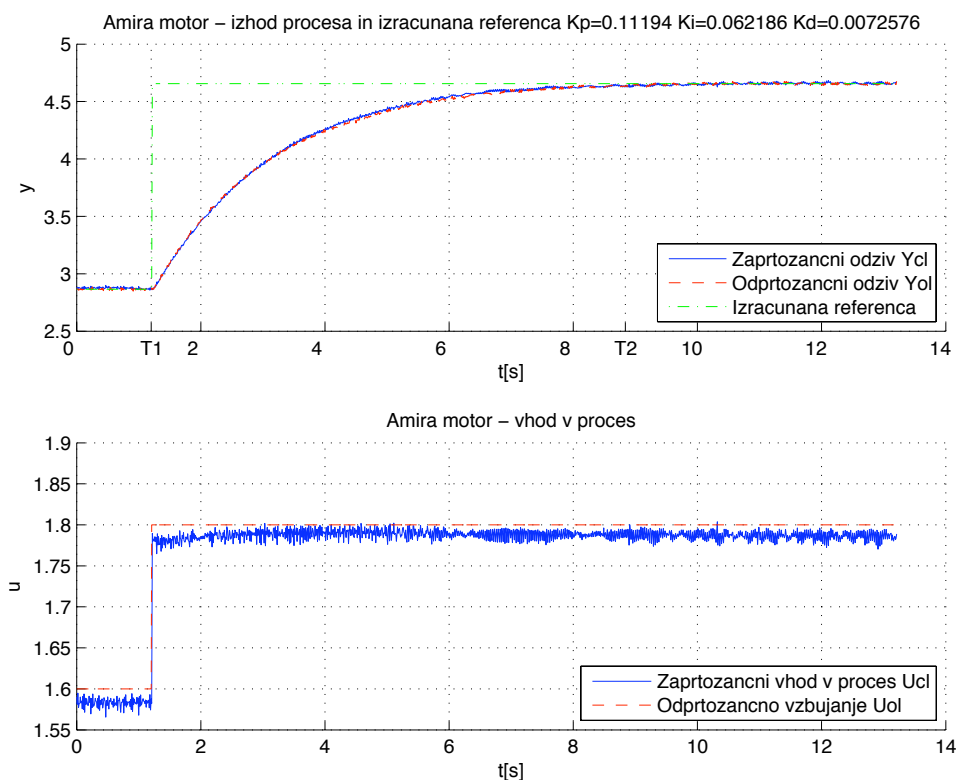
kjer je J vztrajnostni moment motorja in bremena ter f koeficient viskoznega dušenja. Sledi

$$\begin{aligned} U_a - E &= R_a I_a + L_a \dot{I}_a \\ U_a - K_b \omega &= R_a \frac{T_L}{K_m} + L_a \frac{\dot{T}_L}{K_m} \\ U_a &= \ddot{\omega} \left[ \frac{L_a J}{K_m} \right] + \dot{\omega} \left[ \frac{R_a J}{K_m} + f \right] + \omega \left[ \frac{R_a f}{K_m} + K_b \right] \end{aligned} \quad (19)$$

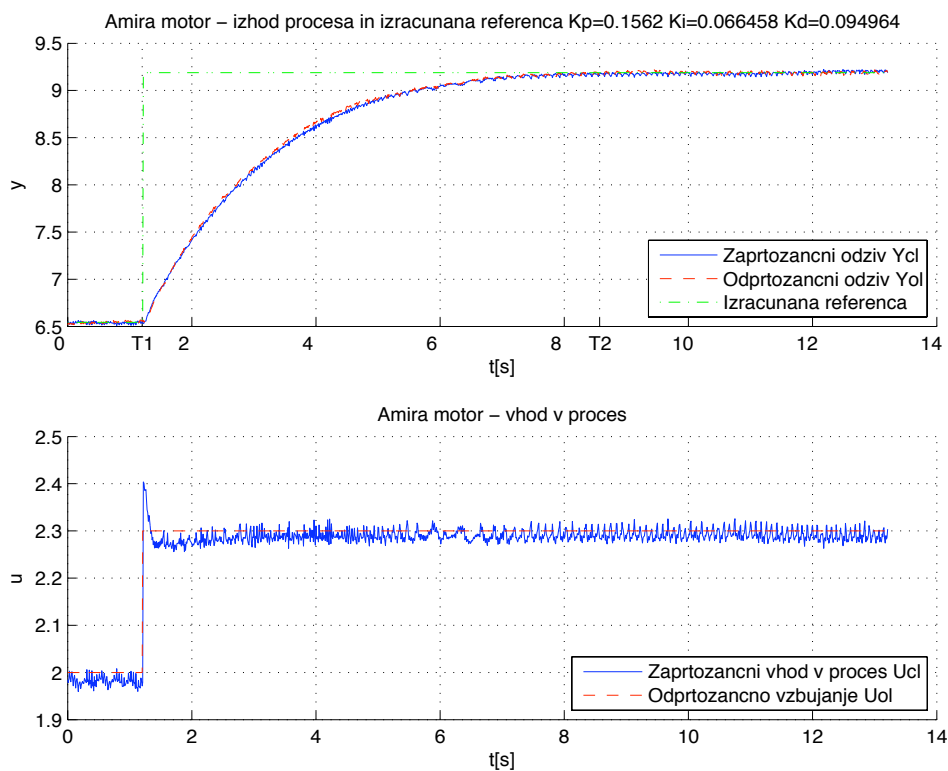
### Rezultati meritev

Slike 282 – 308 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo hitrosti vrtenja motorja. V naslovih grafov so prikazani tudi izračunani parametri Kp, Ki in Kd za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.01s$ .

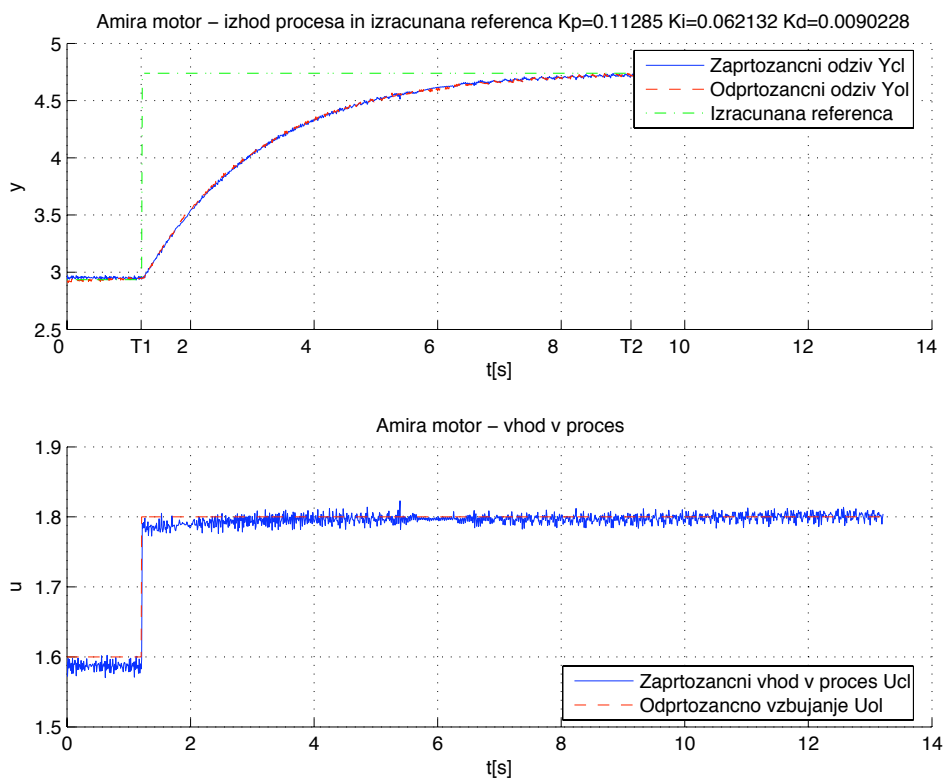
### Stopničasto odprtozračno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



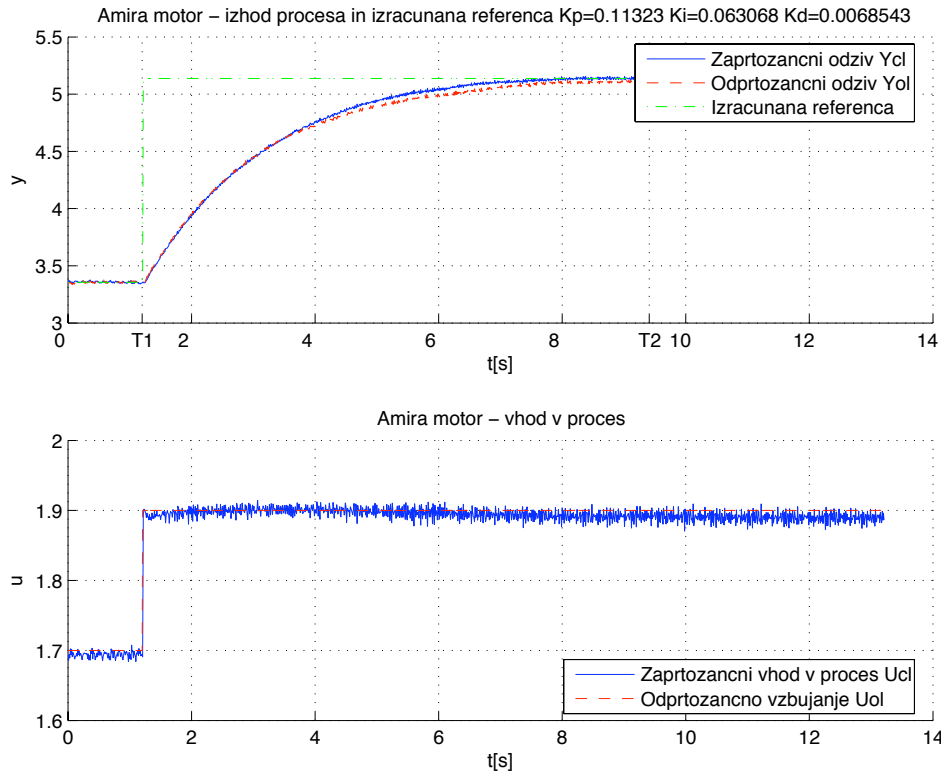
Slika 282: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



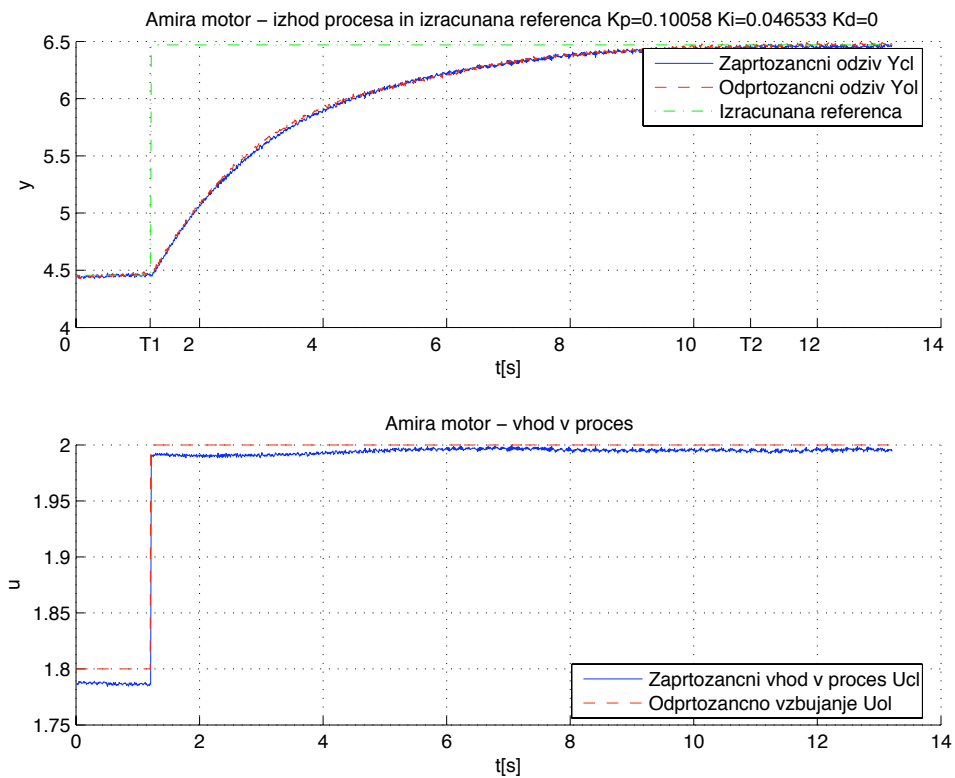
Slika 283: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



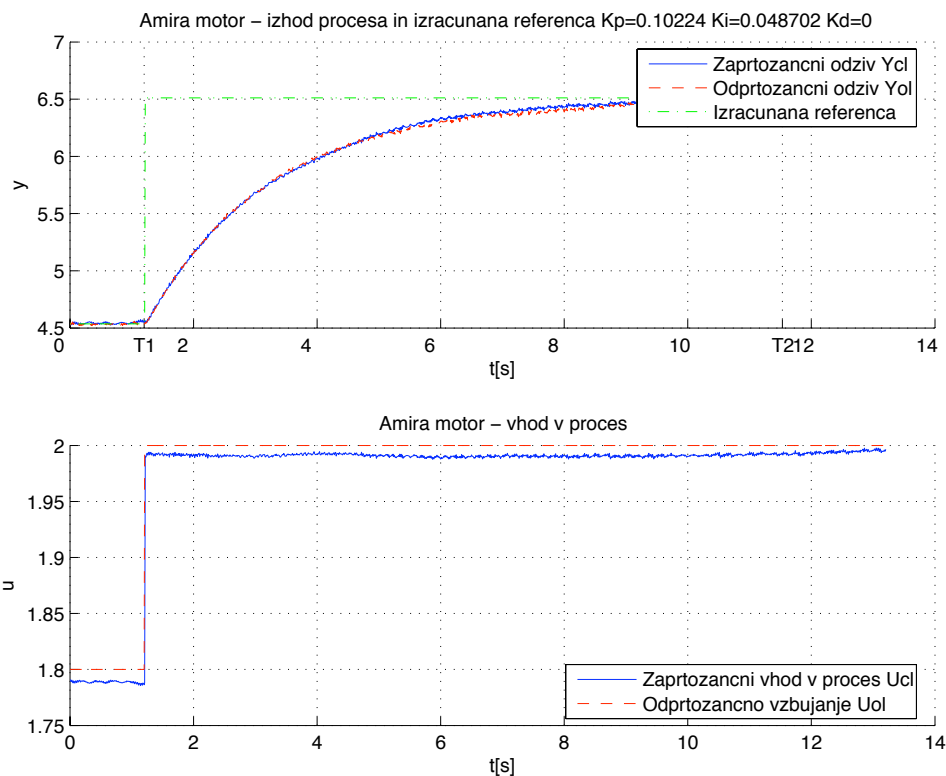
Slika 284: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



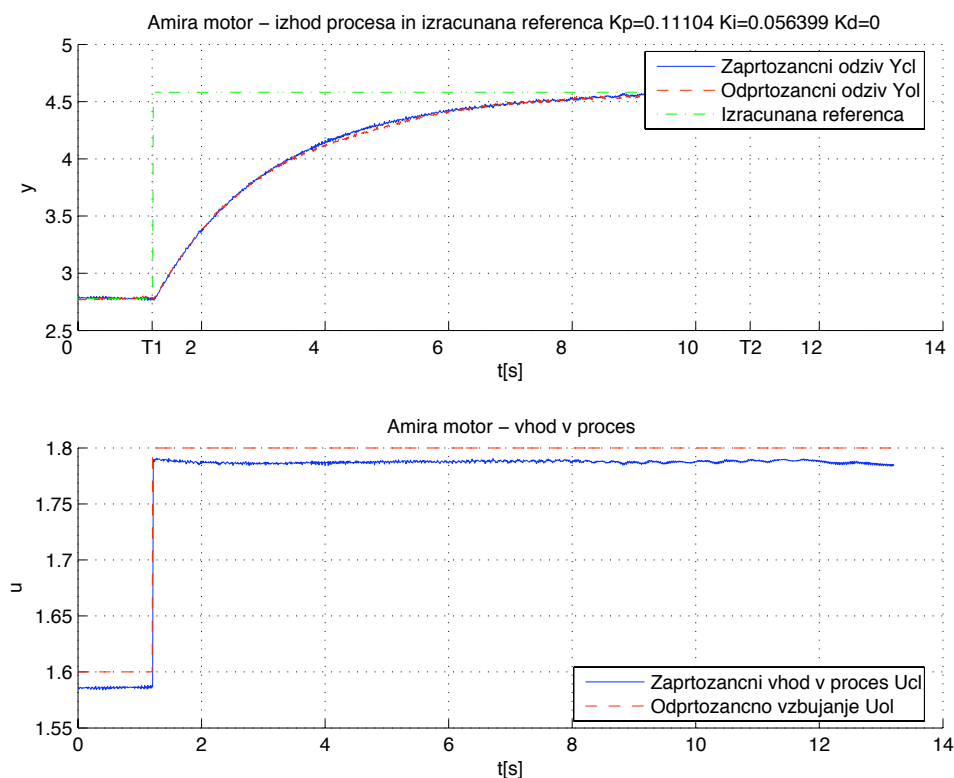
Slika 285: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



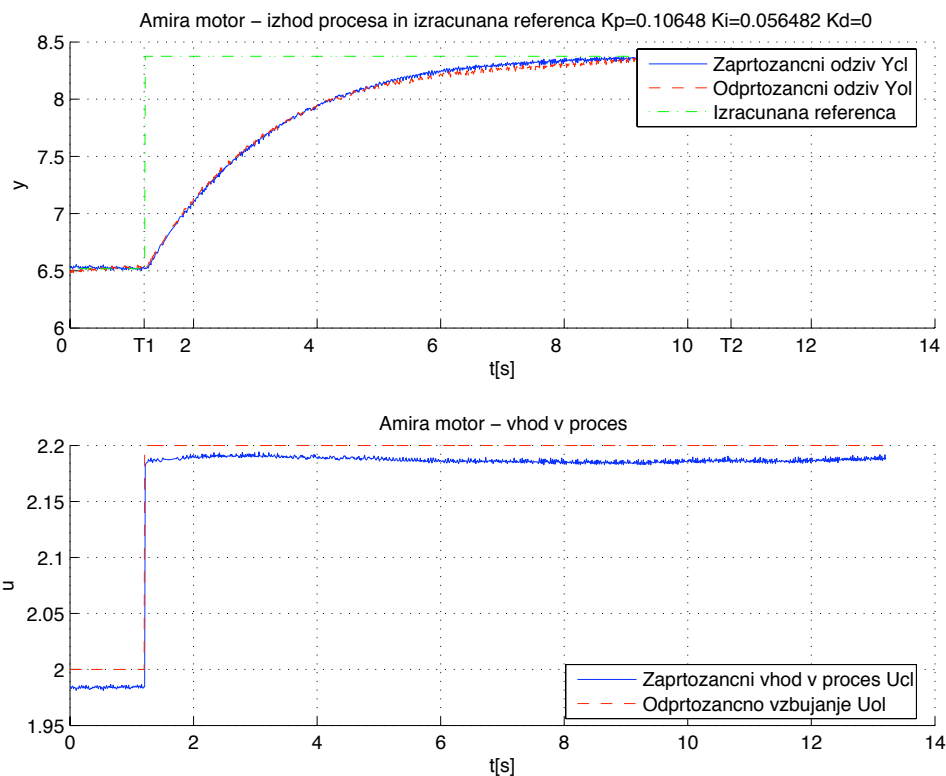
Slika 286: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



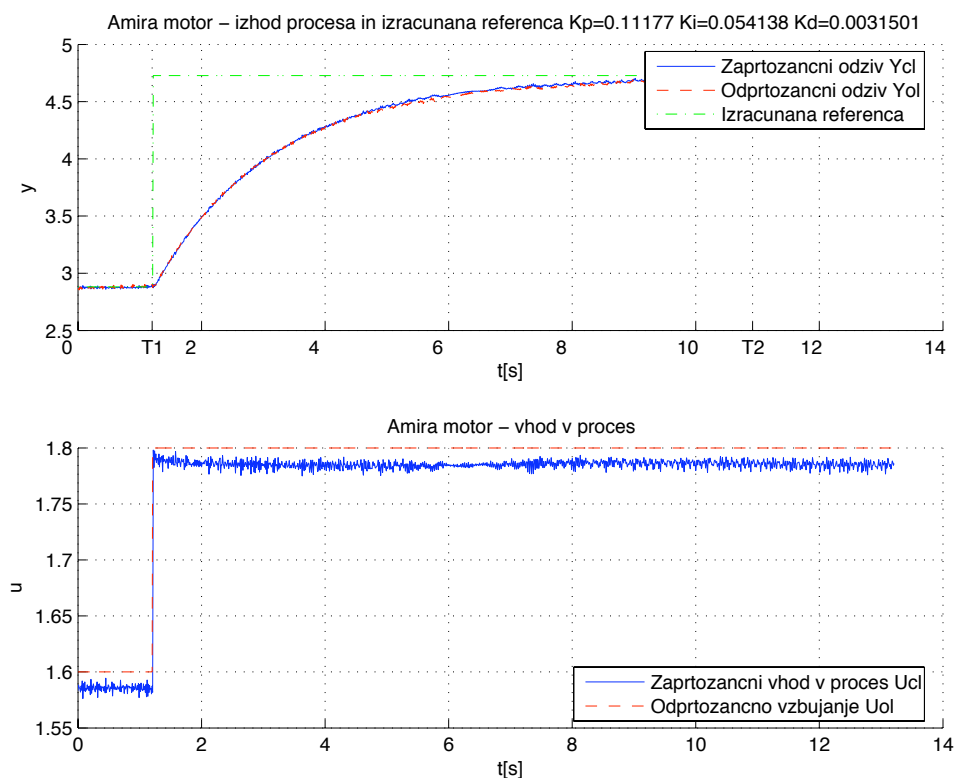
Slika 287: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 288: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

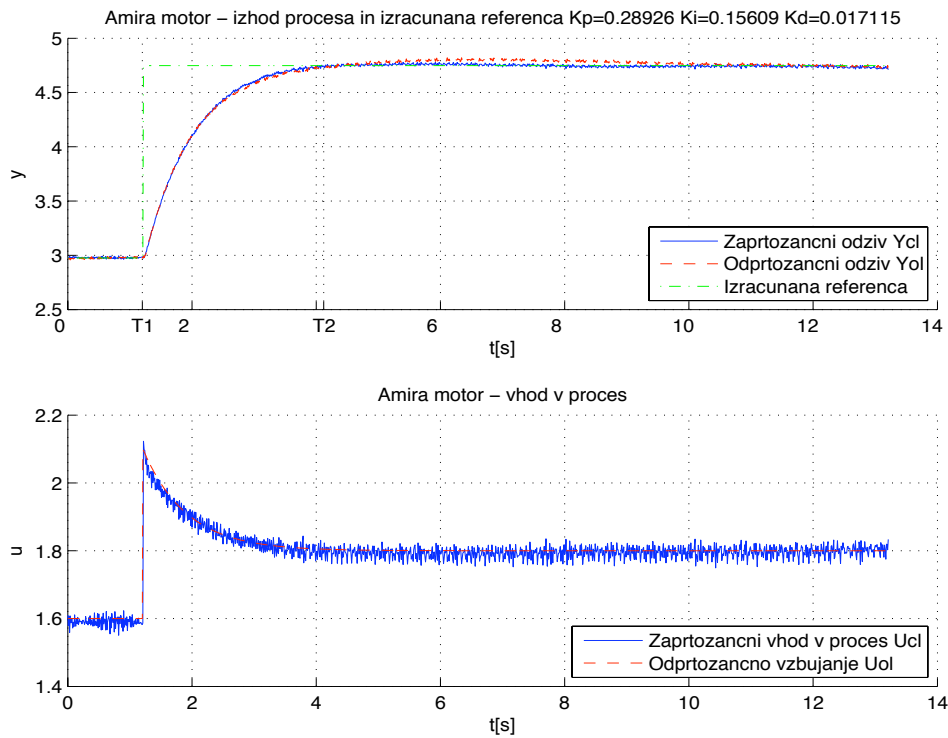


Slika 289: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtoznančni in zaprtznančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtoznančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

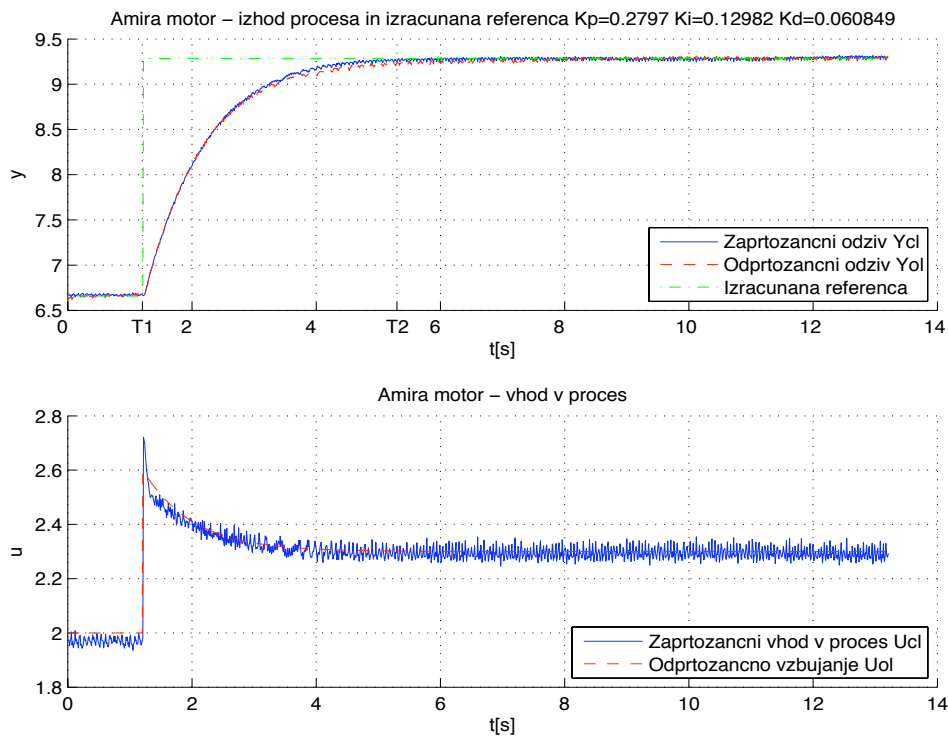


Slika 290: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtoznančni in zaprtznančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$  uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtoznančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

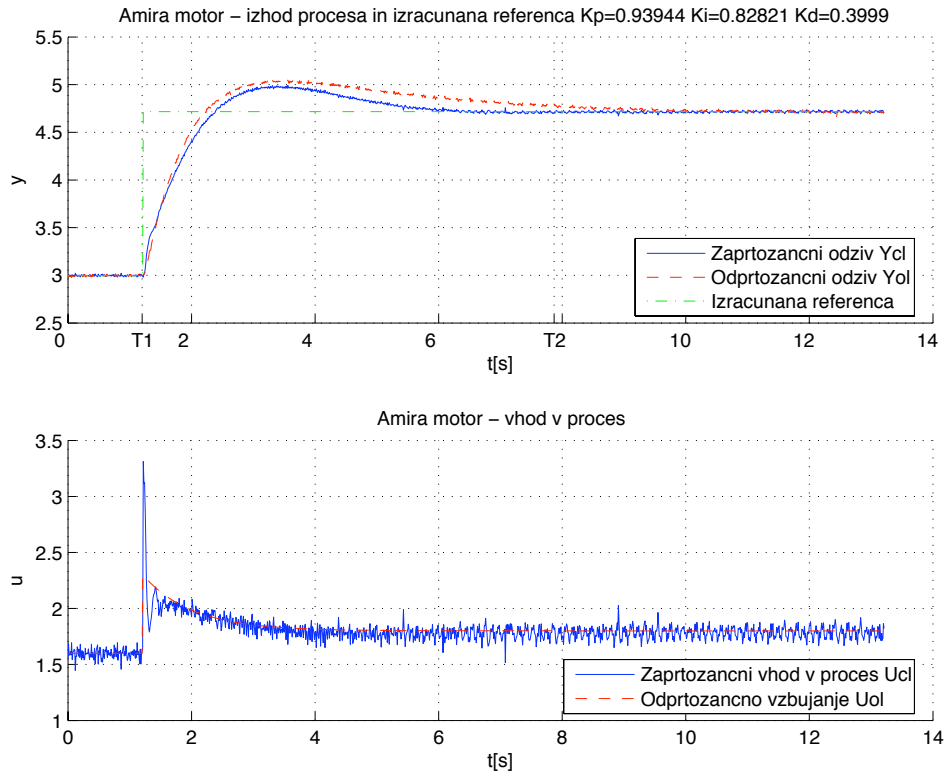
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



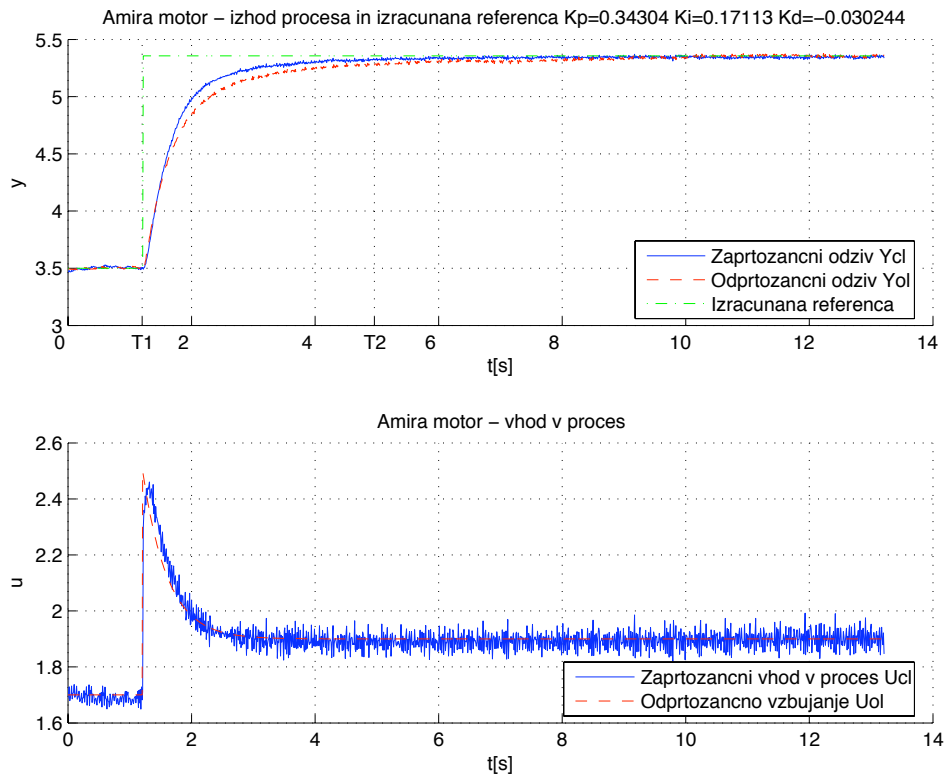
Slika 291: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 292: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

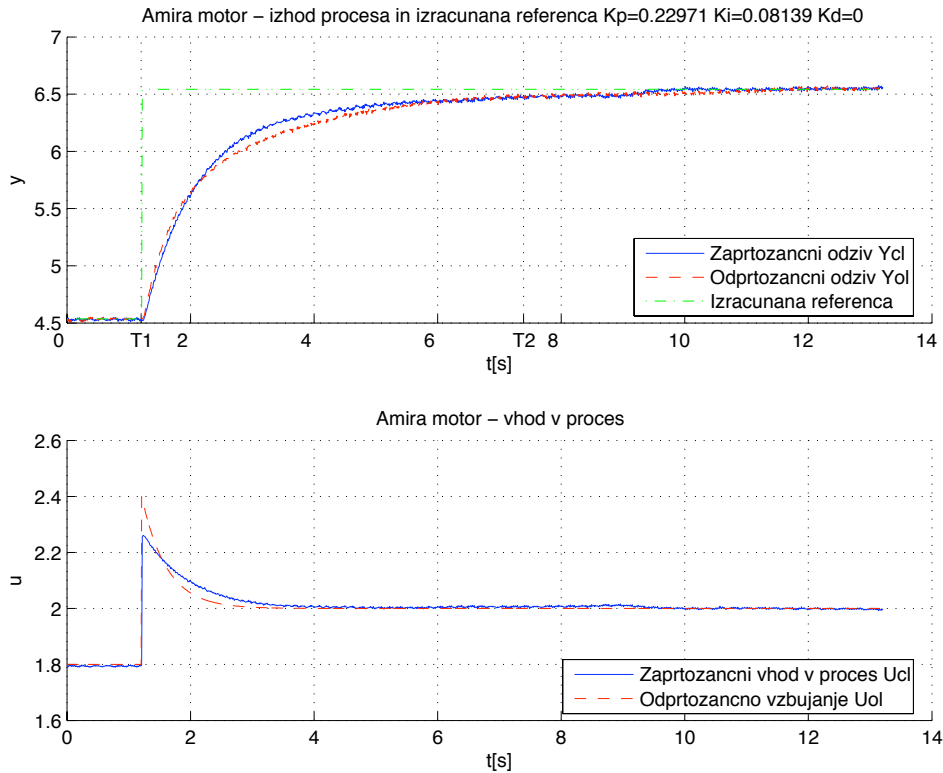


Slika 293: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

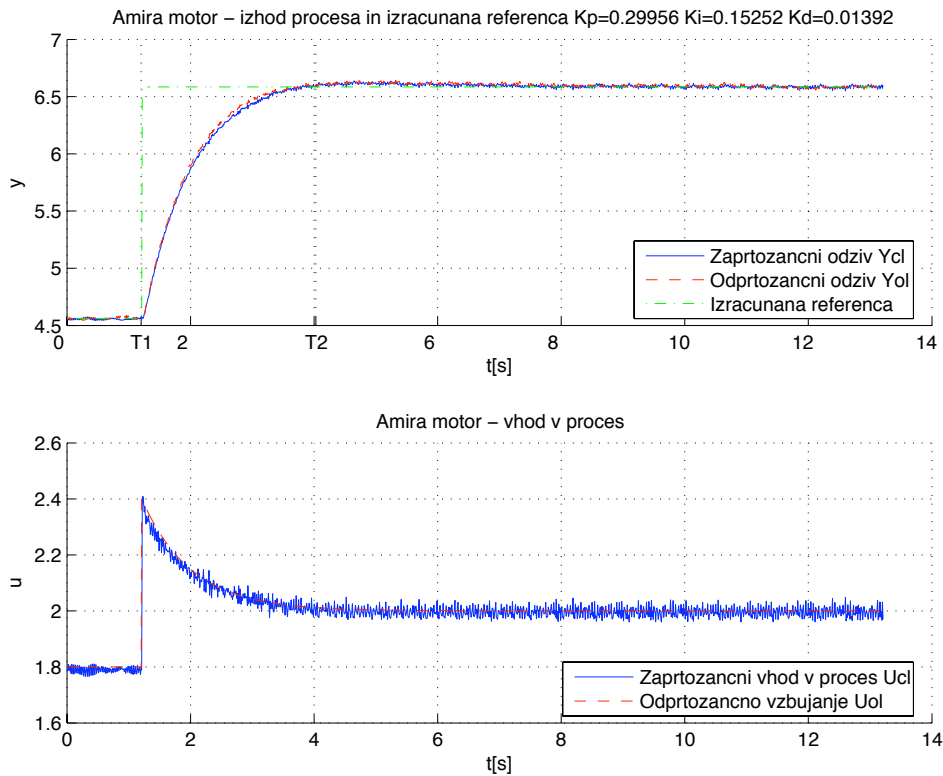


Slika 294: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

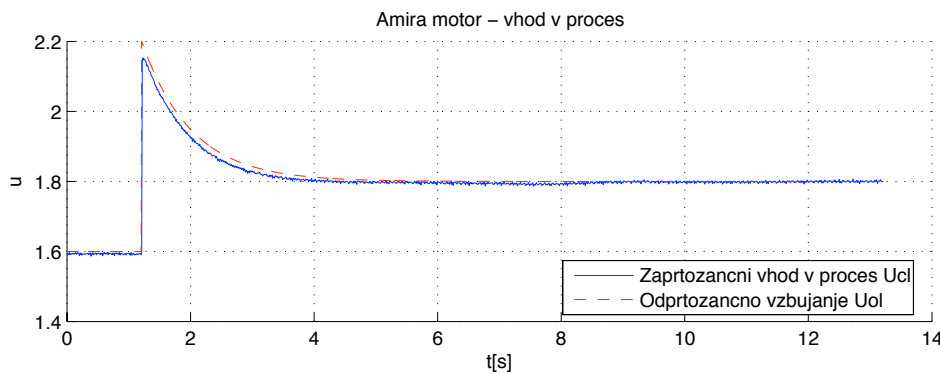
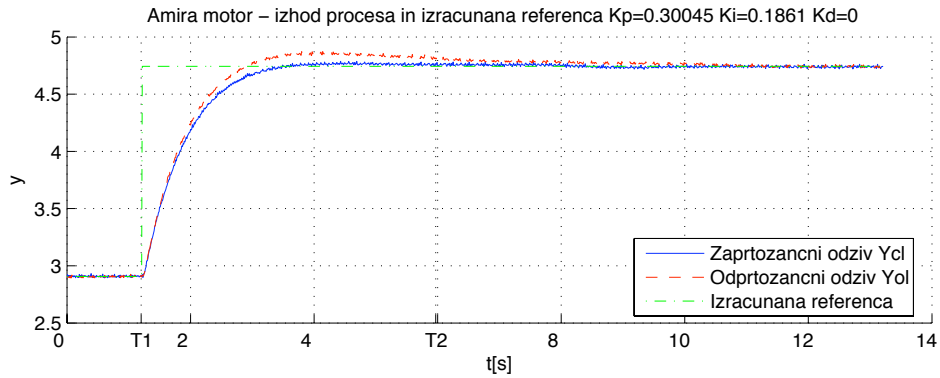




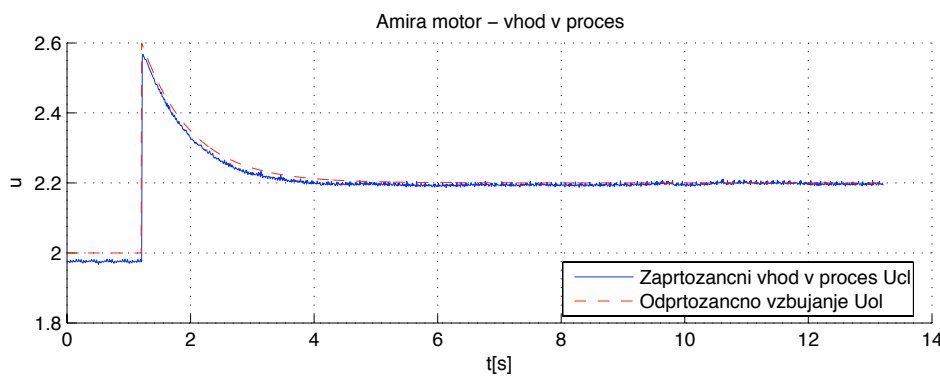
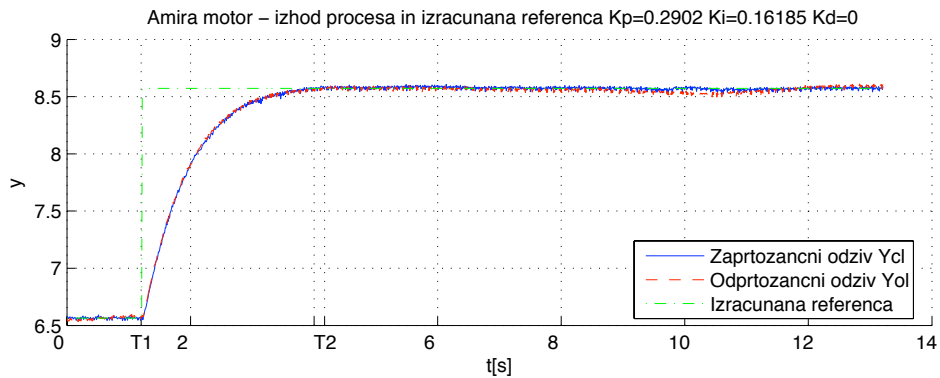
Slika 295: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



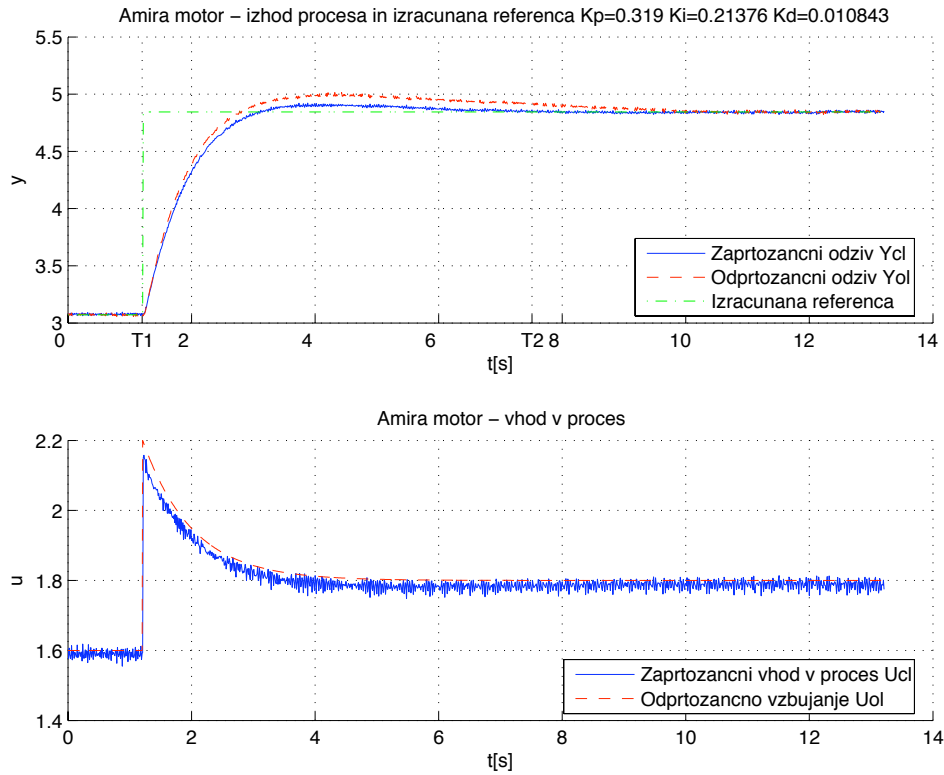
Slika 296: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 297: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

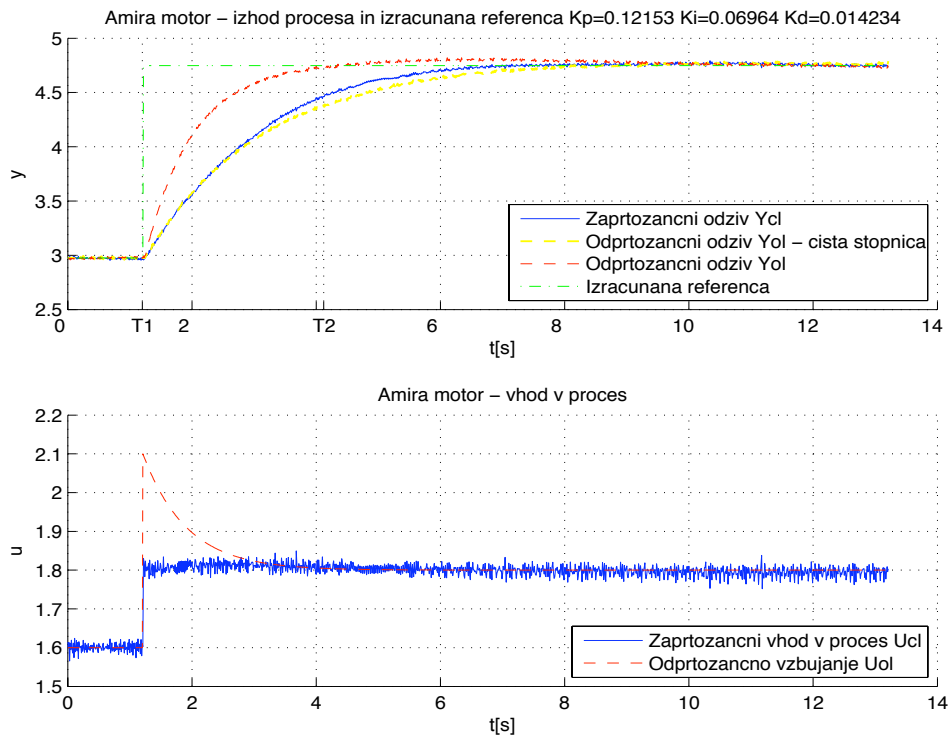


Slika 298: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

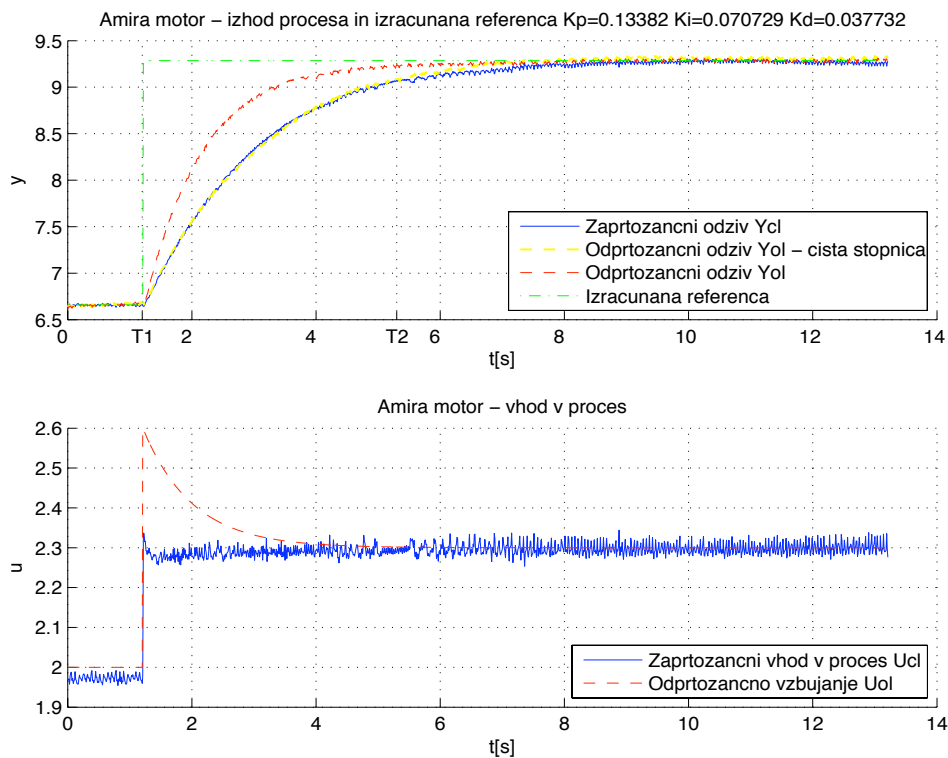


Slika 299: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

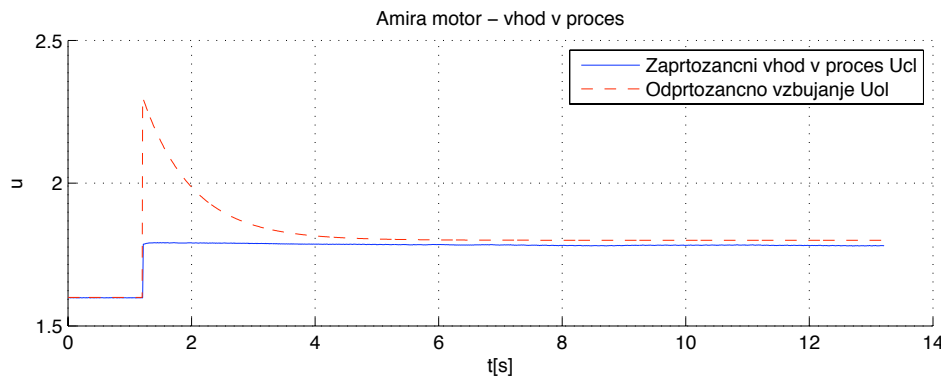
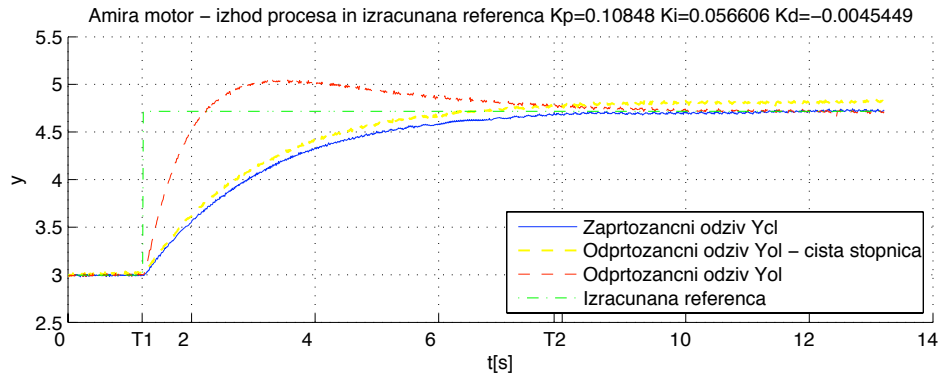
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



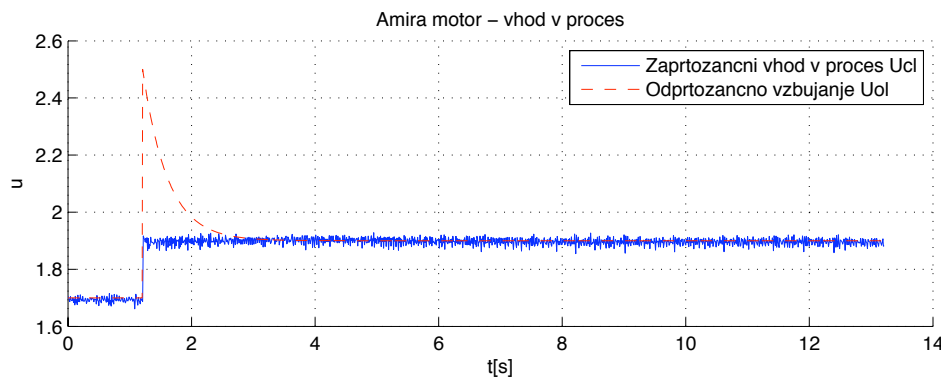
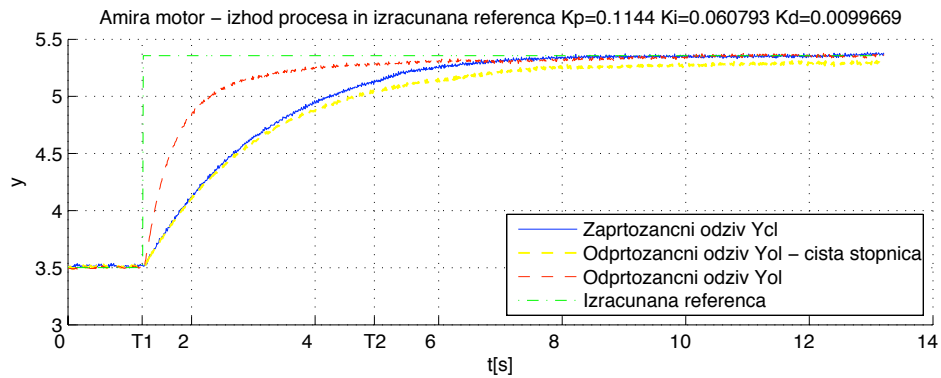
Slika 300: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



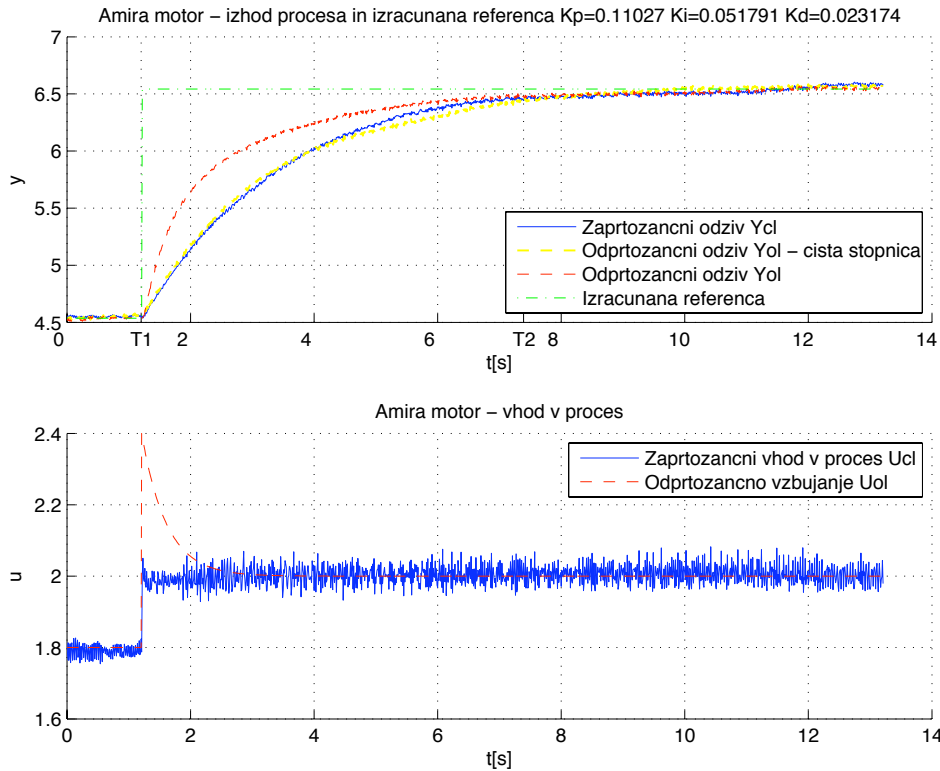
Slika 301: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



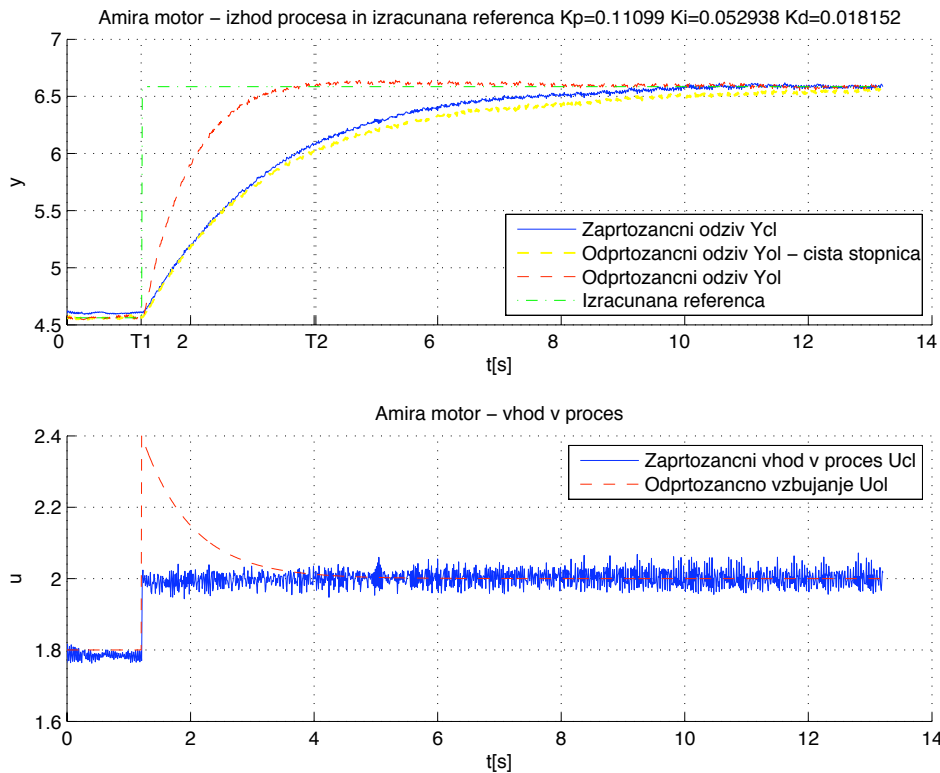
Slika 302: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



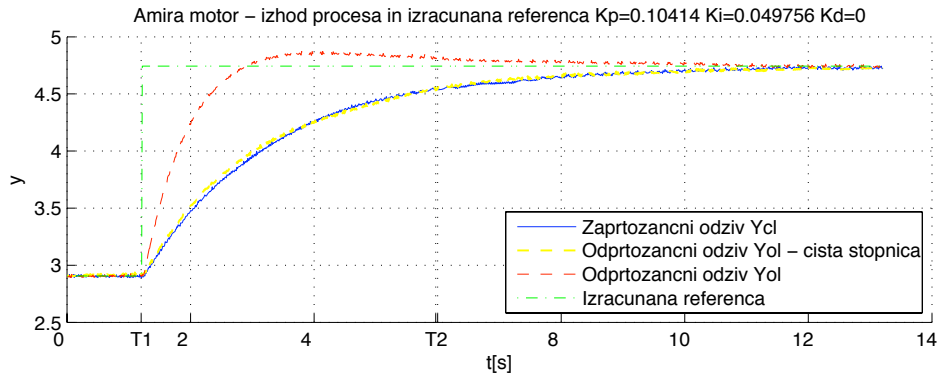
Slika 303: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



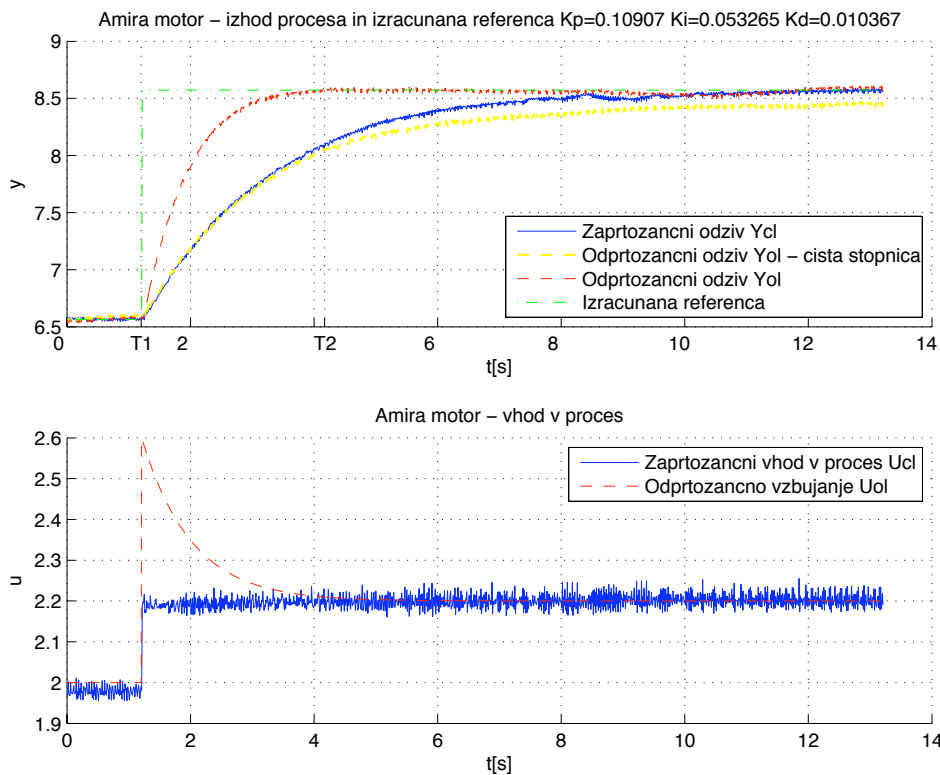
Slika 304: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



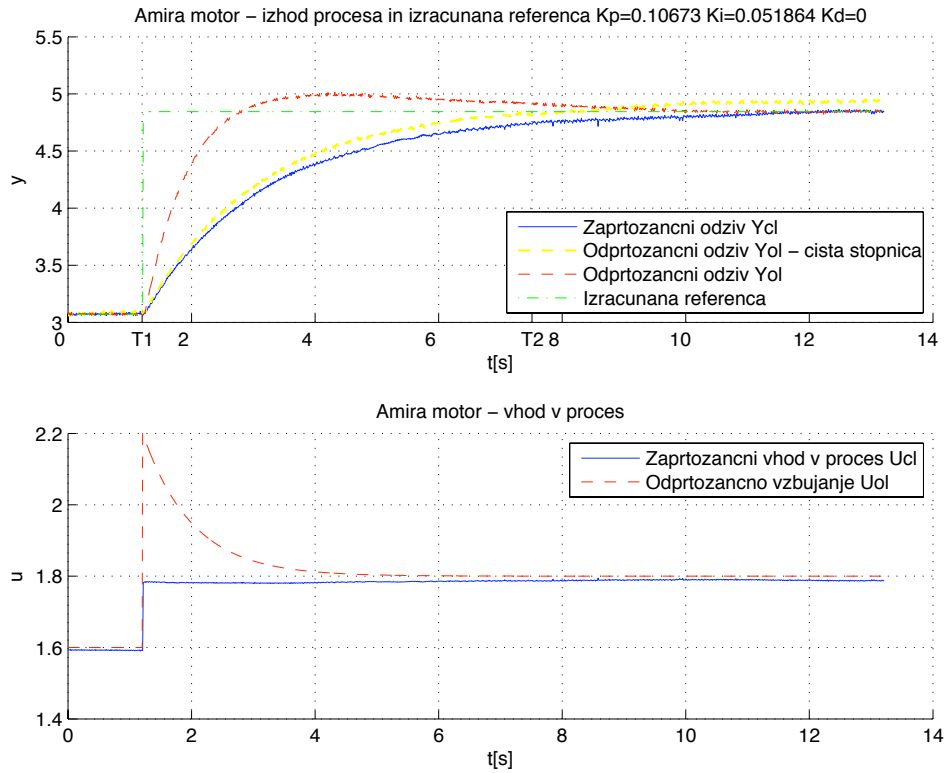
Slika 305: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 306: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 307: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 308: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



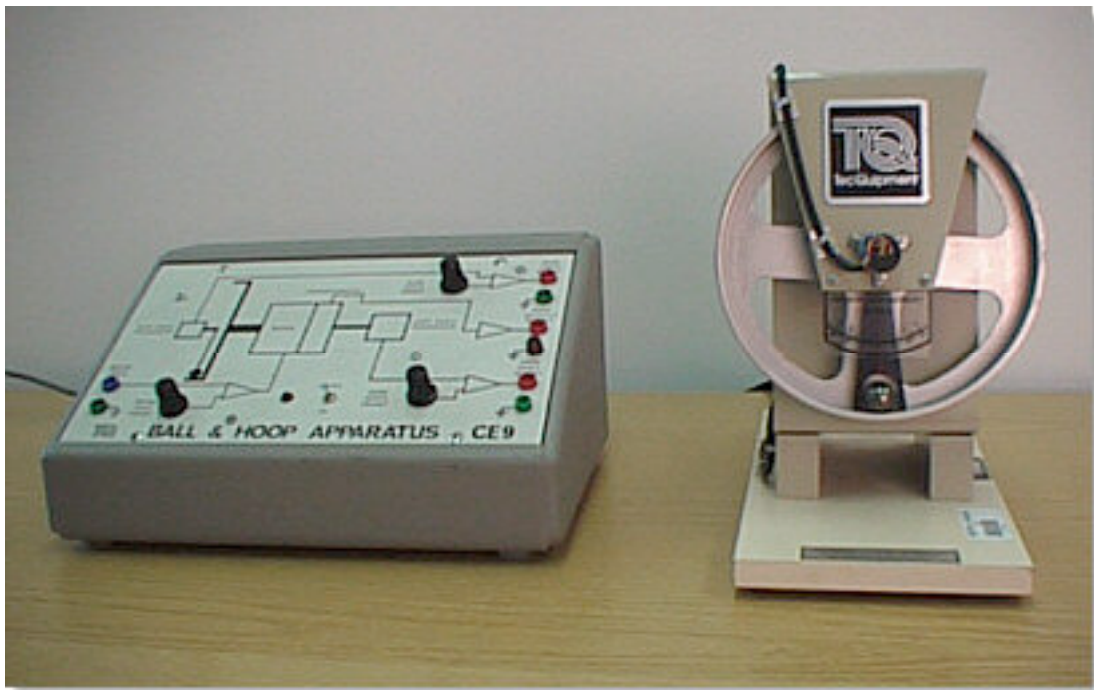
## 4.2 Obroč s kroglico TQ CE9

### Opis naprave

Osnovni deli naprave so obroč, kroglica, merilnik odmika kroglice in vmesnik za zajem signalov (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Vhodna veličina predstavlja napetost vbujanja enosmernega motorja  $u$ , ki je preko osi povezan z obročem.

Merimo lahko naslednje izhodne veličine:

- kotno hitrost vrtenja obroča oz. motorja,
- kotni položaj obroča,
- odklon kroglice od mirovnega položaja.



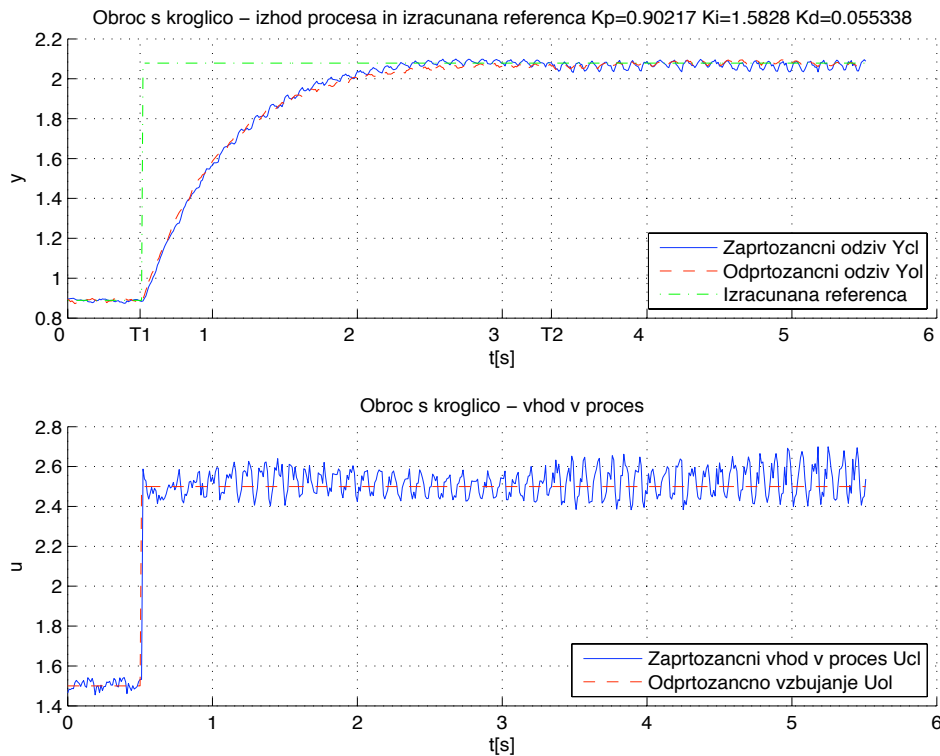
Slika 309: Naprava obroč s kroglico TQ CE9.

Odklon kroglice je v največji meri odvisen od pospeška obroča, kajti kroglica se znatno odklanja le ob spremembah hitrosti motorja, pri konstantni hitrosti pa se vrne skoraj v ravnovesno lego. Glede na omenjeno ugotovitev in glede na to, da je naprava že obrabljena, saj pri večjih hitrostih vrtenja obroča kroglica zaradi tresenja pade iz utora v obroču, sem se odločil regulirati hitrost vrtenja obroča brez kroglice v utoru.

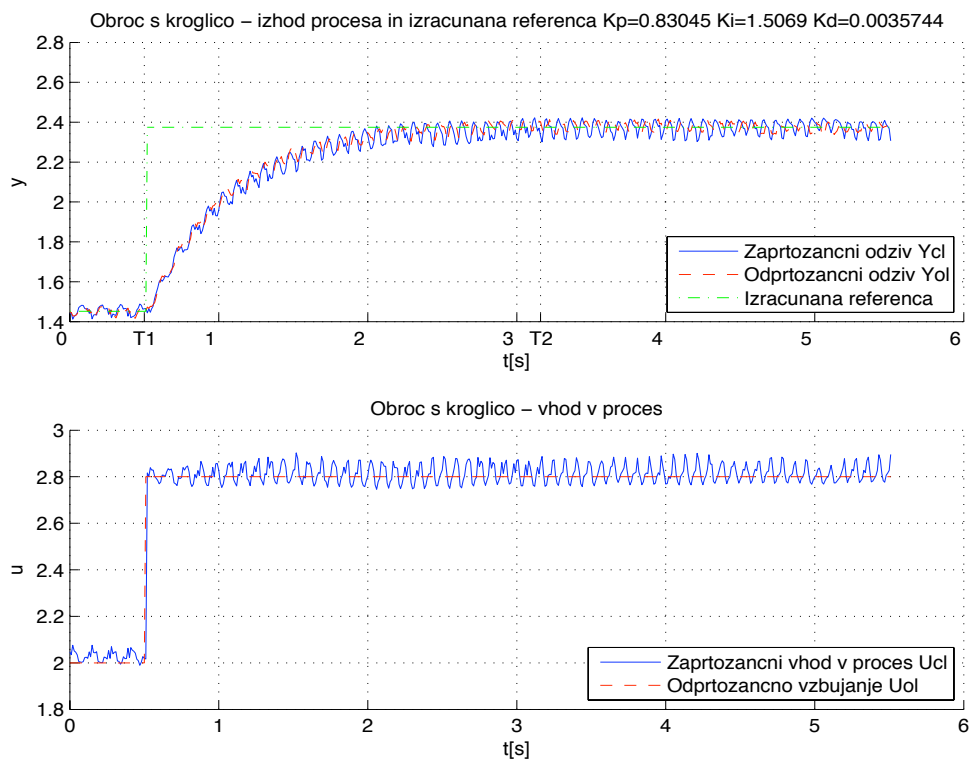
## Rezultati meritev

Slike 310 – 339 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo hitrosti vrtenja obroča. V naslovih grafov so prikazani tudi izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.01s$ .

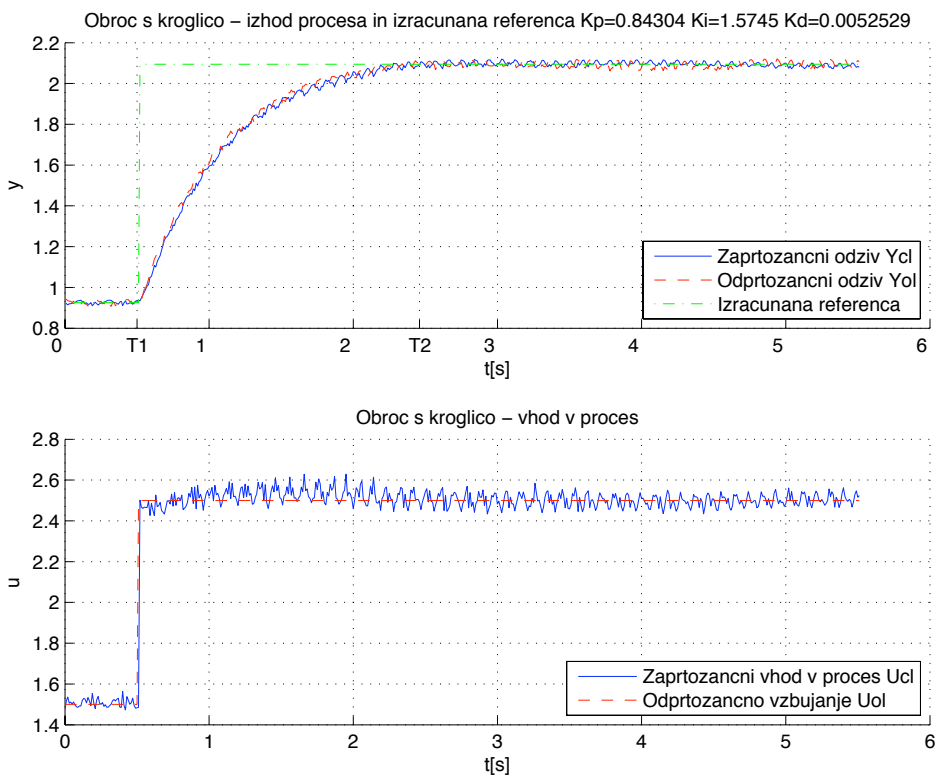
### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



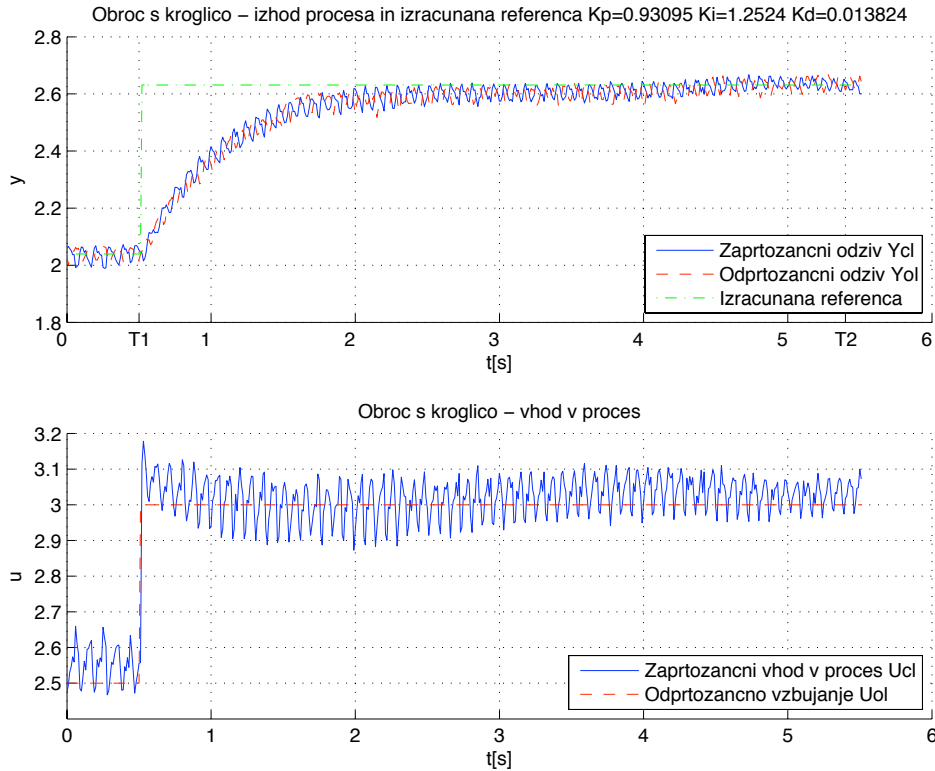
Slika 310: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



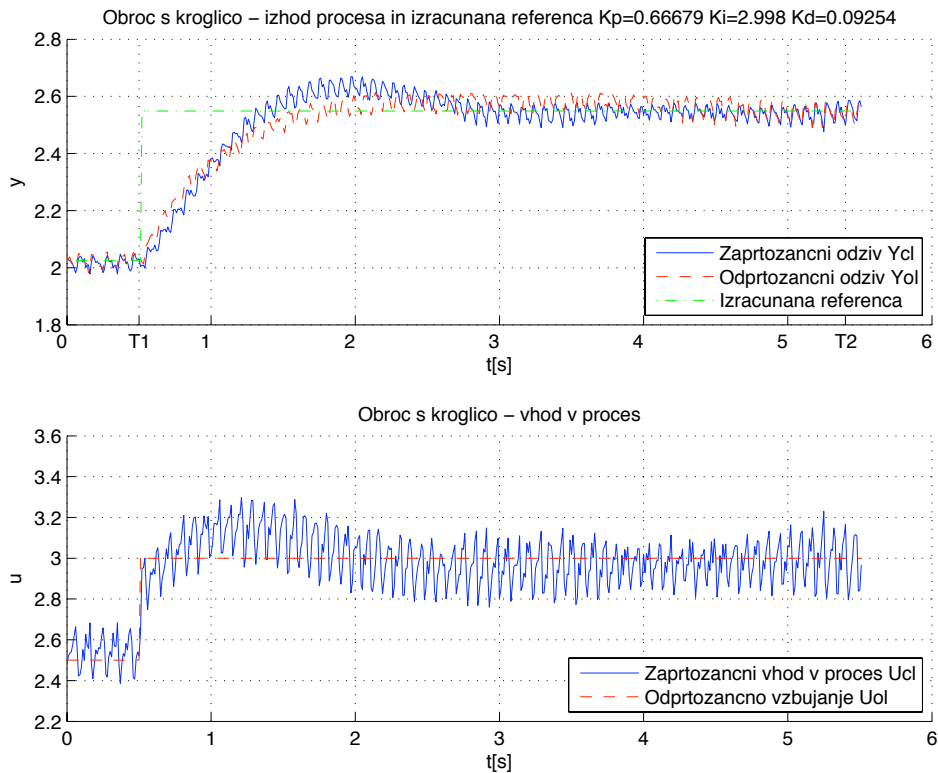
Slika 311: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



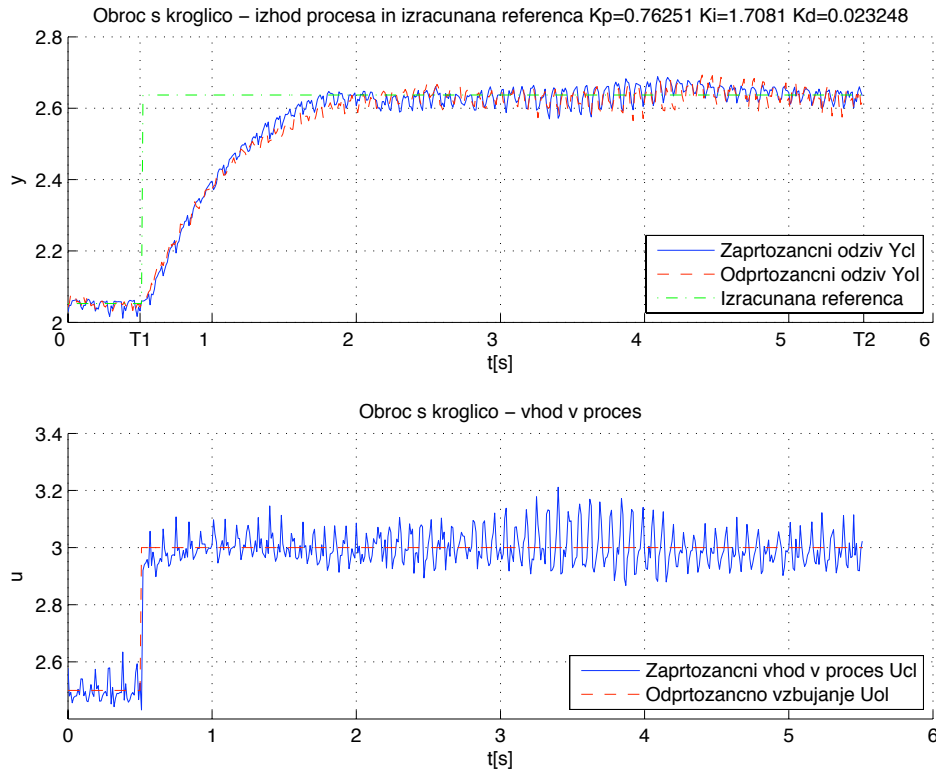
Slika 312: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



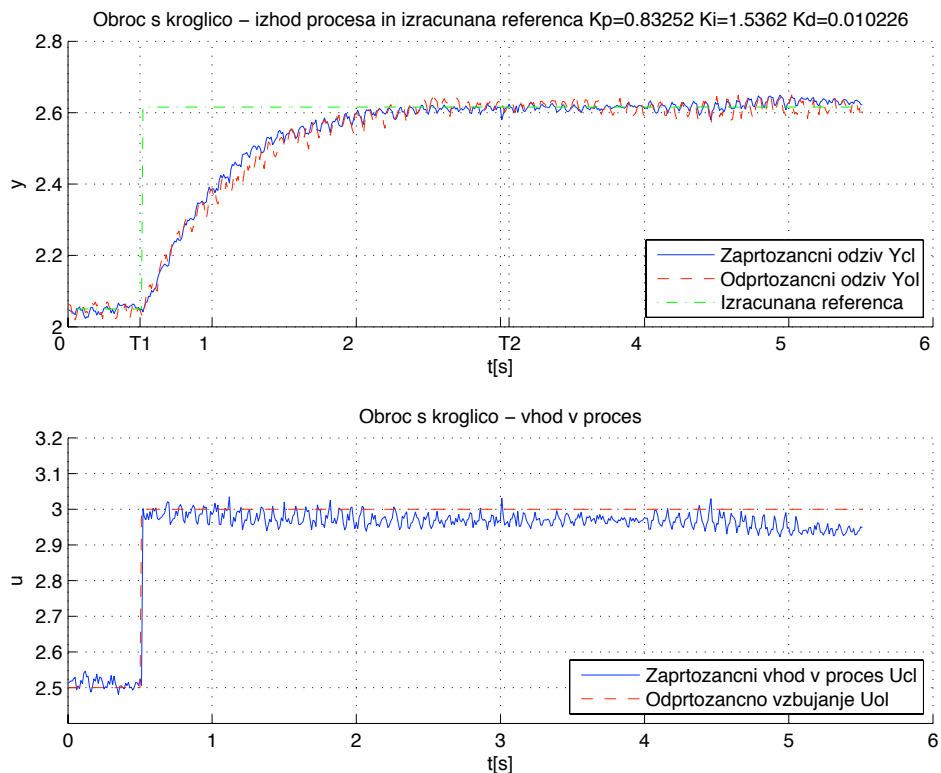
Slika 313: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



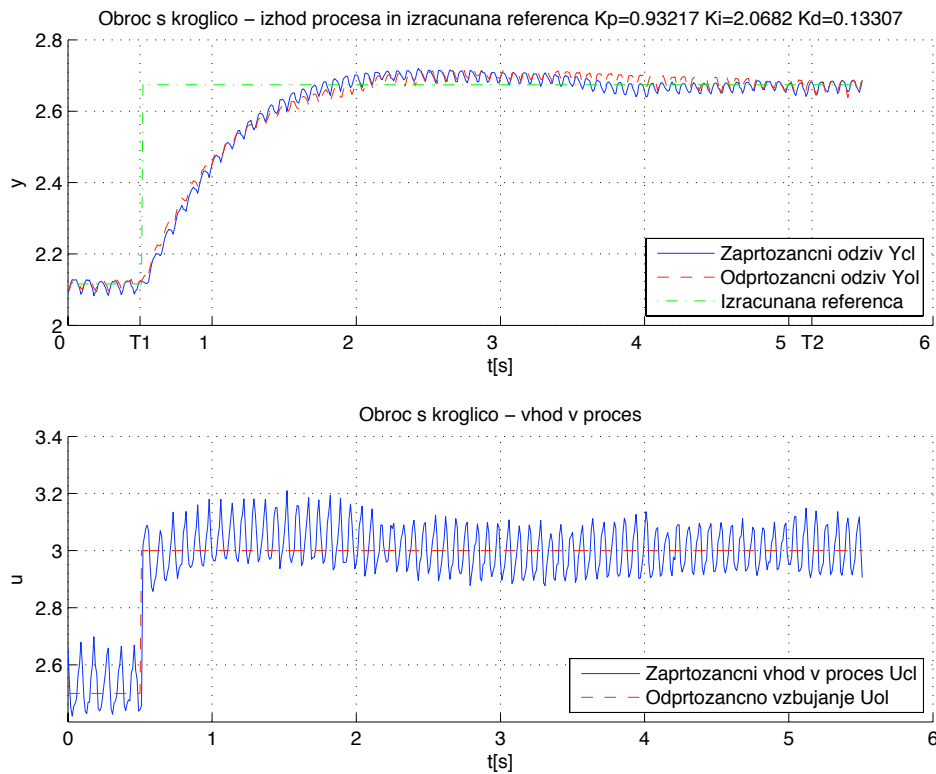
Slika 314: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



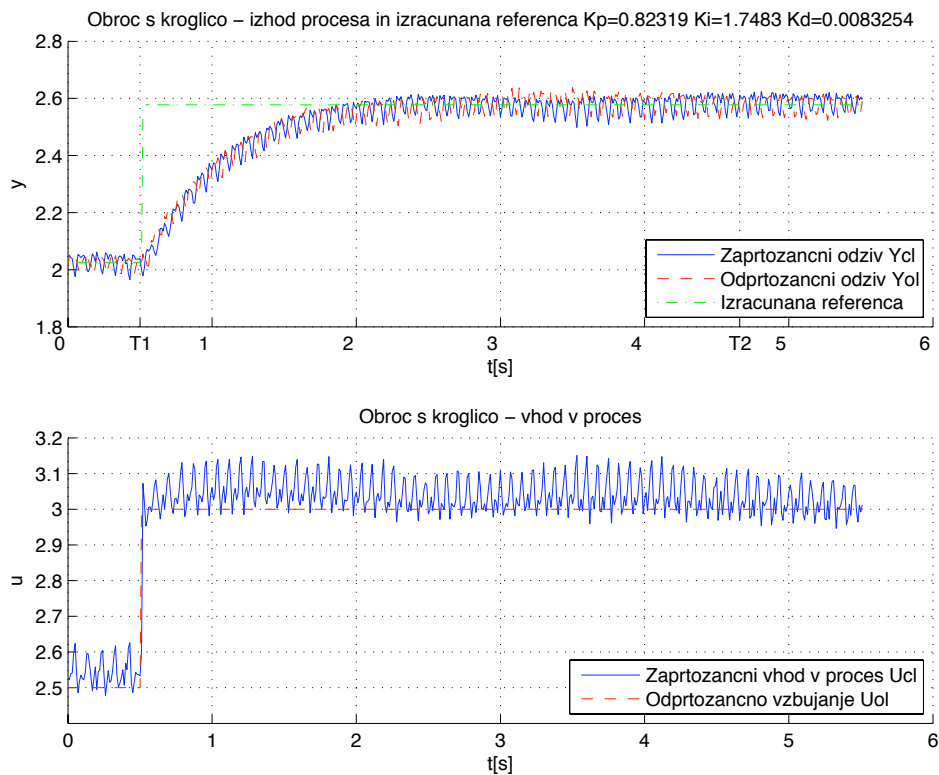
Slika 315: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



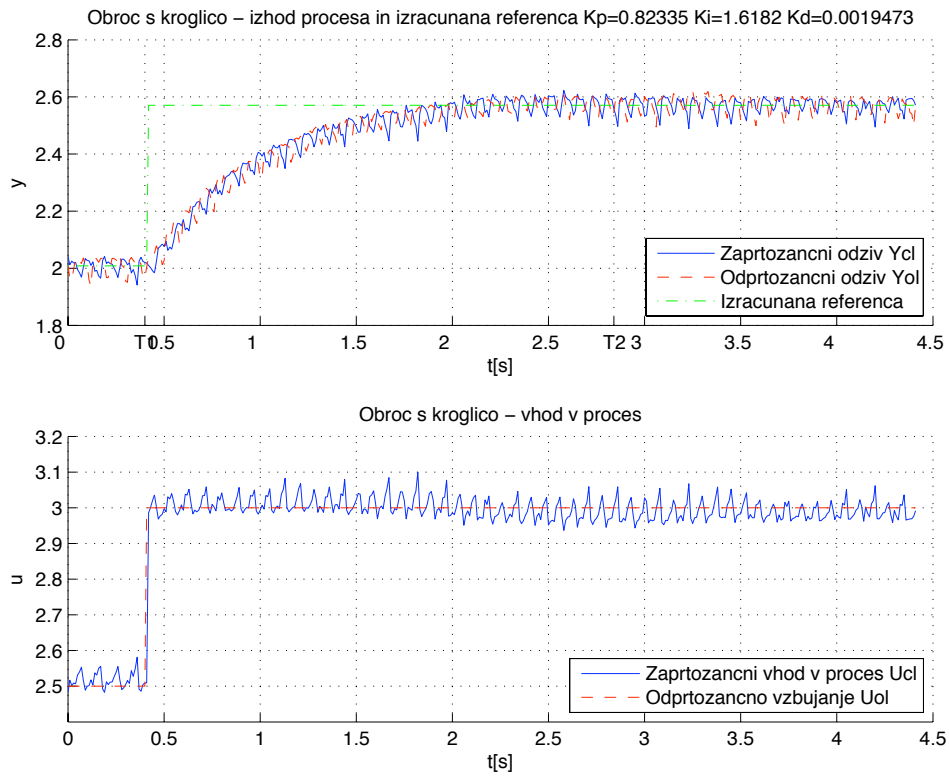
Slika 316: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 317: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

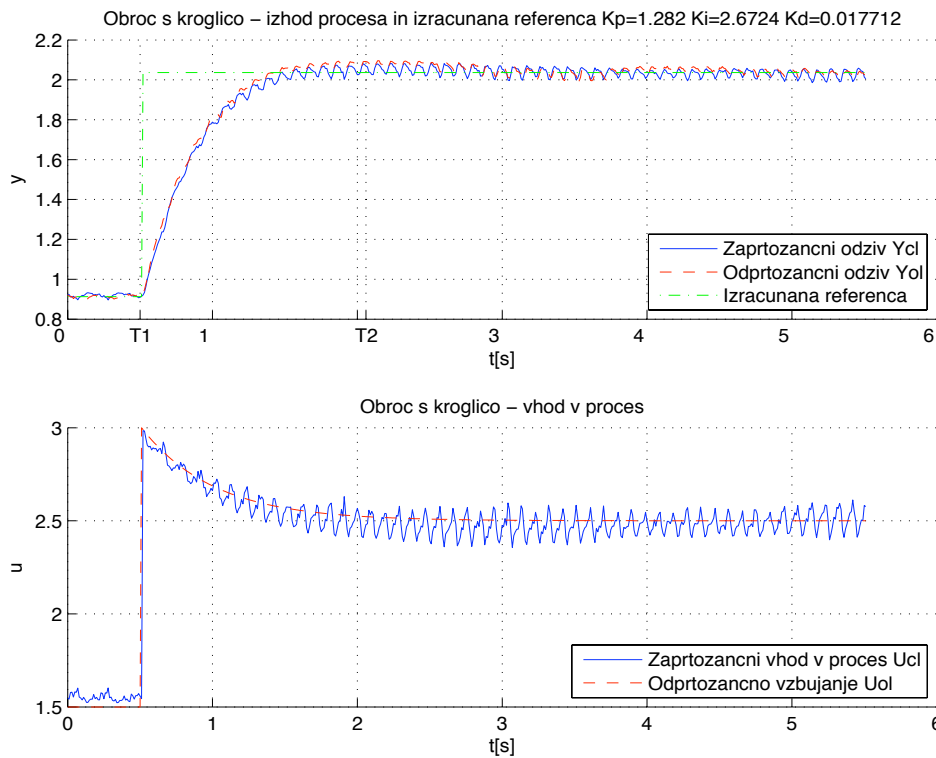


Slika 318: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

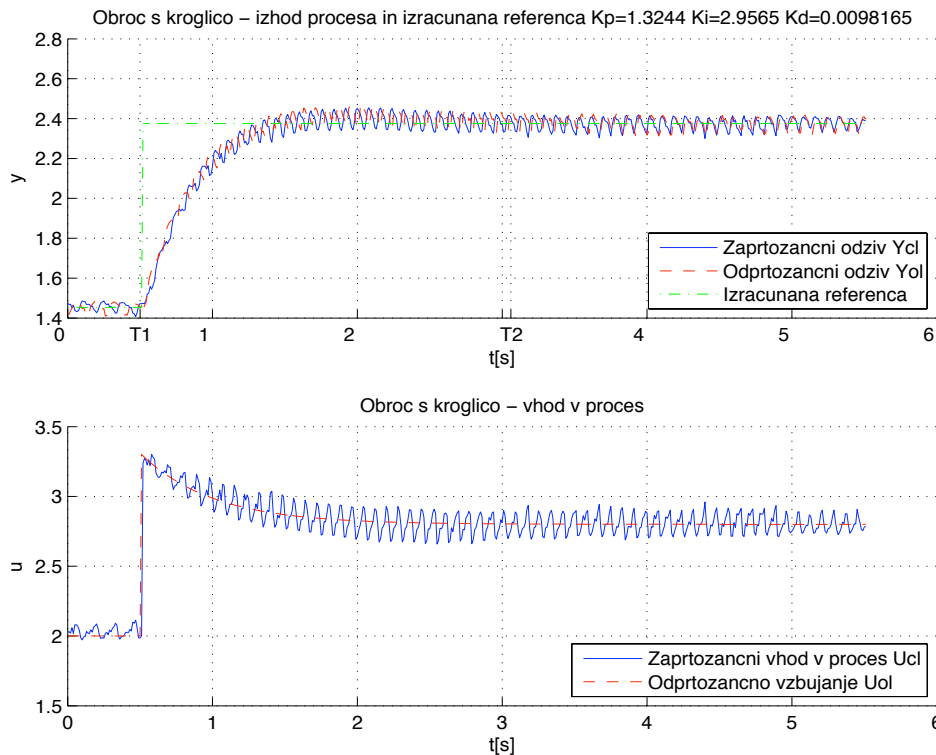


Slika 319: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzburjanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$

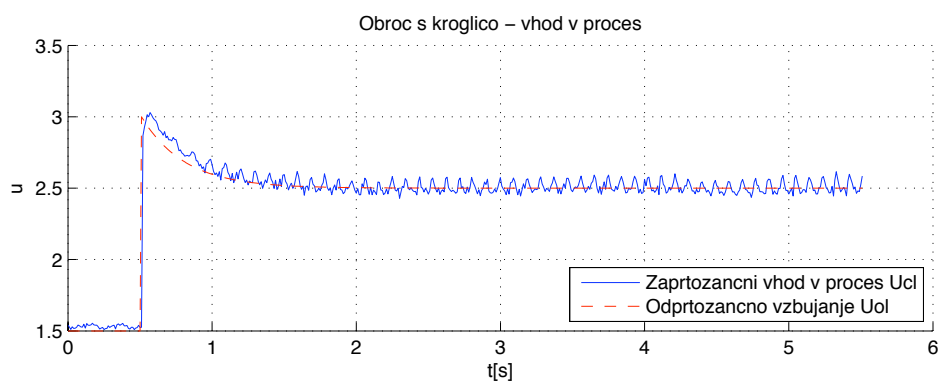
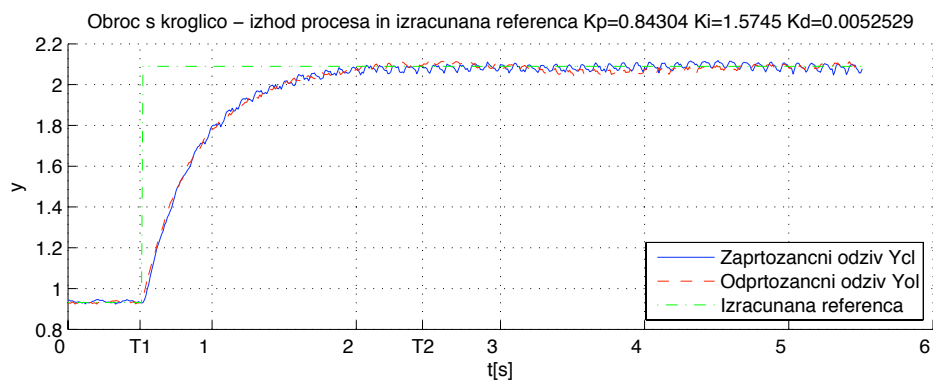


Slika 320: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtzančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

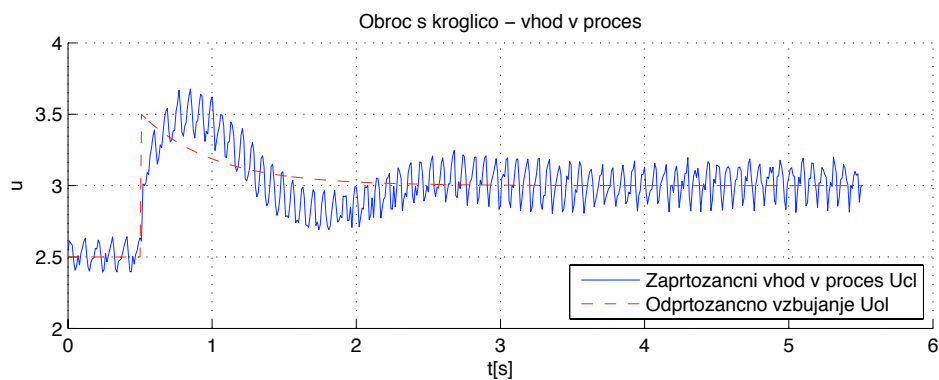
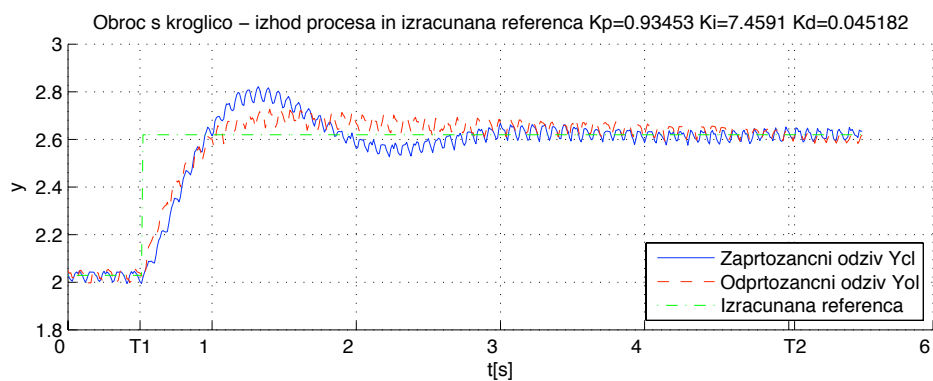


Slika 321: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtzančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

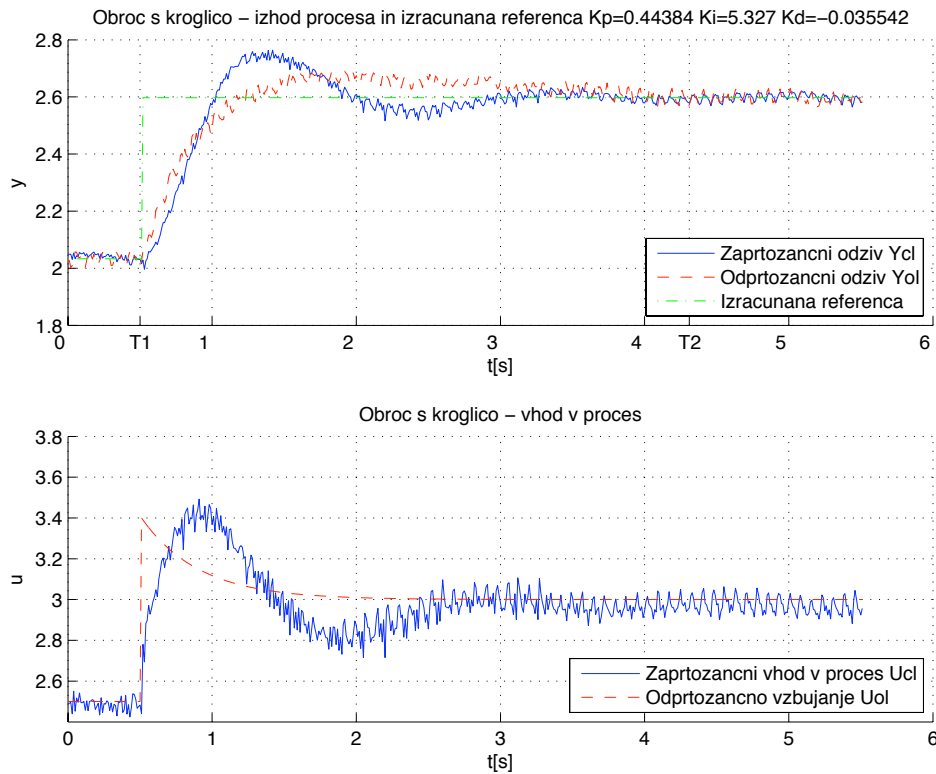




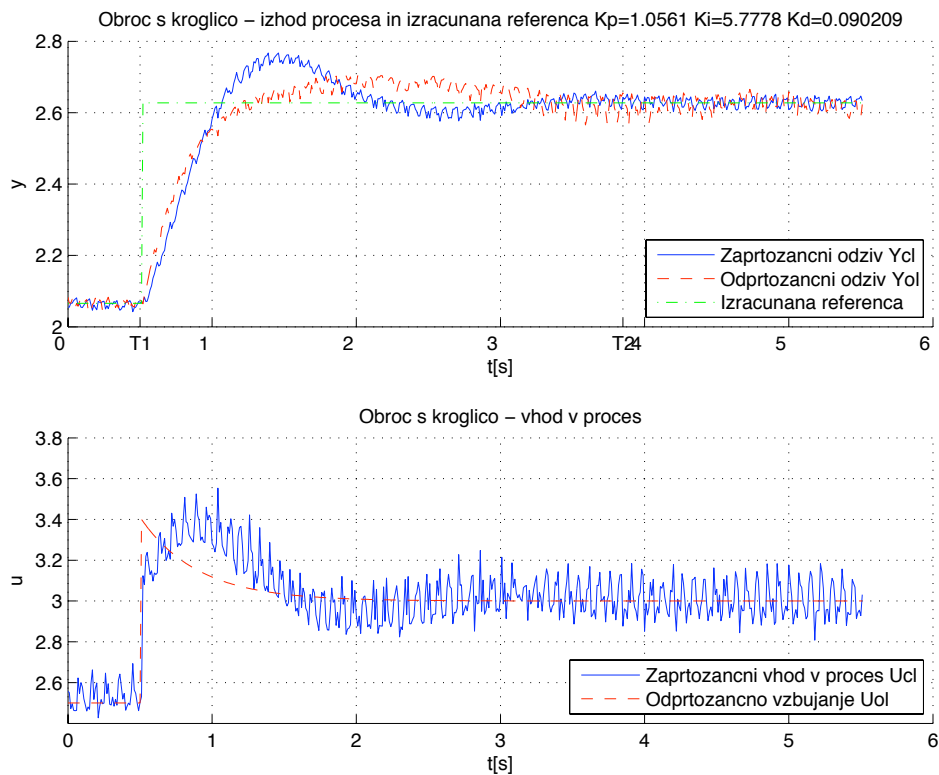
Slika 322: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



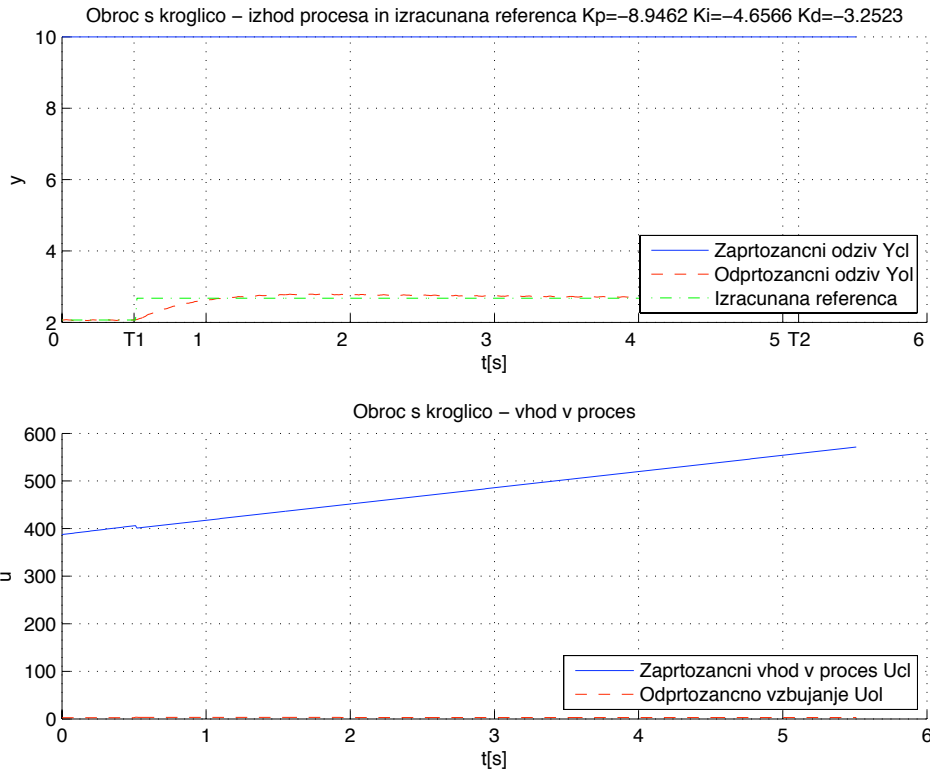
Slika 323: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



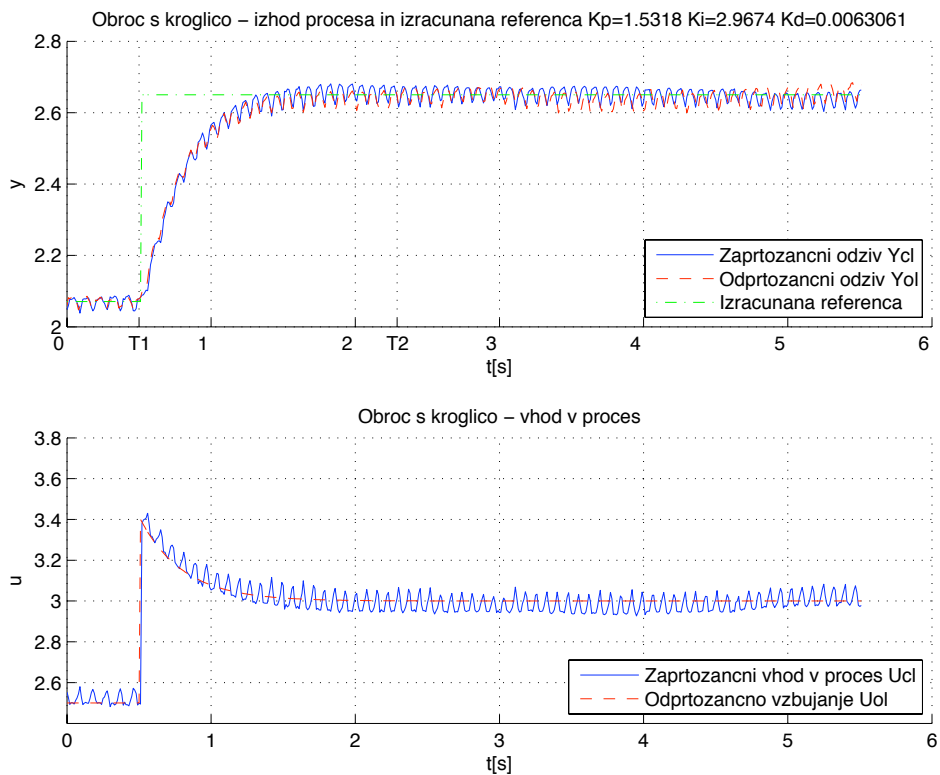
Slika 324: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



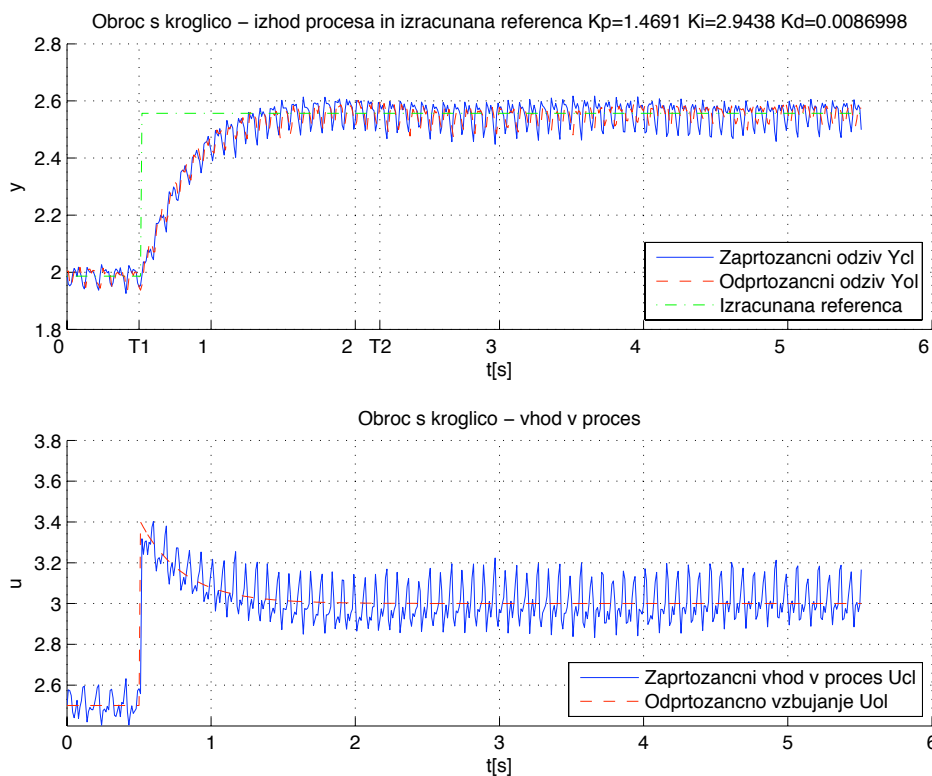
Slika 325: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



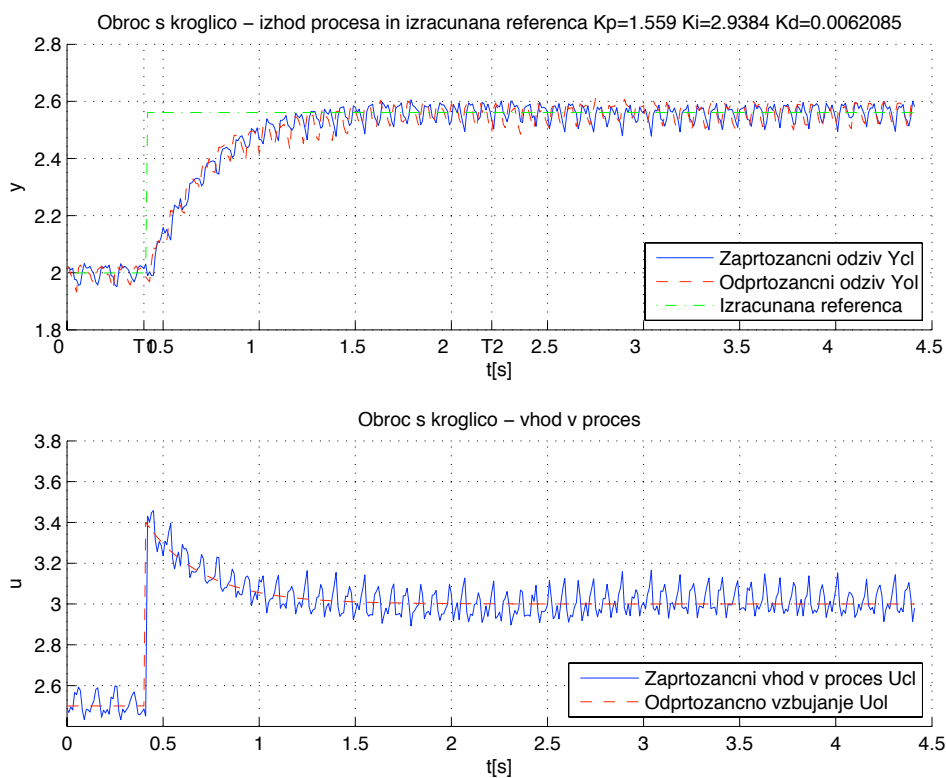
Slika 326: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 327: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

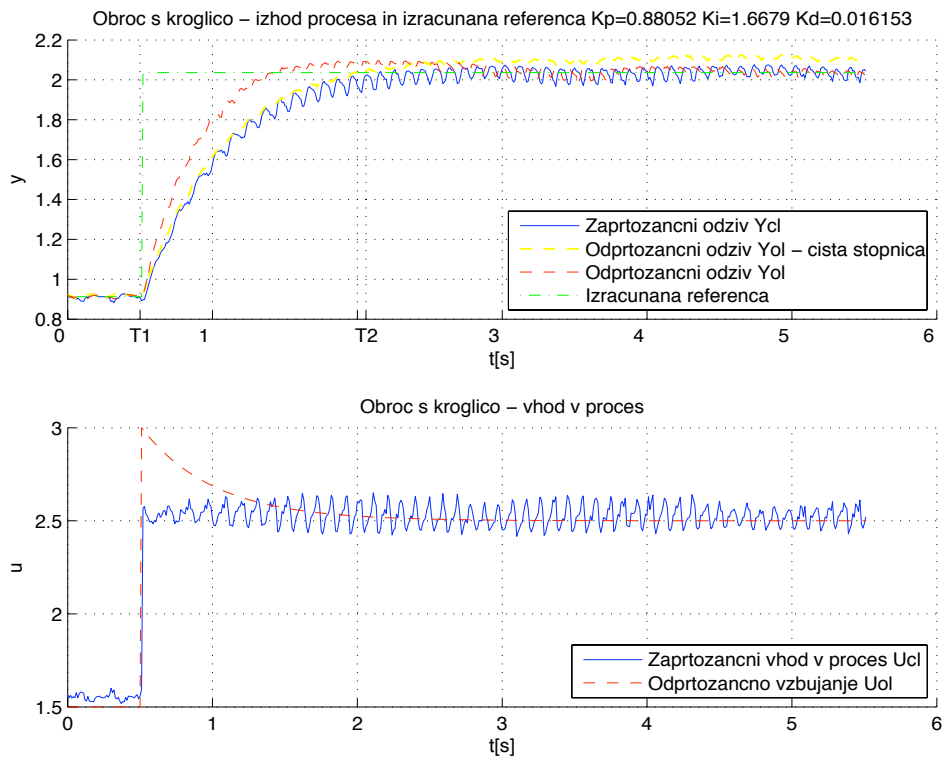


Slika 328: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

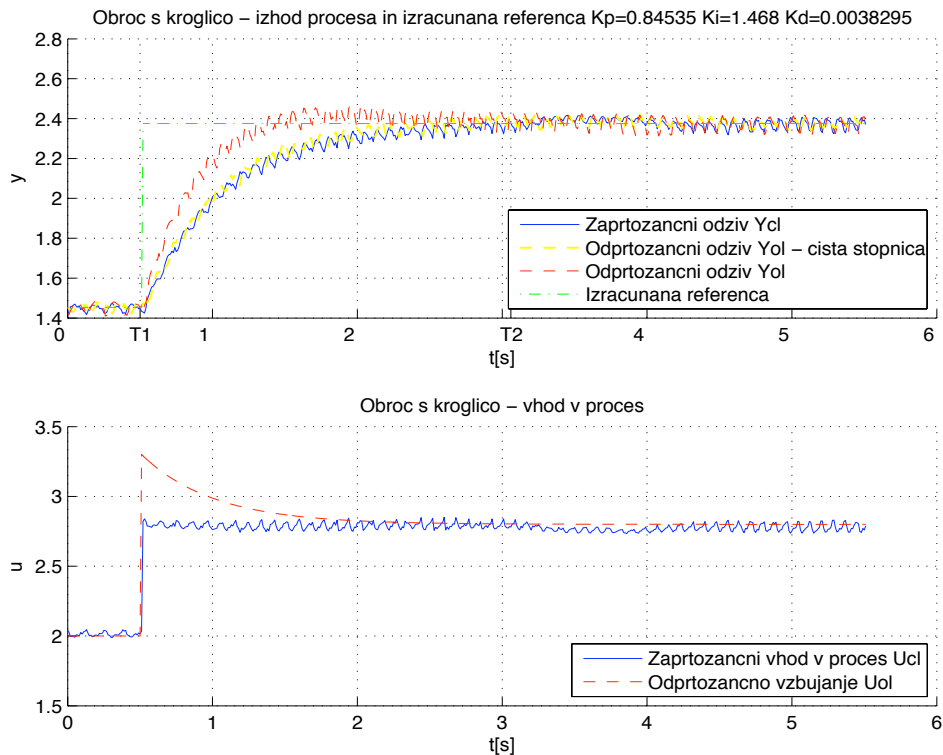


Slika 329: Regulacija hitrosti vrtenja obroča. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

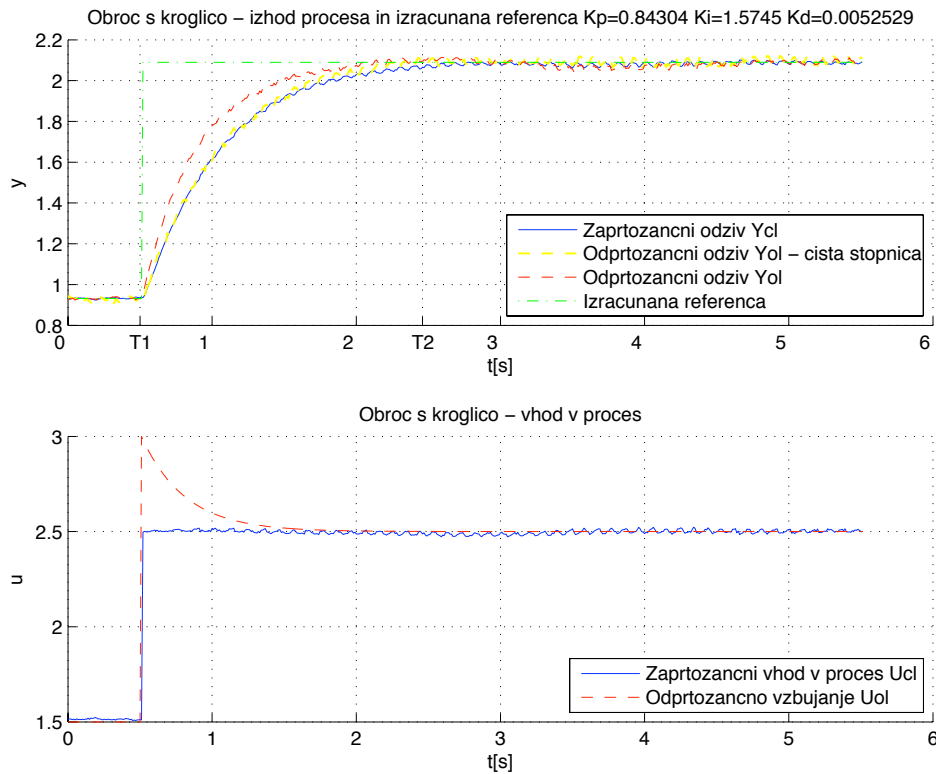
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



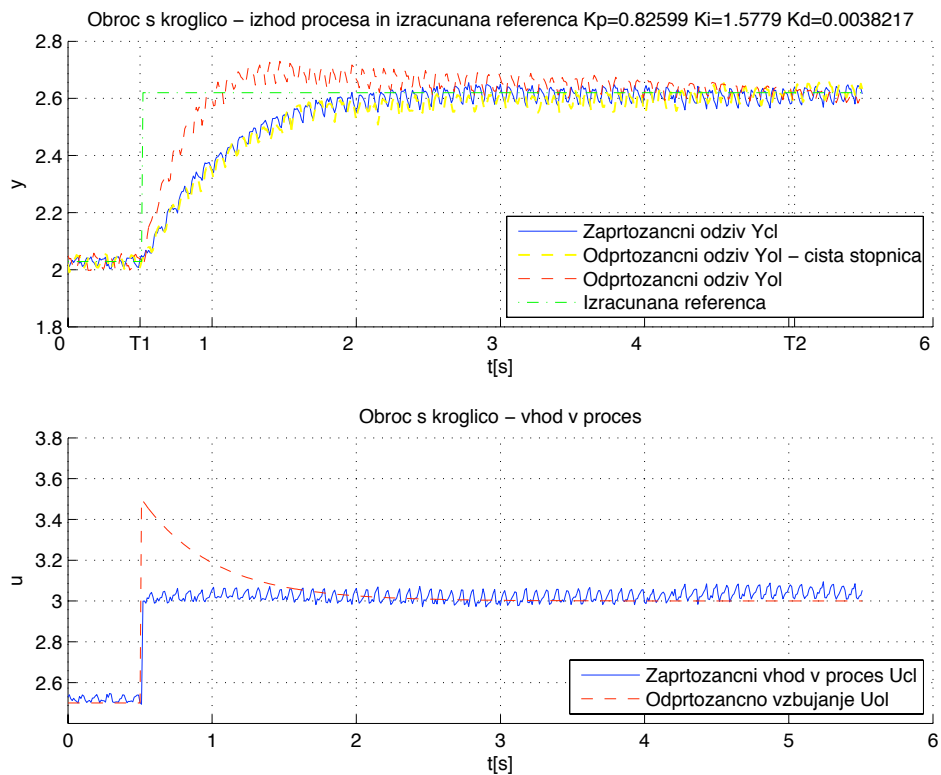
Slika 330: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



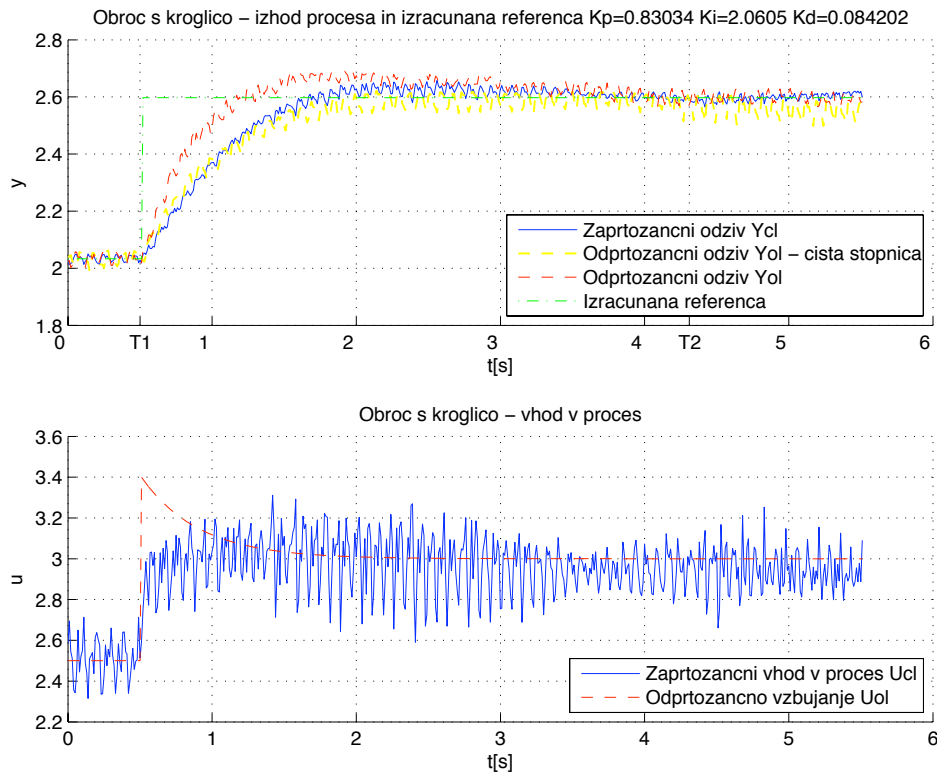
Slika 331: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



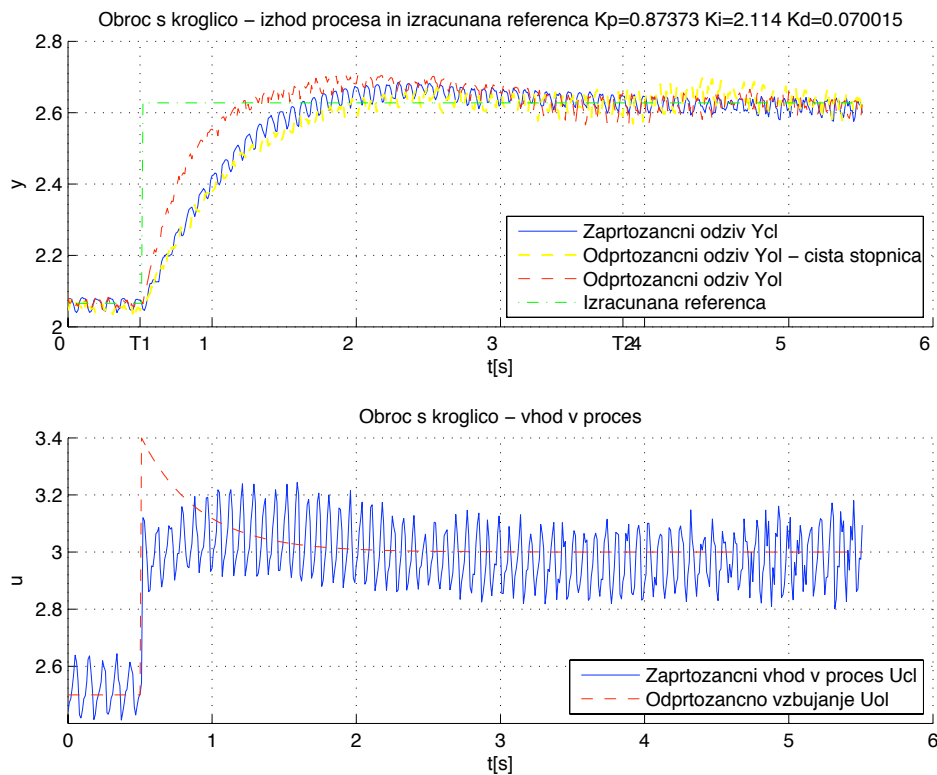
Slika 332: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



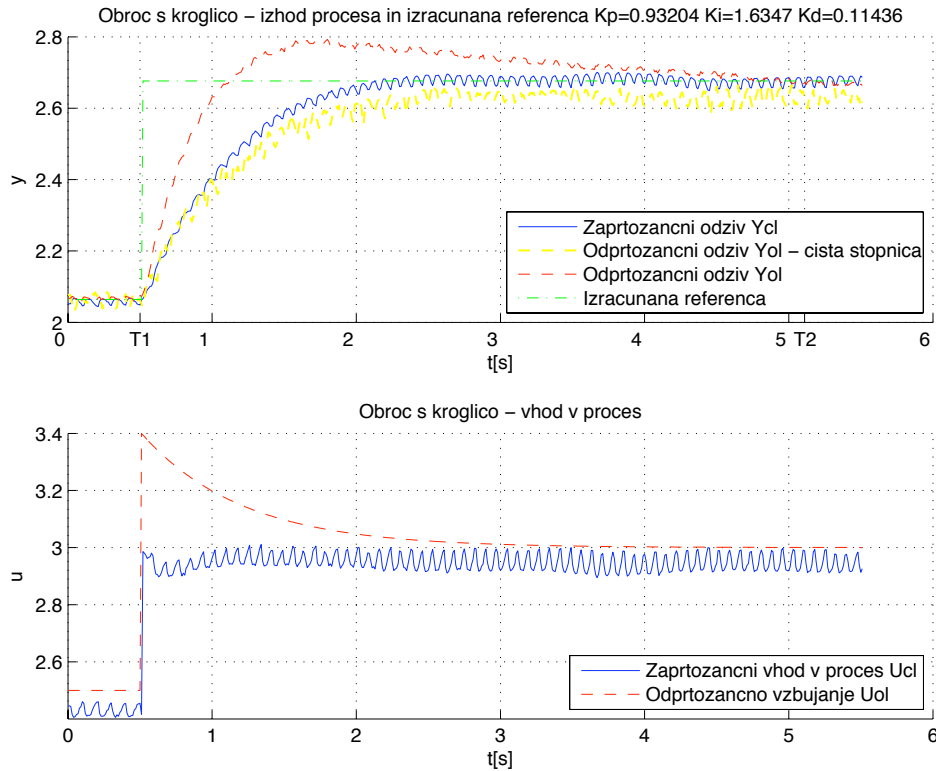
Slika 333: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



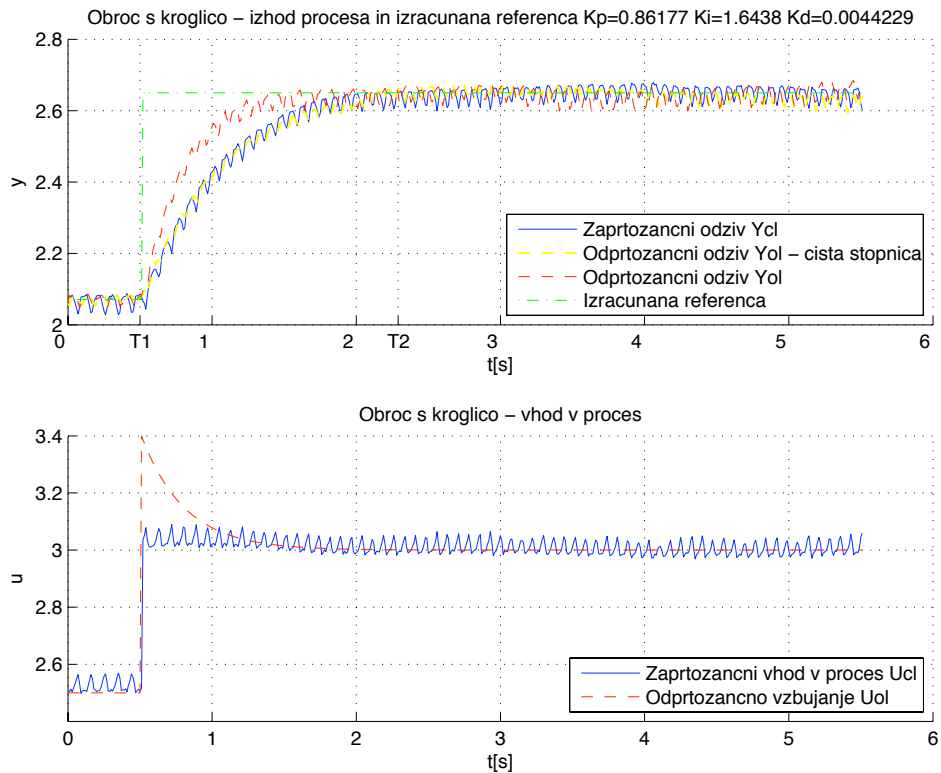
Slika 334: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzancni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 335: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzancni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

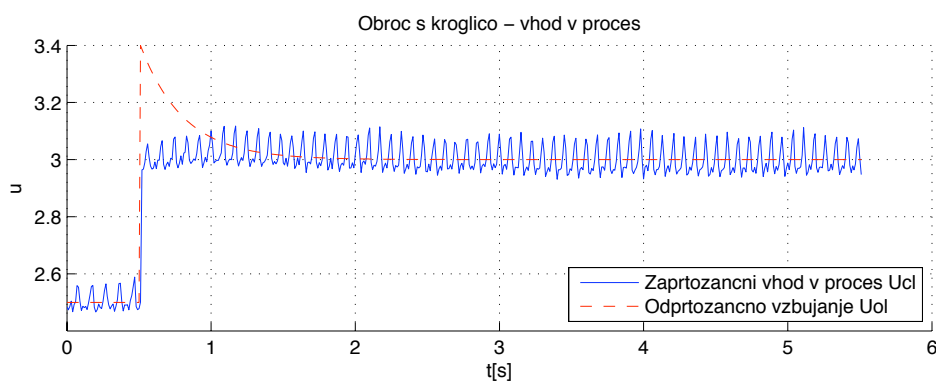
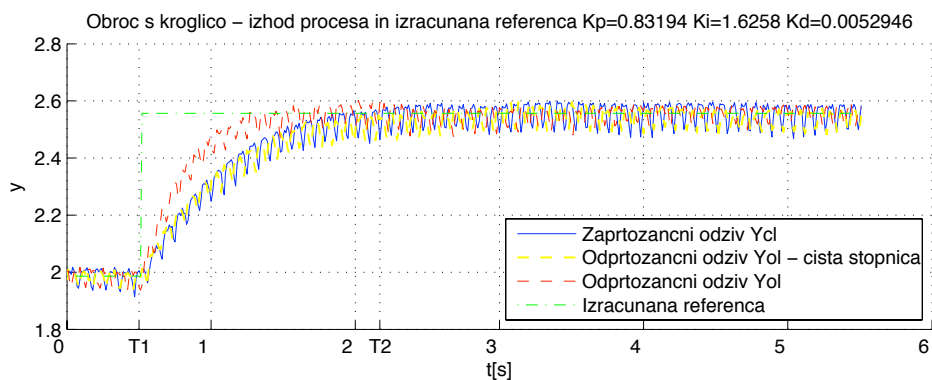


Slika 336: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzancni in zaprtzancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

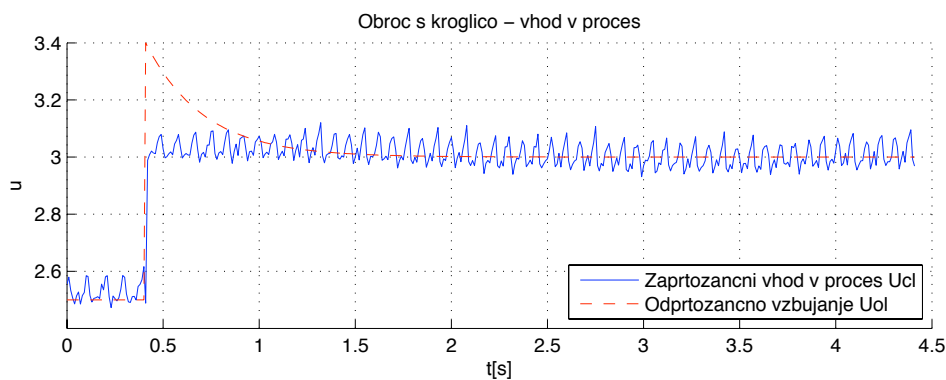
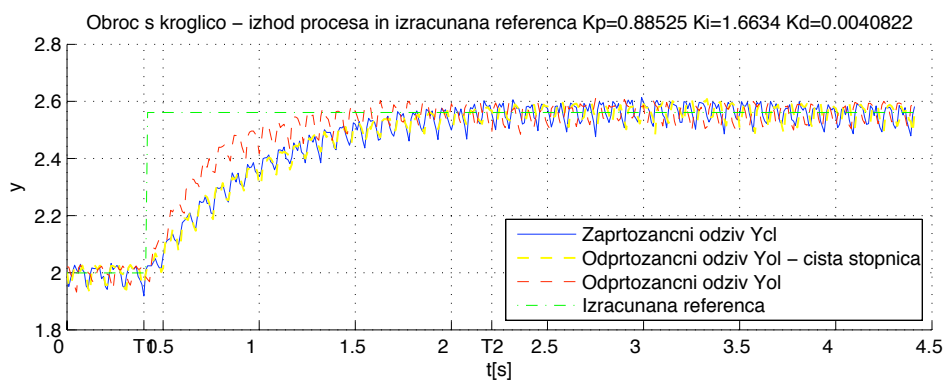


Slika 337: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtzancni in zaprtzancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).





Slika 338: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 339: Regulacija hitrosti vrtenja motorja. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

### 4.3 Navijalnik CE108

#### **Opis naprave:**

Naprava navijalnik CE108 (slika 340) predstavlja problem nadzora napetosti v materialu in hitrosti obdelovanega materiala (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Vsebuje več pogonskih motorjev, ki so medsebojno povezani prek obdelovanega materiala.



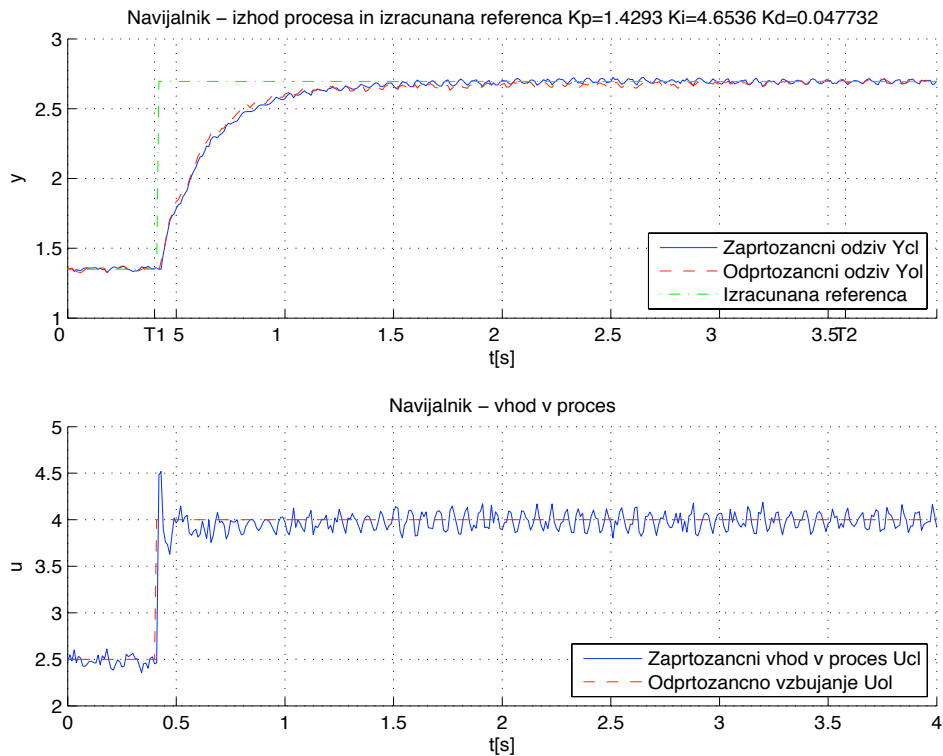
Slika 340: Naprava navijalnik CE108.

Pri tovrstnih procesih običajno zahtevamo konstantno hitrost in napetost materiala, kar pa zaradi povezave med omenjenima veličinama ni enostavna naloga. Vhodni veličini naprave sta napetosti dveh enakih servomotorjev, ki sta v našem primeru vezana na isti vhod. Izhoda iz naprave pa sta hitrost materiala in napetost materiala, ki je v napravi predstavljena kot odmik ročice, ki se nahaja v zgornjem delu naprave.

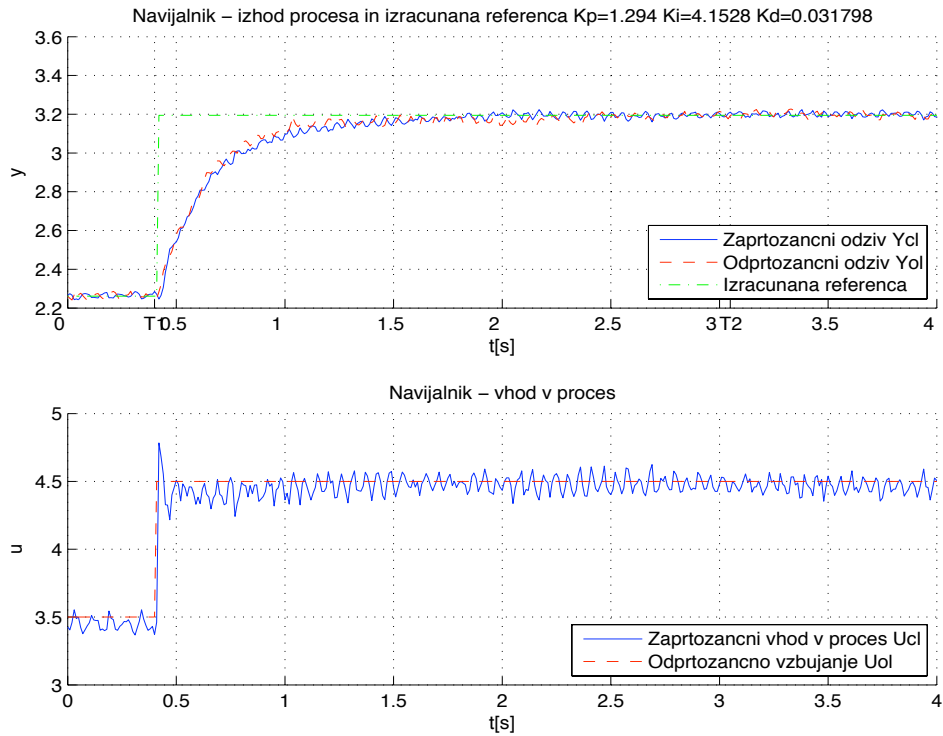
## Rezultati meritev

Slike 341 – 364 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo hitrosti obdelovanega materiala. V naslovih grafov so prikazani tudi izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.01s$ .

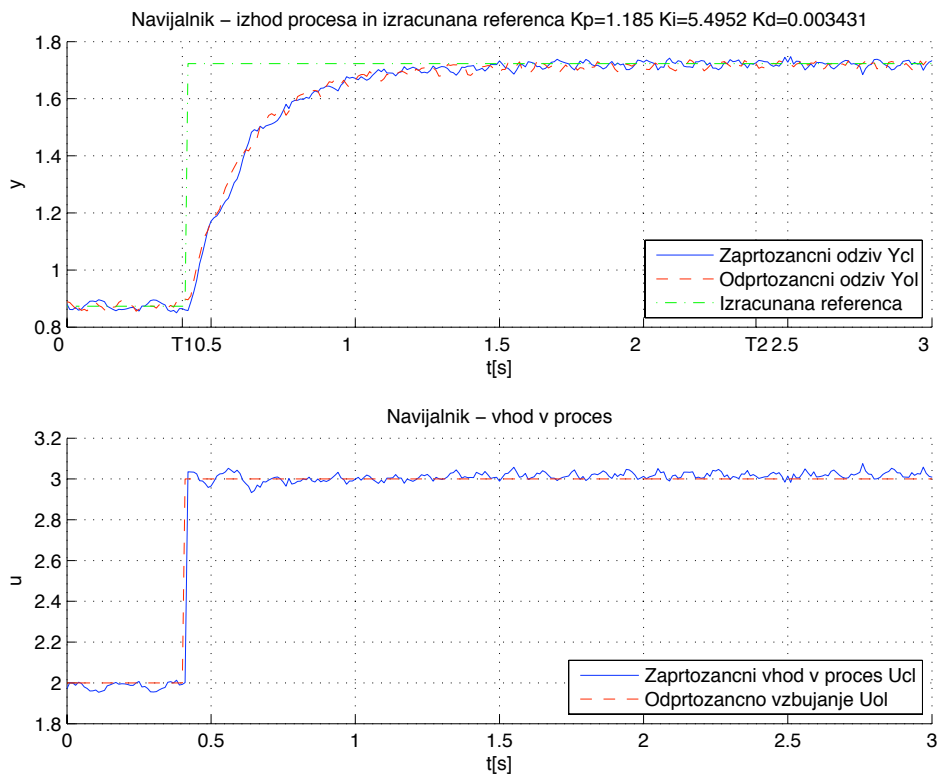
### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



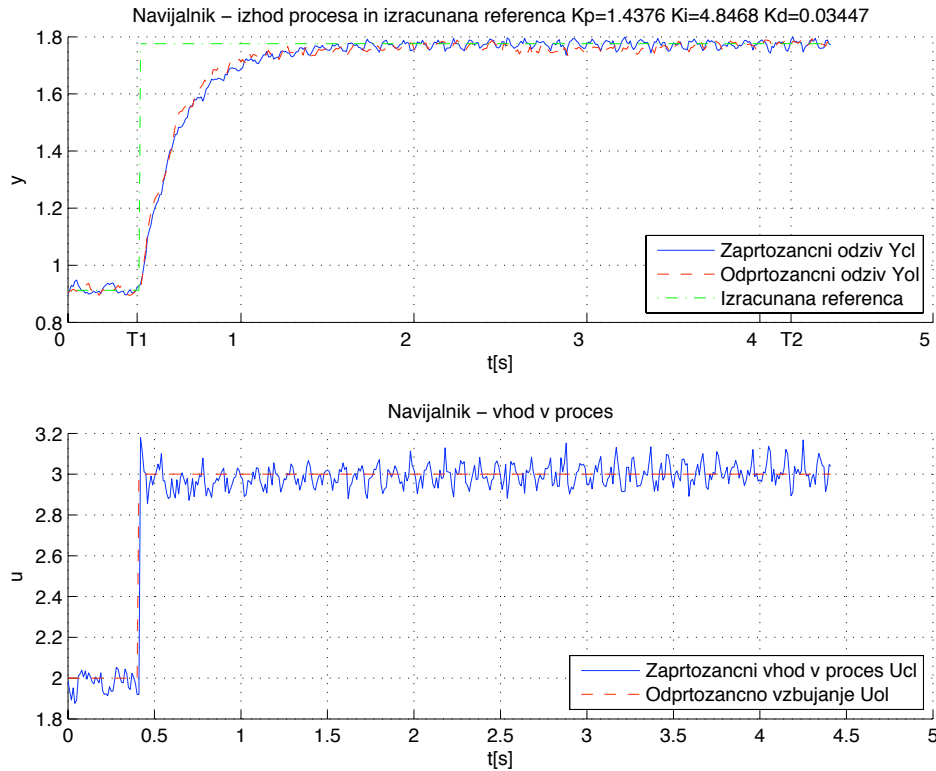
Slika 341: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



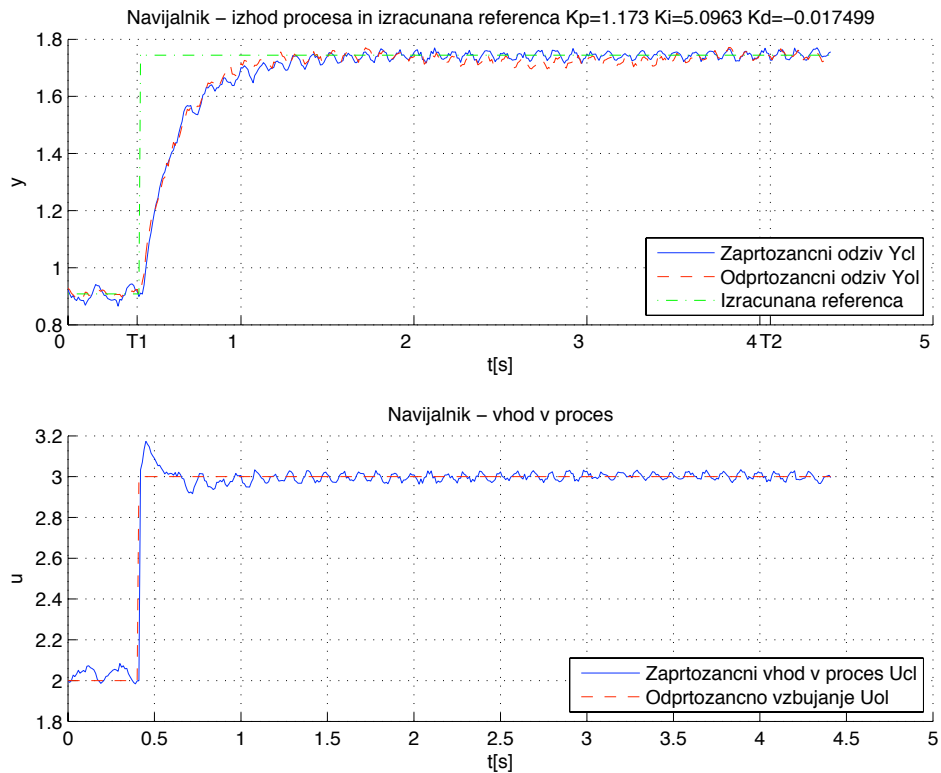
Slika 342: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



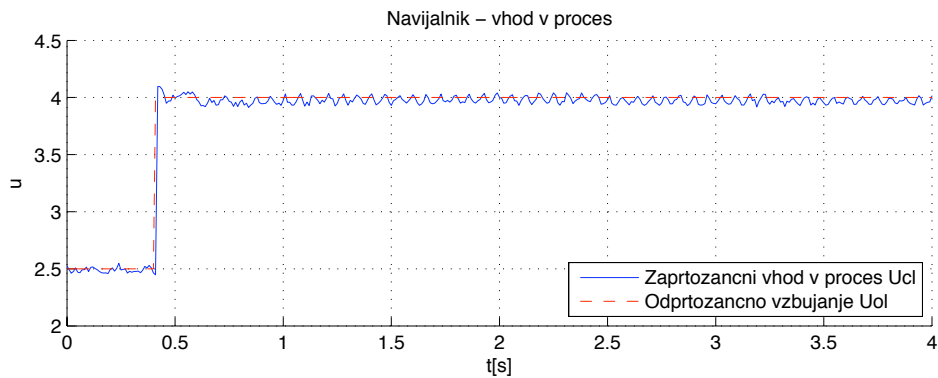
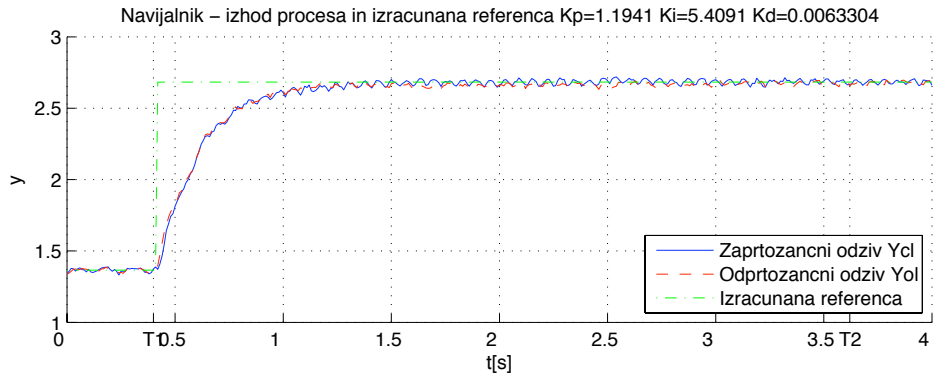
Slika 343: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



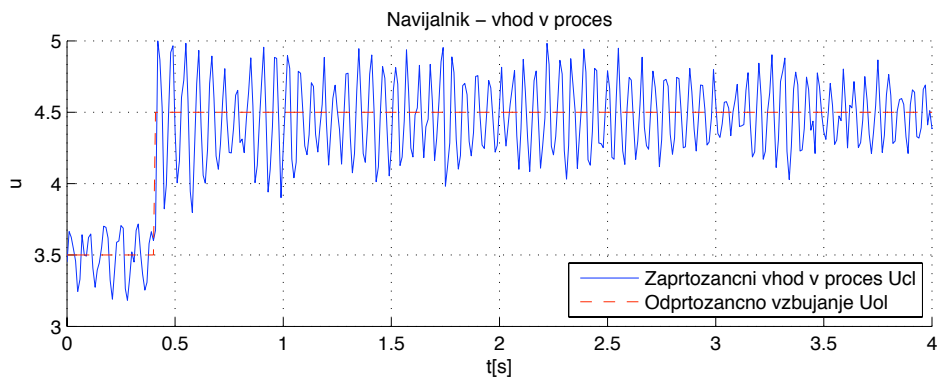
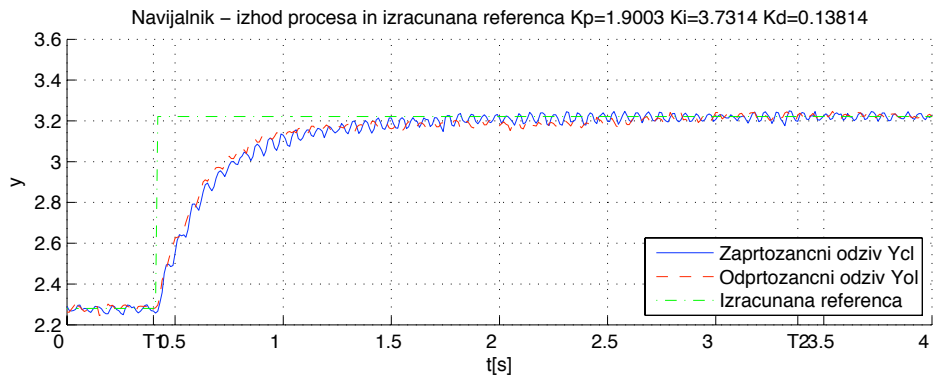
Slika 344: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



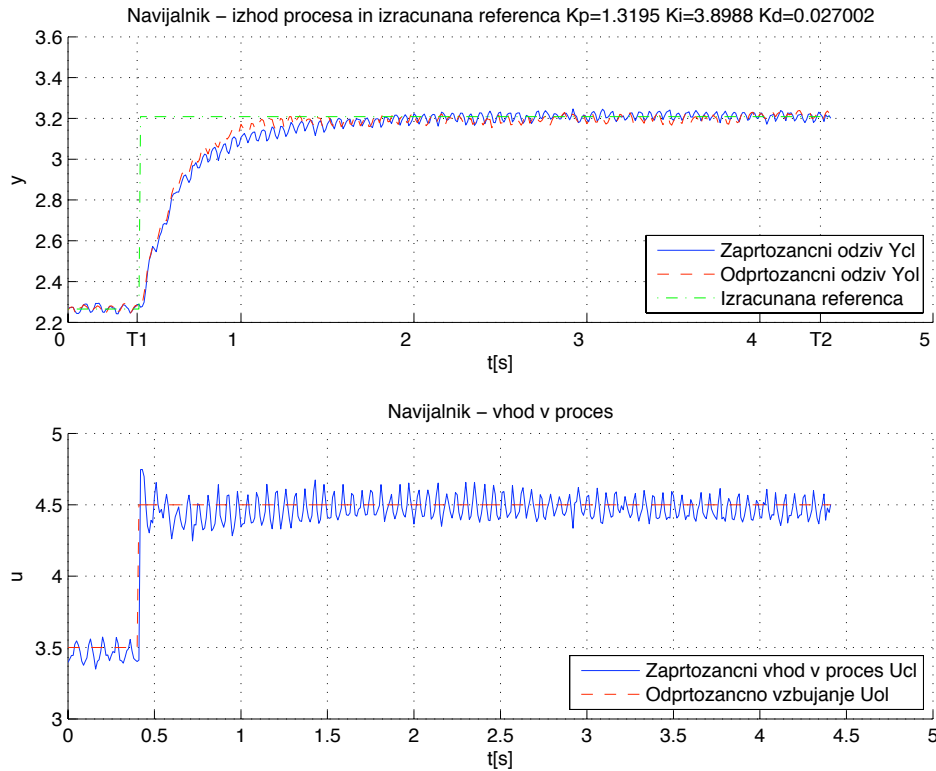
Slika 345: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 346: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

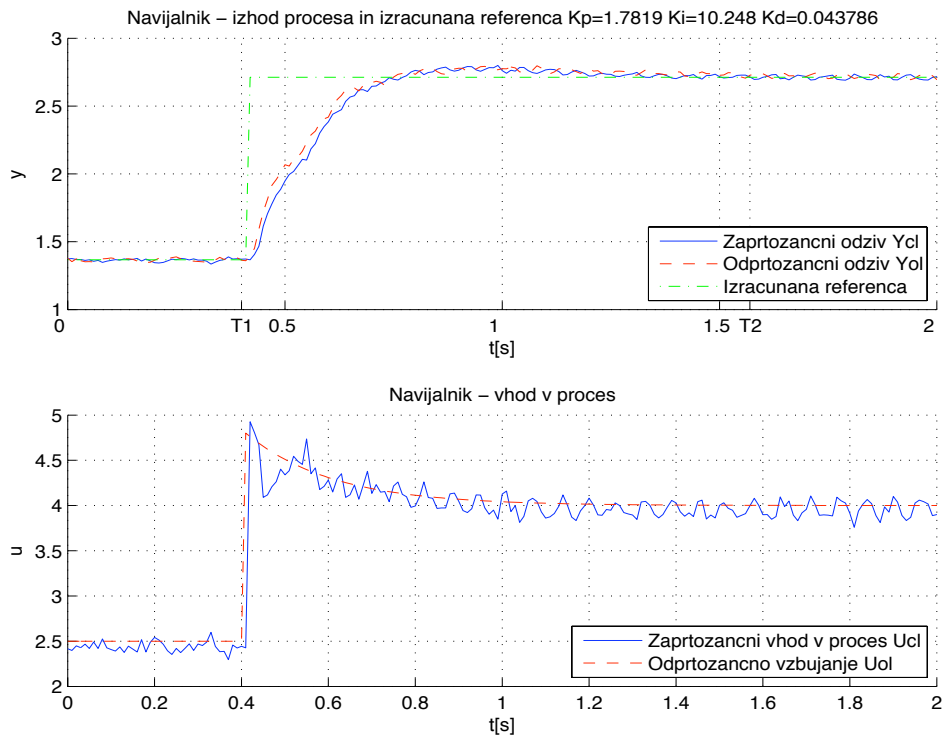


Slika 347: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

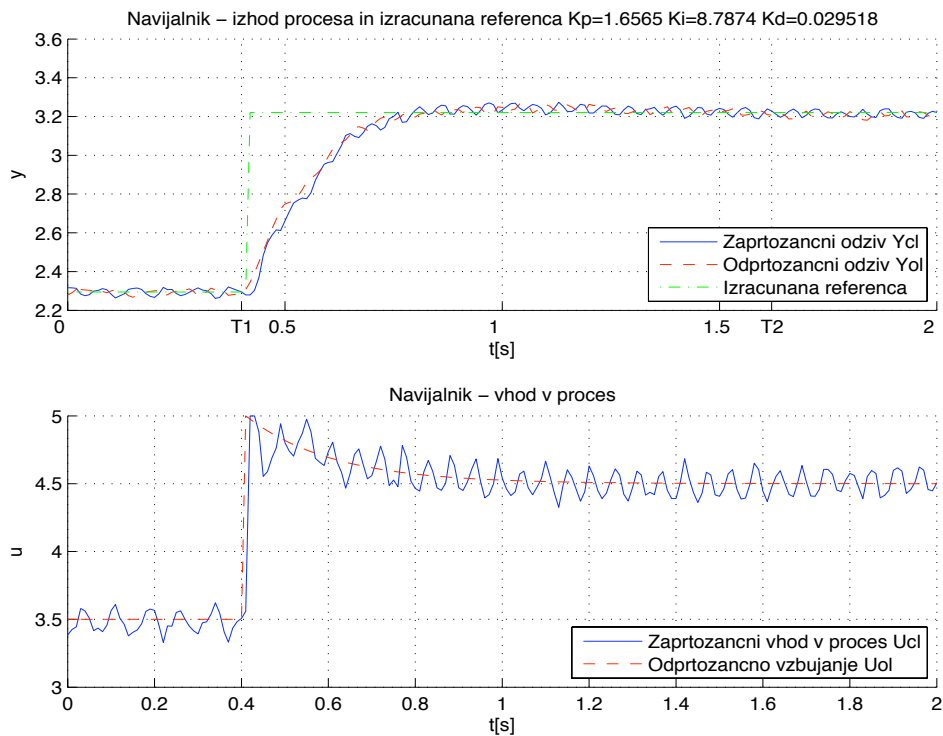


Slika 348: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$

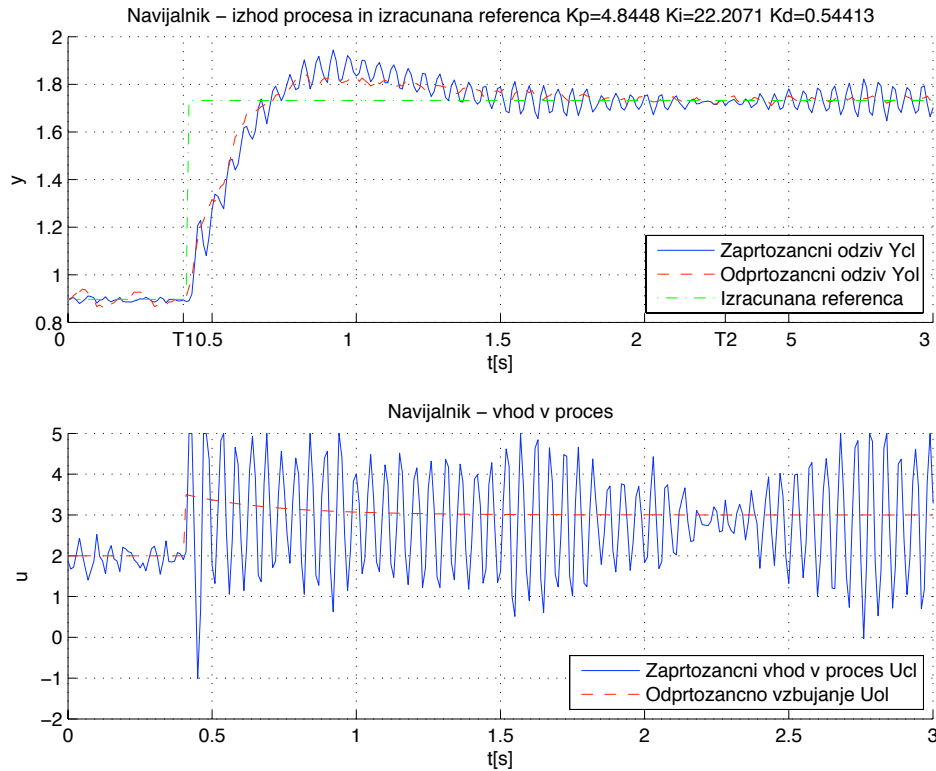


Slika 349: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

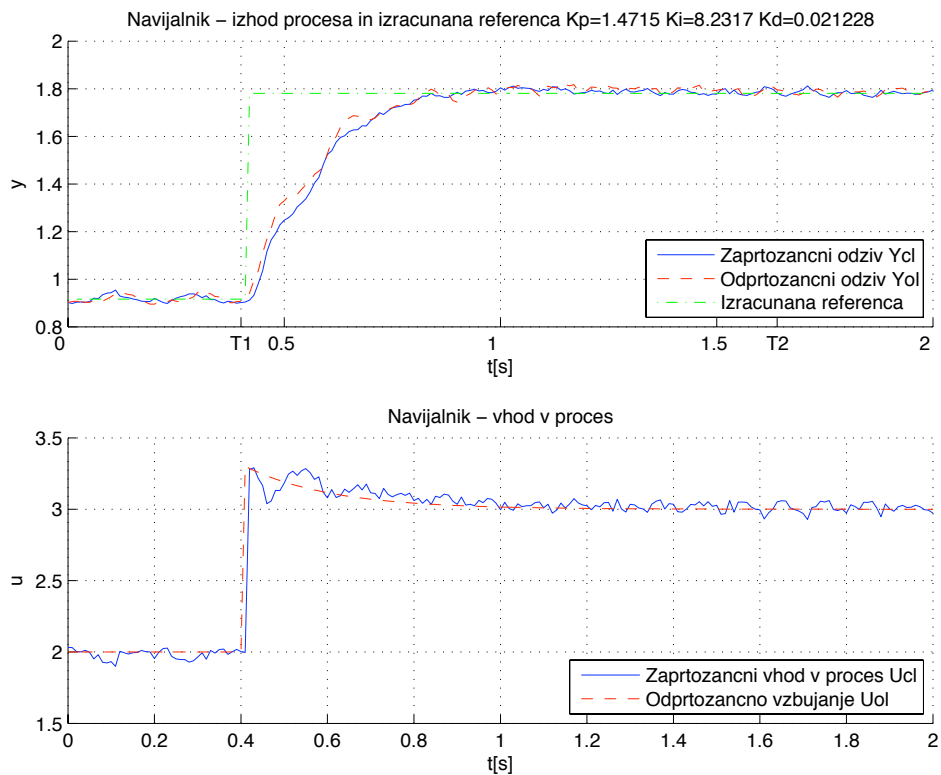


Slika 350: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

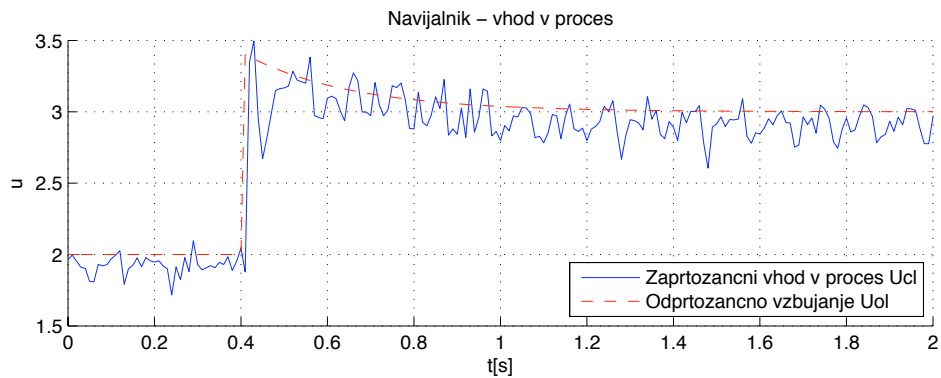
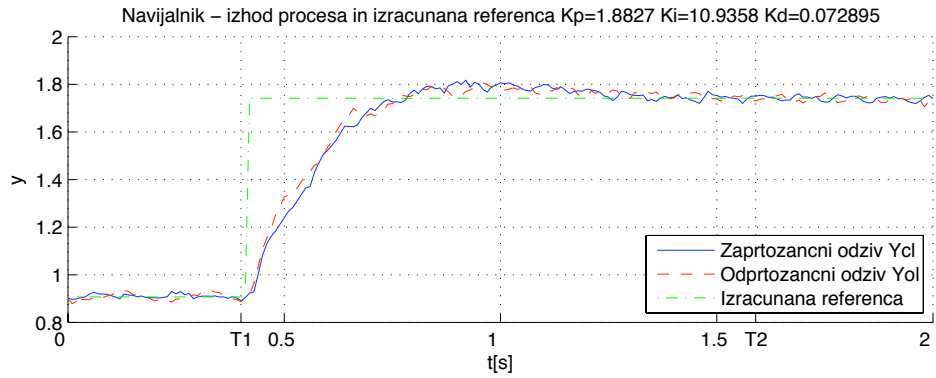




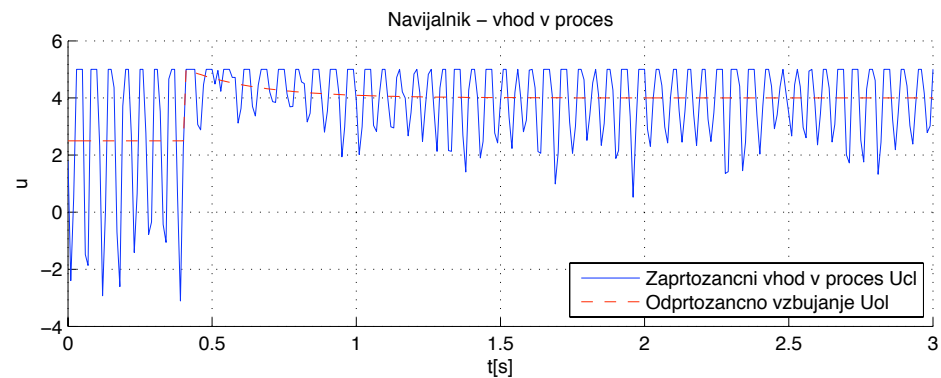
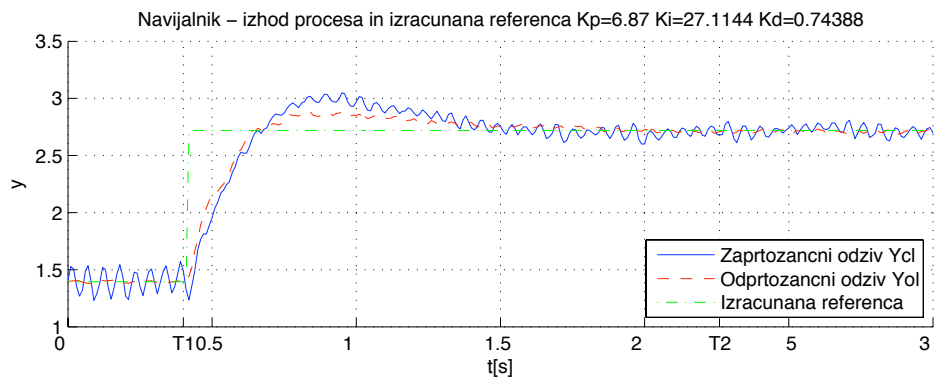
Slika 351: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



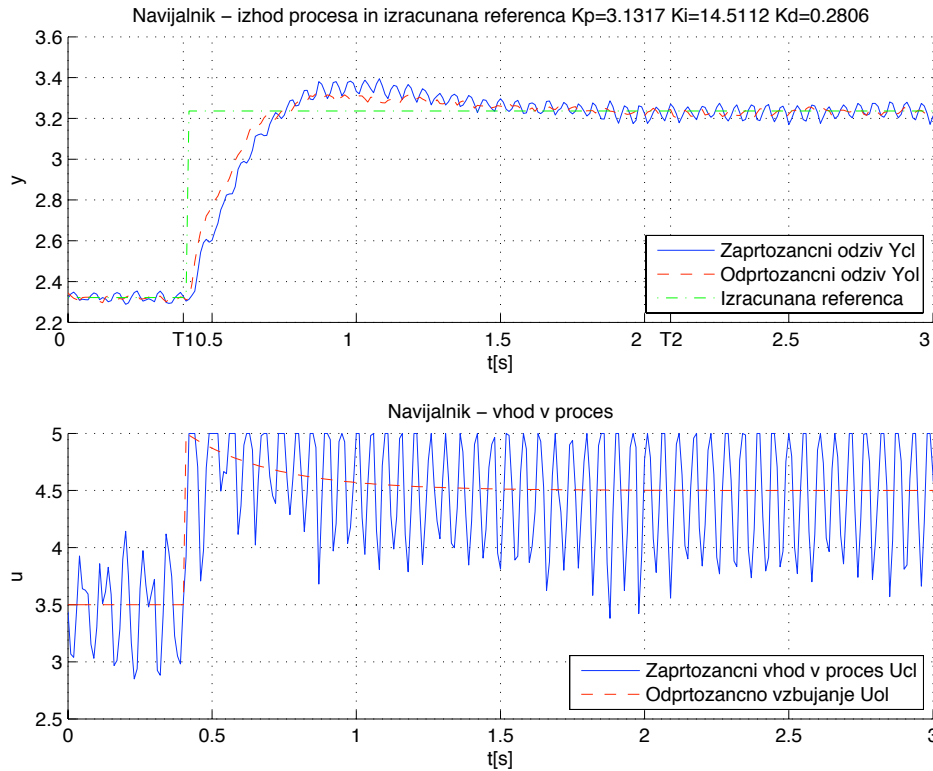
Slika 352: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



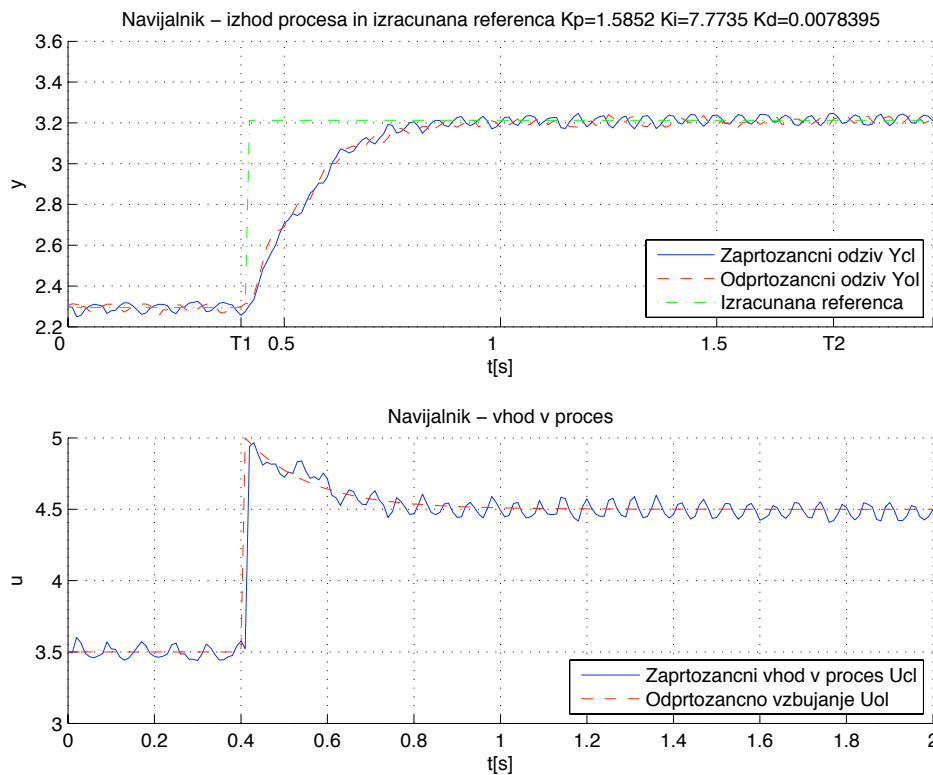
Slika 353: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 354: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

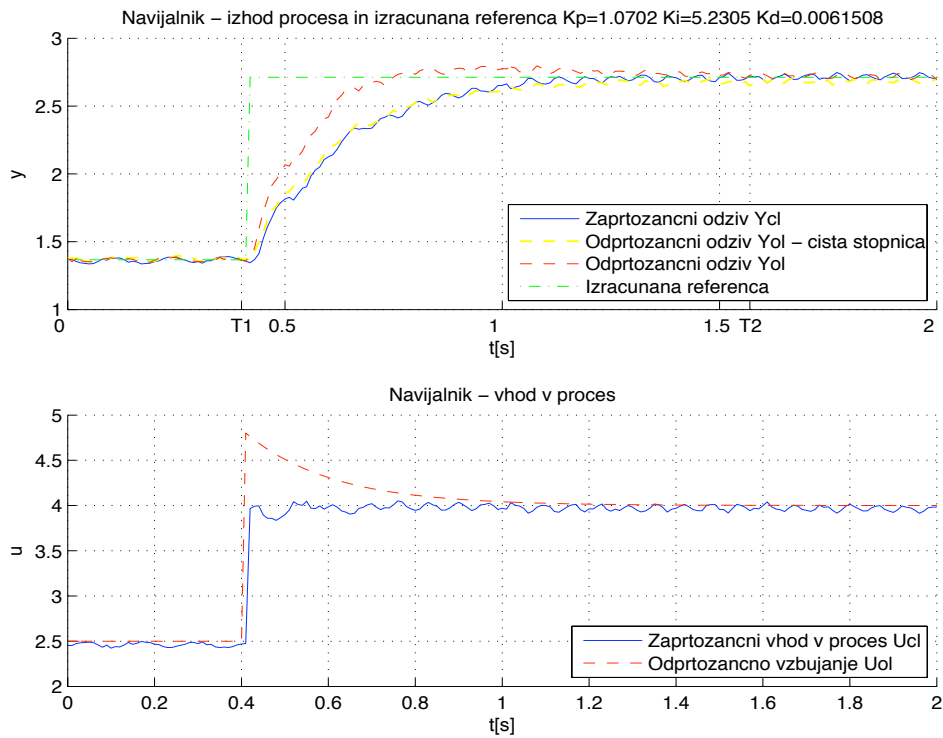


Slika 355: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

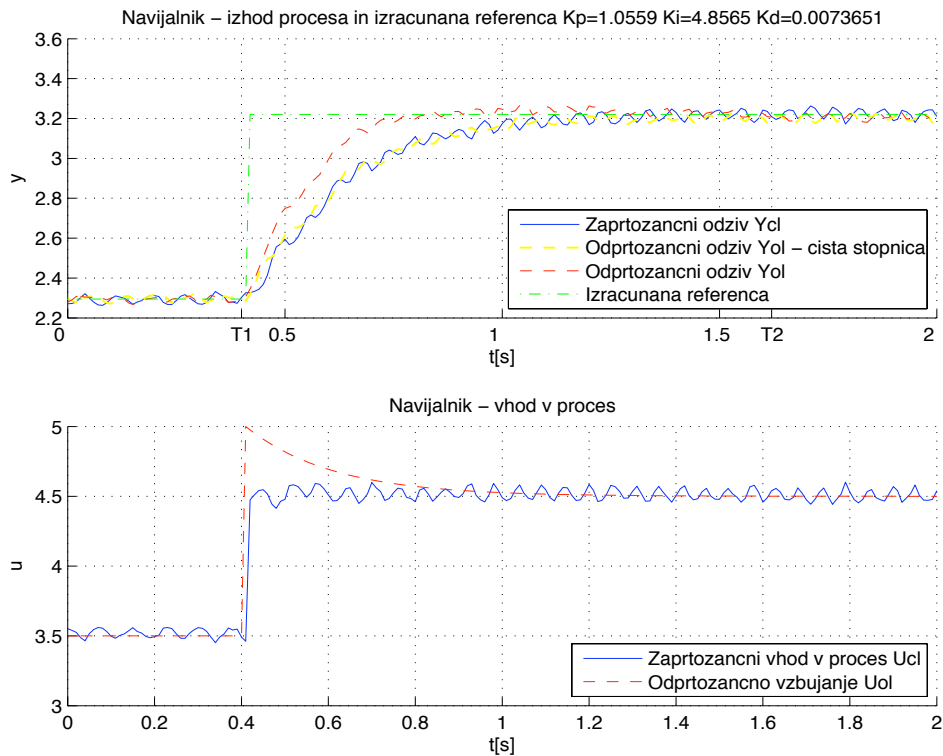


Slika 356: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

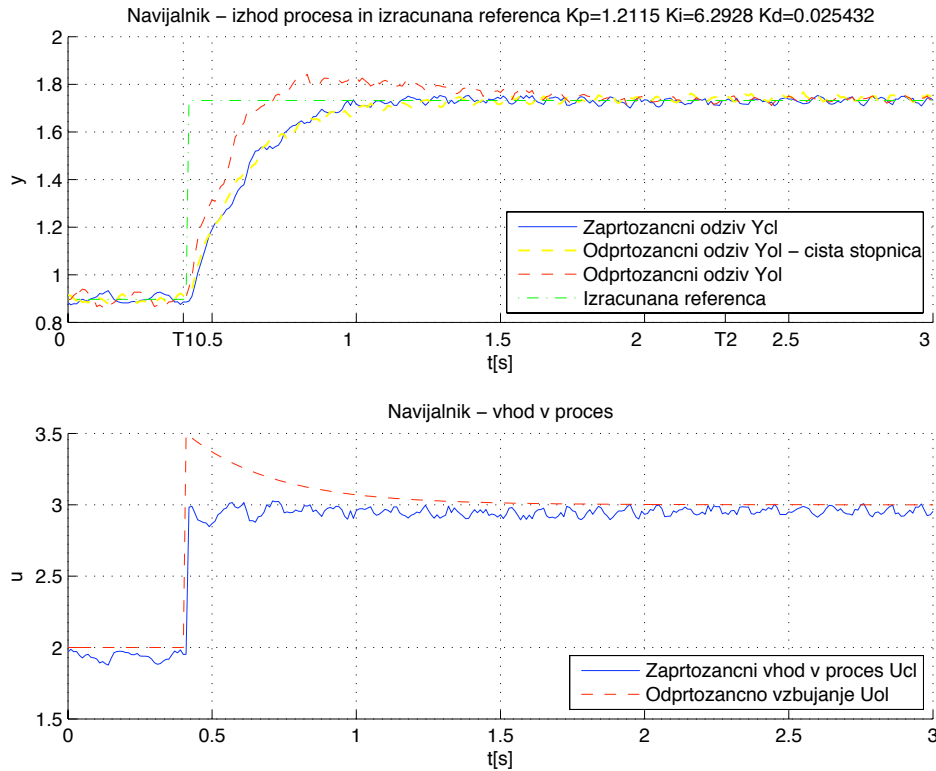
Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in skaliran referenčni signal  $r(t)$



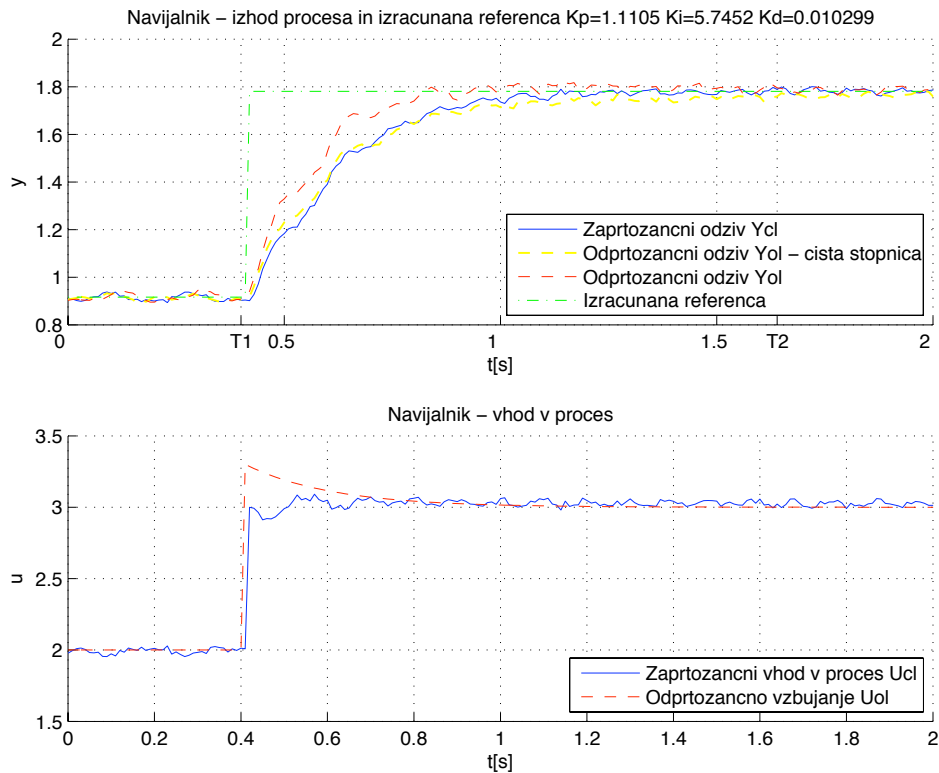
Slika 357: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



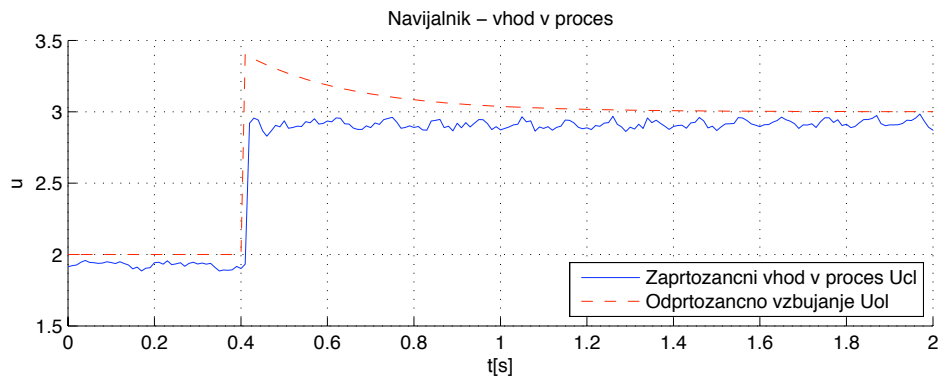
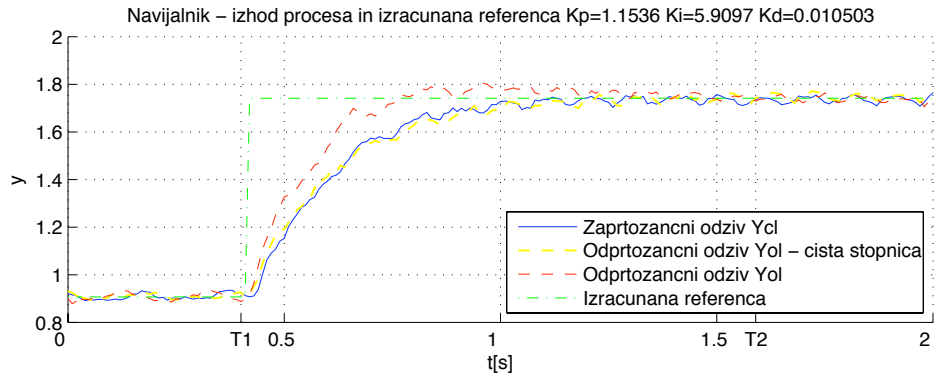
Slika 358: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



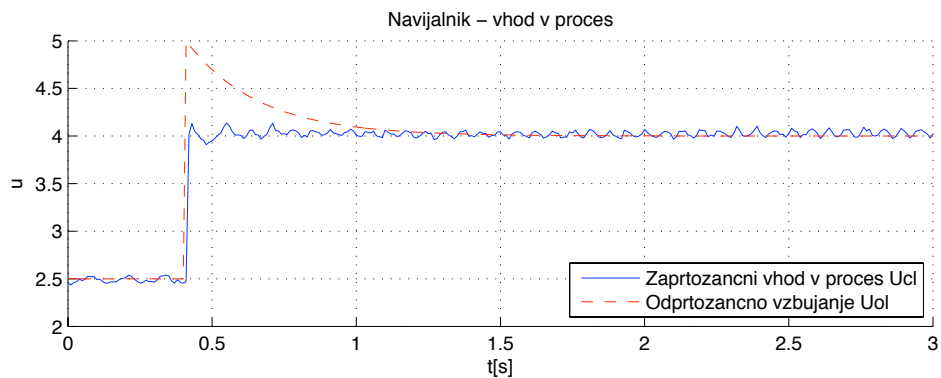
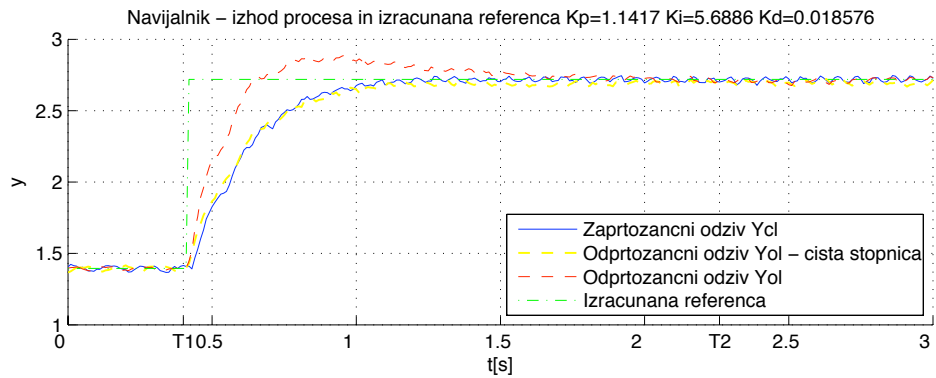
Slika 359: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



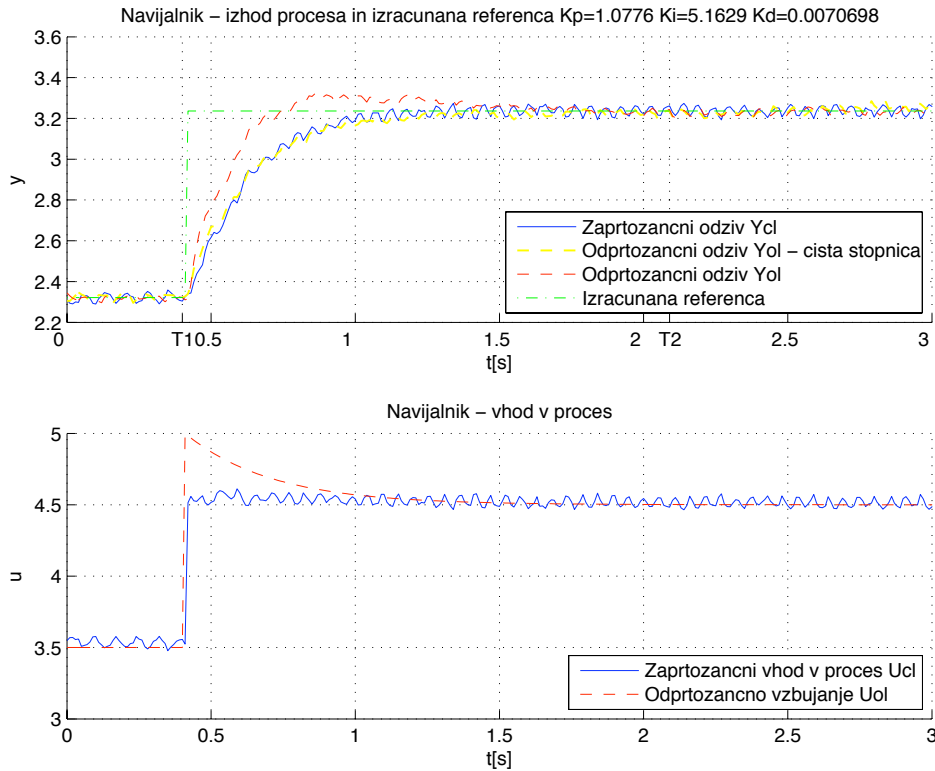
Slika 360: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



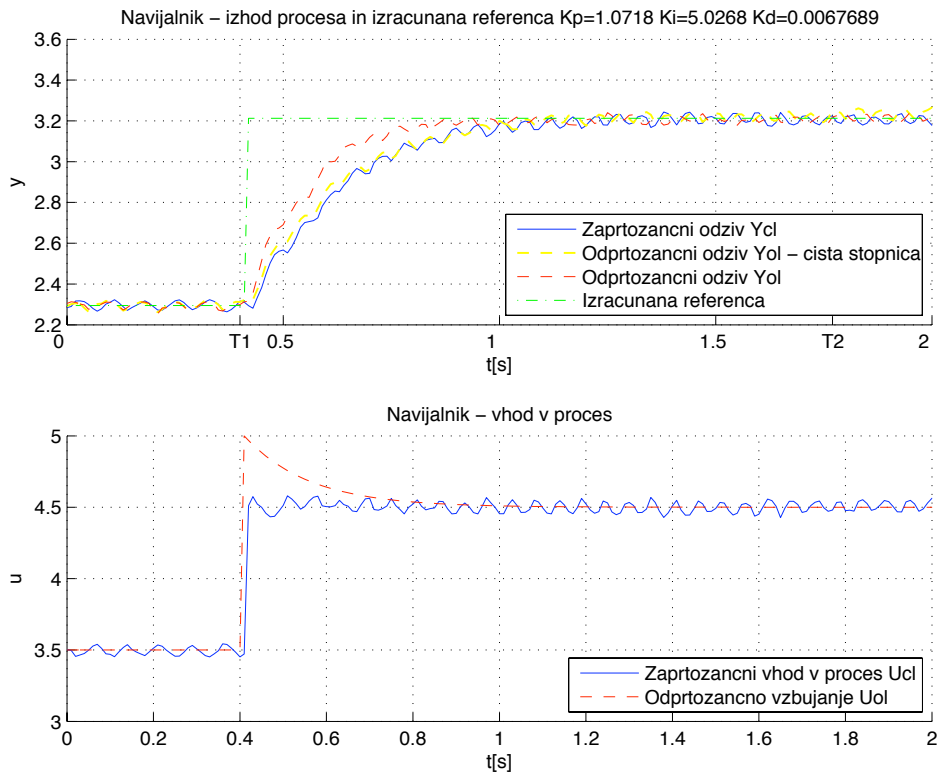
Slika 361: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 362: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 363: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 364: Regulacija hitrosti materiala. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

#### 4.4 Helikopter – nihalo

##### **Opis naprave**

Ogrodje naprave je iz jeklene cevi ter privarjeno na podstavek (Belič, 2005). Na vrhu ogrodja sta na jeklenih ploščicah trdo prispajkana železna drsna ležaja, v katerih se vrti jeklena brušena in površinsko kaljena os nihala, ki je privarjena na samo nihalo. Na enem koncu nihala je privarjena krajša cev, ki poskrbi za izrazito nelinearnost sistema. Protiutež je nameščena neposredno na glavni del nihala, na drugi strani pa je preko medeninaste ploščice privijačen električni motor s propelerjem, ki omogoča premikanje nihala iz ravnovesne lege.



Slika 365: Naprava Helikopter – nihalo

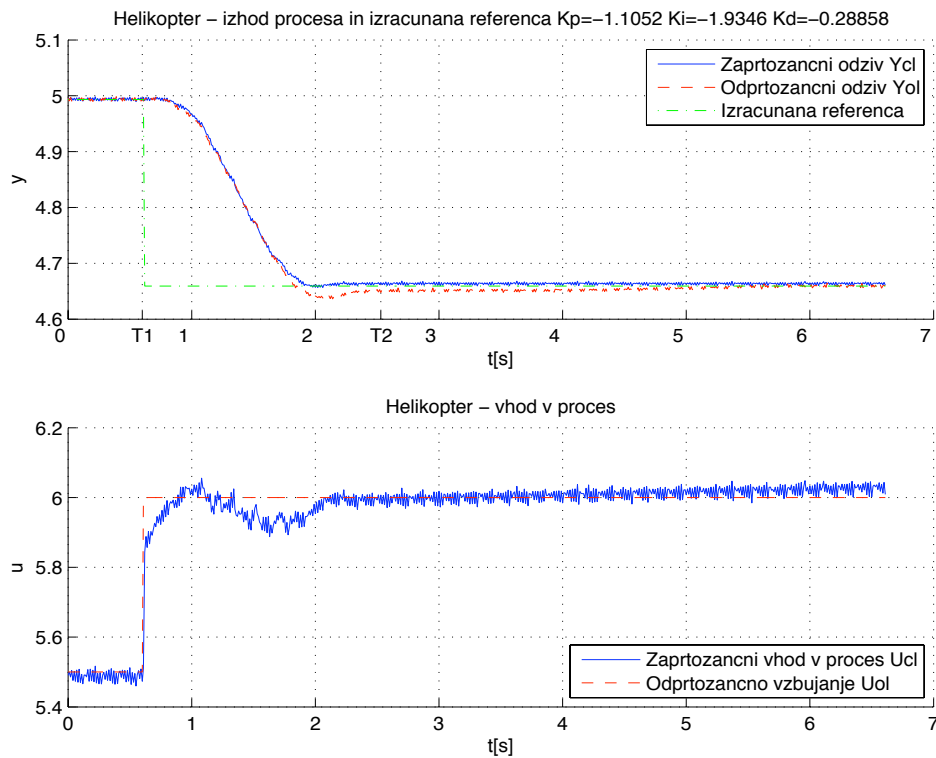
Pogon in zajemanje kota je izvedeno elektromehansko. Za ustvarjanje potiska, ki premika nihalo, je uporabljen modelarski motor MIG400, ki ga napajamo z nazivno napetostjo 6V, dovoljuje pa napetosti od 3.6V-7.2V. Na os motorja je pritrjen lahek propeler iz umetne mase, ki proizvaja potisk in hkrati tudi hladi motor. Senzor kota je 10kOhm potenciometer z linearno karakteristiko, ki je napajan s stabilno napetostjo 10V. Izhod potenciometra je zato napetostni signal v območju 0-10V.



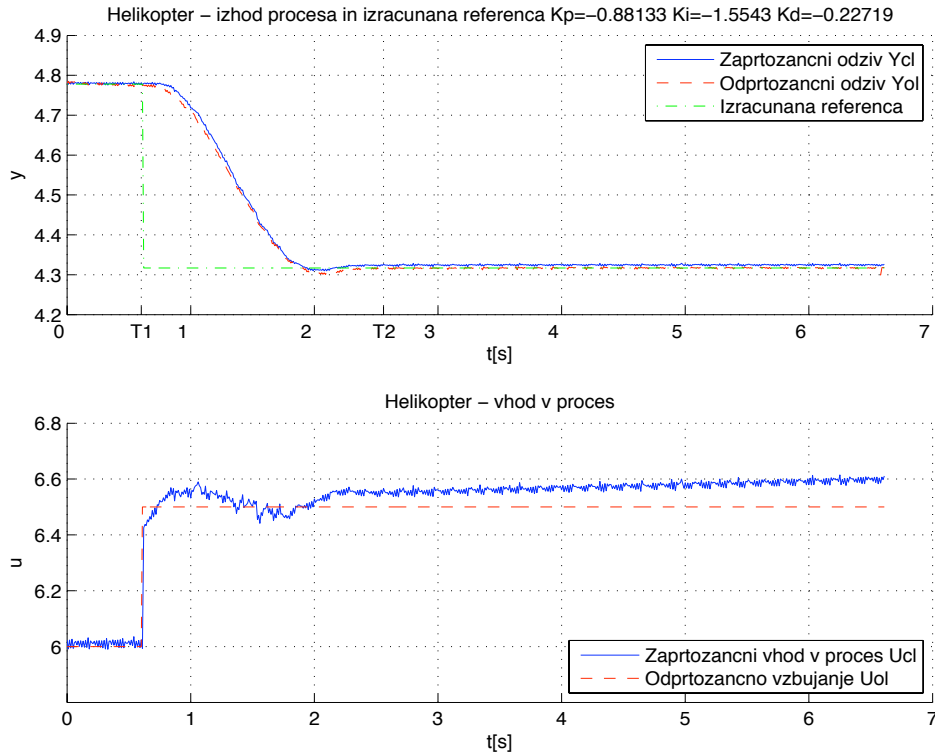
### Rezultati meritev:

Slike 366 – 383 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo odmika helikopterja iz ravnovesne lege. V naslovih grafov so prikazani tudi izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.01s$ .

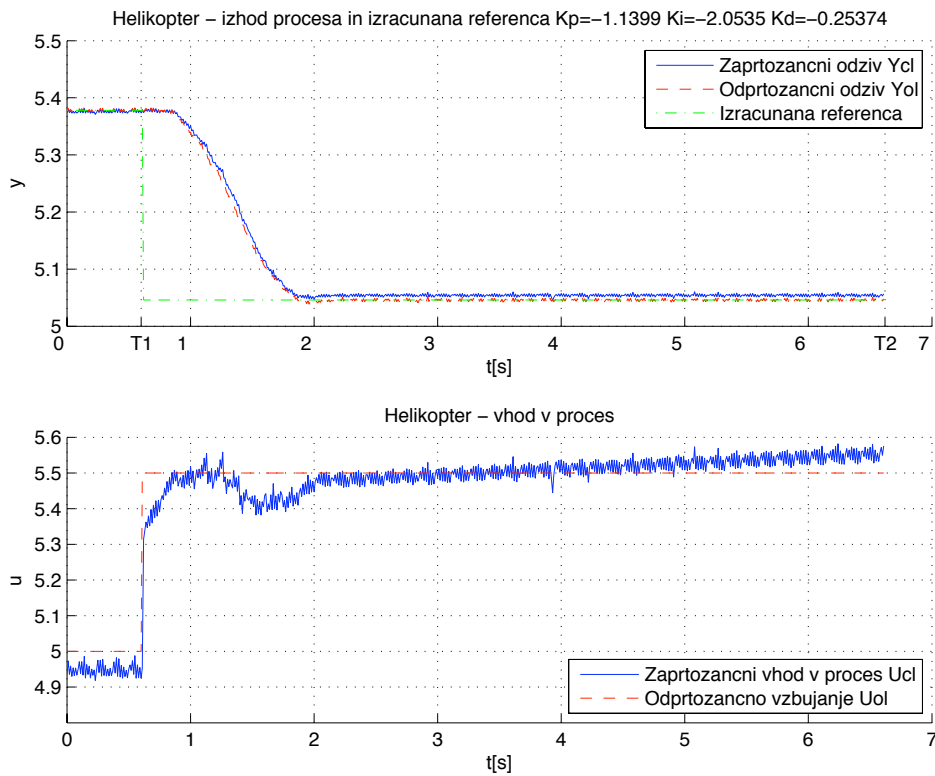
### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



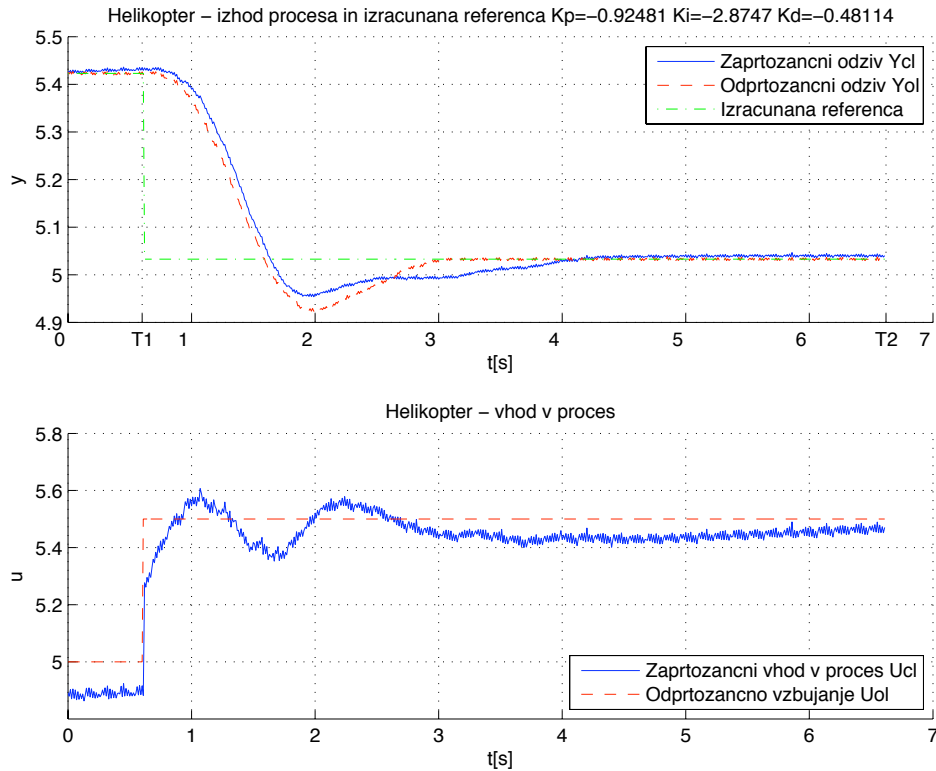
Slika 366: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



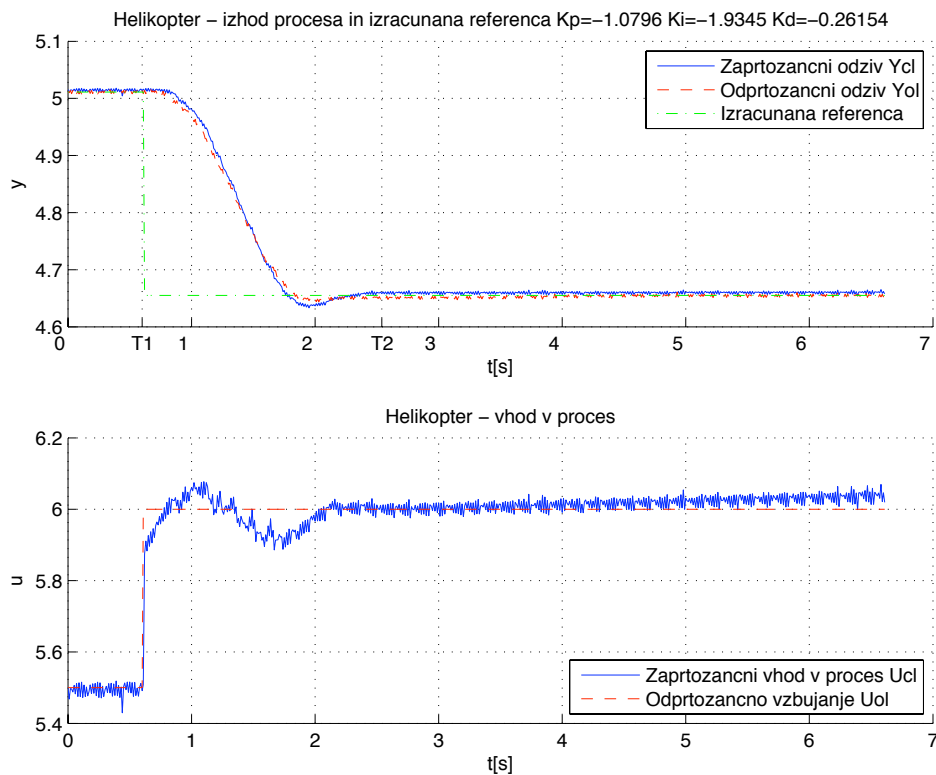
Slika 367: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



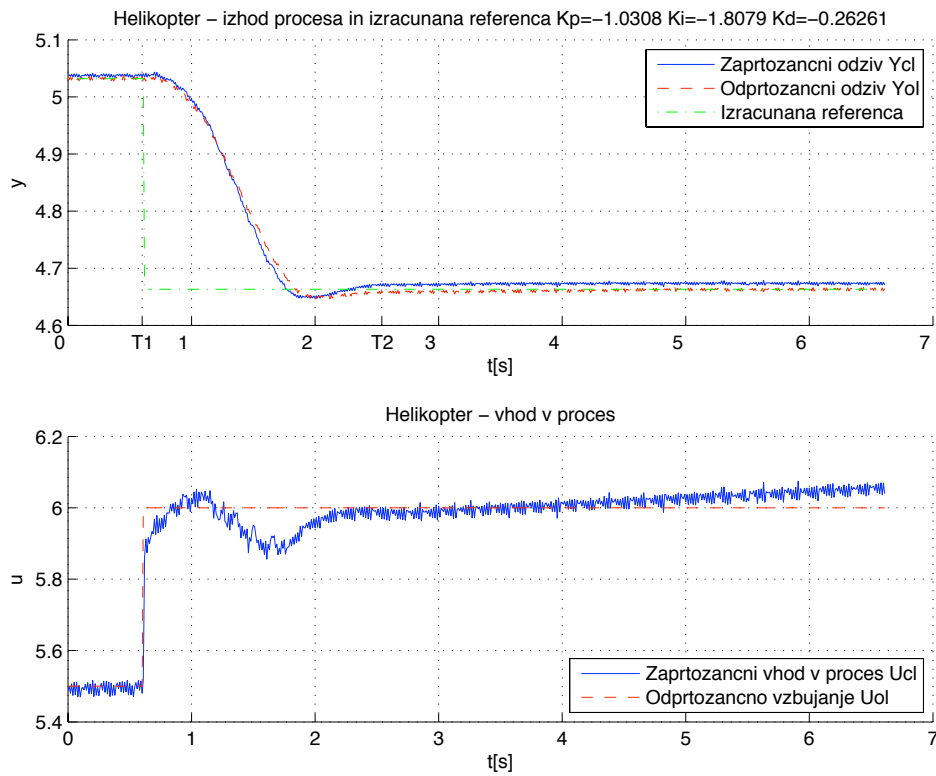
Slika 368: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



Slika 369: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

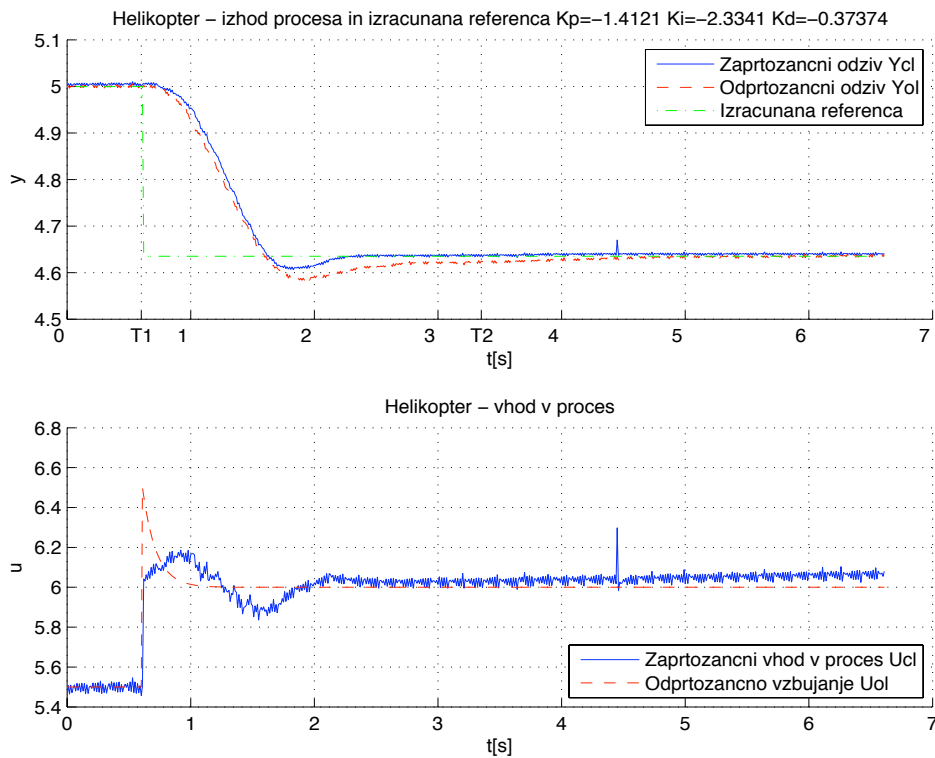


Slika 370: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

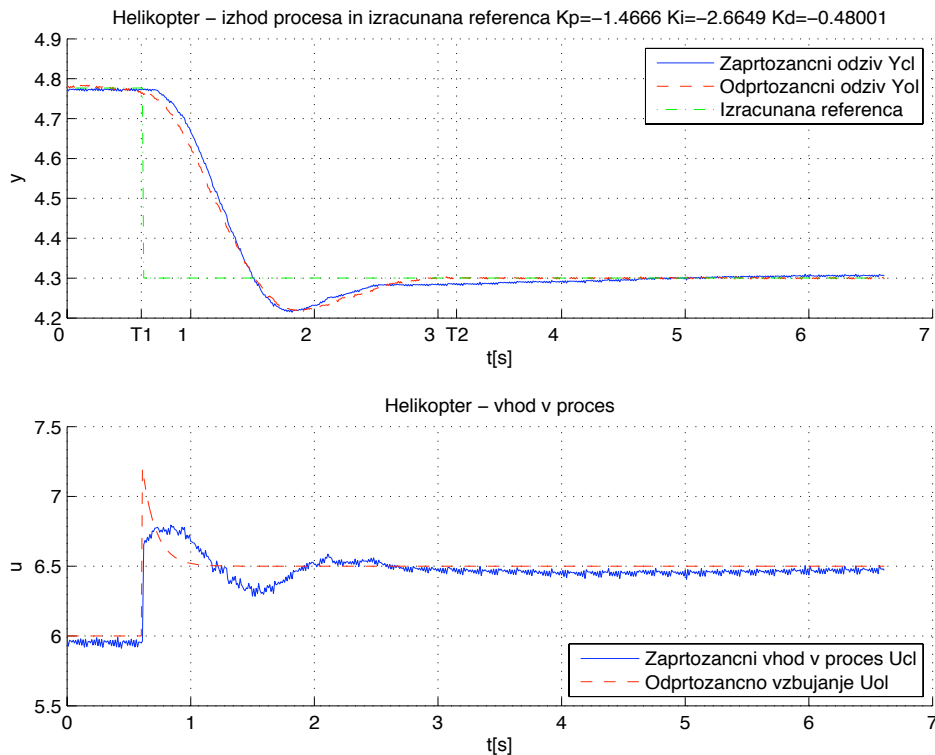


Slika 371: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtzancni in zaprtzancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

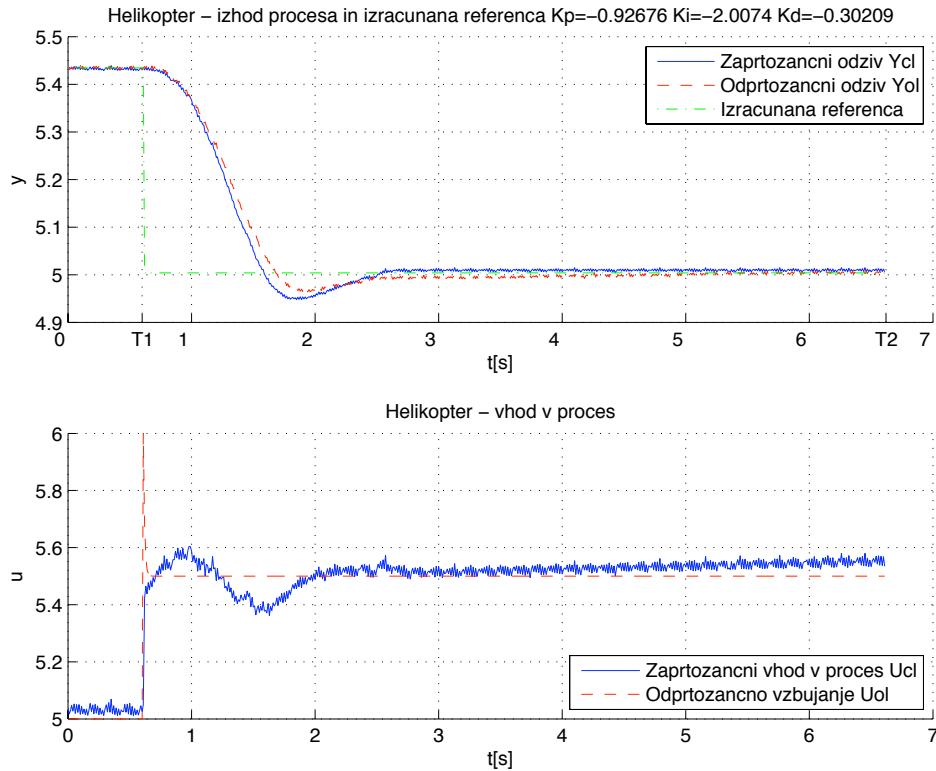
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



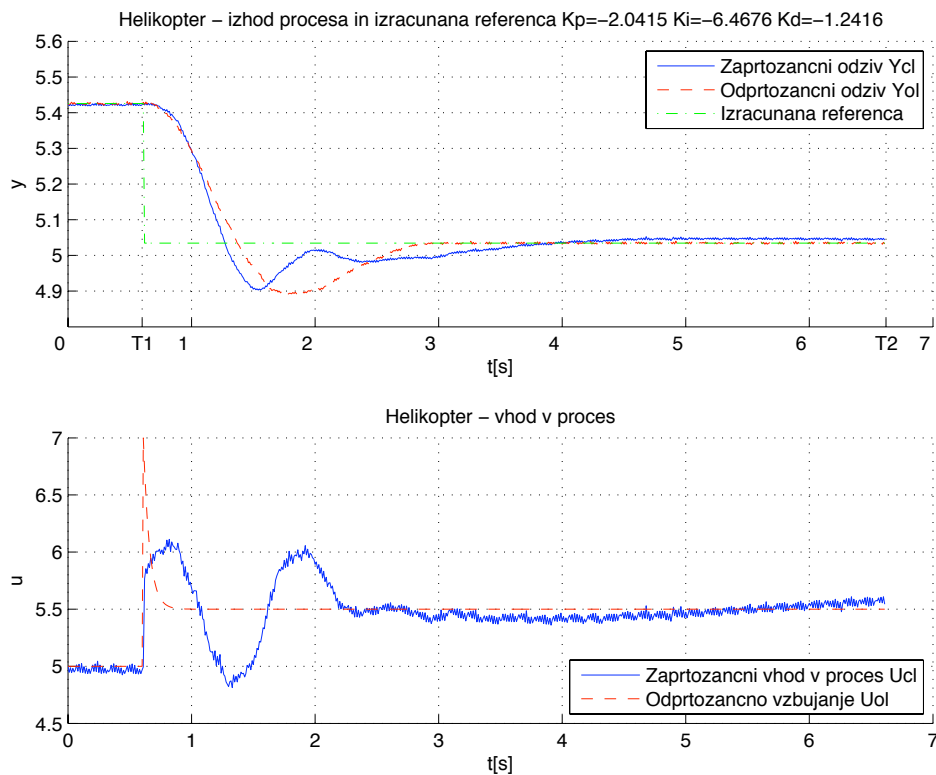
Slika 372: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



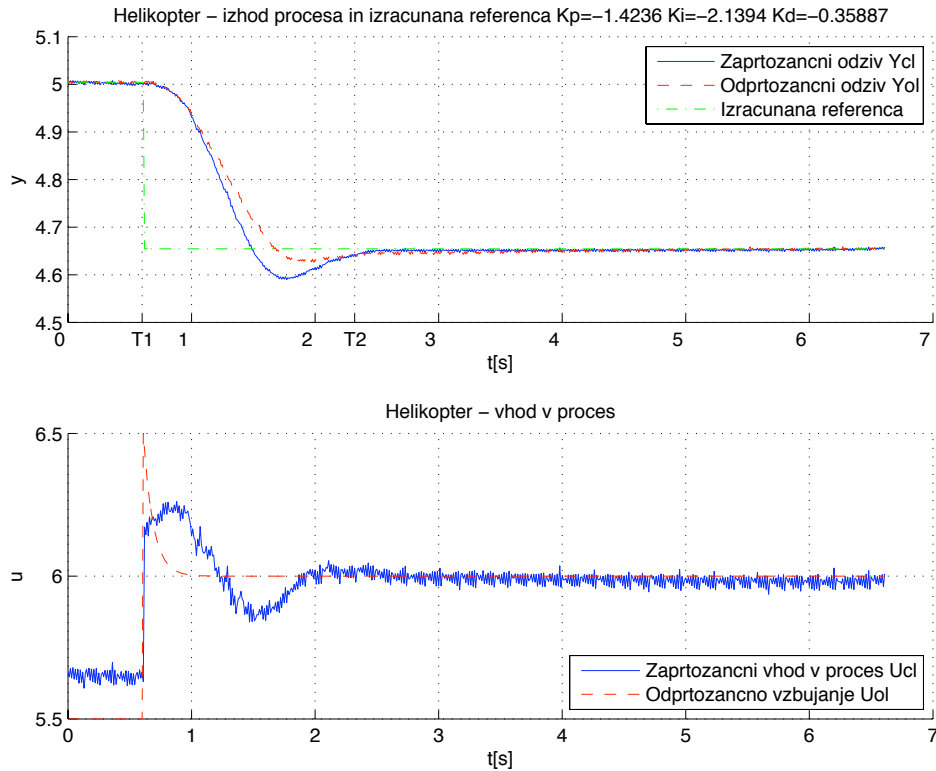
Slika 373: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



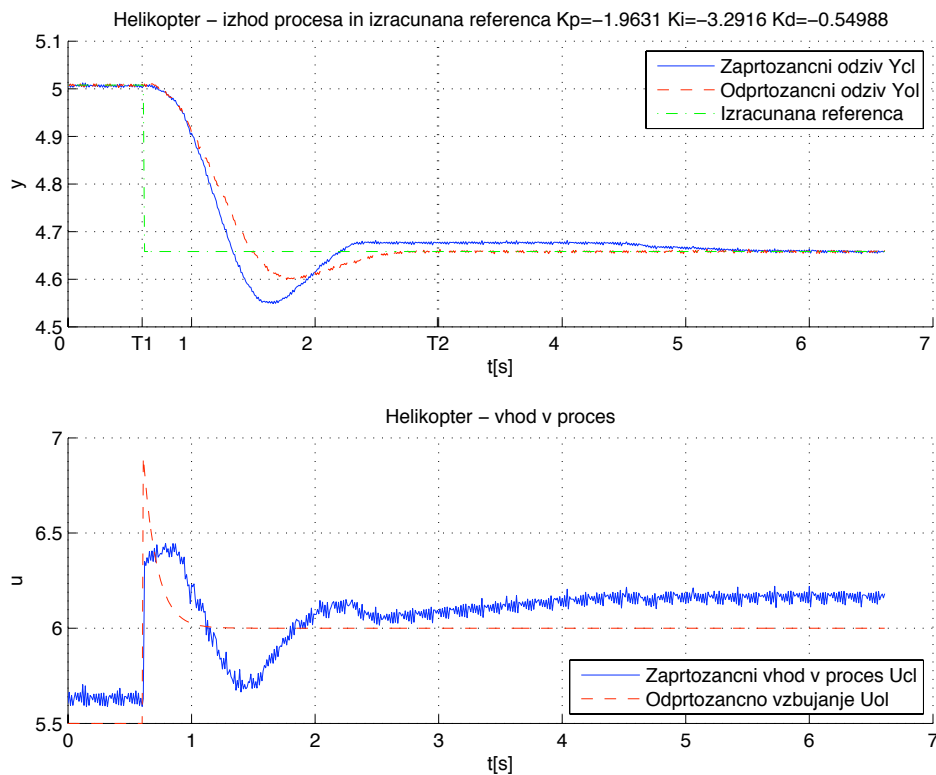
Slika 374: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 375: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

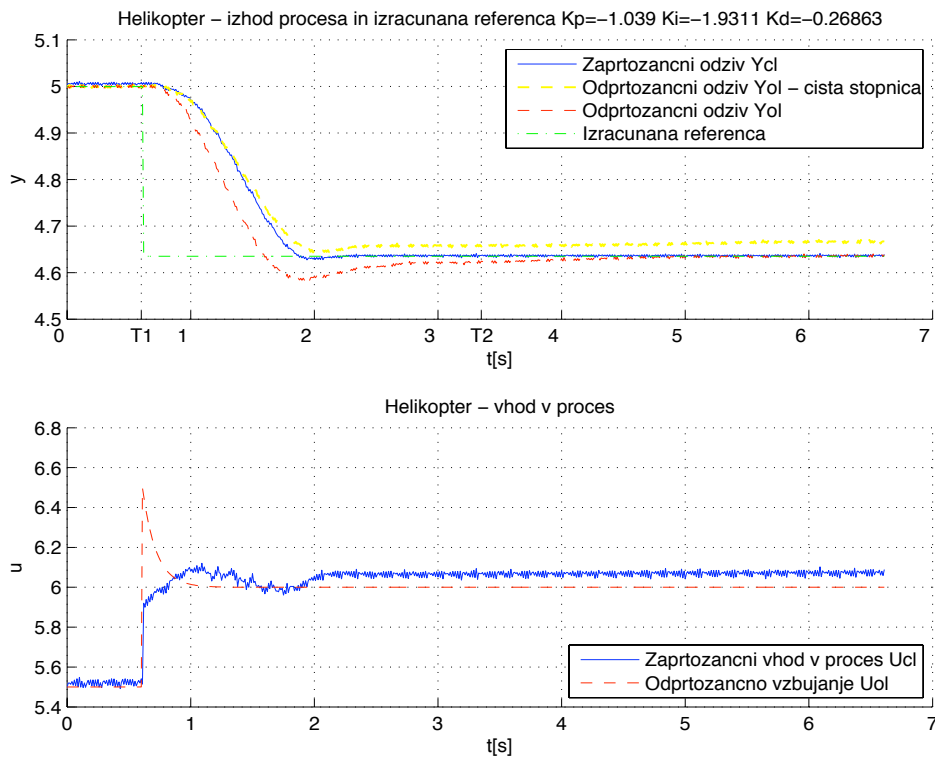


Slika 376: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

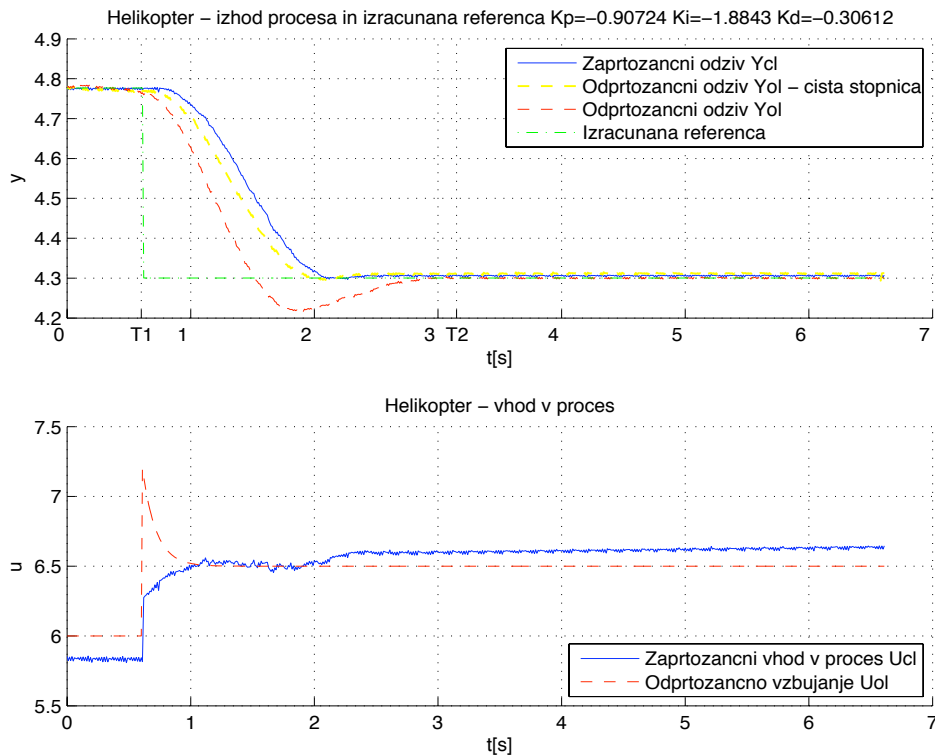


Slika 377: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$

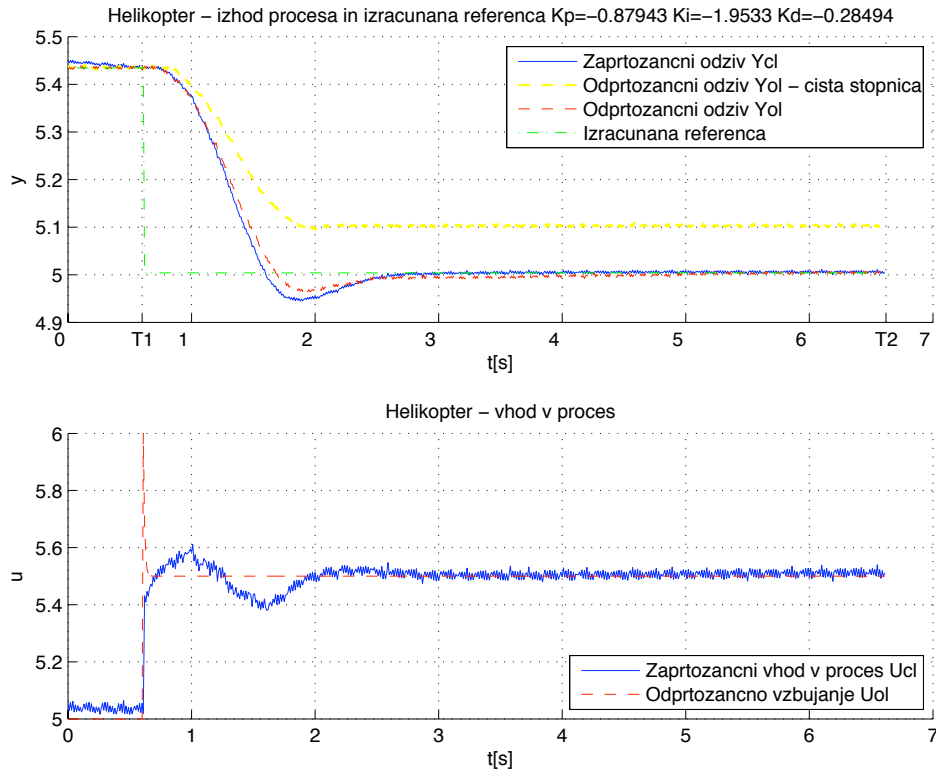


Slika 378: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

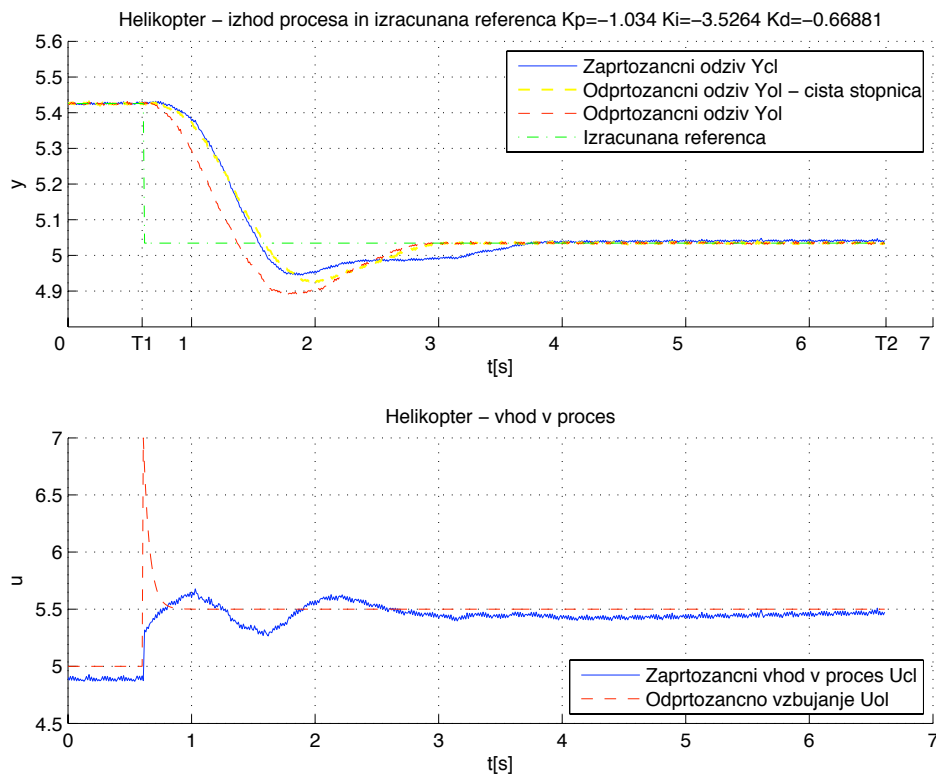


Slika 379: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

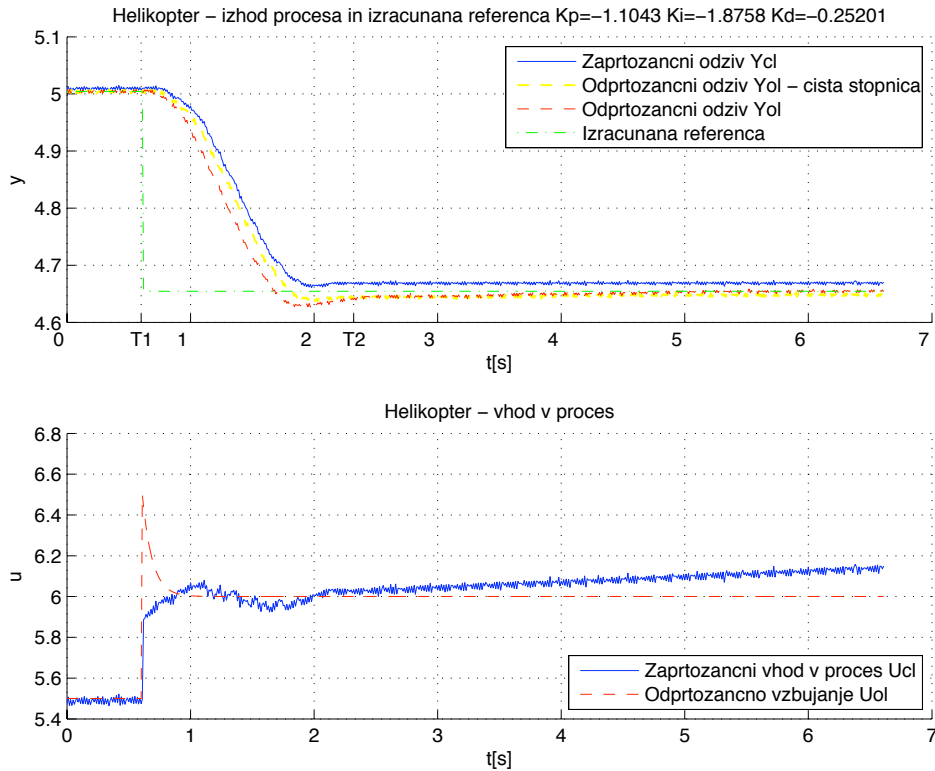




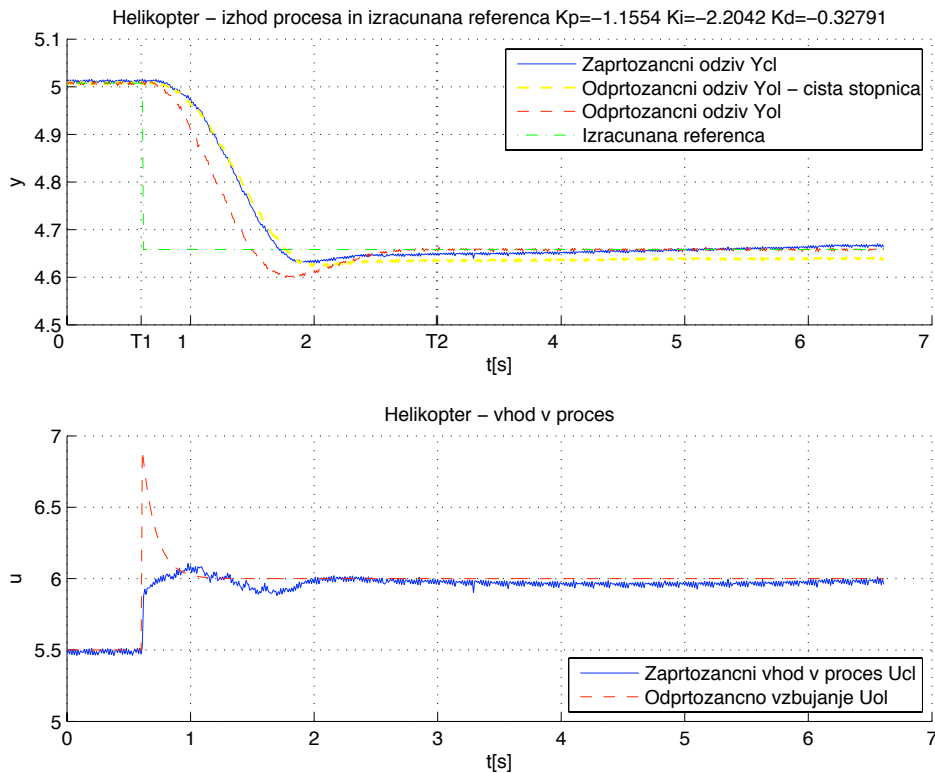
Slika 380: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 381: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 382: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

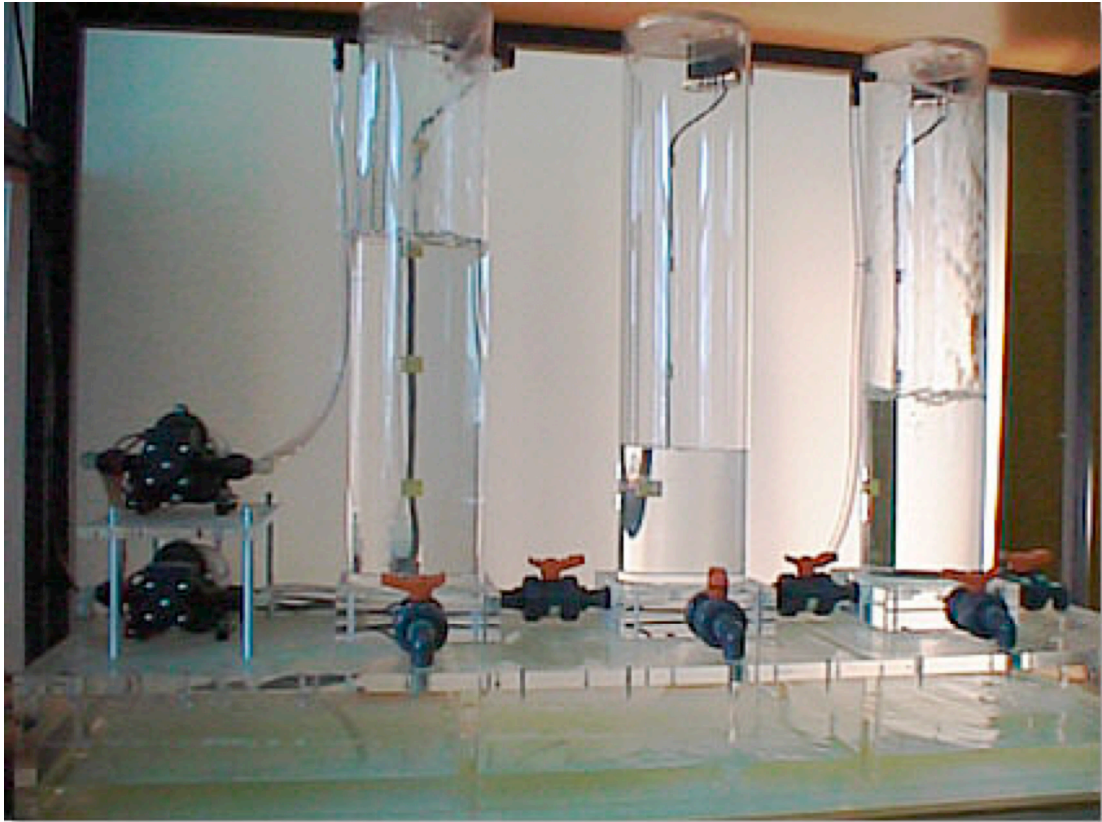


Slika 383: Regulacija odmika nihala iz ravnovesne lege. Odprtzoančni in zaprtzoančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtzoančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

## 4.5 Trije rezervoarji AMIRA DTS200

### **Opis naprave**

Naprava je sestavljena iz treh cilindričnih shranjevalnikov, dveh vodnih črpalk, ki omogočata spreminjanje nivoja vode v rezervoarjih, šestih ventilov, s katerimi vplivamo na dinamiko sistema, in treh senzorjev nivoja (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Osnovno napetostno območje vzbujanja črpalk je od -10V do +10V.



Slika 384: Sistem treh rezervoarjev AMIRA DTS200.

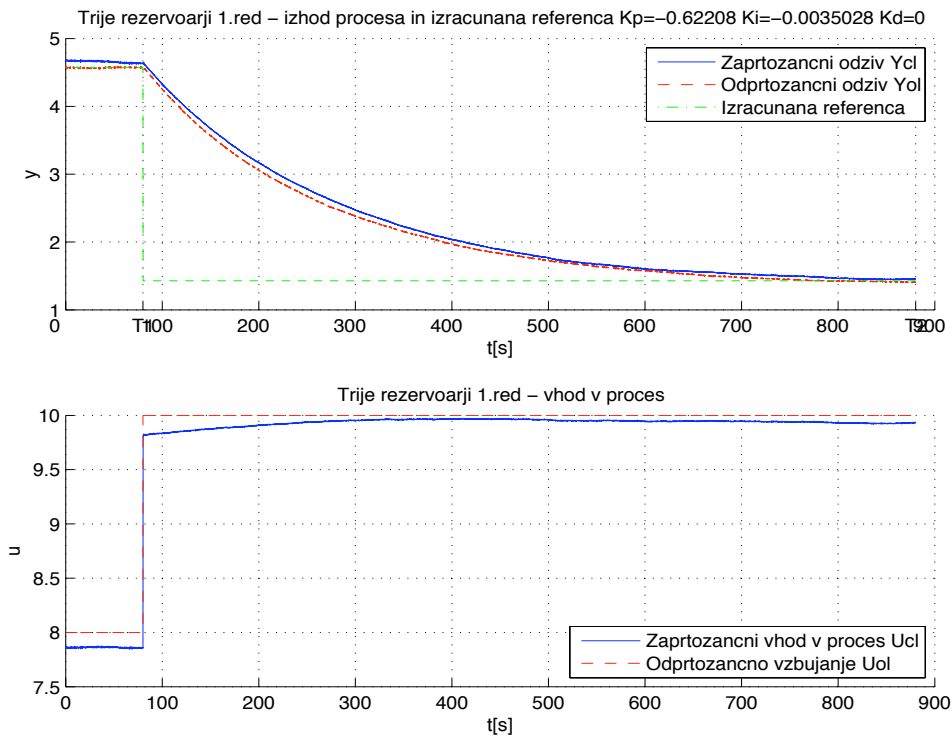
### **Rezultati meritev**

Preizkušanje metode enačenja na sistemu treh rezervoarjev bi lahko razdelili v dve večji skupini. Prva skupina opisuje sistem, kjer je uporabljen en rezervoar, ena vhodna črpalka in en izhodni ventil, torej gre za proces 1. reda. Druga skupina opisuje proces 2. reda, kjer sta preko ventila povezana dva rezervoarja, uporabljena pa je ena vhodna črpalka ter en izhodni ventil.

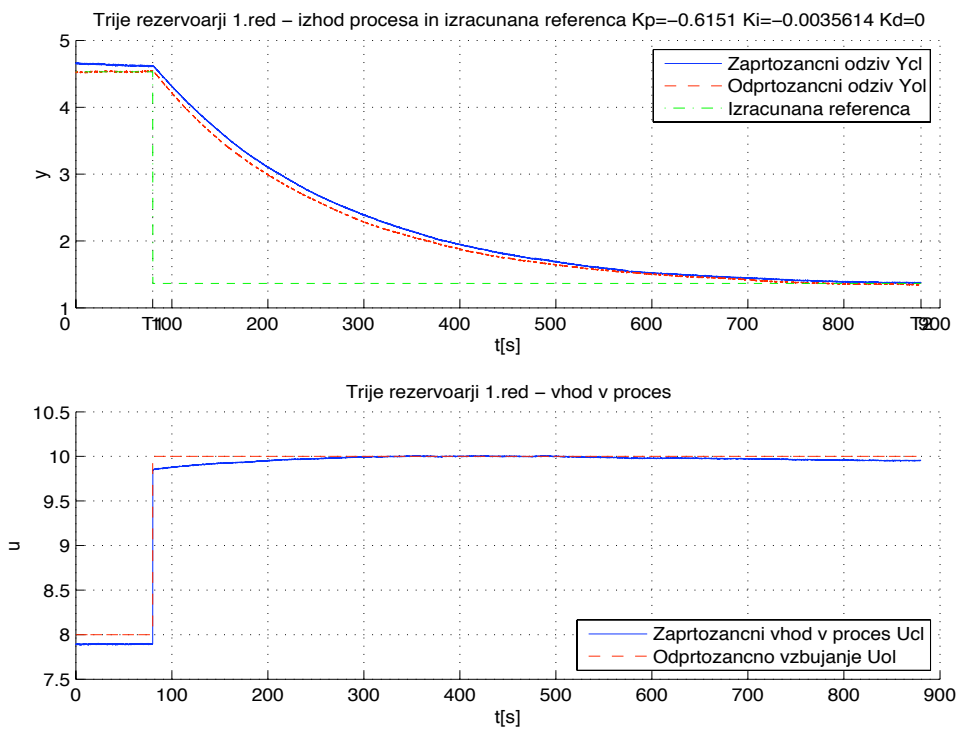
V naslovih grafov so prikazani izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=1s$ .

## Sistem enega rezervoarja – 1. red:

### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$

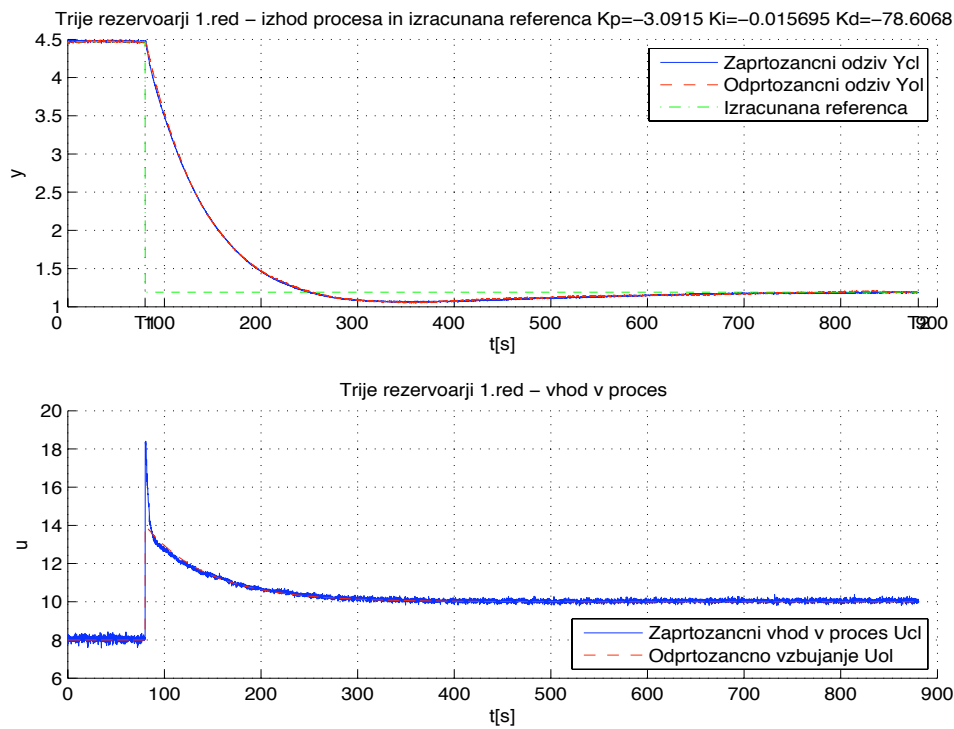


Slika 385: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

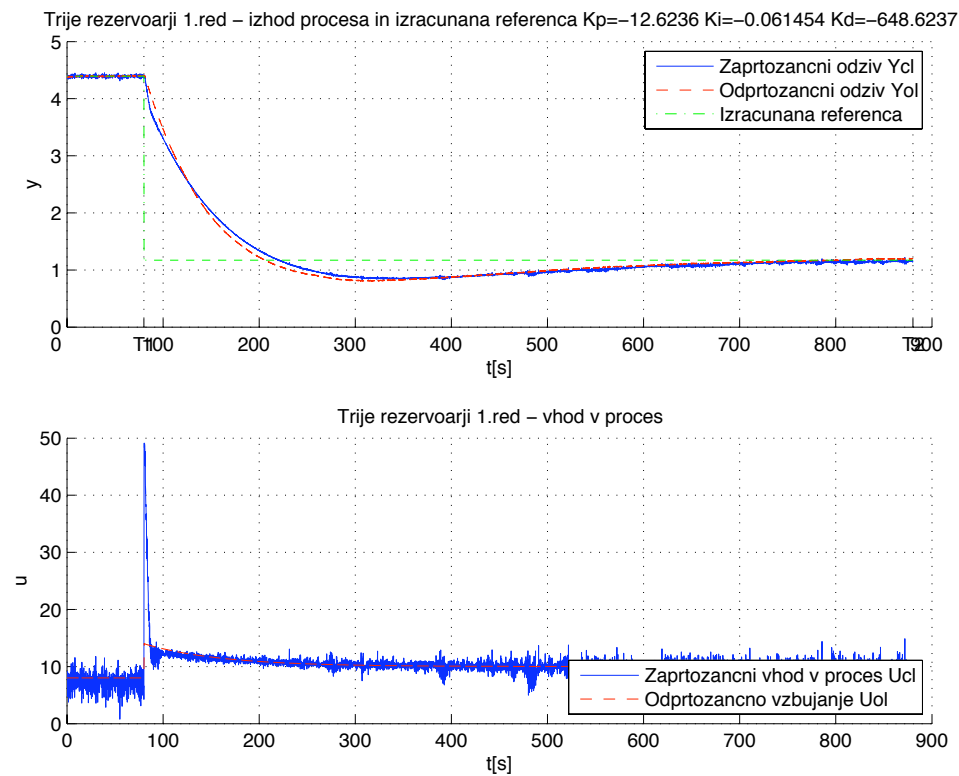


Slika 386: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$

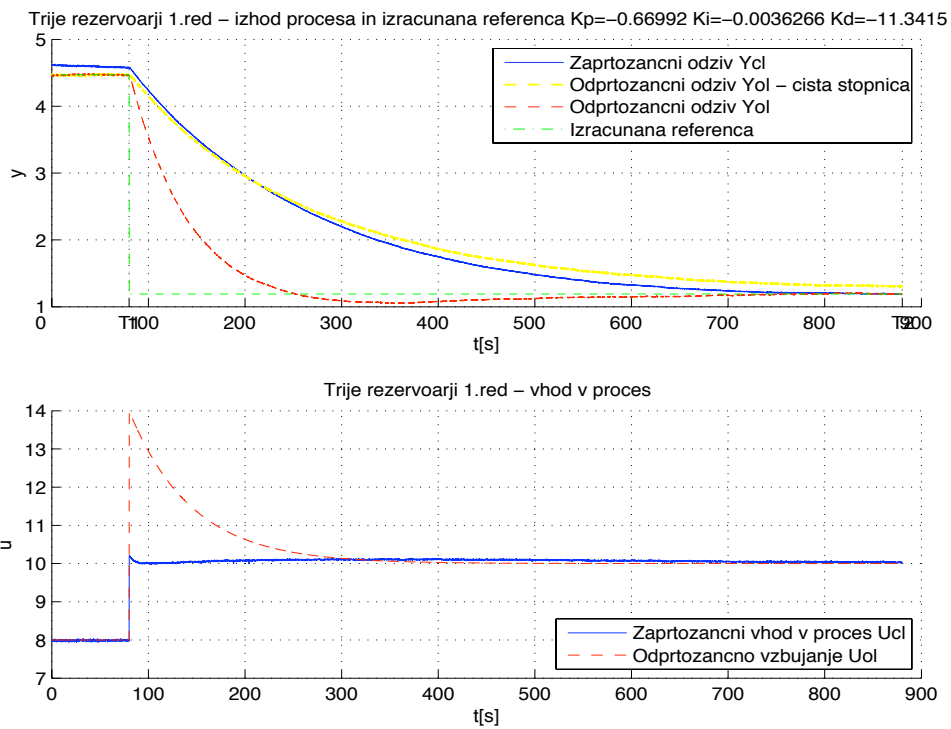


Slika 387: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

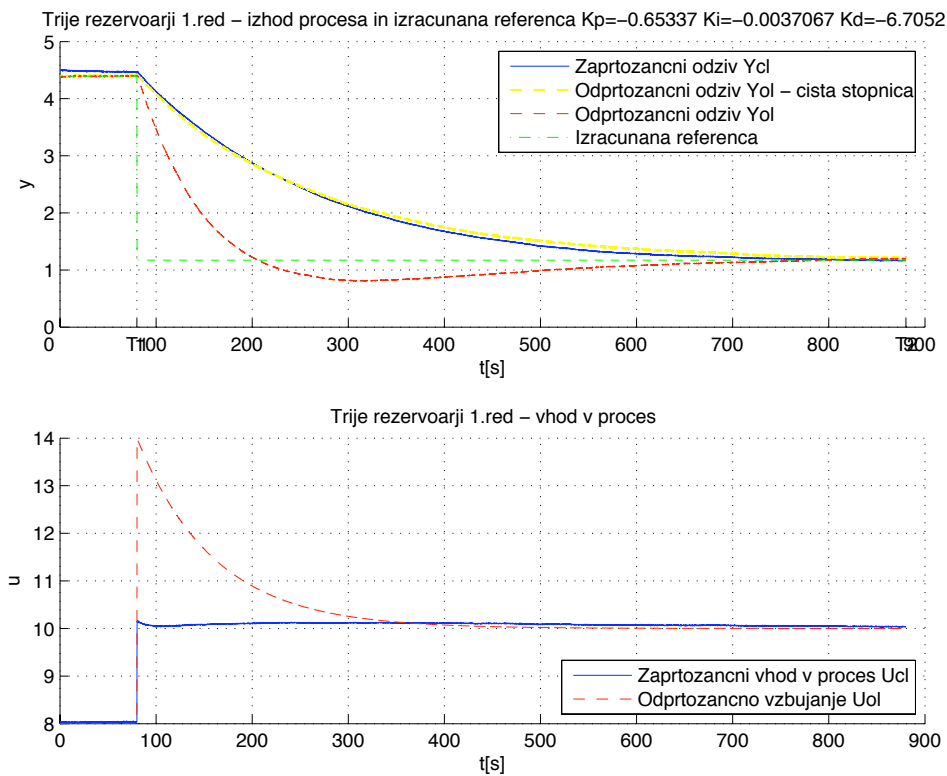


Slika 388: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



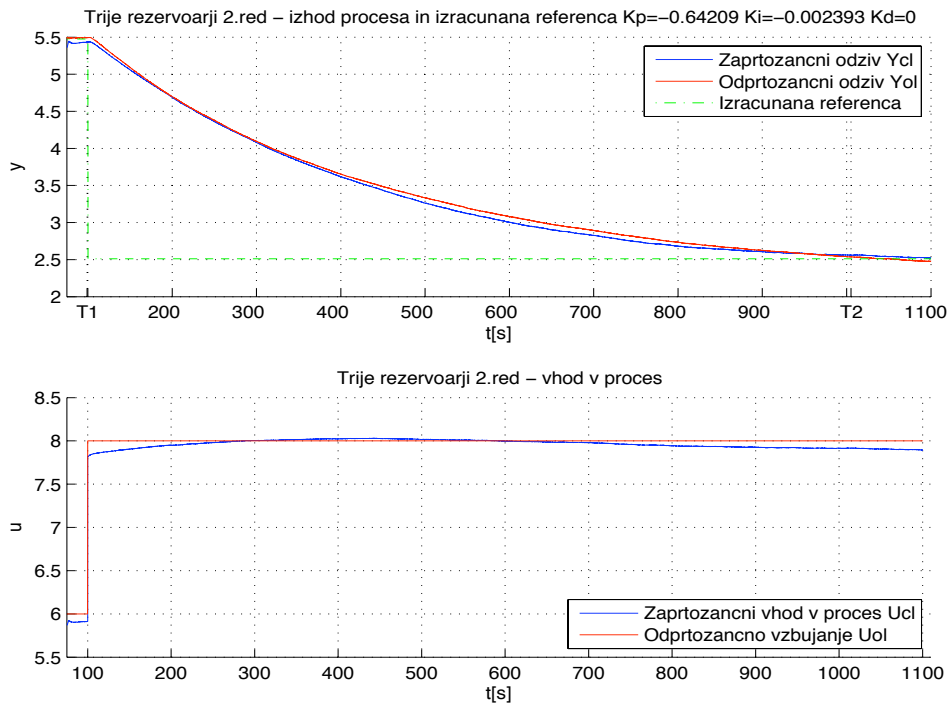
Slika 389: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 390: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

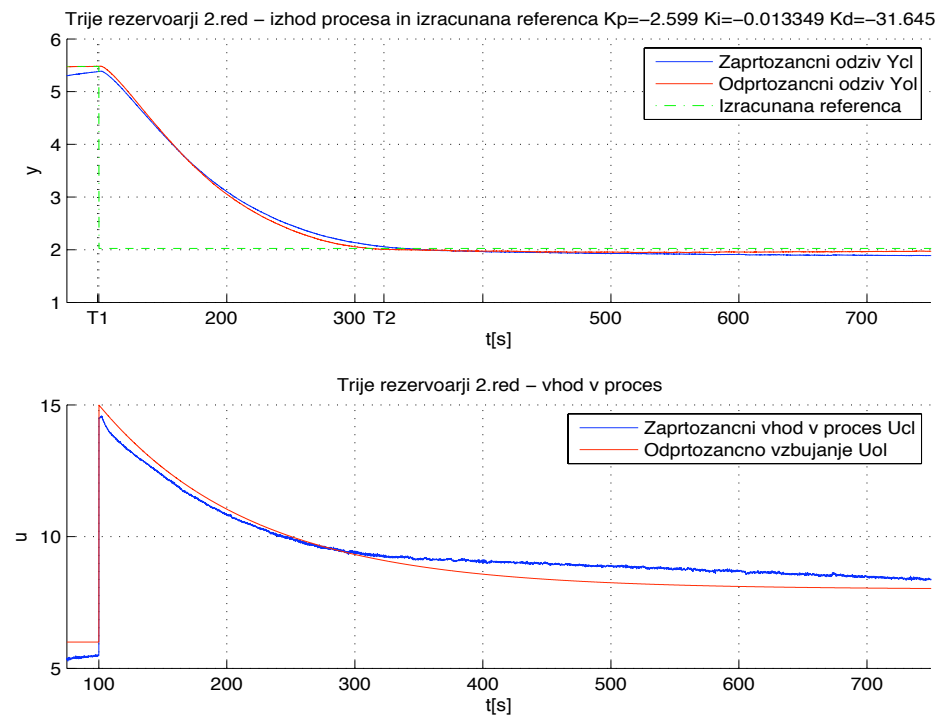
## Sistem dveh povezanih rezervoarjev – 2.red:

### Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



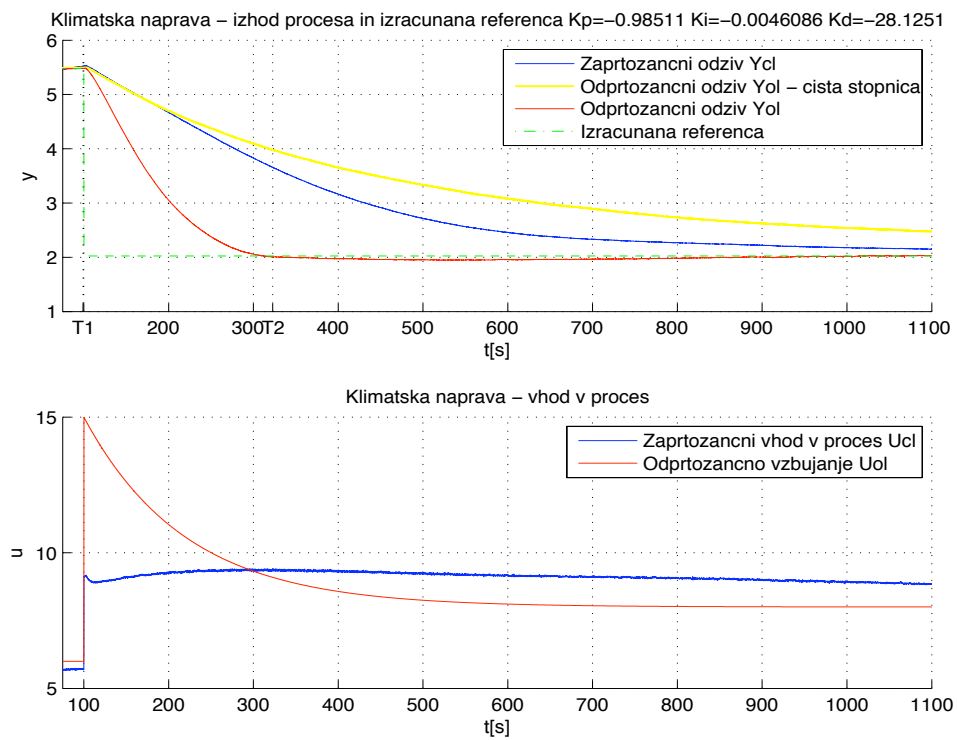
Slika 391: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

### Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



Slika 392: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



Slika 393: Regulacija nivoja tekočine. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



## 4.6 Klimatska naprava

### Opis naprave

Klimatska naprava (slika 394) je proces multivariabilne narave in ima dve izhodni veličini – temperaturo zraka in relativno vlažnost zraka, ter tri vhodne veličine – napetost na grelniku, napetost na vlažilniku in napetost na ventilatorju (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004).

Če uporabljamo le eno vhodno veličino in opazujemo le eno izhodno spremenljivko, lahko zagotovimo univariabilno obnašanje sistema. Na napravi so nameščeni trije pari senzorjev. V vsakem izmed njih sta tipalo za merjenje temperature in tipalo, ki zaznava relativno vlažnost. Prvi par je nameščen neposredno za ventilatorjem in omogoča merjenje temperature in vlage vstopajočega zraka. Drugi par je nameščen neposredno za grelnikom in pred vlaženjem, tako da omogoča merjenje segretega in nevlaženega zraka, tretji par pa je nameščen na izhodu cevi, kjer je zrak segret in navlažen.



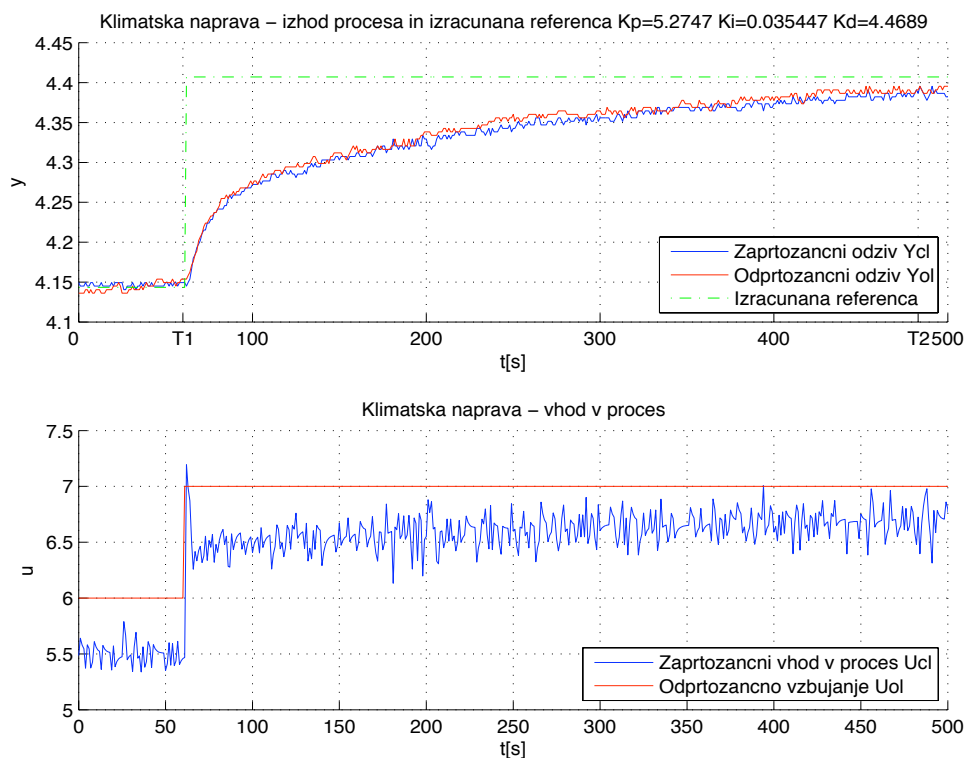
Slika 394: Klimatska naprava.

V našem primeru smo opazovali izhodno temperaturo, ki jo meri drugi senzor, vhodna veličina pa je bila napetost na grelniku. Napetost, ki določa stopnjo vlaženja, je bila ročno nastavljena na 0V, kar pomeni, da je bilo vlaženje zraka izključeno, napetost, ki določa jakost pihanja, pa je bila nastavljena na maksimalno vrednost.

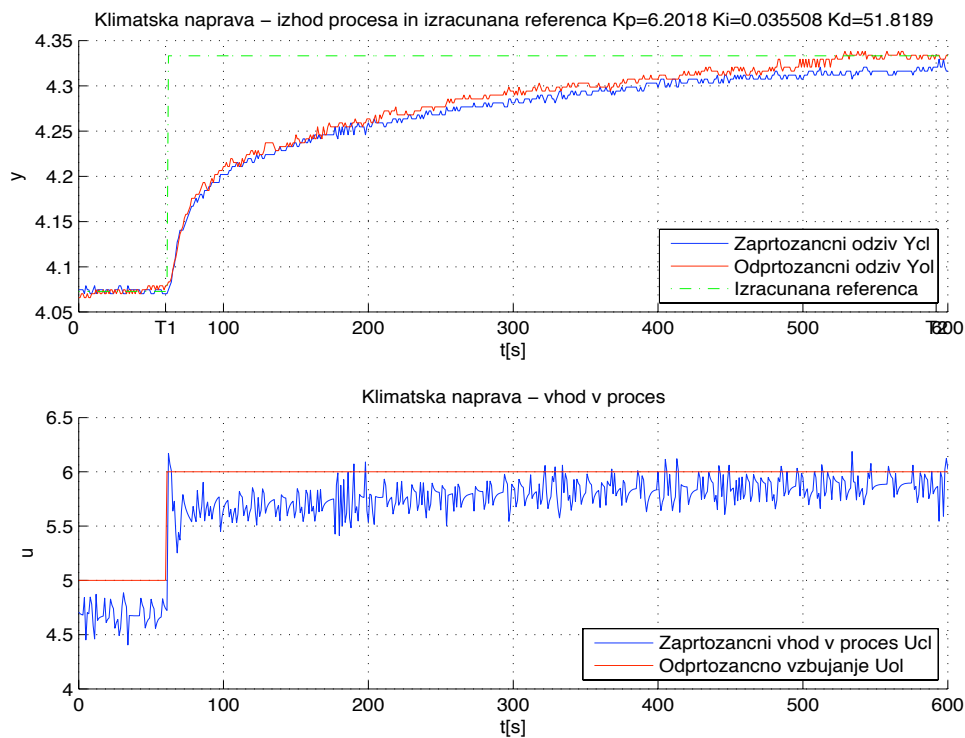
### **Rezultati meritev**

Slike 395 – 406 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo temperature zraka v klimatski napravi. V naslovih grafov so prikazani izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=1s$ .

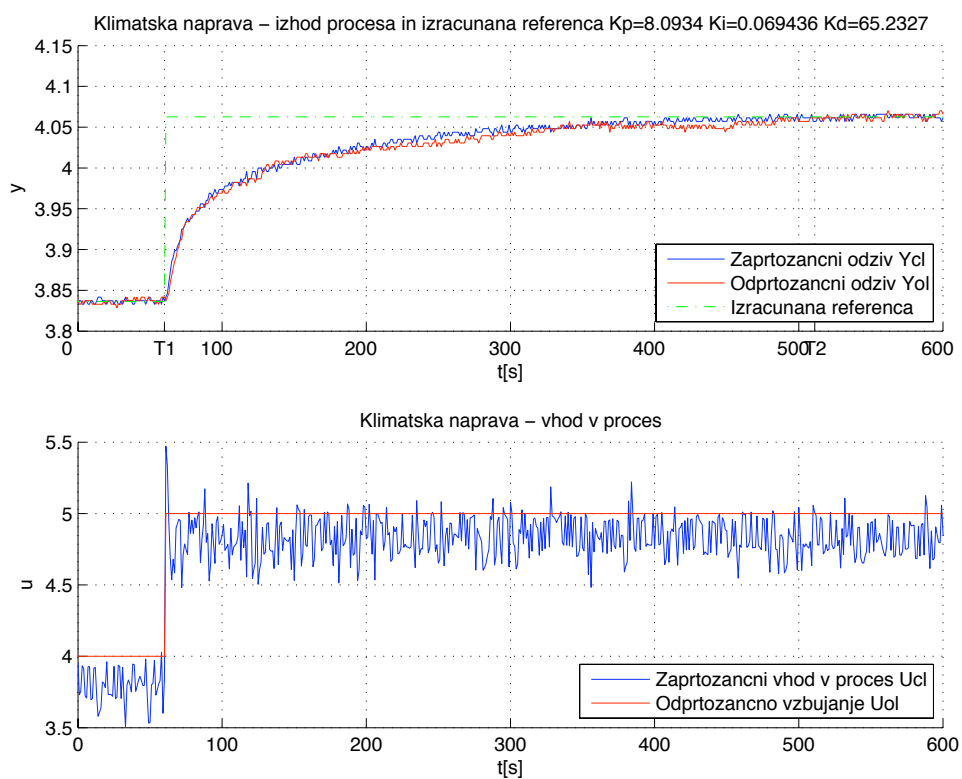
#### **Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$**



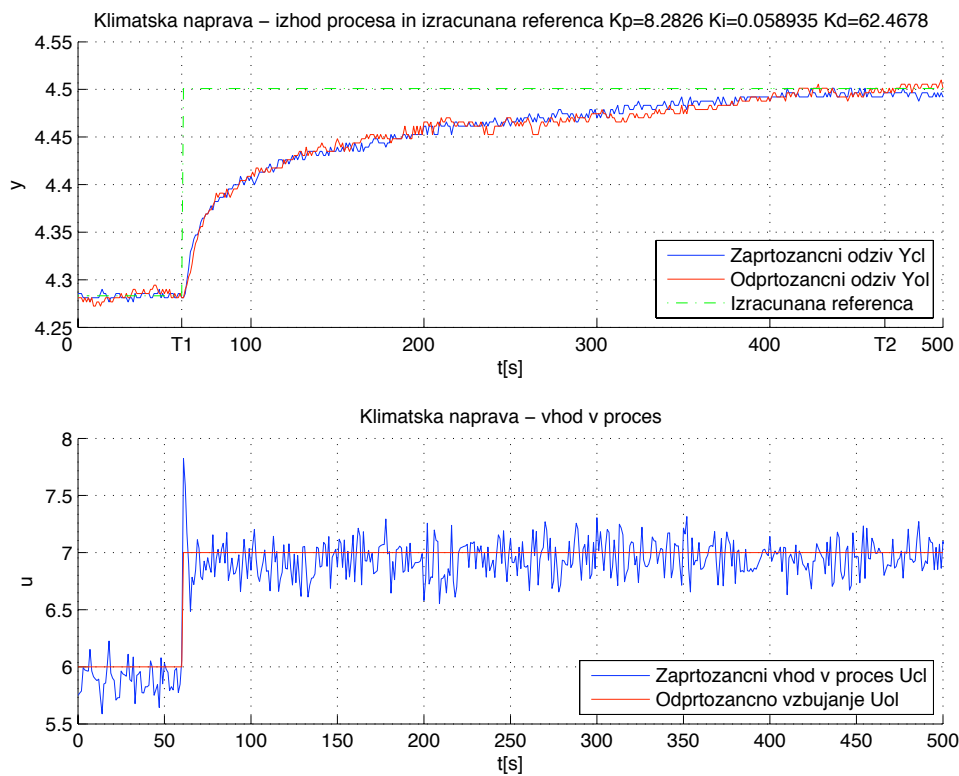
Slika 395: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 396: Regulacija temperature zraka. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

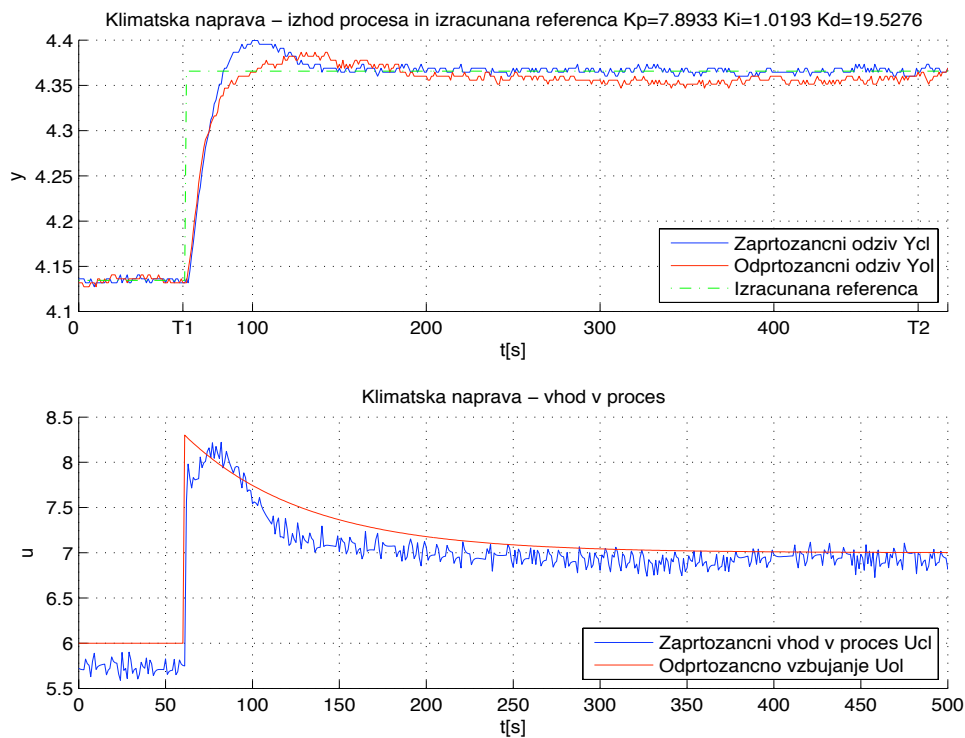


Slika 397: Regulacija temperature zraka. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

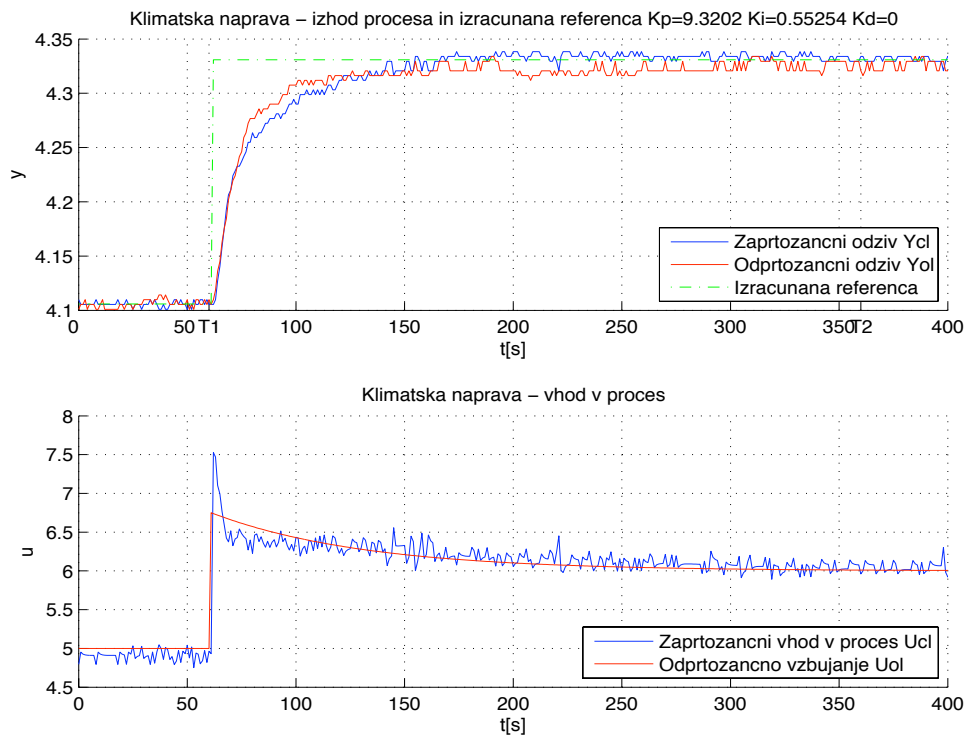


Slika 398: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

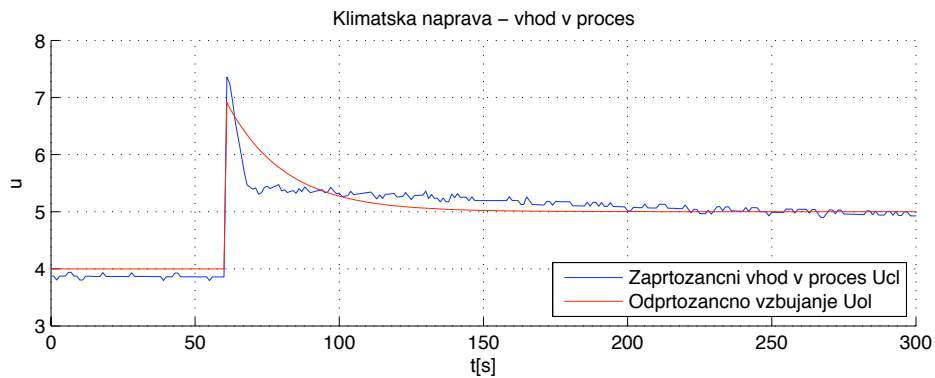
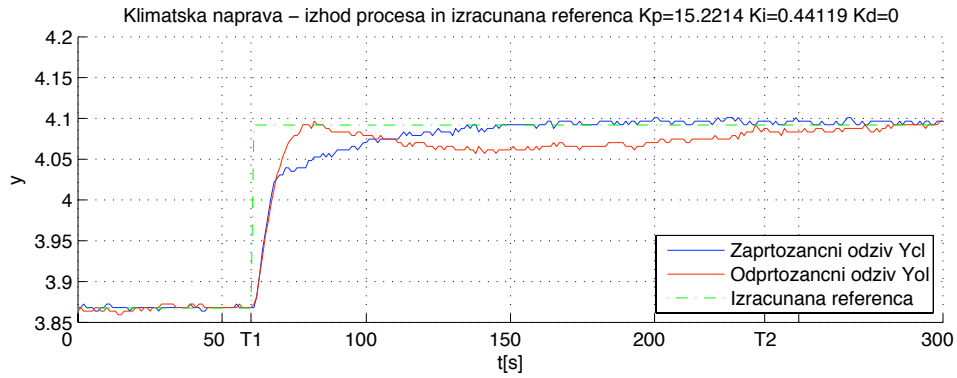
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



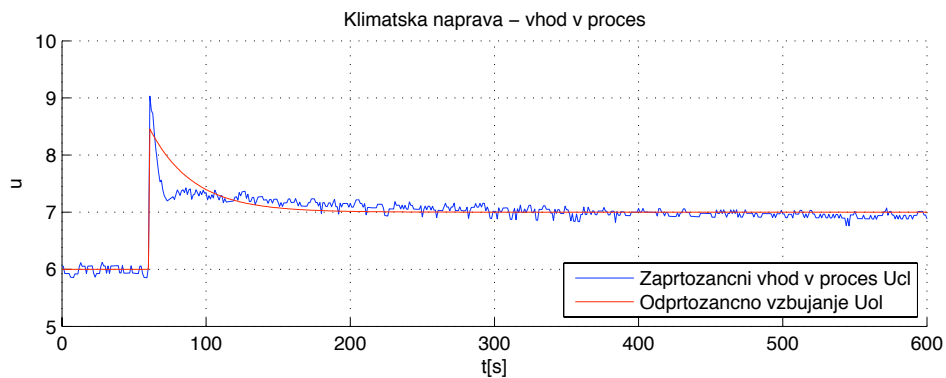
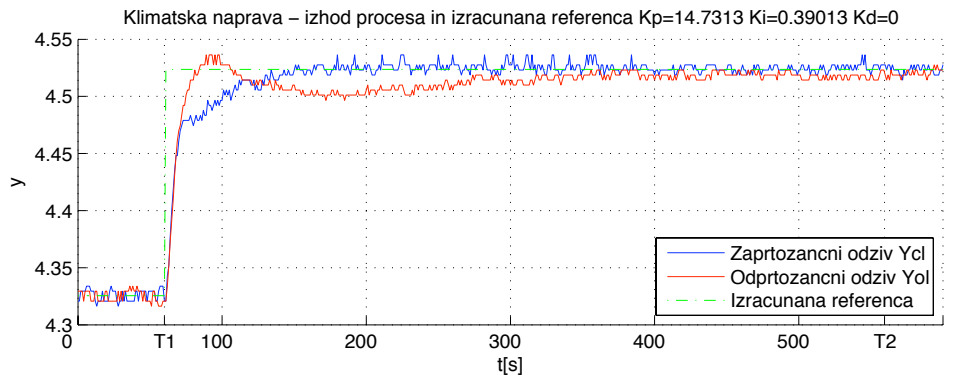
Slika 399: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtizancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 400: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtizancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

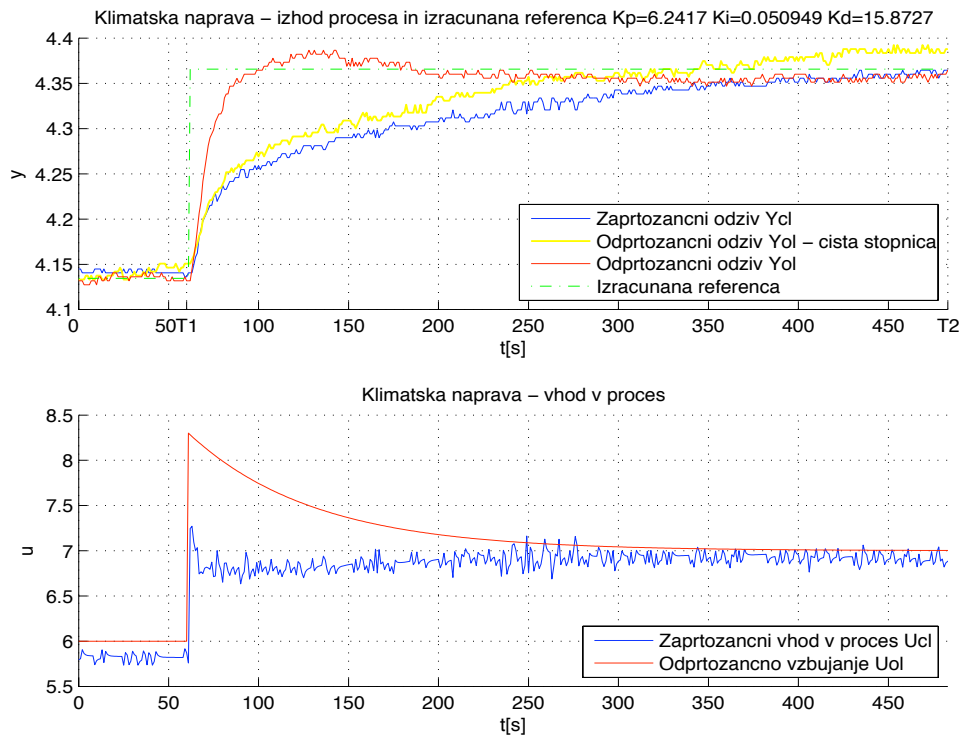


Slika 401: Regulacija temperature zraka. Odprtozancni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

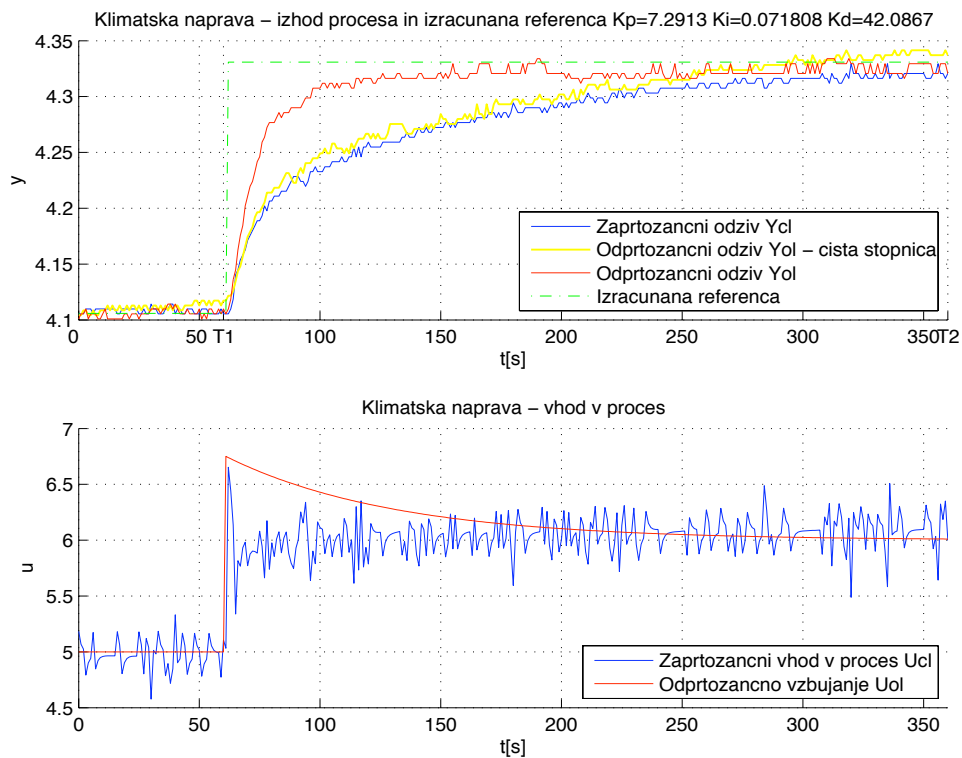


Slika 402: Regulacija temperature zraka. Odprtozancni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

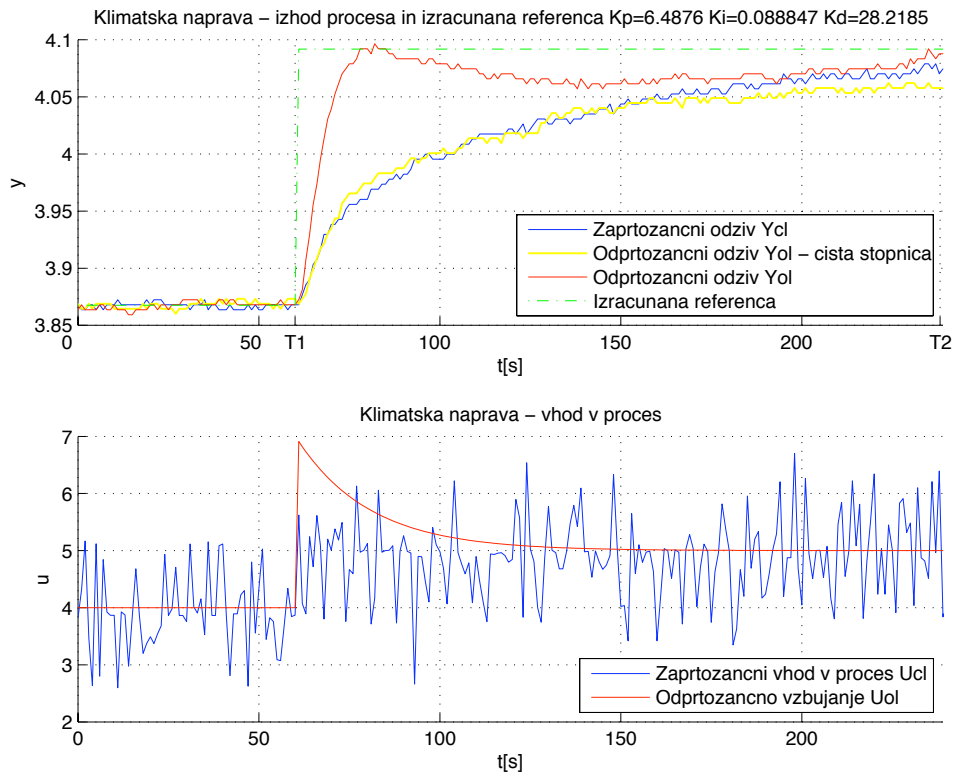
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



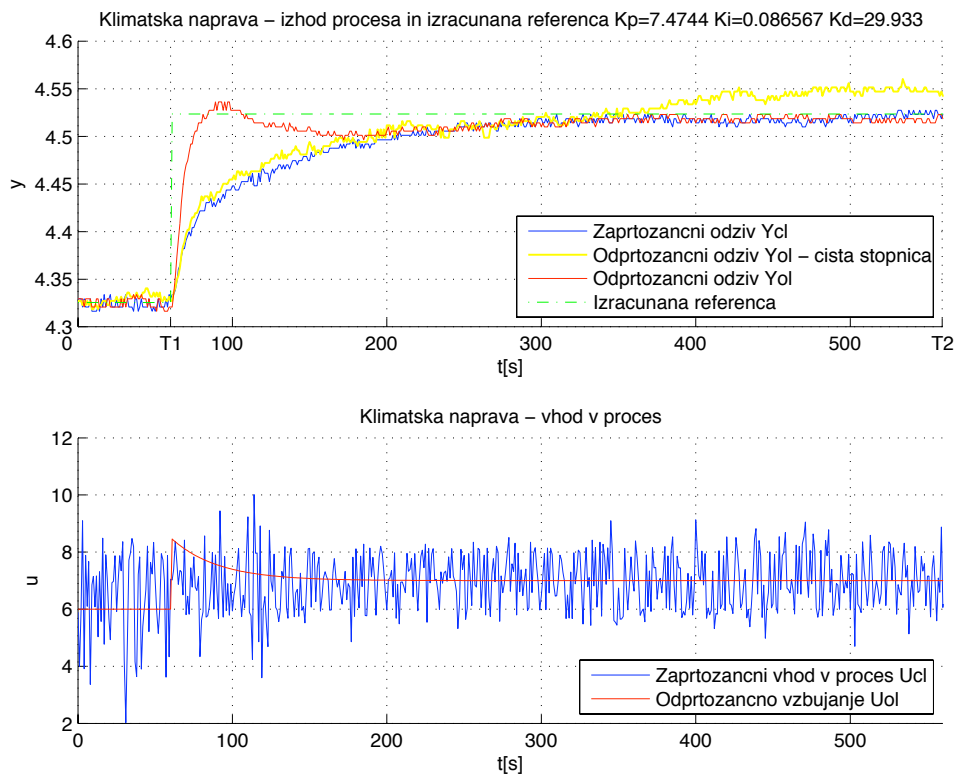
Slika 403: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 404: Regulacija temperature zraka. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 405: Regulacija temperature zraka. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



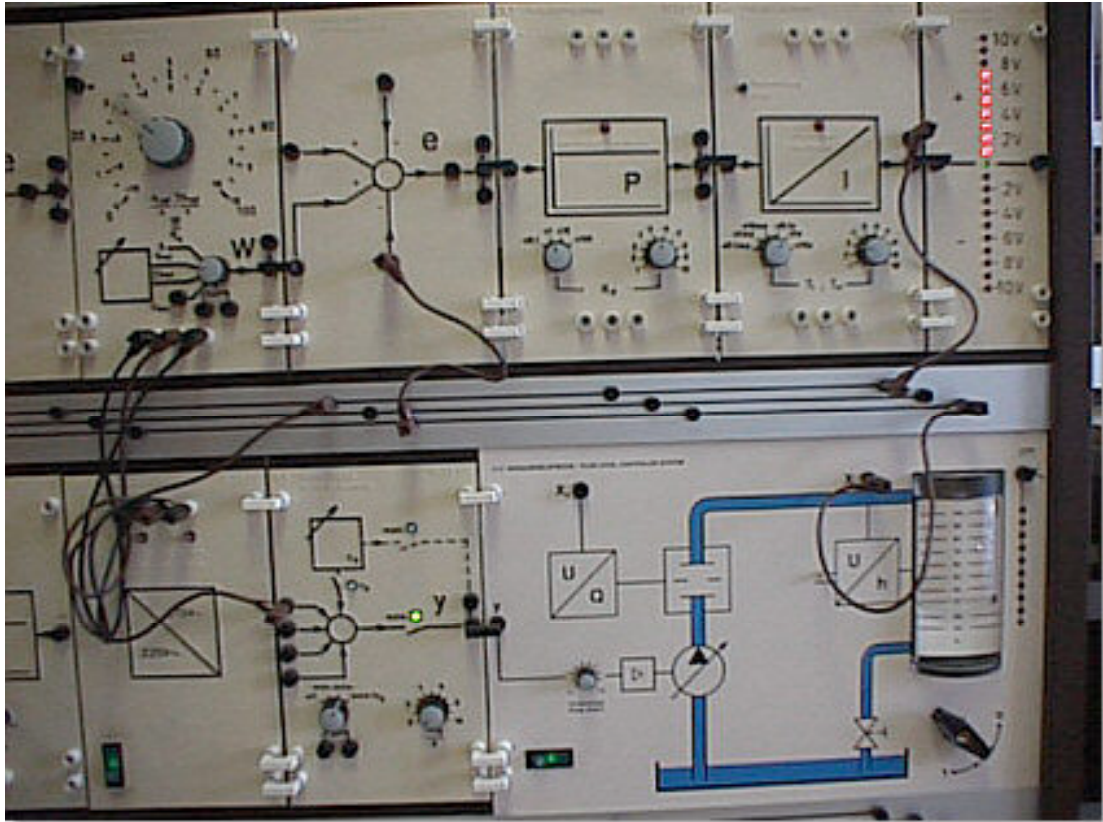
Slika 406: Regulacija temperature zraka. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).



## 4.7 Rezervoar ELWE

### Opis naprave

Naprava je sestavljena iz cilindričnega shranjevalnika, vodne črpalke, ki omogoča spreminjanje nivoja vode v rezervoarju, ventila, senzorja nivoja in senzorja pretoka (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Vhod v proces je napetost na črpalci, ki dovaja vodo v cilindar, izhod pa je nivo vode v cilindru.

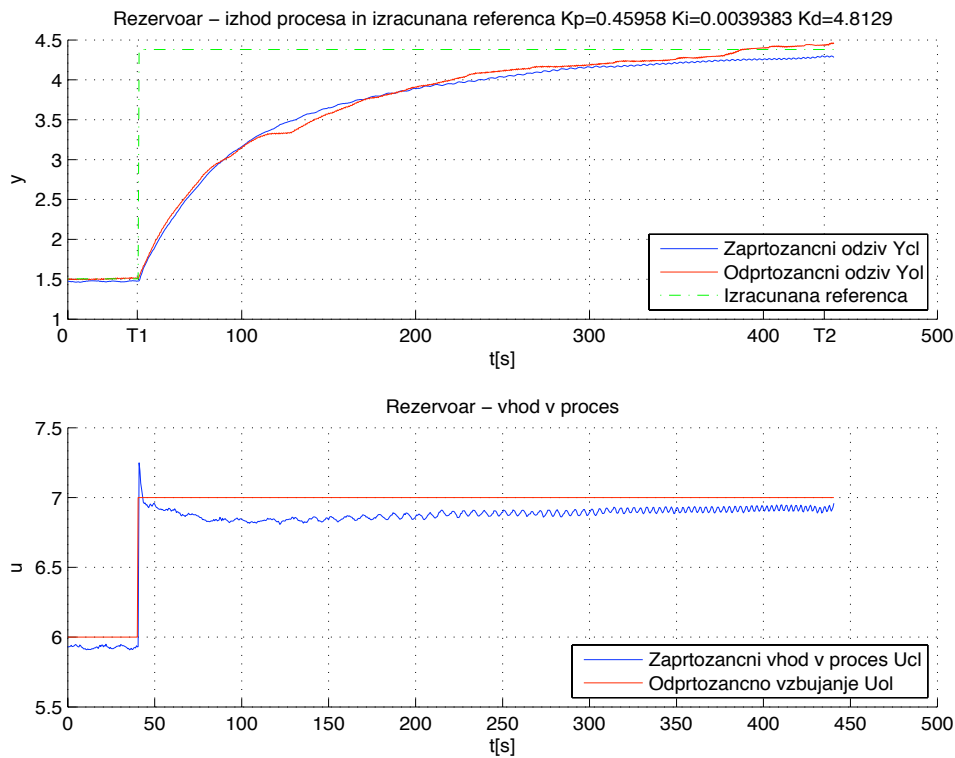


Slika 407: Rezervoar ELWE (desno spodaj).

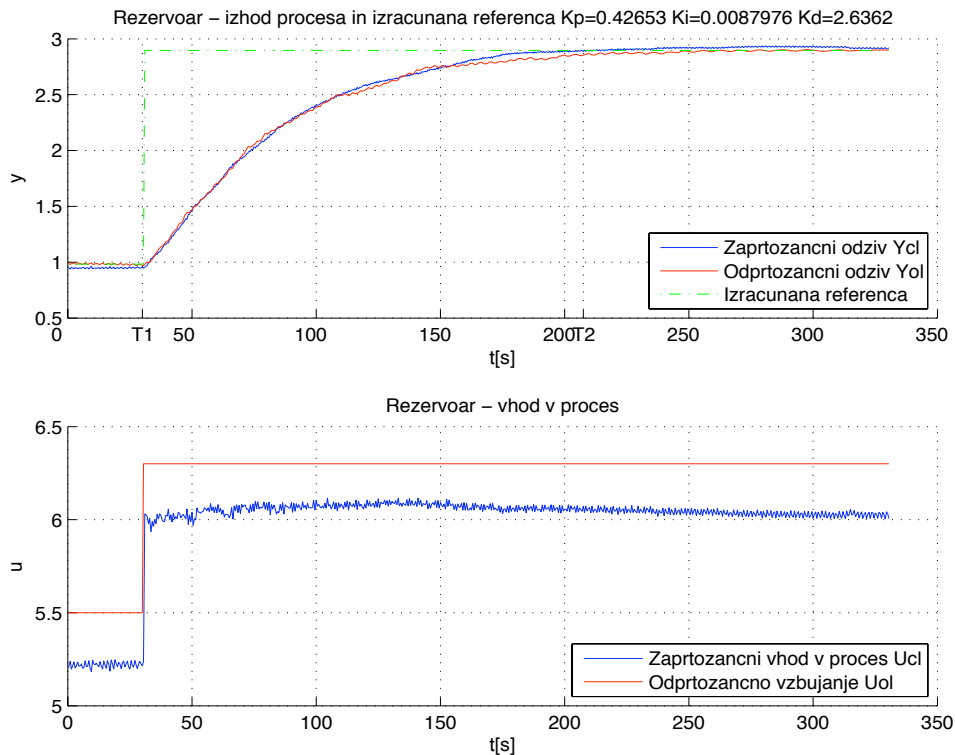
### **Rezultati meritev:**

Slike 408 – 416 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo nivoja vode v rezervoarju. V naslovih grafov so prikazani izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.5s$ .

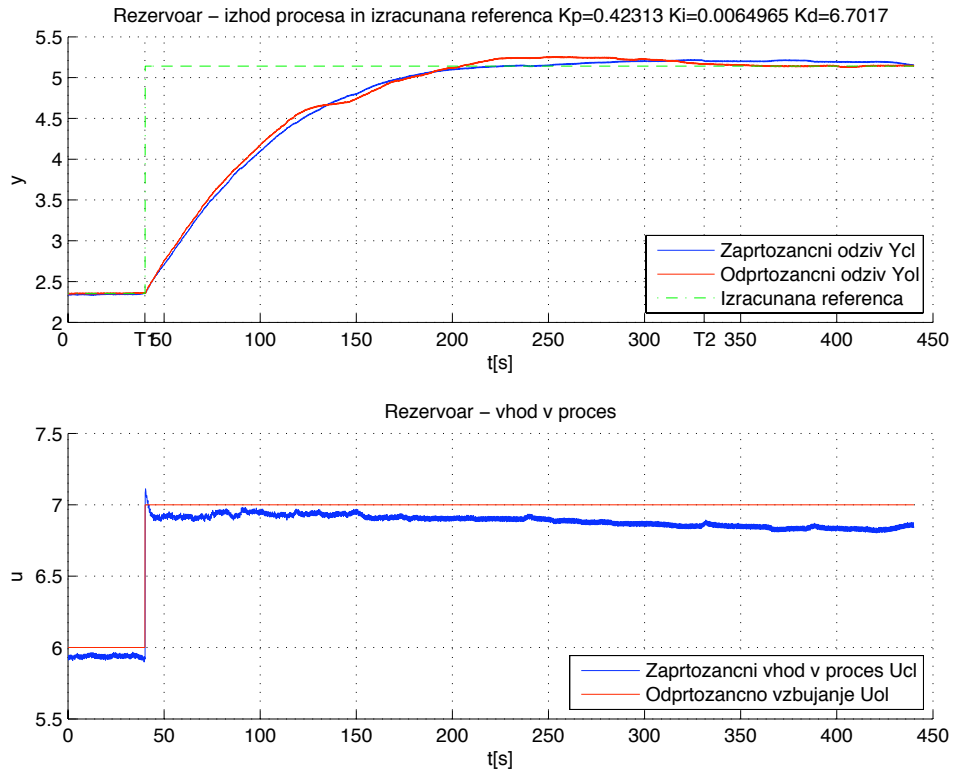
## Stopničasto odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



Slika 408: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

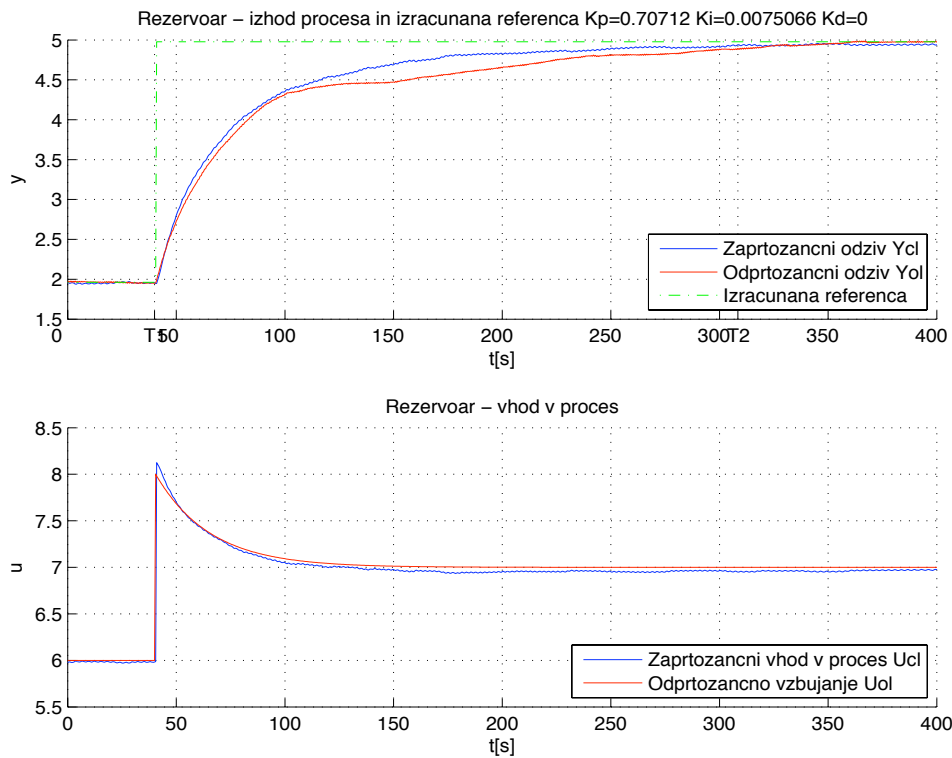


Slika 409: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

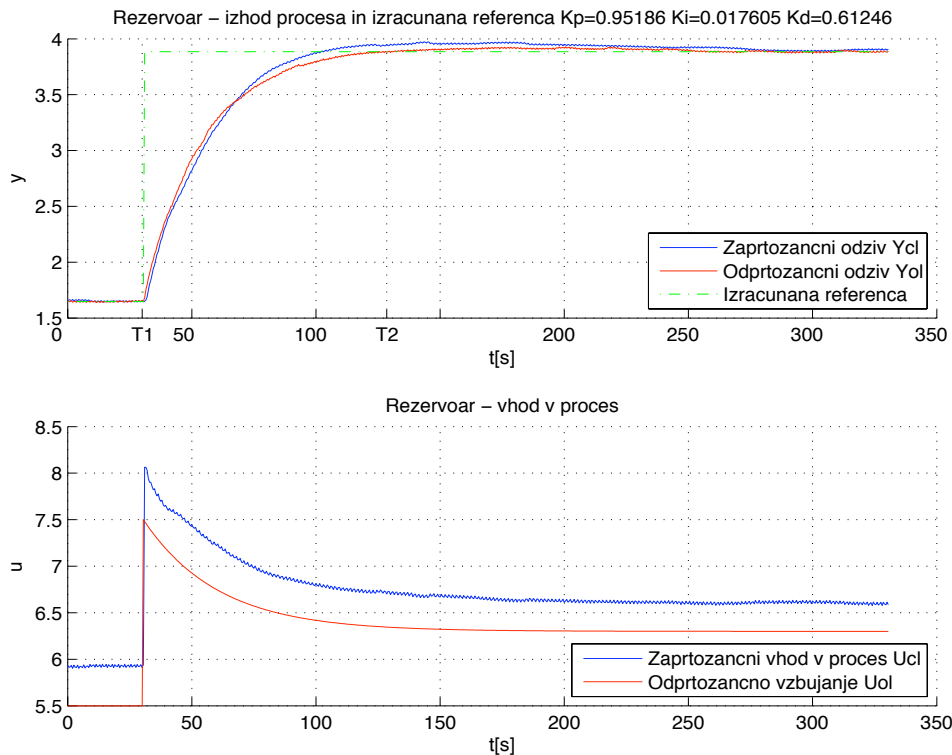


Slika 410: Regulacija nivoja vode. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

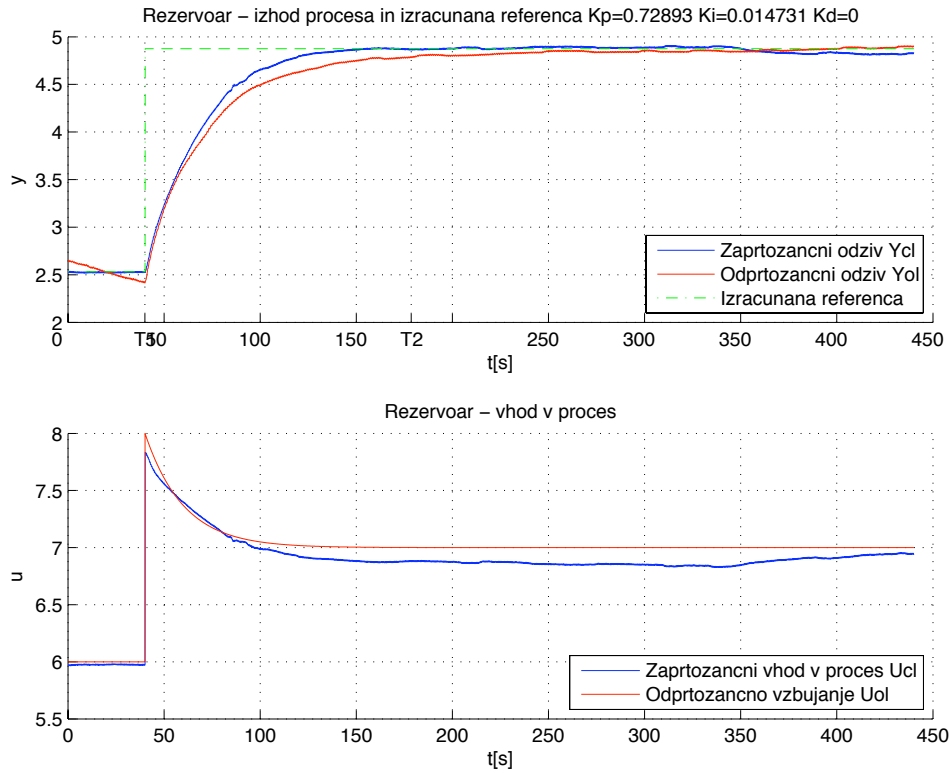
Pohitritveno odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  in stopničast referenčni signal  $r(t)$



Slika 411: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

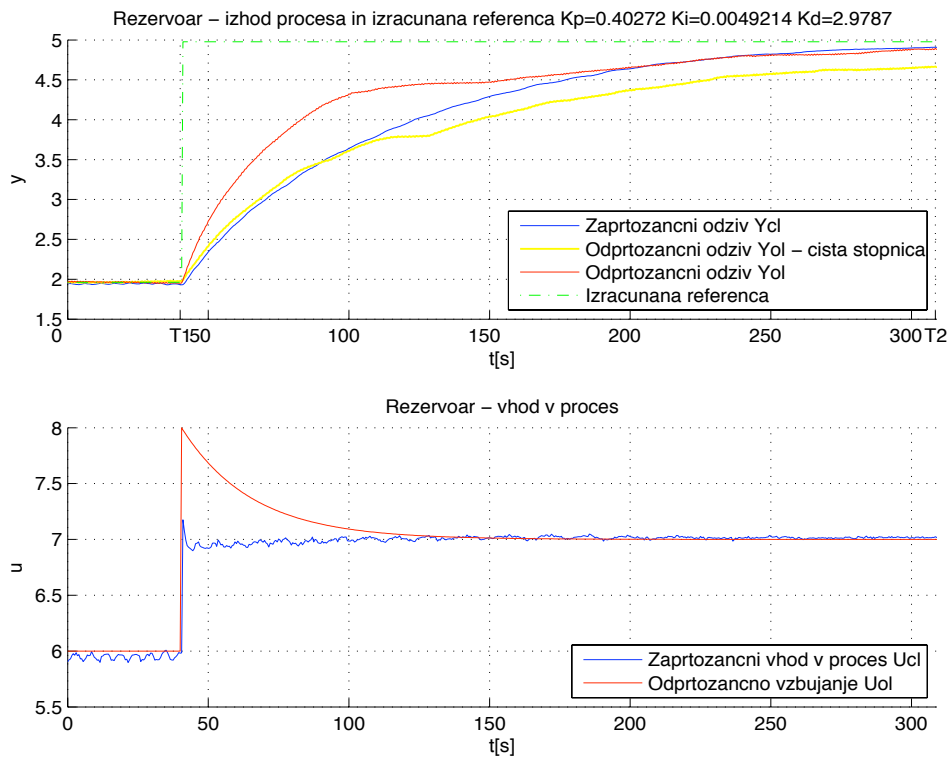


Slika 412: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

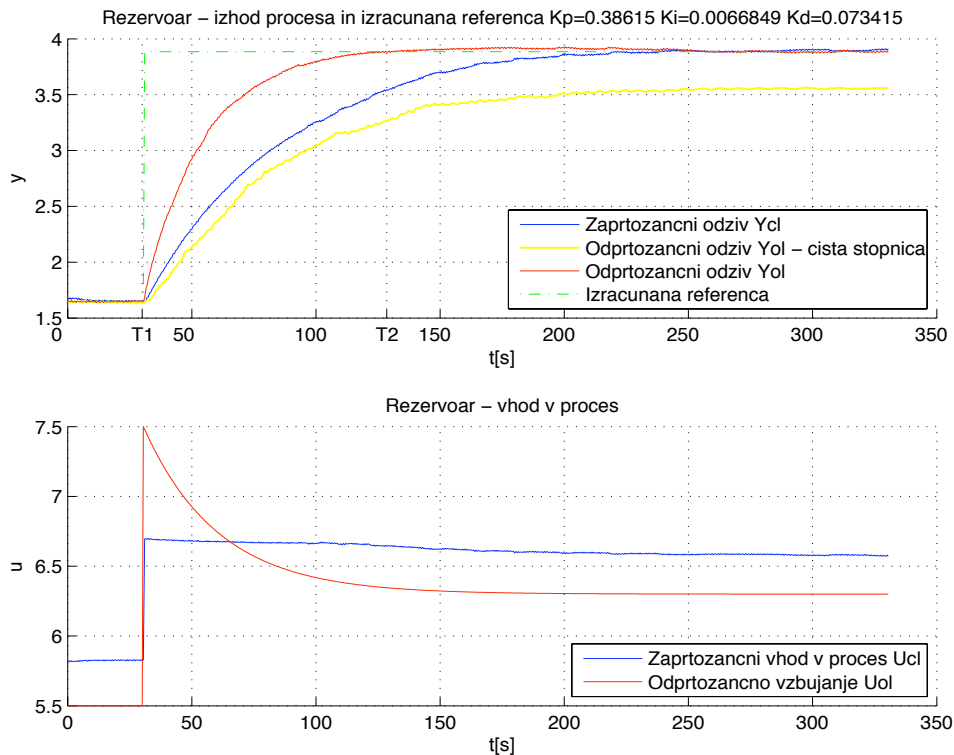


Slika 413: Regulacija nivoja vode. Odprtozanci in zaprtozanci odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

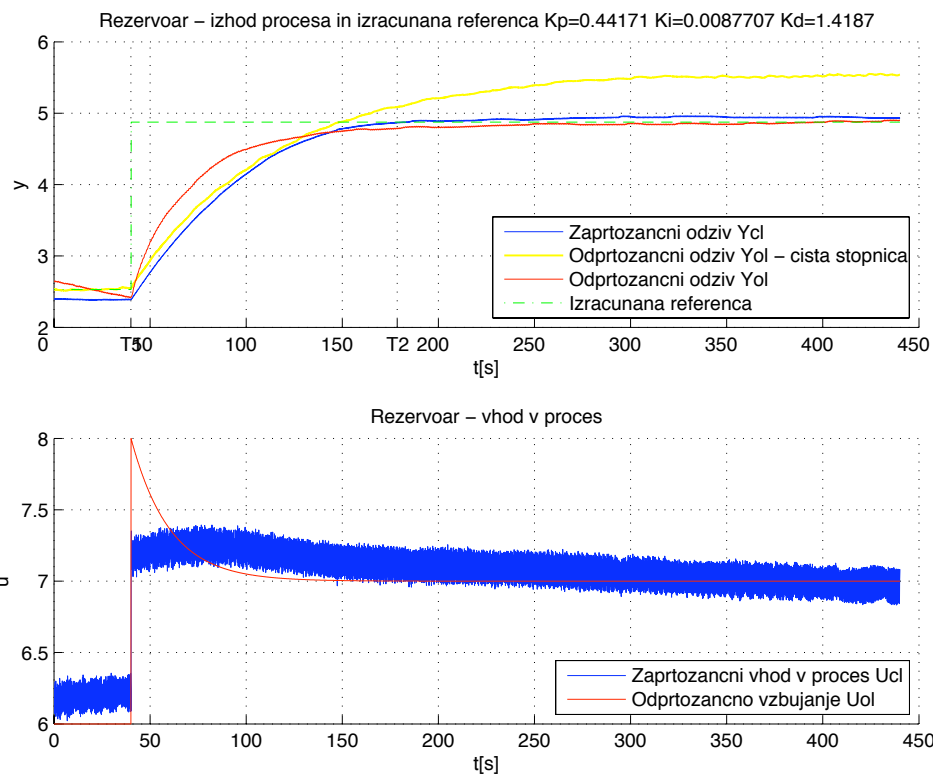
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



Slika 414: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 415: Regulacija nivoja vode. Odprtozančni in zaprtozančni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

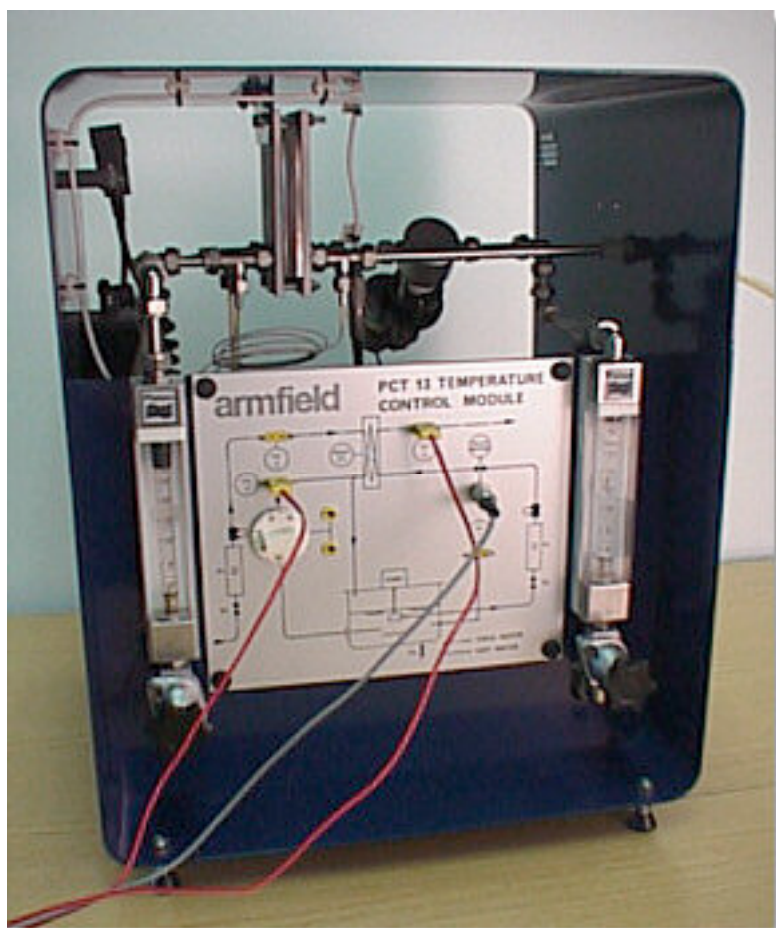


Slika 416: Regulacija nivoja vode. Odpertozančni in zaprtozančni odziv  $y_{ol}(t)$  in  $y_{cl}(t)$  ter referenčni signal  $r_{cl}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odpertozančno vzbujanje  $u_{ol}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{cl}(t)$  (spodaj).

#### 4.8 Toplotni izmenjevalnik – armfield PCT13

##### **Opis naprave:**

Naprava je sestavljena iz primarnega in sekundarnega kroga, kjer primarni krog predstavlja toplejši oz. ogrevalni, sekundarni krog pa hladnejši oz. ogrevani del (Škrjanc, Zupančič, Mušič, 2004). Primarni krog je sestavljen iz rezervoarja segrete vode, ki sem jo segrel na 60°C, črpalke, merilnika pretoka ter ročnega in avtomatskega ventila za nastavljanje pretoka. Sekundarni krog je sestavljen iz merilnika pretoka in ventila za nastavljanje pretoka, ki je bil nastavljen na maksimalno vrednost. Povezavo med obema krogoma predstavlja toplotni izmenjevalnik, katerega namen je ogreti hladno vodo sekundarnega kroga s segreto vodo primarnega kroga.



Slika 417: Toplotni izmenjevalnik ARMFIELD PCT13

Vhodna veličina je tok skozi ventil primarnega kroga, ki določa pretok tople vode skozi toplotni izmenjevalnik, izhodna veličina pa je temperatura ogrevane vode

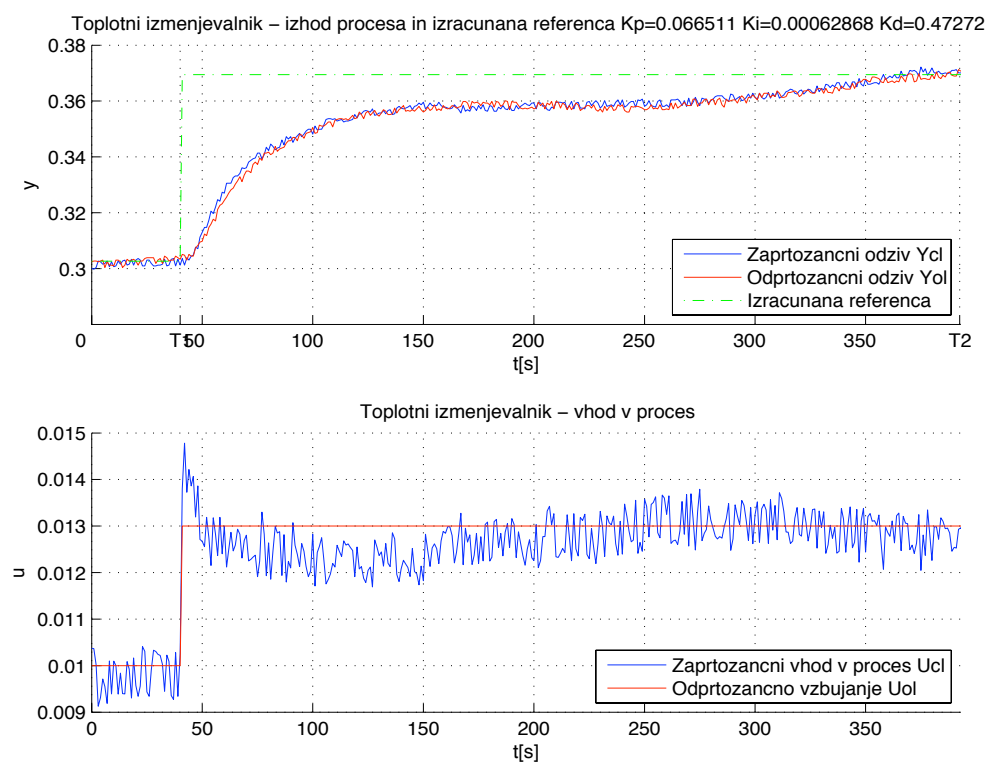


sekundarnega kroga ob iztoku iz sistema. Vhod v sistem predstavlja električni tok ventila v območju 4-20mA, kjer je pri 4mA ventil popolnoma zaprt, pri 20mA pa popolnoma odprt.

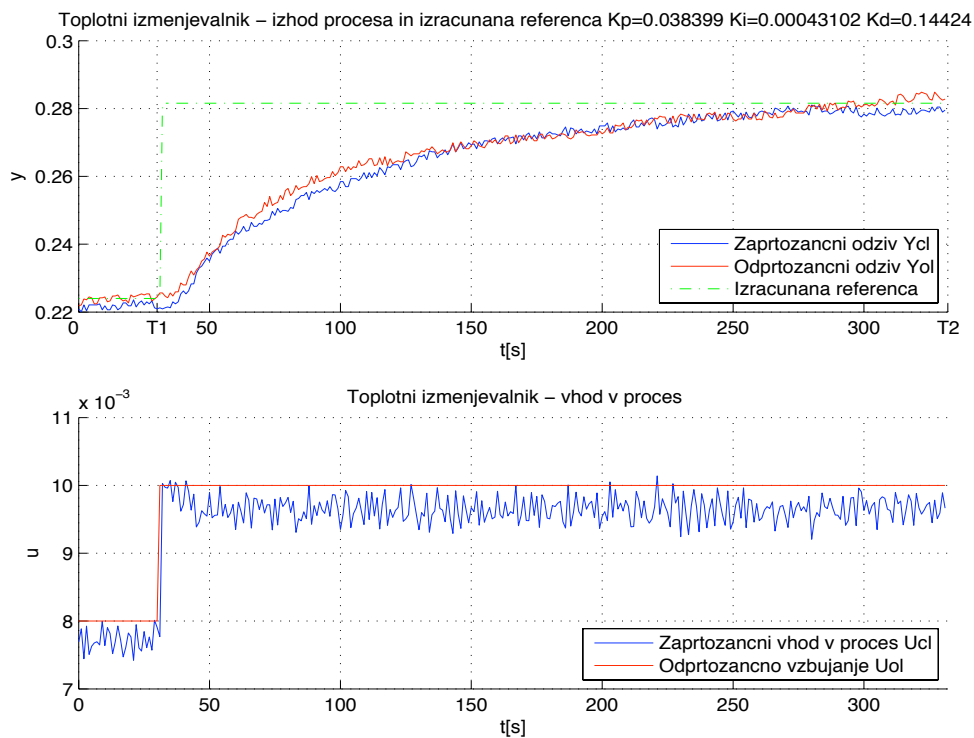
### **Rezultati meritev**

Slike 418 – 426 prikazujejo primere uporabe metode enačenja za regulacijo temperature vode ob izhodu iz sistema. V naslovih grafov so prikazani izračunani parametri  $K_p$ ,  $K_i$  in  $K_d$  za vsak posamezni primer. Čas vzorčenja je  $T_s=0.5s$ .

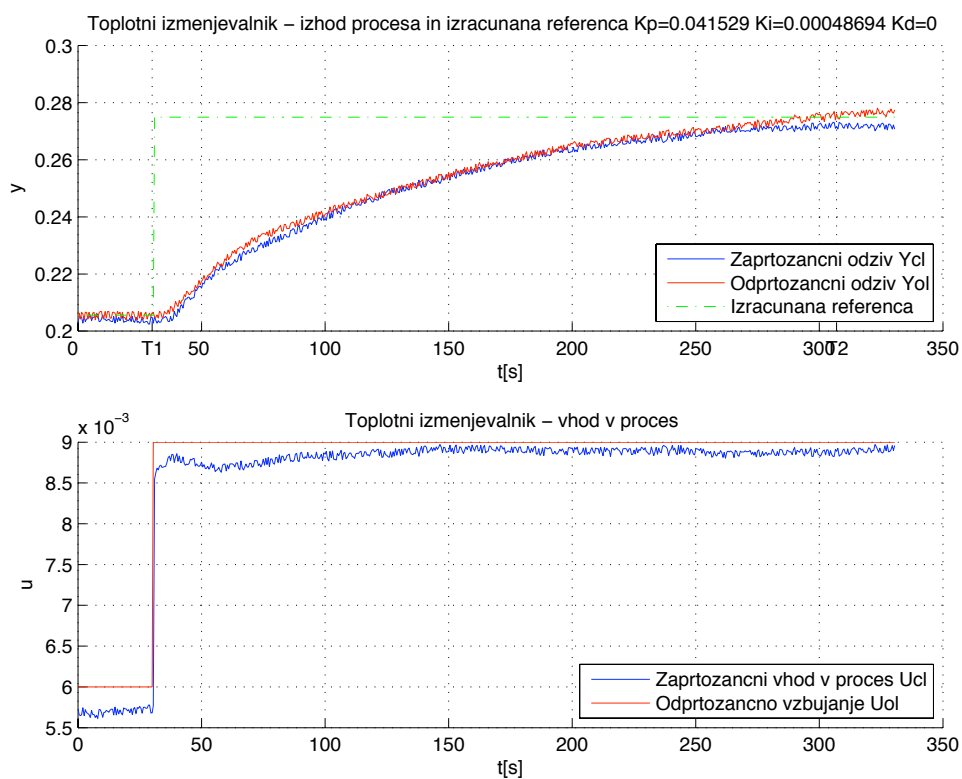
### **Stopničasto odprtozračno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$**



Slika 418: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

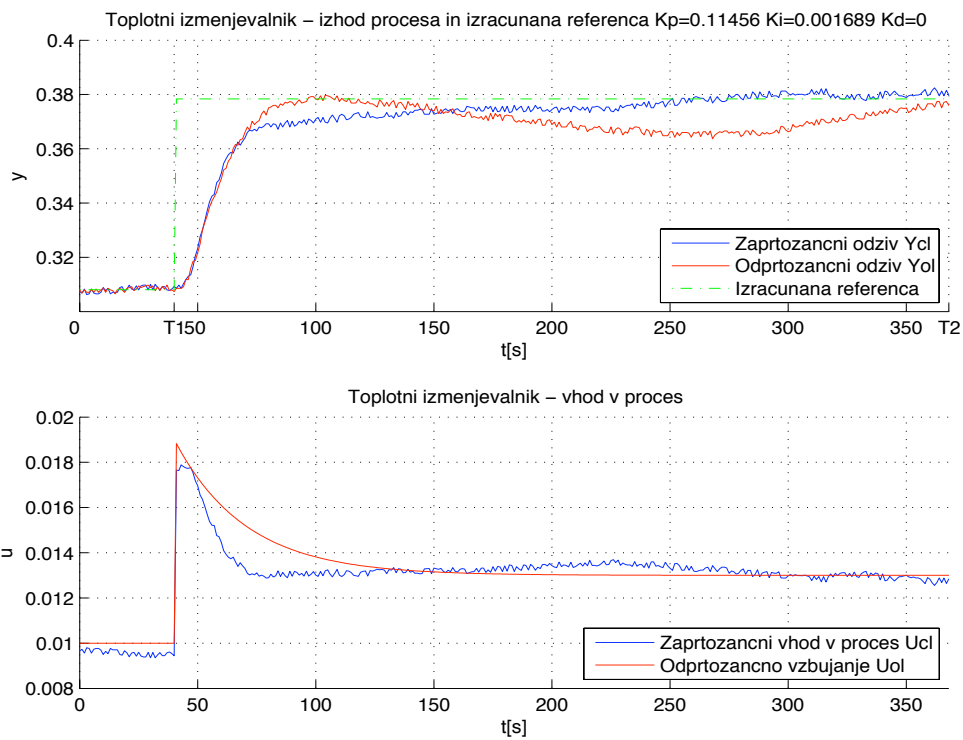


Slika 419: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

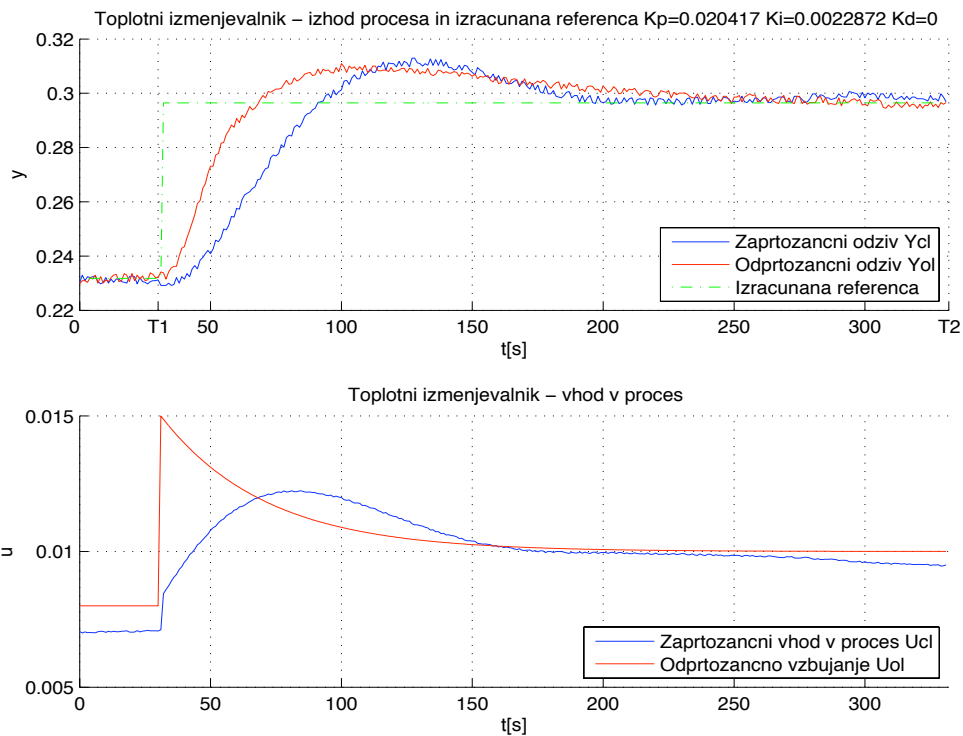


Slika 420: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

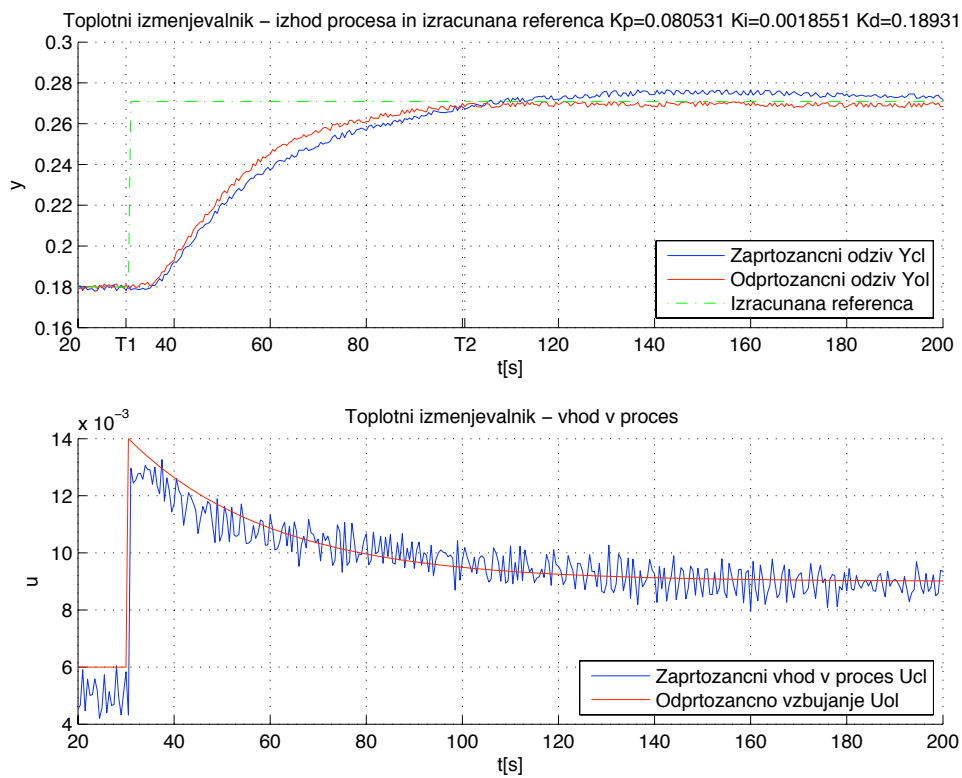
## Pohitritveno odprtozračno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in stopničast referenčni signal $r(t)$



Slika 421: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtizračunani odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

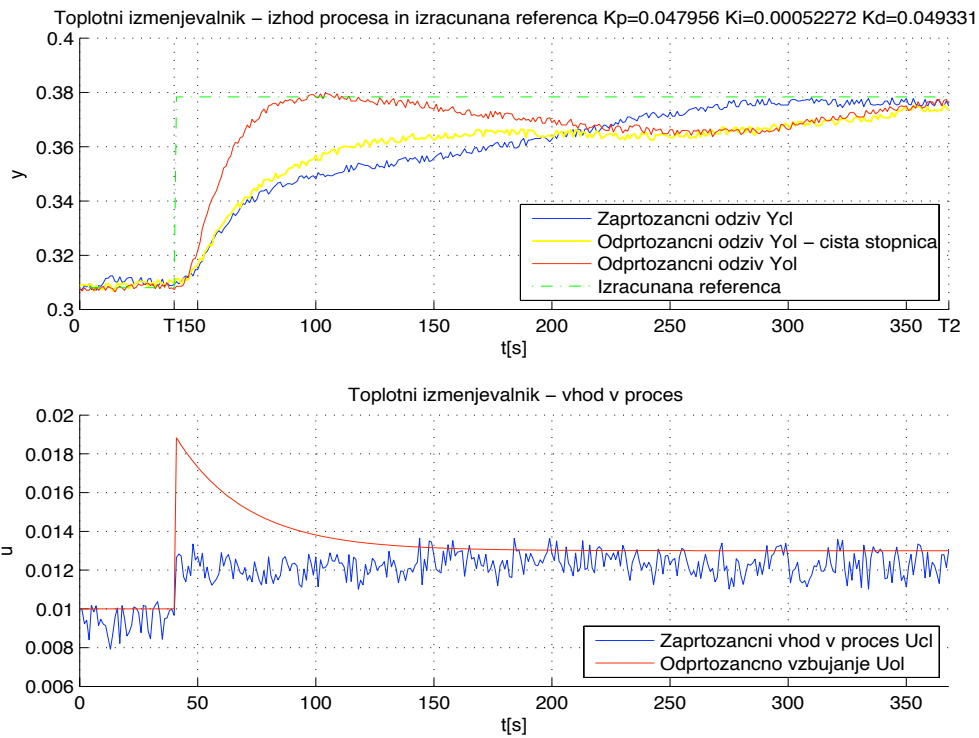


Slika 422: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtizračunani odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

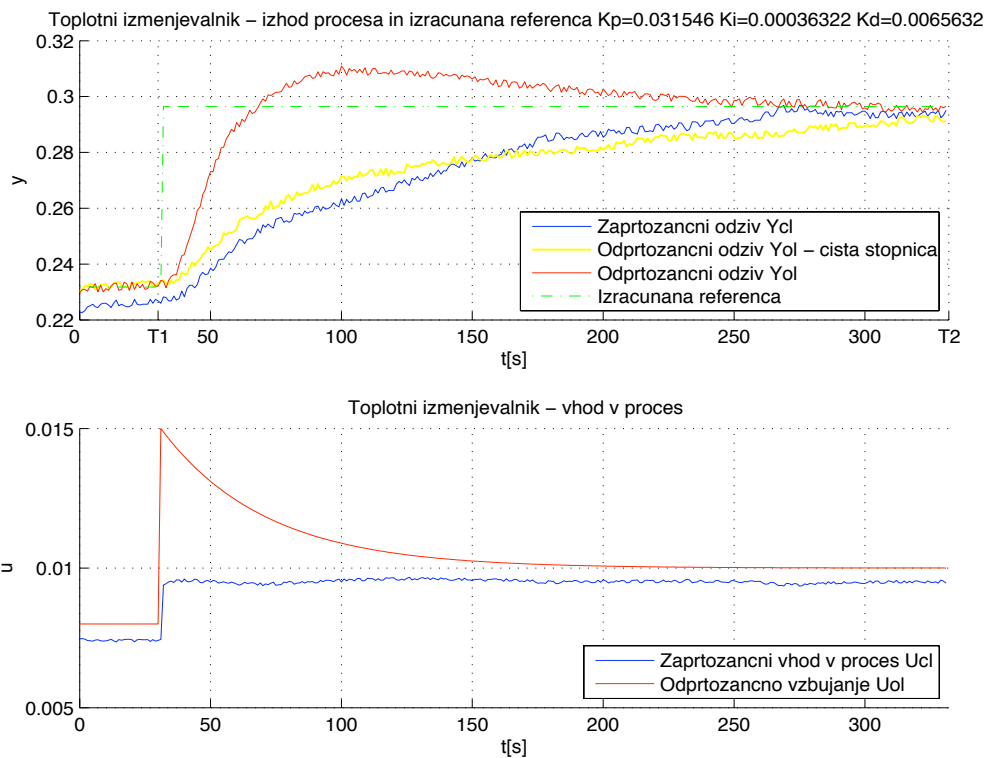


Slika 423: Regulacija temperature vode. Odprtozancni in zaprtozancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozancno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

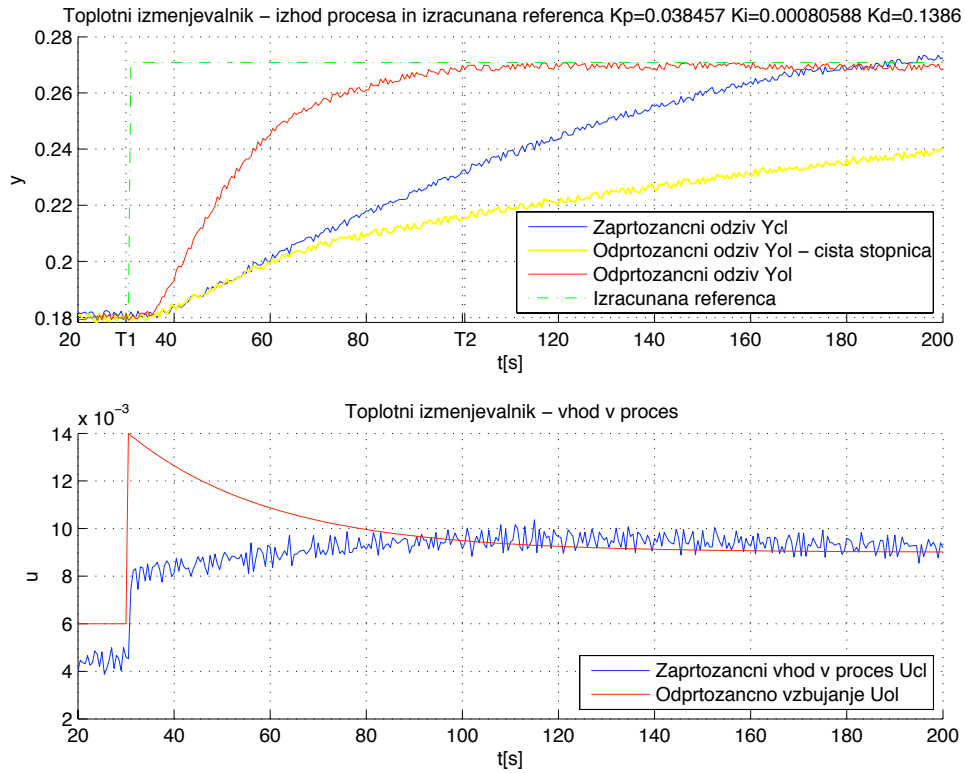
## Pohitritveno odprtozančno vzbujanje $u_{OL}(t)$ in skaliran referenčni signal $r(t)$



Slika 424: Regulacija temperature vode. Odprtozančni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 425: Regulacija temperature vode. Odprtozančni in zaprtzancni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozančno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v proces v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).



Slika 426: Regulacija temperature vode. Odprtozračni in zaprtozračni odziv  $y_{OL}(t)$  in  $y_{CL}(t)$  ter referenčni signal  $r_{CL}(t)$ , uporabljen pri simulaciji zaprte zanke (zgoraj). Odprtozračno vzbujanje  $u_{OL}(t)$  ter vhod v zaprti zanki  $u_{CL}(t)$  (spodaj).

## 5. SKLEPNE UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

Delovno poročilo obravnava metodo enačenja, poda teoretično izpeljavo metode in prikaže rezultate preizkusov na različnih modelih procesov ter na različnih realnih modelnih napravah. Metoda enačenja za identifikacijo parametrov regulatorja potrebuje odprtozančni eksperiment oziroma vhodni  $u_{OL}(t)$ , izhodni  $y_{OL}(t)$  ter referenčni signal  $r(t)$ . Primerna je za stabilne procese. Najpomembnejša lastnost metode je sposobnost določitve takšnih parametrov regulatorja, da se izhod zaprtozančnega sistema obnaša podobno kot odprtozančni izhod, s pomočjo katerega so bili parametri določeni. Takšne parametre dobimo, če za referenčni signal  $r(t)$ , ki ga določimo ločeno in uporabimo le za identifikacijo, uporabimo stopnico. Z enačenjem zaprtozančnega odziva z odprtozančnim se izognemo predhodni definiciji referenčnega zaprtozančnega modela, ki jo zahtevajo nekatere druge metode, kljub temu pa ohranimo predvidljivost obnašanja zaprtozančnega sistema.

Referenčni signal  $r(t)$  lahko namesto stopnice določimo tudi kot skaliran vhodni signal  $u_{OL}(t)$ . V tem primeru metoda enačenja določi parametre regulatorja tako, da je zaprtozančen odziv sistema podoben naravnemu odzivu procesa ne glede na eksperiment, ki smo ga uporabili pri identifikaciji parametrov.

Rezultati preizkusov so v primeru modelov procesov brez prisotnega šuma oziroma motnje pokazali, da metoda deluje v okviru pričakovanj. Zaprtozančni odzivi se v večini primerov lepo prilegajo odprtozančnim in tako sledijo referenci. Manjša odstopanja se pojavijo le pri procesih z večjimi mrtvimi časi oziroma pri procesih z močnejšimi neminimalnimi fazami. Izkazalo se je tudi, da metoda ni občutljiva na šum na izhodu iz procesa, zato lahko trdimo, da je metoda relativno robustna. Pri preizkušanju občutljivosti metode na šum na vhodu v proces smo opazili odstopanja. Prileganje zaprtozančnega odziva odprtozančnemu ni bilo več tako dobro, opazna pa so bila tudi manjša odstopanja pri sledenju zaprtozančnega izhoda referenci. Ugotovili smo, da je kvaliteta delovanja relativno odvisna od vrste izbranega šuma. V primerih, ki so podani v poročilu je bila konstanta šuma  $N_{seed}$  izbrana kot  $N_{seed}=100$ . Kasneje smo konstanto  $N_{seed}$  določili tudi kot

Nseed=200, 400 in 800 in ugotovili, da so rezultati pri Nseed=200 oziroma Nseed=800 mnogo boljši.

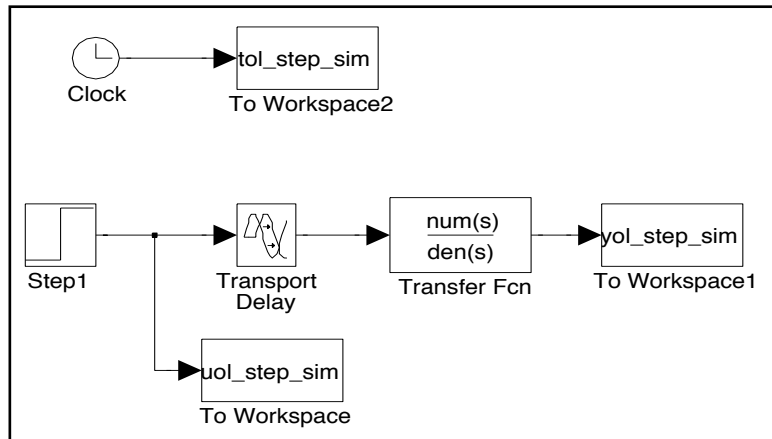
Del preizkusov je bil namenjen vrednotenju uspešnosti metode enačenja v regulacijskem načinu delovanja ob prisotni stopničasti motnji. Izkazalo se je, da metoda v predstavljeni obliki ni najbolj primerna za regulacijo motnje, saj so bili odzivi relativno počasni. Počasna regulacija je bila bolj posledica dinamike procesa kot pa slabost metode. V kolikor bi želeli metodo izboljšati za regulacijski način delovanja, bi izgubili bistvo njenega delovanja, saj se zaprtozančni odzivi najverjetneje ne bi več prilegali odprtozančnim.

Preizkusi metode enačenja na realnih procesih so dokazali uporabnost metode v praktičnih primerih. Metoda je bila preizkušena pri regulaciji hitrejših procesov, kot so motorji in nihala, in tudi pri regulaciji počasnejših procesov, kot so shranjevalniki vode in ogrevalniki zraka. Pri nekaterih procesih smo opazili odstopanje med odprtozančnim in zaprtozančnim vhodom v proces, saj se je na vhodu pogosto pojavil napetostni premik, ki je najverjetneje posledica »lezenja« delovne točke. Tudi ponovljivost meritev včasih ni bila enostavna naloga, saj je bilo pri delovanju naprav težko zagotoviti vedno enake pogoje, nekatere naprave pa imajo tudi zelo velike časovne konstante. Pri vzburjanju procesov s stopnico v odprti zanki ni bilo težav, bolj problematično je bilo vzburjanje procesov s pohitritvenimi signali. Zagotoviti je bilo namreč potrebno ustrezne pohitritve procesov, vendar brez prevzponov, saj smo v nasprotnem primeru večkrat dobili neustrezne parametre regulatorja. Zaključimo lahko, da se metoda z vidika prileganja zaprtozančnega odziva odprtozančnemu, sledilnega delovanja in robustnosti na šum zelo dobro obnese ter daje dobre rezultate.

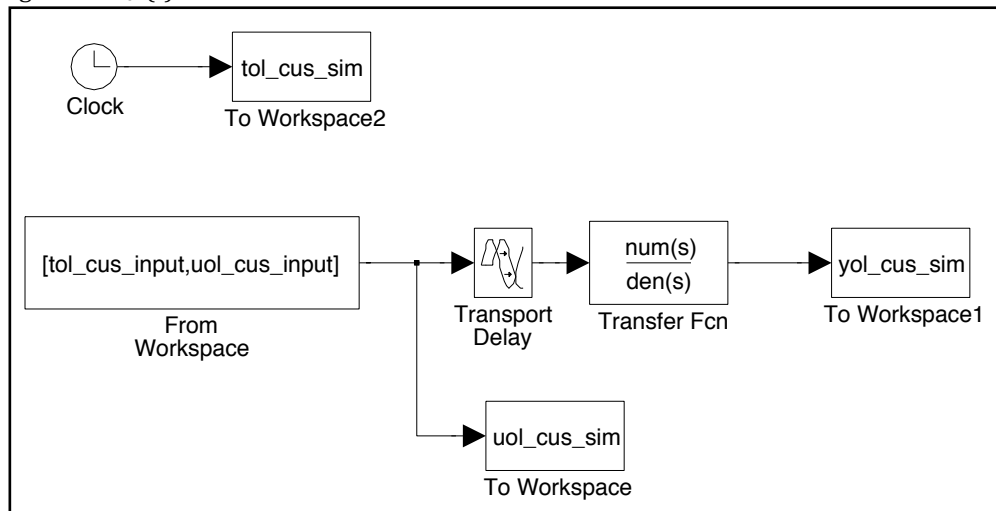
Praktični preizkusi na modelih procesov in na realnih procesih so vodili tudi do ugotovitve, da metoda v določenih primerih odpove. Parametre neuspešno identificira v primeru, ko proces vzburjamo s takšnim vhodnim signalom, ki na izhodu povzroči relativno velik prevzpon.



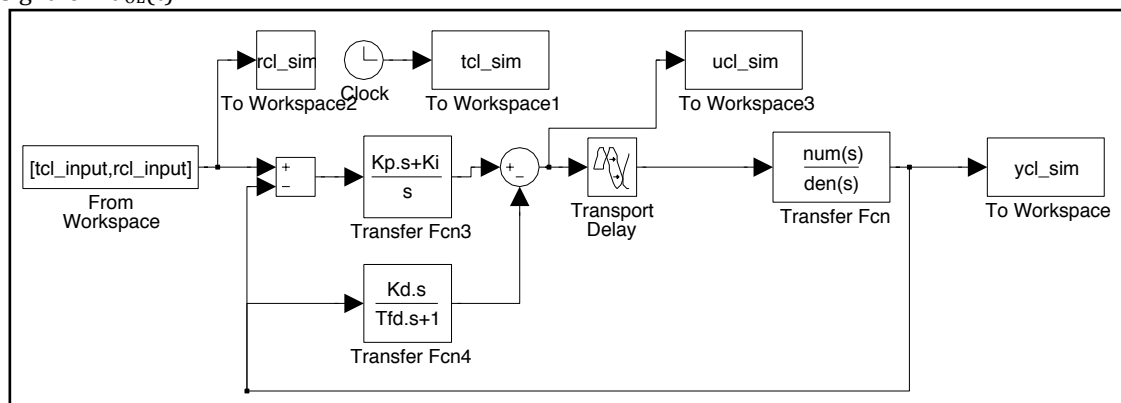
## DODATEK A: Matlab/Simulink modela za simulacijo brez šuma in motnje



Slika 427: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_brez\_motenj\_step.mdl s stopničastim vhodnim signalom  $u_{OL}(t)$

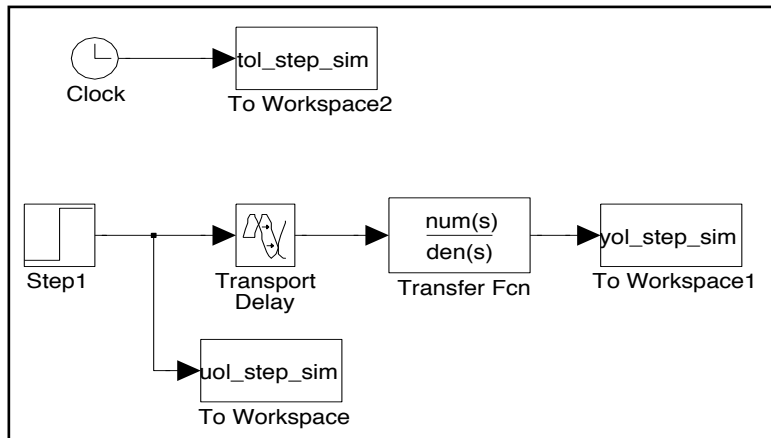


Slika 428: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_brez\_motenj.mdl s pohitritvenim vhodnim signalom  $u_{OL}(t)$

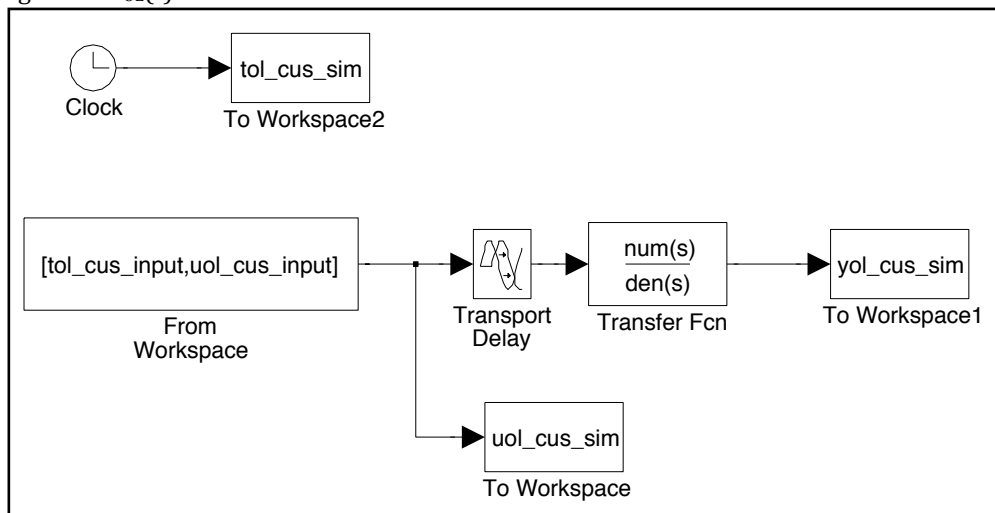


Slika 429: Matlab/Simulink model zaprte zanke zz\_brez\_motenj.mdl

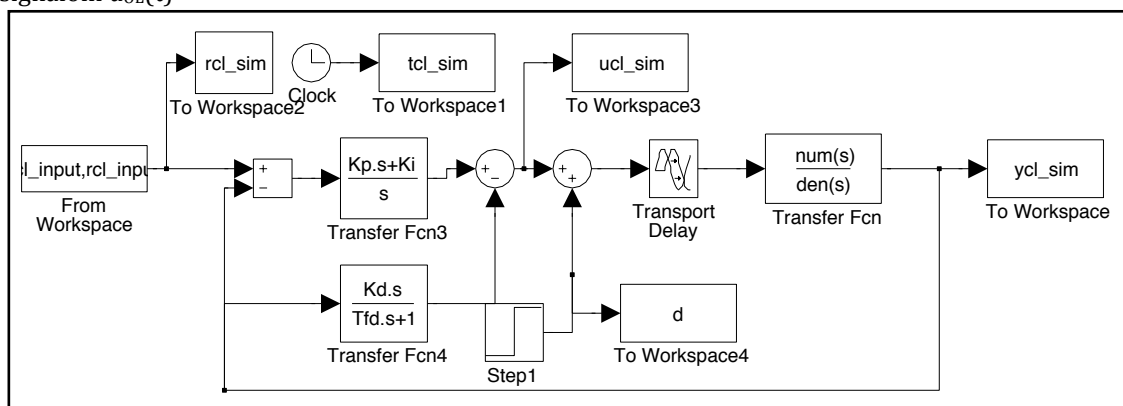
## DODATEK B: Matlab/Simulink modela za regulacijo motnje $d(t)$



Slika 430: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_z\_motnjo\_step.mdl s stopničastim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$

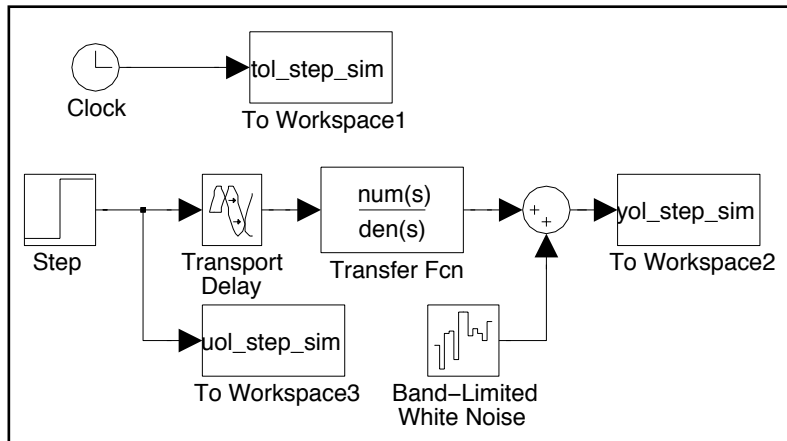


Slika 431: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_z\_motnjo.mdl s pohitritvenim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$

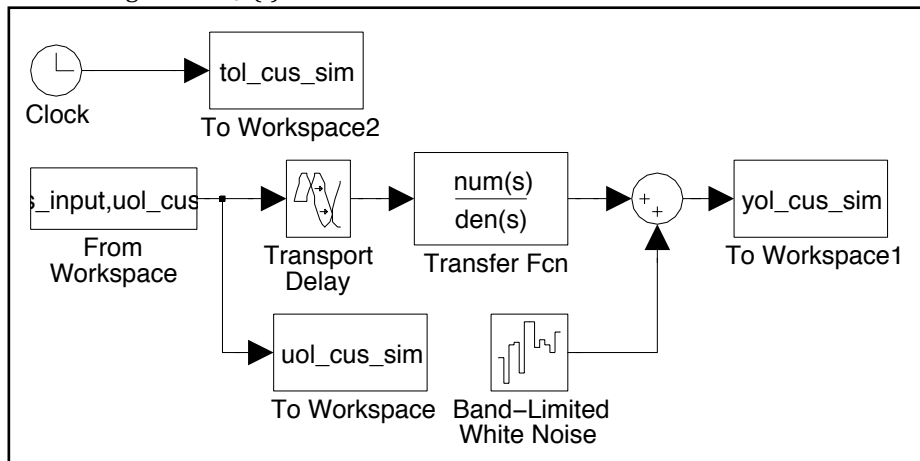


Slika 432: Matlab/Simulink model zaprte zanke zz\_z\_motnjo.mdl

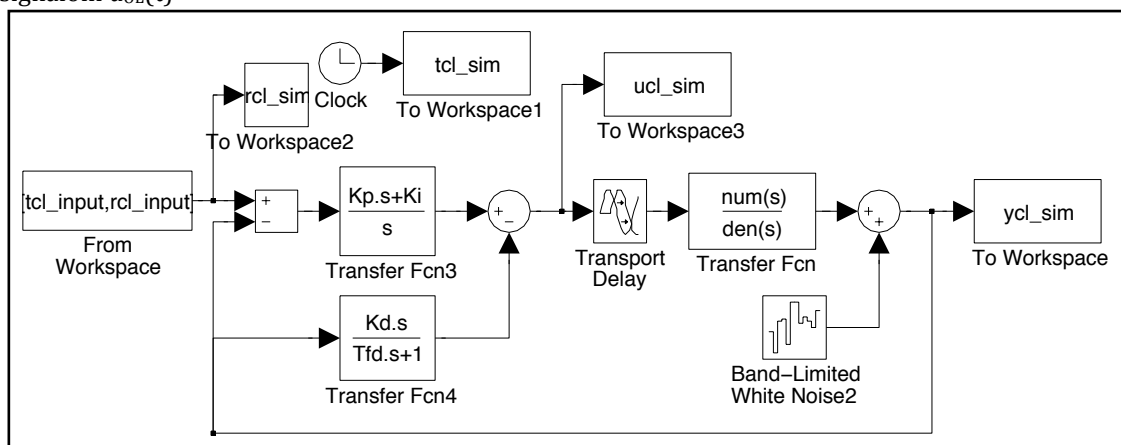
## DODATEK C: Matlab/Simulink modela za simulacijo s šumom na izhodu procesa



Slika 433: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_s\_sumom\_izhod\_step.mdl s stopničastim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$

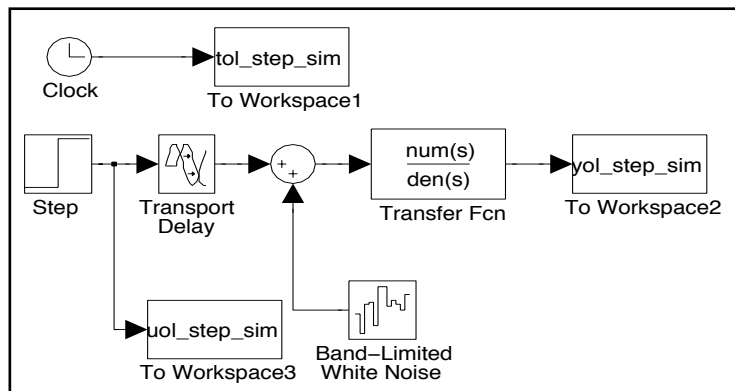


Slika 434: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_s\_sumom\_izhod.mdl s pohitritvenim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$

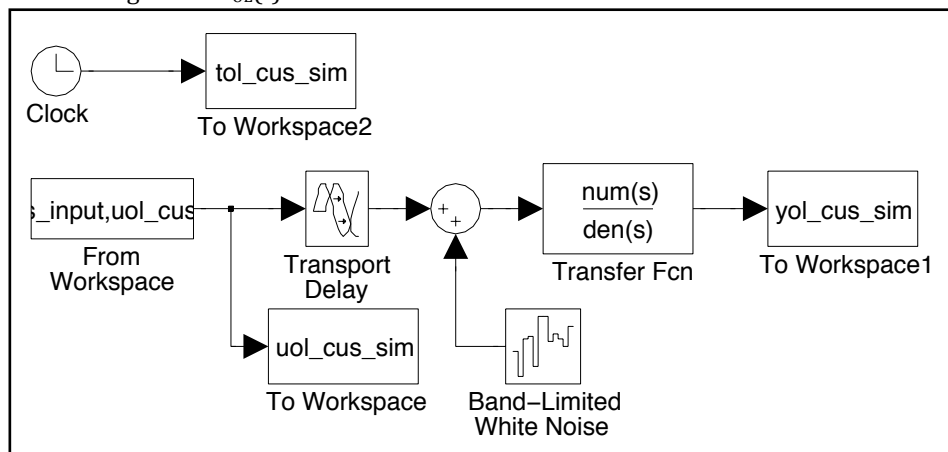


Slika 435: Matlab/Simulink model zaprte zanke zz\_s\_sumom\_izhod.mdl

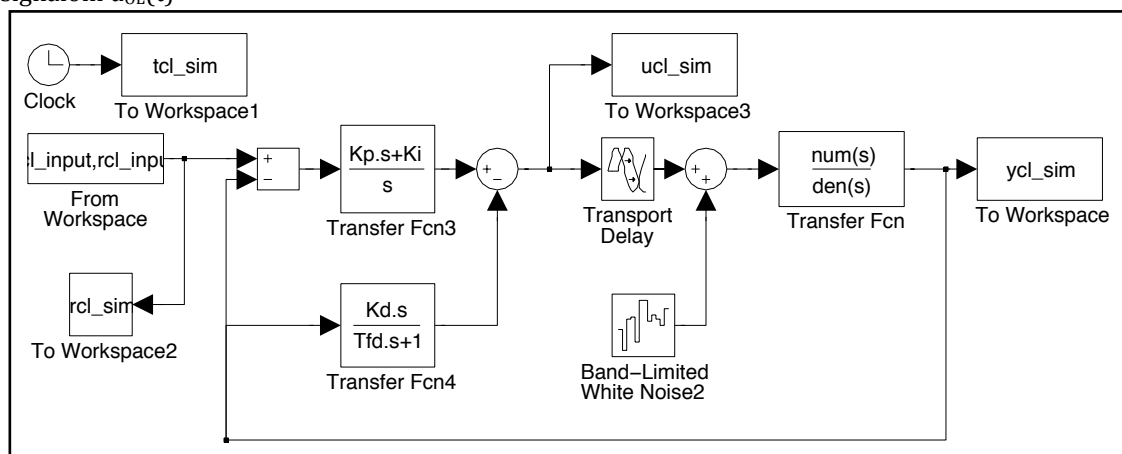
## DODATEK D: Matlab/Simulink modela za simulacijo s šumom na vhodu procesa



Slika 436: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_s\_sumom\_izhod\_step.mdl s stopničastim vhodnim signalom  $u_{OL}(t)$

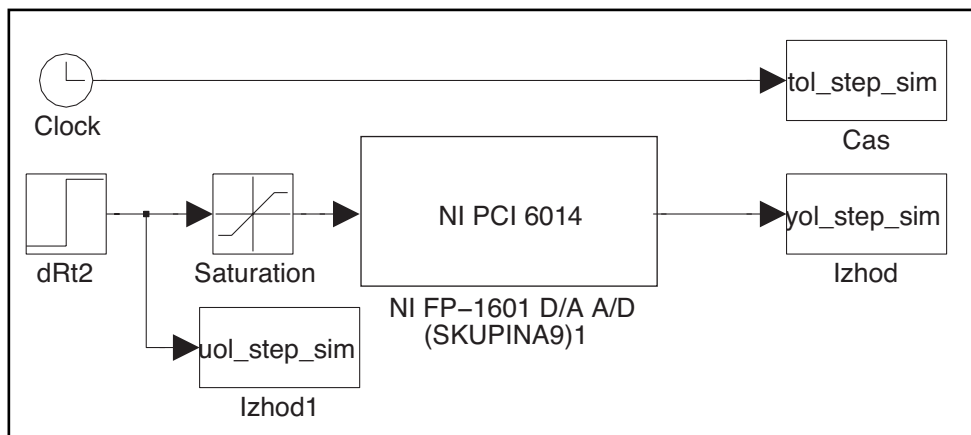


Slika 437: Matlab/Simulink model odprte zanke oz\_s\_sumom\_izhod.mdl s pohitritvenim vhodnim signalom  $u_{OL}(t)$

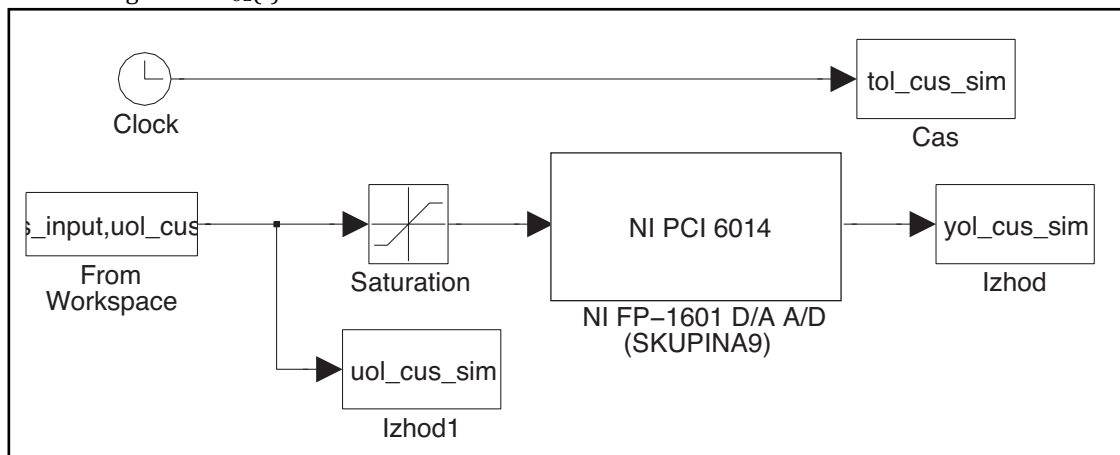


Slika 438: Matlab/Simulink model zaprte zanke zz\_s\_sumom\_izhod.mdl

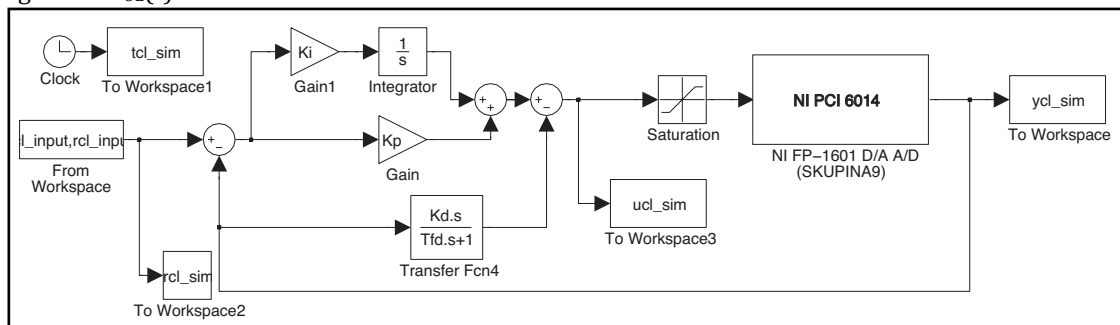
## DODATEK E: Matlab/Simulink modeli za modelne naprave



Slika 439: Matlab/Simulink model odprte zanke oz. [ime\_naprave]\_step.mdl s stopničastim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$



Slika 440: Matlab/Simulink model odprte zanke oz. [ime\_naprave].mdl s pohitritvenim vhodnim signalom  $u_{oL}(t)$



Slika 441: Matlab/Simulink model zaprte zanke zz\_[ime\_naprave].mdl

## DODATEK F: funkcija [un,yn,du,dy] = normalize(u,y,kmean);

```
function [un,yn,du,dy] = normalize(u,y,kmean);

%Iskanje prve spremembe na vhodnem vektorju
m1 = max(size(u));

u0 = u(1);

for k = 2:m1;
    if (u(k) ~= u0);
        break;
    end
    k = k+1;
end

%Povprečna vrednost prvih k-1 vzorcev vhoda u in izhoda y
uini = mean(u(1:k-1));
yini = mean(y(1:k-1));

%Povprečna vrednost zadnjih m1-kmean*m1 vzorcev vhoda u in izhoda y
uend = mean(u(floor(kmean*m1):m1));
yend = mean(y(floor(kmean*m1):m1));

%Definiranje normaliziranih vektorjev
yn=y;
yn(1:k-1) = zeros(size(yn(1:k-1)));
yn(floor(kmean*m1):m1) = yend*ones(size(yn(floor(kmean*m1):m1)))-yini;
yn(k:floor(kmean*m1)-1) = y(k:floor(kmean*m1)-1) - yini;

un=u;
un(1:k-1) = zeros(size(un(1:k-1)));
un(floor(kmean*m1):m1) = uend*ones(size(un(floor(kmean*m1):m1)))-uini;
un(k:floor(kmean*m1)-1) = u(k:floor(kmean*m1)-1) - uini;

du = uend - uini;
dy = yend - yini;
```

## DODATEK G: funkcija [Kp,Ki,Kd] = equalization\_pid(r,u,y,t,Tf);

```
function [Kp,Ki,Kd] = equalization_pid(r,u,y,t,Tf);
```

```
%filtering signals
```

```
psi1 = lsim (1,[Tf 1],r-y,t);  
psi0 = lsim (1,[Tf 1 0],r-y,t);  
psi2 = lsim ([1 0],[Tf 1],-y,t);
```

```
uf = lsim (1,[Tf 1],u,t);
```

```
psi=[psi0 psi1 psi2];  
rez=inv(psi'*psi)*psi'*uf;
```

```
Ki=rez(1);  
Kp=rez(2);  
Kd=rez(3);
```

## 6. Reference

- [1] Vrančić, D., Gorez, R., Strmčnik, S., Equalisation Tuning Method, UKACC 2008, Proceedings of International Conference on Control, Manchester, 6 strani, 2.-4. September 2008;
- [2] DeKeyser, R., DIRAC: A Direct Adaptive Controller, Preprints of IFAC Workshop on Digital Control, pp. 199-204, Terrassa, 5.-7. april 2000;
- [3] Matko, D., Identifikacije, 2. Izdaja, Fakulteta za elektrotehniko UL, Ljubljana, pp. 101-107,1998;
- [4] Škrjanc, I., Zupančič, B., Mušič, G., Seminar: Vodenje sistemov I: zbirka laboratorijskih vaj, 3. izdaja, Fakulteta za elektrotehniko UL, Ljubljana, 2004;
- [5] Belič, A., Tehnični podatki laboratorijske naprave Helikopter, Fakulteta za elektrotehniko UL, Ljubljana, 2005.