

# Vodenje in nadzor multivariabilne modelne naprave preko omrežja Ethernet z orodjem LabVIEW

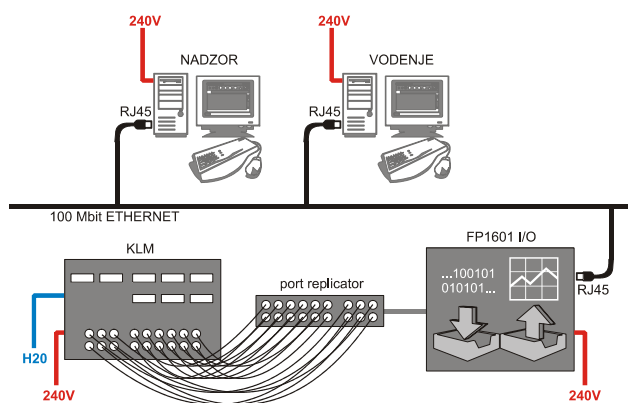
Tine Tomažič, Matej Šoberl  
prof. dr. Gašper Mušič (mentor)  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko  
Tržaška 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
[tine.tomazic@siol.net](mailto:tine.tomazic@siol.net), [matej.soberl@gmail.com](mailto:matej.soberl@gmail.com)

## *Supervisory and control system for multivariable model plant over Ethernet network using LabVIEW*

*This paper presents main concepts and implementation of a control and supervisory system for the multivariable model plant. Basic requirements include control of outlet temperature and humidity while considering system interactions. The system consists of two personal computers with distributed functions, user interfaces and an Ethernet-based input/output interface, aiming to provide complex control, data and alarm logging while maintaining user-friendly operation.*

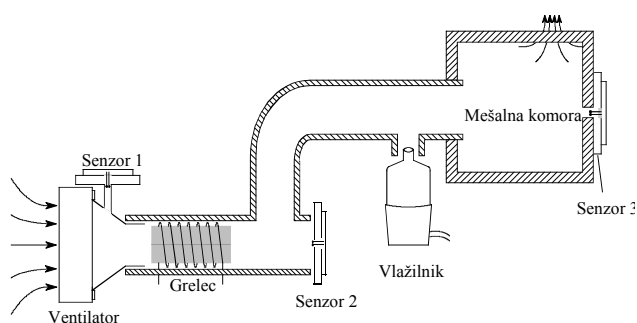
### 1 Opis sistema in komponent vodenja

Sistem je sestavljen iz štirih (4) glavnih komponent – klimatske naprave, ki je predmet regulacije, osebnega računalnika za vodenje, osebnega računalnika za nadzor ter vhodno/izhodnega vmesnika National Instruments FP1601. Oba računalnika in FP1601 so priključeni na lokalno računalniško omrežje Ethernet (slika 1).



Slika 1: Sistem vodenja klimatske naprave

Osrednji del klimatske naprave, ki je shematično prikazana na sliki 2, je steklena cev, kjer se lahko uravnava temperatura zraka z električnim grelcem ter relativna vlažnost zraka z vpihovanjem fino razpršenih kapljic vode. Na začetku cevi je ventilator, ki potiska zrak iz okolice skozi cev v mešalno komoro, od tam gre zrak nazaj v okolico. Moč grelca se upravlja s pulzno-širinskim modulatorjem, količino vpihane vode pa z uravnavanjem obratov kompresorja. Le-to sta torej aktivatorja procesa z električnima vhodoma 0–10 V. Obe regulirani veličini, temperatura in relativna vlažnost, se lahko merita s tremi pari senzorjev, katerih izhodi so tudi v območju 0–10 V. Senzorji so nameščeni na začetku cevi, na sredini cevi (med grelcem in vlažilnikom) ter v mešalni komori. Električno se lahko nastavljajo tudi obrati ventilatorja na začetku cevi, kar omogoča uravnavanje pretoka zraka, ki vstopa v napravo.



Slika 2: Shematski prikaz klimatske naprave

Vsi vhodno/izhodni signali so dostopni na kontrolni plošči naprave (slika 3), kjer so vrednosti signalov prikazane na digitalnih prikazovalnikih. Izhodni signali procesa so

dostopni na izhodnih sponkah, vhodni signali pa se lahko nastavljajo bodisi preko potenciometrov, bodisi preko računalnika oziroma preko vmesnika FP1601, priključenega na vhodne sponke na kontrolni plošči. Med enim in drugim načinom je mogoče izbirati s preklopniki "ročno" ali "avtomatsko".



Slika 3: Klimatska naprava s kontrolno ploščo

V nadaljevanju je opisana izvedba sistema vodenja, ki omogoča popolno avtomatsko upravljanje s klimatsko napravo (regulacija temperature in vlage), popolno ročno upravljanje s klimatsko napravo (grelec, vlažilnik in ventilator), kontroliran zagon procesa, kontrolirano ustavitev procesa ter izvedba učinkovitega in robustnega načina upravljanja z napravo v primeru sile (alarmiranje, zaustavitev v sili, predvidljivost in varnost delovanja ob izpadu določenih ključnih komponent).

Posebnost izvedbe je v tem, da se vodenje izvaja programsko preko omrežja Ethernet in sicer z uporabo programskega paketa LabVIEW 8.0

## 2 Programski paket LabVIEW 8.0

Programski paket LabVIEW v enem okolju na osebem računalniku združuje popolno komunikacijo z zunanji napravami (prek vmesnikov), zajem in obdelavo tako podatkov kot tudi signalov, ter gradnjo uporabniških vmesnikov z vsemi pripadajočimi

prikazovalniki. Zmotno je misliti, da spada LabVIEW v skupino paketov SCADA.

### 2.1 LabVIEW

Osnovni funkcionalni element v okolju LabVIEW se imenuje Virtual Instrument, oz. krajše VI. Vsak VI, ki ima lahko tudi sebi podrejenih več VI-jev, je konceptualno razdeljen na dva dela. Prvi je t.i. Front panel, ki ga vidi in upravlja uporabnik, drugi, Block diagram, pa je namenjen razvijalcem in ima obliko bločne sheme. Uporabniki klimatske naprave nimajo dostopa do bločne sheme in s tem arhitekture procesa, temveč vse potrebno dosežejo z uporabo uporabniškega vmesnika na zaslona Front panel.

Poleg VI-jev so elementi znotraj okolja LabVIEW še knjižnice (Libraries) in projekti (Projects). Oboje si je najlažje predstavljati kot mapo, v kateri so v določenem načinu organizirani manjši elementi. Knjižnice tako vsebujejo množico skupnih spremenljivk (shared variables) za izmenjavo podatkov, projekti pa so lahko sestavljeni iz več VI-jev, knjižnic in spremenljivk.

Osnovni paket LabVIEW teče na računalniku za vodenje.

### 2.2 LabVIEW DSC module

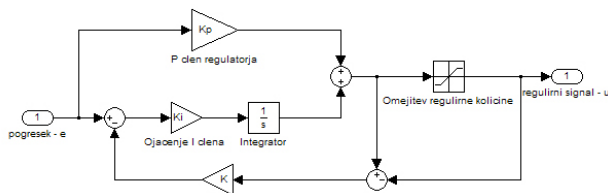
LabVIEW Datalogging and Supervisory Control module je dodatek k osnovnemu paketu LabVIEW, ki imogoča mrežno komunikacijo med dvema računalnikoma, izmenjavo podatkov in arhiviranje v smislu baze podatkov. Znotraj projekta vodenja klimatske naprave je DSC module uporabljen za izvedbo funkcij nadzora nad procesom, kar poleg osnovnih SCADA elementov vsebuje tudi izvedbo alarmiranja in arhiviranja podatkov v bazo Citadel Database.

LabVIEW DSC module teče na računalniku za nadzor.

## 3 Regulacija

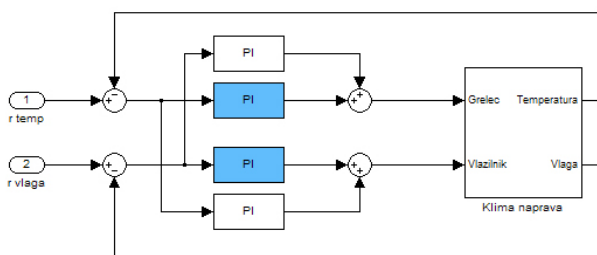
Zaradi relativno dolgih časovnih konstant procesa je za osnovni regulacijski element izbran PI-regulator z zaščito pred integralskim

pobegom in zaščito pred udarom med preklopom iz avtomatskega v ročni način delovanja sistema in nazaj (slika 4).



Slika 4: Shema uporabljenega PI-regulatorja.

Vodenje klimatske naprave predstavlja tipični problem multivariabilnega vodenja. Zaradi močne vhodne interakcije, zlasti posrednim vplivom temperature na izhodno vlago, so za križne regulacijske zanke uporabljeni enaki PI regulatorji kot za glavne regulacijske zanke. Konceptualno regulacijsko shemo ponazarja slika 5. Vhoda v regulator sta vrednost temperature in vlage ob izhodu procesa, izhoda pa izhodni moči grelca in vlažilnika.



Slika 5: Konceptualna regulacijska shema

Analiza statičnih karakteristik procesa pokaže, da je proces izredno nelinearen. Še več, regulabilno področje vlage je zelo omejeno; zato je kot izhodišče uglasitve regulatorjev izbrana metoda Davison za dve delovni točki – primarna; kot vrednost temperature in vlage v srednjem obratovalnem področju ter sekundarna (za kontrolo odstopanja parametrov); ambientalna temperatura in vlaga kot izhodišče za zagon procesa. Uglasitvena metoda Davison vključuje:

- Izračun inverzne matrike statičnih ojačanj (groba uglasitev)  $K_S^{-1}$
- Nastavitev  $\gamma$  in  $\delta$ , ki sta prosta parametra za fino uglasitev P in I členov

Matrika P členov regulatorjev je tako:

$$\underline{P} = \gamma \cdot \underline{K_S}^{-1} \quad (1)$$

Matrika I členov regulatorjev pa:

$$\underline{I} = \delta \cdot \underline{K_S}^{-1} \quad (2)$$

Parametri, dobljeni z metodo Davison, žal ne dajo popolnoma zadovoljivih regulacijskih rezultatov. Čeprav je v okolici izbrane delovne točke delovanje navdušujoče, prihaja zaradi nelinearnosti v procesu do velikih prenehajev izhodnih veličin pri zagonu procesa in večjih spremembah referenčnih vrednosti za regulacijo ( $>10^\circ\text{C}$ ,  $>5\%$  vlažnosti), kar seveda ni dopustno. Zato je nujno modificirati parametre integrirnih delov regulatorjev.

Tabela 1: Parametri regulatorjev

		Kp*	Ki*
Direktna veja	Grelec → Temp.	20	0.5
Križna veja	Grelec → Vlaga	3	0.01
Direktna veja	Vlažilnik → Vlaga	60	0.5
Križna veja	Vlažilnik → Temp.	5	0.01

\*glede na sliko 4

Z nastavitvami parametrov, ki jih prikazuje Tabela 1, se prenehaji izdatno znižajo ob zagonu procesa in večjih spremembah referenčnih vrednosti za regulacijo. Skozi celotno regulabilno področje temperature (ambient –  $60^\circ\text{C}$ ) in vlage (10 % - 40 % relativne zračne vlažnosti), so doseženi maksimalni prenehaj reda 2 % (oz.  $<1^\circ\text{C}$ ,  $<1\%$  relativne zračne vlažnosti) ter maksimalna nastavitvena časa: 30 sekund (temperatura, 2 % tolerančno območje) in 180 sekund (vlaga, 2 % tolerančno območje).

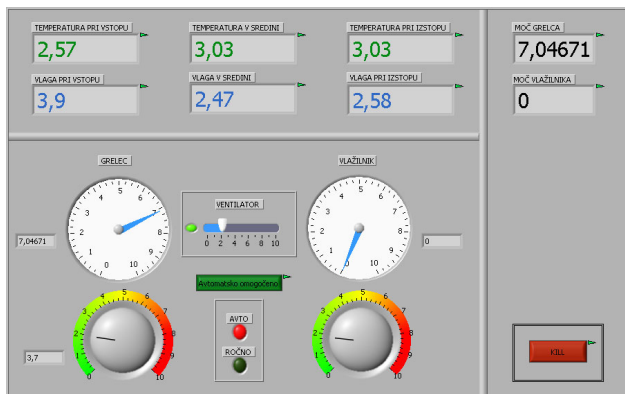
#### 4 Uporabniški postaji in funkcionalnost

Uporabniški postaji, to sta računalnik za vodenje in računalnik za nadzor sta povezani na lokalno omrežje Ethernet. Tovrstna komunikacija s procesom omogoča, da se lahko uporabniške postaje nahajajo ne le ločene od samega procesa, ampak so lahko na popolnoma drugi lokaciji. Primarni protokol za komunikacijo med računalnikom za vodenje in

vhodno/izhodnim vmesnikom FP1601 je namreč TCP/IP, zato bi lahko, ob primerni konfiguraciji, vodenje procesa in nadzor nad njim brez težav izvajali tudi preko Interneta.

#### 4.1 Računalnik za vodenje

Računalnik za vodenje prejema referenčne podatke od računalnika za nadzor prek omrežja Ethernet ter izvaja celotni regulacijski algoritem. S klimatsko napravo komunicira prek vmesnika National Instruments FP1601, ki je prav tako priključen na omrežje Ethernet (čas vzorčenja 0.5 sekunde). Komandni pult računalnika za vodenje omogoča popolno ročno vodenje sistema in sproten numerični prikaz delovanja klimatske naprave kot podporo operaterju (slika 6).



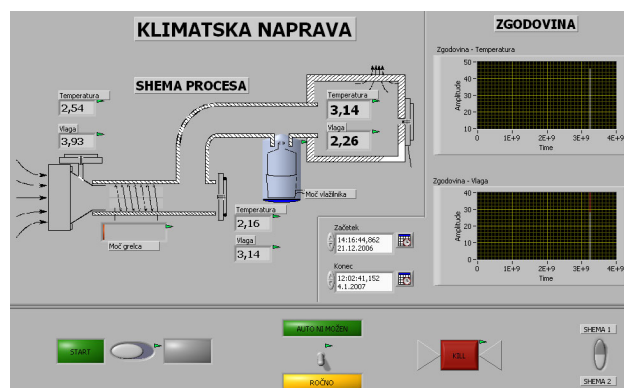
Slika 6: Komandni pult računalnika za vodenje

Komandni pult operaterju dovoljuje izbiro načina delovanja sistema. Tako lahko izbere takojšen prehod na ročni način delovanja (in neposredno upravlja z aktivatorji), omogoči lahko avtomatski način delovanja in nadaljnje upravljanje s klimatsko napravo izvaja na računalniku za nadzor, lahko pa tudi sproži zaustavitev sistema v sili. Vse to lahko počne v oddaljeni sobi, zgolj z miškinim klikom.

#### 4.2 Računalnik za nadzor

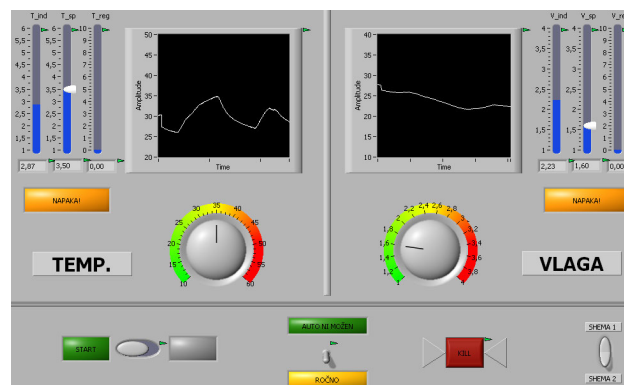
Računalnik za nadzor preko mrežne povezava od računalnika za vodenje prejema podatke o vseh senzorjih in aktivatorjih v sistemu. Podatke prikazuje in arhivira v bazo Citadel Database. Računalnik za nadzor vključuje vse elemente, ki jih operater potrebuje za normalno delovanje sistema. Vanj sta

vgrajena dva (2) komandna pulta, med katerima lahko operater med delovanjem sistema preklaplja z gumbom v desnem spodnjem kotu zaslona. Gumbi za upravljanje procesa so skupni obema komandnima pultoma in se ob preklopu ne spremenijo.



Slika 7: Komandni pult 1 računalnika za vodenje

Prvi komandni pult (slika 7) vsebuje elemente za pregleden nadzor nad delovanjem klimatske naprave. Prikazuje tako shemo procesa, ob kateri so numerični prikazi odčitkov vseh senzorjev, kakor tudi izhodni moči grelca in vlažilnika. Desno od sheme procesa sta dva grafikona, ki omogočata vpogled v delovanje sistema za poljubni čas v preteklosti.



Slika 8: Komandni pult 2 računalnika za vodenje

Drugi komandni pult (slika 8) daje operaterju vpogled v delovanje regulacijskih zank. Tu najdemo grafične in numerične prikaze reguliranih, referenčnih in regulirnih veličin ter možnost nastavljanja referenčnih vrednosti za regulacijo. Tako kot na računalniku za vodenje operater tudi na računalniku za nadzor doseže vse zgolj s miškinim klikom.

## 5 Normalno obratovanje

Za normalno obratovanje se smatra situacija, ko poteka avtomatsko vodenje klimatske naprave in posegi v delovanje sistema niso potrebni, ali ko operater po svoji želji ročno upravlja s procesom. V nadaljevanju bodo opisani postopki za oba načina delovanja.

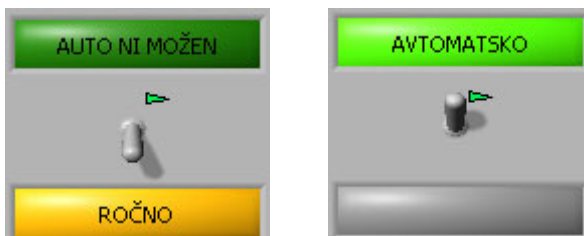
### 5.1 Avtomatski način delovanja

Aktiviranje oz. prehod v avtomatski način delovanja sistema je možen iz situacije, ko sistem miruje (stanje stop), ali pa direktno iz ročnega načina delovanja. V obeh primerih mora operater odločitev za prehod na avtomatski način delovanja najprej potrditi na računalniku za vodenje z gumbom "Dovoli avtomatski način" (slika 9).

A rectangular button with a brown border and a light brown background, containing the text "Dovoli avtomatski način" in a dark brown font.

Slika 9: Gumb "Dovoli avtomatski način"

Naslednji korak je zagon sistema na računalniku za nadzor in sicer s premikom drsnika na položaj "Start" in premikom stikala na položaj "Avtomatsko" (sistem je možno zagnati tudi v ročnem načinu delovanja). Slika 10 prikazuje stikalo za preklop iz ročnega načina delovanja v avtomatski način v dveh tipičnih situacijah. Levo: sistem je v ročnem načinu delovanja in gumb "Dovoli avtomatski način" na računalniku za vodenje ni potrjen. Desno: gumb "Dovoli avtomatski način" je potrjen in sistem deluje v avtomatskem načinu.



Slika 10: Stikalo za preklop iz ročnega načina delovanja v avtomatski način delovanja.

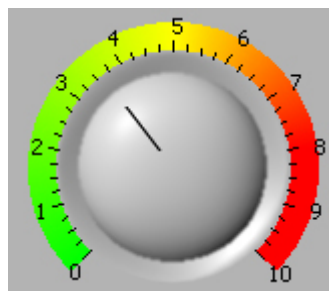
S tem se prične regulacija temperature in vlage glede na referenčne vrednosti, ki se nastavijo s pomočjo vrtljivih gumbov (slika 11) drugem komandnem pultu računalnika za nadzor. Tu lahko nadzornik tudi spremlja stanje regulirane,

regulirne in referenčne vrednosti ter potek regulirane veličine za preteklih 10 minut. Prehod na avtomatski način delovanja iz ročnega načina poteka enako, vendar sistema ni potrebno zagnati s premikom drsnika na položaj "Start", saj se tam že nahaja. Omeniti je potrebno še, da se na računalniku za vodenje v obliki semaforja vselej prikazuje način delovanja, v katerem se sistem trenutno nahaja (ročno, avtomatsko).

Na obeh komandnih pultih računalnika za nadzor se nahaja prikazovalnik "napaka", ki nadzornika opozarja o neobičajnem stanju sistema. Zaradi enostavnosti sistema se alarm in prikazovalnik "napaka" aktivirata takrat, ko se obe regulirani veličini, temperatura in vlaga, ne nahajata znotraj 2% tolerančnega pasu.

### 5.2 Ročni način delovanja

Kadarkoli gumb "Dovoli avtomatski način" na računalniku za vodenje ni potrjen in je sistem zagnan (Start), se nahaja v ročnem načinu delovanja. Prav tako se sistem nahaja v ročnem načinu delovanja takrat, ko je na računalniku za nadzor stikalo (slika 10) v položaju ročno. V ročnem načinu delovanja operater na računalniku za vodenje preko vrtljivih gumbov (slika 11) direktno nastavlja izhode aktivatorjev in s tem upravlja s procesom.



Slika 11: Vrtljiv gumb.

Pri tem so mu v pomoč numerični prikazovalniki vseh senzorjev in aktivatorjev v sistemu vodenja klimatske naprave. Omeniti je potrebno, da gumb "Dovoli avtomatski način" nadvlada stikalo "Ročno – Avtomatsko" v smislu, da sistem preide v ročni način delovanja vselej, ko gumb "Dovoli avtomatski način" ni potrjen, četudi je na računalniku za nadzor stikalo (slika 10) v položju "Avtomatsko".

Takrat se namesto oznake "Avtomatsko" pojavi napis "Auto ni možen", na računalniku za vodenje pa je razviden ročni način delovanja.

## 6 Obratovanje v primeru sile

Za sistem vodenja klimatske naprave je predvidenih več načinov obratovanja v primeru sile.

*Abnormalno obnašanje sistema.* Operater ima na vseh komandnih pultih na voljo gumb "Kill". Ta za razliko od stanja Stop, ki postavi vse izhodne veličine (grelec, vlažilnik, ventilator) na stanje nič, ugasne grelec in vlažilnik, ventilator pa požene s polno močjo. S tem se doseže dobro zračenje klimatske cevi v primeru pregrevanja in/ali drugih okvar. Stanje "Kill" traja, dokler je gumb pritisnjen. Ko operater gumb sprost, se sistem znajde v stanju "Stop" in potrebno ga je ponovno zagnati, bodisi v ročnem, bodisi v avtomatskem načinu.

*Izpad mrežne povezave med računalnikom za nadzor in računalnikom za vodenje.* Če je sistem v trenutku odpovedi mrežne povezave med računalnikoma v avtomatskem načinu delovanja, računalnik za vodnje prevzame zadnjo prejeto referenčno vrednost in glede na le-to še naprej neovirano izvaja regulacijo temperature in vlage. Ročni način delovanja ni ogrožen.

*Izpad mrežne povezave med računalnikom za vodenje in vmesnikom FP1601.* Če pride do izpada tega segmenta mrežne povezave, postavi FP1601 vse izhode na vrednost nič. S tem se grelec, vlažilnik in ventilator "ugasnejo", sistem pa se navidezno nahaja v stanju "Stop".

## 7 Zaključek

Cilj projekta, ki se je izvajal v okviru predmeta "Seminar vodenja 3" pri modulu Procesna avtomatika, je bila izvedba sistema

vodenja, ki omogoča popolno avtomatsko in ročno upravljanje ter nadzor nad modelno klimatsko napravo. Pri tem je bilo potrebno mentorju, ki je bil v vlogi naročnika projekta redno in v rokih, izročati tudi vso potrebno dokumentacijo. Izvedba sistema vodenja je bila tako, ne le zaradi tipičnega problema izvedbe multivariabilnega vodenja, dober približek izvajanja projektov v resničnem svetu.

Realiziran sistem vodenja je seveda možno nadgraditi in/ali prirediti na željo naročnika. Kot že omenjeno, bi se lahko vodenje in nadzor nad napravo vršilo prek Interneta. To dejstvo omogoča širok nabor podpornih funkcij kot so: preverjanje stanja sistema preko mobilnega telefona, sporočanje referenčnih vrednosti za regulacijo na daljavo (telefon, http vmesnik itd.), sporočanje napak v delovanju sistema na zahtevane naslove (elektronska pošta, sms sporočilo, telefonski klic itd.). Ker je sistem grajen modularno, ga je mogoče poljubno razširiti. Tako bi lahko le z malo predelave obstoječega LabVIEW projekta uspešno izvajali regulacijo večih klimatskih naprav (prostorov) z različnimi zahtevami hkrati.

## 8 Literatura

- [1] LabView 8.0 - Getting Started with LabView, National Instruments, Texas 2005.
- [2] B. Zupančič, Zvezni regulacijski sistemi 1. del, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, Ljubljana 1996.
- [3] D. Matko, Diskretni regulacijski sistemi, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, Ljubljana 1991.
- [4] M. Atanasijević-Kunc, Multivariabilni sistemi – Predstavitev, analiza in načrtovanje skozi primere, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, Ljubljana 2003/2004.
- [5] R. Karba, Multivariabilni sistemi – zapiski predavanj, Ljubljana 2007.
- [6] R. Karba, Modeliranje procesov – Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, Ljubljana 1999.