

# Automatizacija sustava dobave goriva glavnog motora

---

**Matković, Damir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:764271>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**AUTOMATIZACIJA SUSTAVA DOBAVE**  
**GORIVA GLAVNOG MOTORA**

**Damir Matković**

Split, rujan 2020.

**Sveučilište u Splitu**

**Pomorski fakultet**

**Studij: Pomorske elektrotehničke i informatičke tehnologije**

**AUTOMATIZACIJA SUSTAVA DOBAVE GORIVA**

**GLAVNOG MOTORA**

Završni rad

Mentor:

Prof.dr. sc. Danko Kezić

Student:

Damir Matković  
(MB:0171268888)

Split, rujan 2020.

## **SADRŽAJ:**

<b>SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT AND KEYWORDS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OSNOVNA NAČELA AUTOMATIZACIJE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. NAČELO POVRATNE VEZE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. KASKADNA REGULACIJA.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. PRIMJER KASKADNE REGULACIJE.....</b>	<b>9</b>
<b>4. AUTOMATIZACIJA SUSTAVA DOBAVE GORIVA NA SUPERTANKERU ERS L11 5L90MC–VLCC .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. O BRODU.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2. SUSTAV DOBAVE GORIVA.....</b>	<b>21</b>
<b>5. SIMULACIJA POREMEĆAJA VISKOZNOSTI GORIVA I TLAKA PARE.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1. SIMULACIJA OBIČNE I KASKADNE REGULACIJE VISKOZNOSTI KOD PROMJENE TIPRA GORIVA.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2. SIMULACIJA OBIČNE I KASKADNE REGULACIJE KOD PROMJENE TLAKA PARE.....</b>	<b>31</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>35</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>36</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>37</b>

## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

*Sustav goriva opisujemo kao jedan od najvažnijih sustava broda zbog njegovih višestrukih uloga: ekonomskih, energetskih i ekoloških. Veliki dizelski brodski motor koristi dizelska goriva različite vrste i kvalitete (teško i lako dizelsko gorivo). Sustav goriva priprema i osigurava potrebnu kvalitetu goriva za motor, te odgovarajuću dobavu u svim režimima rada, a u osnovi ga čine ove komponente: tankovi, pumpe, filtri, grijači, ventili, cjevovod. U radu je objašnjen princip rada te utjecaj regulatora na sustav goriva koji se temelji na Kongsbergovom simulatoru brodske strojarnice supertankera, instaliranom na Pomorskom Fakultetu u Splitu. Radi se o supertankeru pogonjenom dizel-mehaničkom propulzijom. Provedene su simulacije nakon uvedenih poremećaja promjene tlaka pare i promjene vrste goriva koja je uzrokovala promjenu viskoznosti goriva. Navedene simulacije provedene su u sustavu dobave goriva glavnog mootora, a provedene su u svrhu praćenja razlike između kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom.*

*Ključne riječi: sustav dobave goriva, kaskadna regulacija, automatizacija sustava*

## **ABSTRACT AND KEYWORDS**

*The fuel system is described as one of the most important systems of the vessel due to its multiple roles: economic, energy and environmental. A large diesel vessel engine uses diesel fuels of different types and qualities (heavy fuel oil and diesel oil). The fuel system prepares and ensures the required quality of fuel for the engine, and the appropriate supply in all operating modes, and it basically consists of these components: tanks, pumps, filters, heaters, valves, piping. The paper explains the working principle and the influence of the regulator on the fuel system based on Kongsberg's supertanker ship engine room simulator, installed at the Faculty of Maritime Studies in Split. It is a supertanker powered by diesel-mechanical propulsion. Simulations were performed after the introduced disturbances of the change in vapor pressure and the change in the type of fuel that caused the change in the viscosity of the fuel. These simulations were performed in the main engine fuel supply system, and were performed for the purpose of monitoring the difference between cascade control and single loop control.*

*Keywords: fuel supply system, cascade control, system automation*

## 1. UVOD

Za normalno funkcioniranje glavnih i pomoćnih strojeva potrebno je upravljati i njihove podsustave (hlađenja, podmazivanja, goriva, zraka), odnosno regulirati određene varijable koje bitno određuju radno stanje motora. Broj i vrsta upotrijebljenih komponenti u sustavu regulacije ovise o složenosti i karakteristikama reguliranog procesa - objekta, kao i o zahtjevima koji se postavljaju glede regulacije.

Uvođenje suvremene brodske automatizacije je vezano sa smanjenjem brojnosti brodskih posada. Ta dva trenda se međusobno potiču: pojava naprednih sustava nadzora i upravljanja omogućava da se smanji broj članova posade. U zadnjih nekoliko desetljeća broj potrebnih članova posade se više nego prepolovio za gotovo sve vrste brodova. Tako strojarnica suvremenog trgovačkog broda traži 3-4 inženjera, dok je pred pedesetak godina za isti posao trebalo oko 20 ljudi. Druga važna karakteristika suvremenih brodova i sustava brodske automatizacije je povećana funkcionalnost, pouzdanost, ekonomičnost koju oni donose.

Prednosti njezine upotrebe su mnogobrojne: daljinsko upravljanje, pričuveni režim rada pojedinih uređaja, dojavljivači požara, alarmi razina kapljevina u tankovima, potrošnje, protoka, gustoće, viskoziteta, tlaka i sl. Da bi sve to omogućila, automatizacija na brodovima je napredovala, od izoliranih petlji daljinskog mjerenja i upravljanja, preko centraliziranog nadzora i upravljanja pojedinim brodskim podsustavima, do integriranog sustava nadzora i upravljanja brodom.

Na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Splitu instaliran je Kongsbergov simulator brodske strojarnice koji je napravljen u svrhu obrazovanja pomoraca. Simulator omogućuje izučavanje skoro svih brodskih sustava koji se mogu vidjeti danas na teretnim brodovima, tankerima i sl. To dovodi do učinkovitog osposobljavanja studenata kako bi se izgradile ključne vještine koje promiču sigurnost, ekonomičnost i održivost u operacijama na moru. Brodska strojarnica je modelirana i simulirana do najsitnijih detalja i uključuje brojne varijable, čije promjene utječu na rad postrojenja kojim se upravlja. Simulator može analizirati i utjecaj poremećaja na sustave te odziv sustava korištenjem različitih vrsta regulacije, kao npr. razliku u reakciji između kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom.

Provedene su simulacije nakon uvedenih poremećaja promjene tlaka pare i promjene vrste goriva koja je uzrokovala promjenu viskoznosti goriva. Navedene simulacije provedene su u sustavu dobave goriva glavnog motora, a provedene su u svrhu praćenja razlike između kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom.

Strukturno je rad podijeljen u šest dijelova, uključujući uvod i zaključak. Osim teorijskog dijela proveden je i praktični dio u kojem su izvedene simulacije prikazane i opisane kasnije u radu.

U drugom poglavlju opisana su osnovna načela automatizacije te načelo povratne veze.

U trećem poglavlju detaljno je opisana kaskadna regulacija te su izvršene simulacije pomoću LabView simulatora u svrhu usporedbe kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom.

U četvrtom poglavlju opisan je sustav dobave goriva te važnost automatizacije istog. Kroz ovo poglavlje čitatelj se upoznaje općenito s brodom na kojem su provedene simulacije te sa sustavom dobave goriva.

U petom poglavlju prikazan je praktični dio rada odrađen na Kongsbergovom simulatoru brodske strojarne supertankera ERS L11 5L90MC-VLCC. Simulacije su provedene kroz dva pokusa na način da se u prvom prouzrokovao poremećaj viskoznosti mijenjanjem vrste goriva, a u drugom mijenjao se tlak pare. Cilj izvođenja simulacija bila je usporedba kaskadne regulacije i regulacije s povratnom vezom u sustavu dobave goriva glavnog motora.



## 2. OSNOVNA NAČELA AUTOMATIZACIJE

Automatizacija je znanstveno tehnička disciplina koja se bavi teorijom i konstrukcijom uređaja za automatsko upravljanje procesa. Automatizacija brodskih strojeva, električnih uređaja i procesa svakim danom postaje sve kompleksnija s ciljem potpune automatizacije i vođenja procesa. Automatizacija može biti djelomična i složena. Pod djelomičnom automatizacijom podrazumijeva se situacija kada automatski sustav upravljanja ostvaruje jednostavne funkcije kao što su funkcije signalizacije, kontrole, blokiranja i zaštite. Složena automatizacija podrazumijeva automatiziranje svih operacija procesa bez neposrednog čovjekovog djelovanja. Složena automatizacija povezana je s posluživanjem svih uređaja i njihovim upravljanjem u cjelini. Razvoju automatizacije doprinosi jak razvoj električne i informatičke tehnologije te internet, s krajnjim ciljem povećanja pouzdanosti te učinkovitosti sustava tijekom rada. U ovom radu se razmatra automatizacija broda. Brod je složeni dinamički sustav i sastoji se od brojnih uređaja i sustava. Pojavom automatizacije broda smanjuju se troškovi održavanja brodskih sustava te se produljuje vijek trajanja broda. Razvojem automatizacije raste učinkovitost rada posade, smanjuju se štete na strojevima i zastoji brodova, smanjuju se eksploatacijski troškovi itd. Nedostaci su manja potreba za radnom snagom i smanjenje broja posade, s čime se povezuju i društveno-socijalni problemi.

Brodski procesi dijele se na procese vođenja broda, pogonske procese i procese s teretom. Osnovne zadaće i namjene sustava automatike na brodu su automatsko upućivanje u rad i zaustavljanje, nadzor, signalizacija i alarmi, blokada i zaštita, automatsko upravljanje, sustavi automatske regulacije.

Sustav automatske regulacije daje izvješće posadi o stanju brodskih postrojenja. Sustav automatske kontrole mjeri različite parametre brodskih uređaja i uspoređuje ih sa zadanim vrijednostima. Sustavi automatske blokade i zaštite sprečavaju nastanak havarije tako što u slučaju kritičnih vrijednosti nadziranih parametara automatski isključuju nadzirane strojeve.

Automatizacija brodskih procesa obuhvaća raznovrsne komponente, ovisne i integrirane u automatskih sustavima. One se razlikuju po vrsti (električne, pneumatske, hidrauličke, kombinirane) te prema tipu signala (analogni, digitalni, hibridni). Digitalno računalo ili mreža

računala namijenjena je za koordinaciju i povezivanje njihova rada u jedinstvenu, funkcionalnu sredinu.

Postoje tri osnovna načela automatskog upravljanja. To su načelo otvorene petlje (načelo upravljanja), načelo zatvorene povratne petlje i načelo kompenzacije ili prediktivnog upravljanja. U ovom radu posebno će biti obrađena kaskadna regulacija koja se temelji na dvostrukoj zatvorenoj povratnoj petlji.

Sustavi automatske regulacije (SAR) koji rade na načelu jednostruke zatvorene petlje ili na načelu programskog – sekvencijalnog upravljanja, predstavljaju jednostavnije sustave automatskog upravljanja koji obavljaju zadaće regulacije rada procesa i strojeva (npr. regulacija brzine vrtnje stroja, regulacija opterećenja generatora, stabilizacija frekvencije, regulacija temperature ulja za podmazivanje i sl.).

Tri su osnovna oblika algoritama funkcioniranja SAR:

- Stabilizacija: sustavi koji su namijenjeni održavanju konstantne, nepromijenjene vrijednosti izlazne regulirane veličine (npr. stabilizacija broja okretaja pogonskog stroja generatora s ciljem održavanja stalne frekvencije napona).
- Programska regulacija: ovi sustavi obavljaju promjenu izlazne veličine  $y(t)$  po unaprijed zadanom programu (npr. programsko vođenje motora u zadanu radnu točku, upravljanje kursom broda pomoću autopilota). Program može biti definiran kao funkcija vremena  $y = y(t)$  ili u parametarskom obliku
- Slijedni sustavi (servosustavi): namijenjeni su ostvarivanju promjene izlazne veličine  $y(t)$  po unaprijed nepoznatom zakonu, tj. vodeća veličina  $u(t)$  je slučajna funkcija vremena (npr. slijedni sustav automatskog upravljanja kursa broda temeljem podataka sa žirokompasa, slijedni sustav pozicioniranja objekta: polužja goriva motora, lista kormila, perajica za stabilizaciju ljuljanja broda, itd.)

Temeljni zahtjevi koji se postavljaju pred sustave automatske regulacije su: - brzina odziva (brzina reakcije sustava na promjenu pobude, odnosno vodeće ili postavne vrijednosti, što je značajka prijelaznog stanja),

- stupanj stabilnosti (relativna stabilnost),

- točnost regulacije (dopušteno trajno regulacijsko odstupanje ili pogreška u ustaljenom stanju).

U projektiranju ovih sustava i njihovoj praktičnoj implementaciji nužno je udovoljiti postavljenim zahtjevima glede tri temeljna navedena kriterija, ovisno o tome kako ih svaka regulacijska staza ili objekt traže.

U automatizaciji brodskih procesa, strojeva i uređaja sudjeluje veoma veliki broj raznovrsnih komponenti različitih po vrsti (električnih, pneumatskih, hidrauličkih, mehaničkih, kombiniranih) i tipu signala (analognih, digitalnih, hibridnih), međusobno ovisnih i integriranih u funkcionalne cjeline - automatizirane sustave. Centralno mjesto u povezivanju i koordinaciji njihovog rada u sustavu čini danas digitalno računalo ili mreža računala.

## 2.1. Načelo povratne veze

Osnovna ideja povratne veze jest usporediti aktualni rezultat sa željenim rezultatom i djelovati na temelju njihove razlike. U mnogim tehničkim sustavima i procesima nalazi se povratna veza. Primjeri su doista brojni, od vrlo jednostavnih do iznimno složenih poput robota, transportnih sredstava, električnih ili internetskih mreža. Štoviše, rijetki su moderni tehnički sustavi u kojima se ne nalazi barem neki primjer automatske regulacije.

Povratna veza omogućuje slijedeća svojstva:

- Regulirani proces može postati neosjetljiv na vanjske poremećaje i promjene vlastitih svojstava.
- Regulirani proces koji je nestabilan može postati stabilan.

Osnovni nedostatak povratne veze jest što proces njenim djelovanjem može postati nestabilan (oscilirajući), što je gotovo uvijek neprihvatljivo ponašanje. Stoga je primarni zadatak prilikom primjene regulacije osigurati stabilnost sustava. Kod sustava bez povratne veze, ako je sustav sačinjen od elemenata koji su stabilni, i sustav će biti stabilan, dok kod sustava regulacije to ne mora biti tako.

Objekt regulacije ili proces (eng. *process, plant*) – obuhvaća sustav, podsustav ili proces čija je veličina (ili veličine) predmet regulacije. Ponegdje u hrvatskoj literaturi (npr. Šurina, T., *Automatska regulacija*, Školska knjiga, 1972.) može se naći i izraz regulacijska staza koji potječe iz njemačke literature (Regelstrecke). Taj izraz ima uži smisao od objekta regulacije

ili procesa. Jedan objekt regulacije može imati više regulacijskih staza, već prema tome koje fizičke veličine tog objekta želimo regulirati.

Osnovna funkcija povratne veze jest usporedba željene i stvarne vrijednosti veličine koju se želi regulirati, obavlja se komparatorom. Prirodno je stoga da povratna veza ima negativnu vrijednost. Pozitivna povratna veza u suprotnom slučaju potaknula bi nestabilnosti i poništila sve efekte i razloge primjene regulacije. Ipak, u iznimnim slučajevima postoje primjeri korištenja pozitivne povratne veze.

U osnovnom blok dijagramu mogu se još naznačiti i blokovi koji predstavljaju izvršni i mjerni član, što je prikazano na slici 1. Nekada se oni predstavljaju kao dio regulacijskog uređaja (kao npr. Pašalić, N., *Regulacija, automatska, Tehnička enciklopedija*, Sv. 11, JLZ “Miroslav Krleža”, 1963.), a nekada i kao dio objekta regulacije, ili čak kao sam objekt regulacije. Izvršni član sastoji se od postavnog pogona i postavnog člana. Postavni pogon je npr. neki elektromotor koji pokreće postavni član, npr. neki ventil. Mjerni član sastoji se od mjernog osjetila (engl. *sensor*) i mjernog pretvarača (engl. *transducer*), i zadužen je za mjerenje regulirane veličine.

Na slici 1 prikazan je regulacijski sustav ili regulacijski krug (engl. *Closed-loop Control System*). To je zatvoreni sustav upravljanja koji se sastoji od objekta regulacije, mjernog člana tj. osjetila koje registriira djelovanje objekta na okolinu i pretvara u oblik razumljiv upravljačkoj jedinici, komparatora koji ove veličine uspoređuje sa željenim (referentnim) vrijednostima, regulacijskog uređaja i aktuatora ili izvršnog člana koji upravljački signal pretvara u oblik kojim se može djelovati na objekt regulacije. Zadatak sustava automatske regulacije je ostvarivanje uvjeta da je izlazna veličina konstantno jednaka referentnoj. Informacija o izlaznoj odnosno regulacijskoj veličini stalno se mjeri pomoću senzora, te se dovodi u komparator gdje se uspoređuje s vodećom ili referentnom veličinom. Razlika između referentne i regulirane (izlazne) veličine naziva se regulacijsko odstupanje.

Osnovni blok dijagram automatske regulacije s označenim sastavnim komponentama prikazan je na slici 1, gdje je:

$r(t)$  = ulazni signal (referentna veličina)

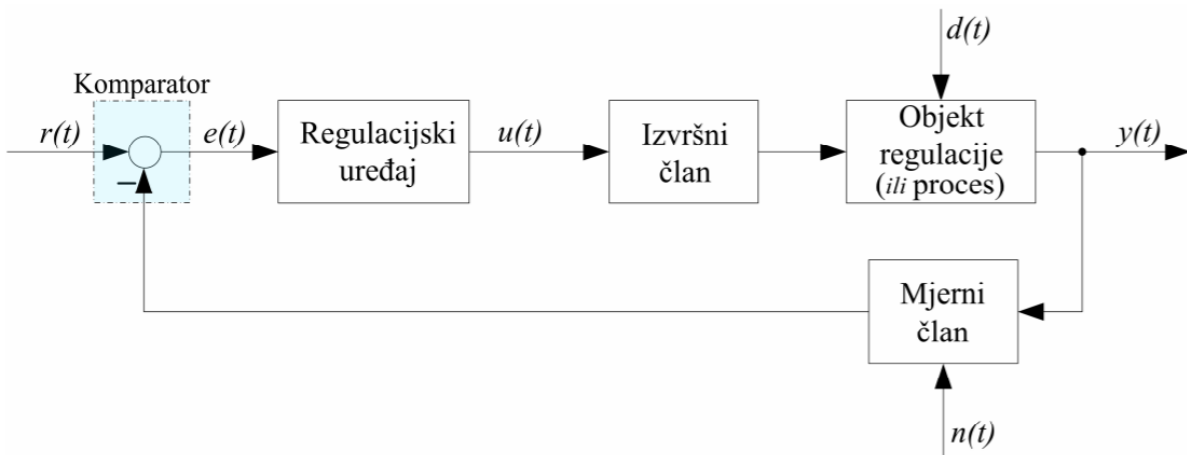
$y(t)$  = izlazni signal (regulirana veličina)

$e(t)$  = signal pogreške (regulacijsko odstupanje)

$u(t)$  = upravljački signal

$d(t)$  = prilagođeni upravljački signal

$n(t)$  = prilagođeni izlazni signal

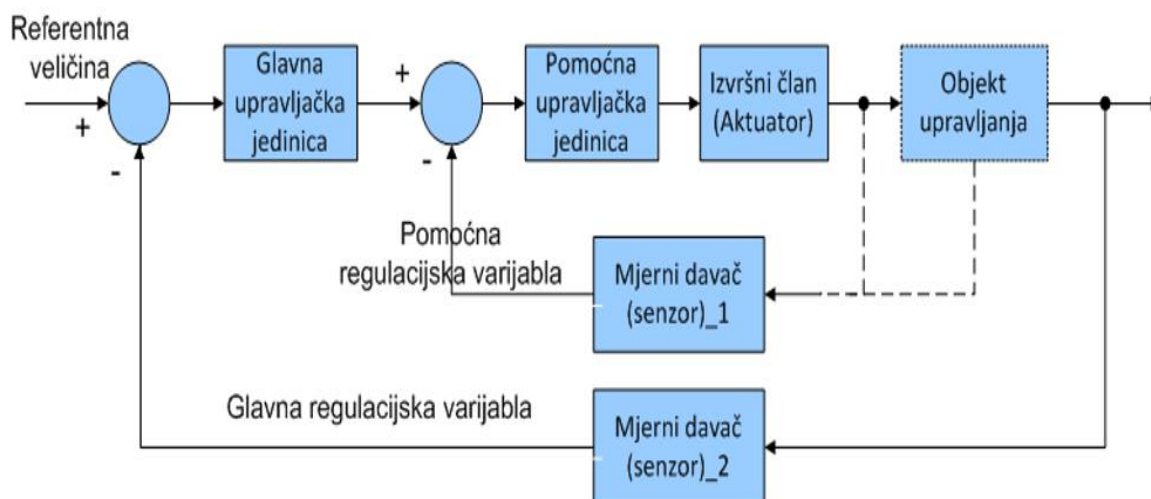


**Slika 1.: Poopćeni osnovni blok dijagram zatvorene regulacijske petlje s postavnim i mjernim članom [8]**

Kada je referentna vrijednost (engl. *Setpoint*) uglavnom vremenski nepromjenjiva, regulacija je čvrsta. Ako se referentna veličina kontinuirano mijenja tada je primarni zadatak sustava regulacije da regulirana veličina prati vodeću, a takva regulacija naziva se slijednom regulacijom (eng. tracking control). Servomehanizmi ili kraće servo (engl. servomechanisms, servo) na neki način su i sinonimi (bliskoznačnice) za slijednu regulaciju. Zadatak servomehanizama je praćenje neke mehaničke veličine, poput položaja, brzine ili ubrzanja, sa što većom točnošću.

### 3. KASKADNA REGULACIJA

Standardna regulacija povratnom vezom možda neće dovoljno brzo uspjeti kompenzirati utjecaj poremećaja, ako se poremećaji u procesu javljaju većom brzinom budući da regulacijski krug ima limitirano vrijeme reakcije. To je razlog upotrebe kaskadne regulacije (engl. *cascade*). Kaskadna regulacija upotrebljava se kod sporih regulacijskih krugova, kao regulacija temperature ili razine tekućine koja regulira protok. Na slici 2 je prikazana blok shema kaskadne regulacije.



Slika 2.: Prikaz kaskadne regulacije [1]

Kaskadni krugovi sastoje se od dvaju ili više regulatora i svaki regulator ima svoju regulacijsku varijablu, koja se mjeri tijekom procesa. Postoji osnovni regulator (engl. *master*) i dio je vanjskog kruga te pomoćni regulator (engl. *slave*) koji je dio unutarnjeg kruga. Kaskadnom regulacijom se izolira vanjski krug od poremećaja, nelinearnosti ili problema vezanih uz izvršni član i dio procesa objekta upravljanja. Podešavanje regulatora postiže se tako da se prvo podešava slave kontroler unutrašnje petlje uz isključeni master kontroler. Zatim se podešava master kontroler vanjske petlje uz uključeni slave kontroler. Neke od koristi primjene kaskadne regulacije su:

- kompenzacija dijela poremećaja procesa,

- brži odziv,
- izolacija nelinearnosti ventila i dijela procesa,
- izolacija problema s ventilom.

Dakle, osim što je odziv unutarnjeg kruga znatno brži od vanjskog, slave kontroler poništava neke od poremećaja koji utječu na vanjski krug. Brži odziv unutrašnje petlje smanjuje mrtvo vrijeme vanjskog kruga, pa se vanjski krug može ugoditi za brži odziv.

Prilikom primjene kaskadne regulacije često se suočava s pitanjem kako odabrati sekundarni krug. Postoji velik broj mogućnosti, ali osnovni cilj bio bi svesti sustav da u vanjskom krugu bude što više zadržke, istodobno u unutarnjem krugu što više poremećaja. Da bi se odredio najprikladniji način kaskadne regulacije mora se najprije utvrditi kakve poremećaje mogu očekivati te ponovno razmotriti različite načine kaskadne regulacije i odrediti koji najbolje zadovoljava cilj vođenja.

### 3.1. Primjer kaskadne regulacije

U ovom poglavlju biti će prikazana usporedba kaskadne regulacije (engl. *Cascade control*) i obične regulacije s povratnom vezom (engl. *Single loop control*) u dinamičkom sustavu.

Usporedba je provedena u LabView simulatoru, pomoću kojeg se simuliraju različiti slučajevi za kaskadnu regulaciju i običnu regulaciju s povratnom vezom uz referentnu vrijednost temperature produkta od 40°C.

Promatrati će se kako pojedina regulacija djeluje na promjene temperature tekućine (engl. *heating fluid*) zadužene za grijanje omotača (engl. *jacket*) tanka.

Na slikama 3 (Kaskadna regulacija) i 4 (Regulacija s povratnom vezom) prikazan je sustav regulacije temeperature tekućine u tanku.

Sustav se sastoji od:

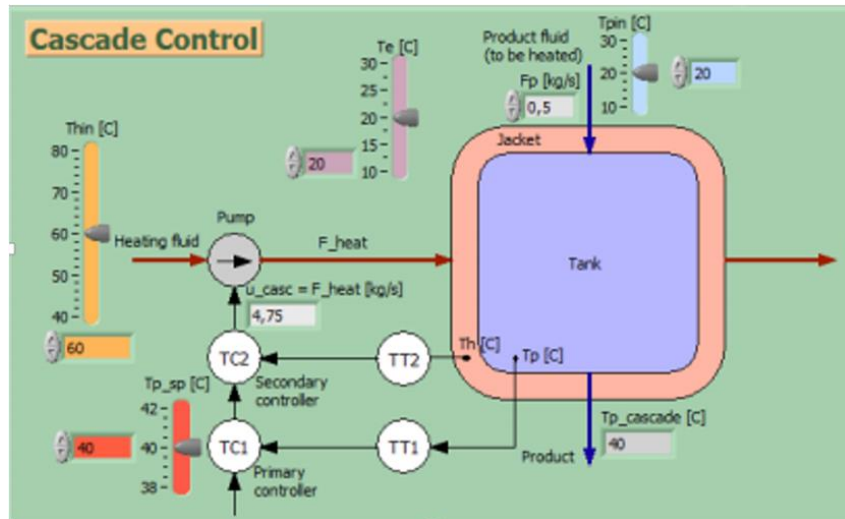
- Tanka (engl. *tank*) u kojeg ulazi tekućina (engl. *product fluid*) čija je temperatura uvijek 20°C
- Tekućine koja se zagrijava (engl. *heating fluid*) na željenu temperaturu
- Pumpe (engl. *pump*) koja pumpa zagrijavanu tekućinu u omotač (engl. *jacket*)
- Omotača koji služi za grijanje tanka

Kod kaskadne reglacije prikazane na slici 3 postoje 2 kontrolera TC1 i TC2 koji ispravljaju pogrešku uzrokovanu poremećajem. Izlaz prvog kontrolera TC1(master kontroler) daje zadanu (referentnu) vrijednost drugom kontroleru TC2 (slave kontroler). Povratna veza jednog kontrolera nalazi se unutar drugog.

Unutrašnja petlja se sastoji od senzora temperature košuljice ( $T_h$ ), mjernog pretvarača TT2, slave kontrolera TC2 koji uspoređuje temperaturu košuljice sa referentnom vrijednosti koji se dobije od master kontrolera TC1. TC2 kontroler upravlja brzinom vrtnje pumpe koja regulira protok tekućine za zagrijavanje od 60°C kroz košuljicu tanka.

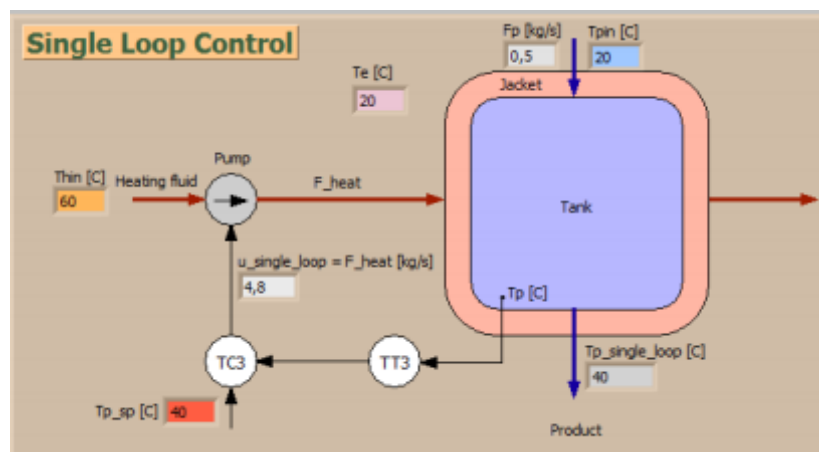
Vanjska petlja se sastoji od senzora temperature produkta ( $T_p$ ), mjernog pretvarača TT1, master kontrolera TC1 koji uspoređuje temperaturu produkta sa zadanom referentnom vrijednosti od 40°C . Master kontroler TC1 uspoređuje zadanu (referentnu) temperaturu produkta i stvarnu temperaturu produkta te generira upravljački signal – referentnu vrijednost za slave kontroler TC2.





**Slika 3.:Prikaz kaskadne regulacije temperature tanka**

Za razliku od kaskadne regulacije na slici 3, obična regulacija s povratnom vezom na slici 4 ima samo jedan kontroler TC3. Petlja se sastoji od senzora temperature produkta  $T_p$ , mjernog pretvarača TT3, kontrolera TC3 koji uspoređuje temperaturu produkta  $T_p$  sa referentnom vrijednosti  $T_{p\_sp}$ . Kontroler generira upravljački signal kojim regulira brzinu vrtnje pumpe koja regulira protok tekućine za zagrijavanje od  $60^\circ\text{C}$  kroz košuljicu tanka.

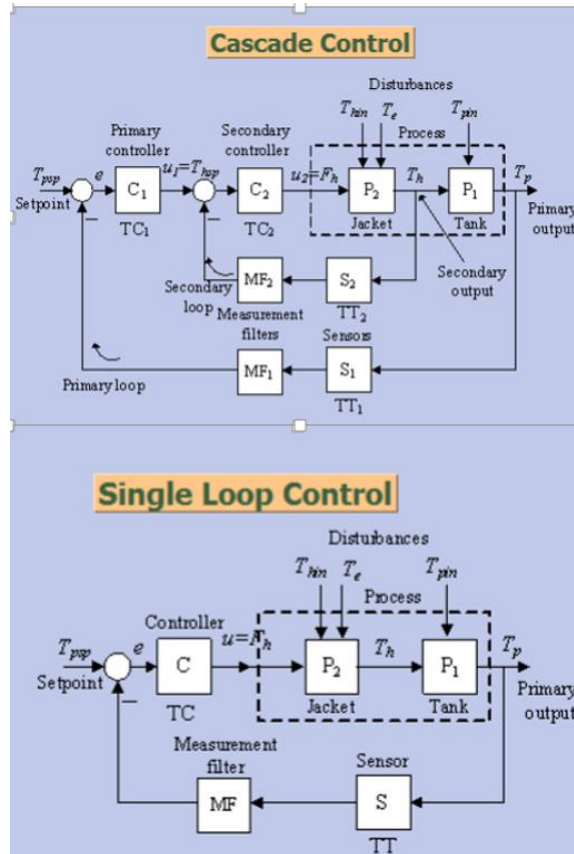


**Slika 4.:Prikaz obične regulacije temperature tanka**

U simulatoru na slikama 3 i 4 mogu se mijenjati ili pratiti sljedeći parametri:

- temperatura tekućine za grijanje košuljice  $T_{in}$  (poremećajna veličina)
- temperatura okoline tanka  $T_e$  (poremećajna veličina)
- protok produkta  $F_p$  (poremećajna veličina)

- ulazna temperatura produkta  $T_{pin}$  (poremećajna veličina)
- izlazna temperatura produkta  $T_p$  cascade (za kaskadnu regulaciju na slici 3)

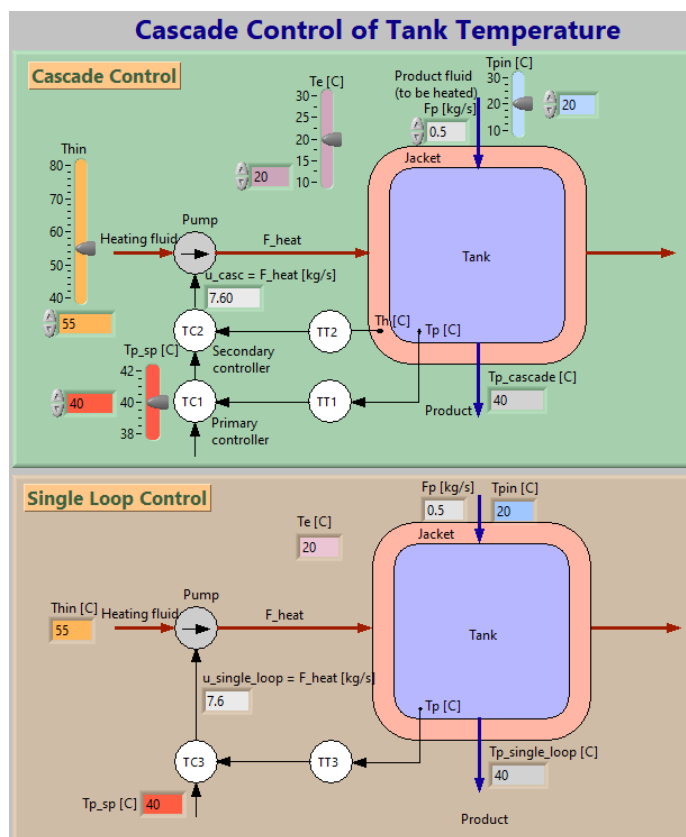


**Slika 5.: Blok dijagram kaskadne regulacije i regulacije s povratnom vezom temperature tanka**

Na slici 5 prikazana je blok dijagram za kaskadnu regulaciju i regulaciju s povratnom vezom. Cilj provedenih simulacija bio je zadržavanje temperature produkta na 40°C te da se pri tome prati reakcija pojedine regulacije (kaskadne i s povratnom vezom) kada se uvede određeni poremećaj. U prvom slučaju uvedeni poremećaj je promjena temperature za grijanje košuljice ( $T_{hn}$ ). U drugom slučaju poremećajnu veličinu predstavlja promjena temperature okoline ( $T_e$ ), dok je u trećem slučaju to bila ulazna temperatura produkta ( $T_{pin}$ ).

### Slučaj 1:

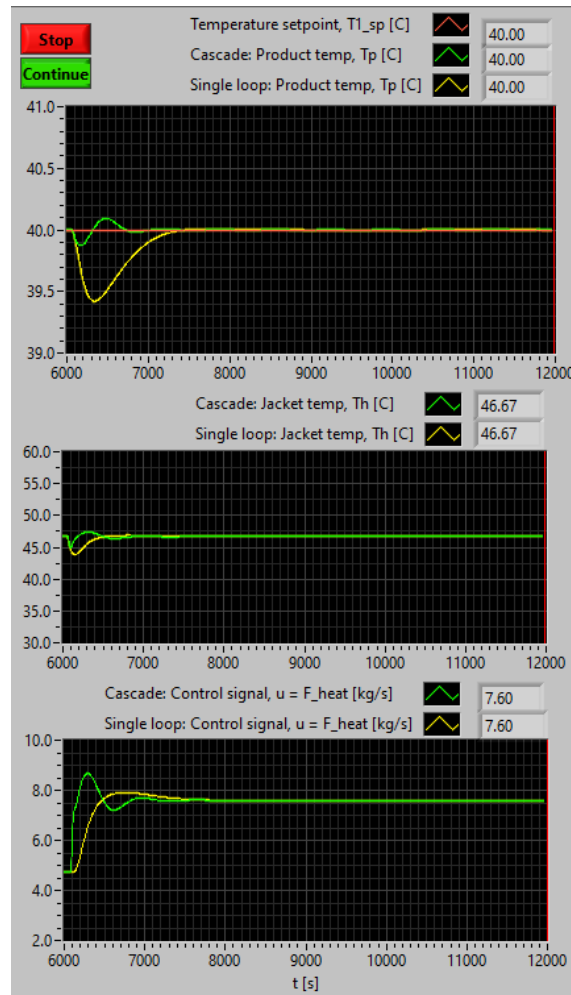
U prvoj simulaciji uvedeni poremećaj je promjena temperature za grijanje košuljice koja je smanjena sa 60°C na 55°C što je vidljivo na slici 6.



Slika 6.: Temperatura tekućine za zagrijavanje postavljena na 55°C

Provođenjem simulacije s gore navedenim parametrima dobiveni su rezultati prikazani na slici 7. Na slici je vidljivo da je odziv kaskadne regulacije (na slici prikazan zelenom linijom) puno stabilniji. Kod kaskadne regulacije su manje oscilacije, manji maksimalni prebačaj i puno brže postiže željenu izlaznu temperaturu produkta od obične regulacije s povratnom vezom (na slici prikazano žutom linijom). Kod kaskadne regulacije izlazna temperatura produkta prije nego što se ustalila na 40°C pala je maksimalno za 0.1°C, dok je maksimalni pad temperature kod obične regulacije s povratnom vezom bio 0.6°C.

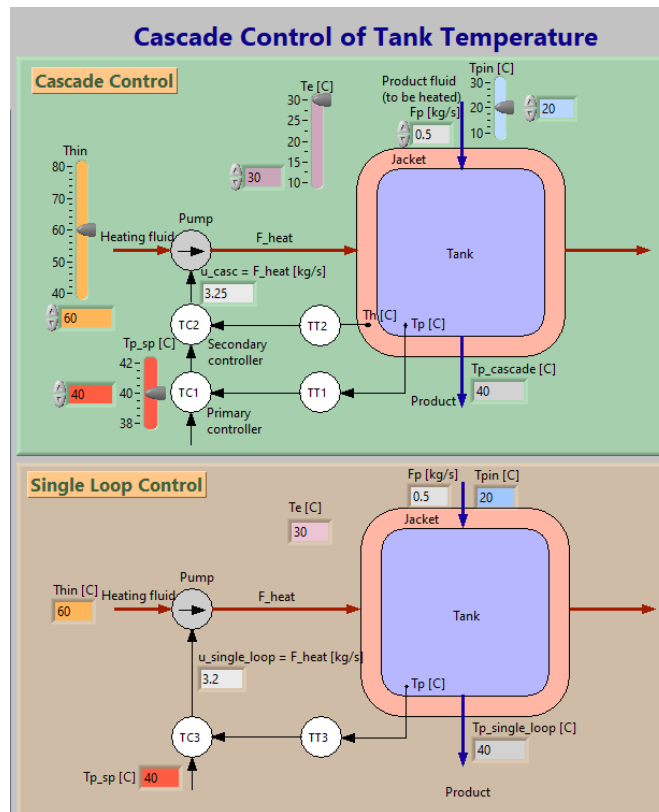
Razlog tome je taj što se uvedeni poremećaj nalazi u unutarnjem krugu kaskadne regulacije te ga slave kontroler može primijetiti. Slave kontroler uspoređuje temperaturu košuljice sa referentnom vrijednosti te po potrebi podiže ili spušta broj okretaja pumpe koja je zadužena za pumpanje tekućine za zagrijavanje unutar košuljice.



**Slika 7.:Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi tekućine zagrijavanja na 55°C**

### Slučaj 2:

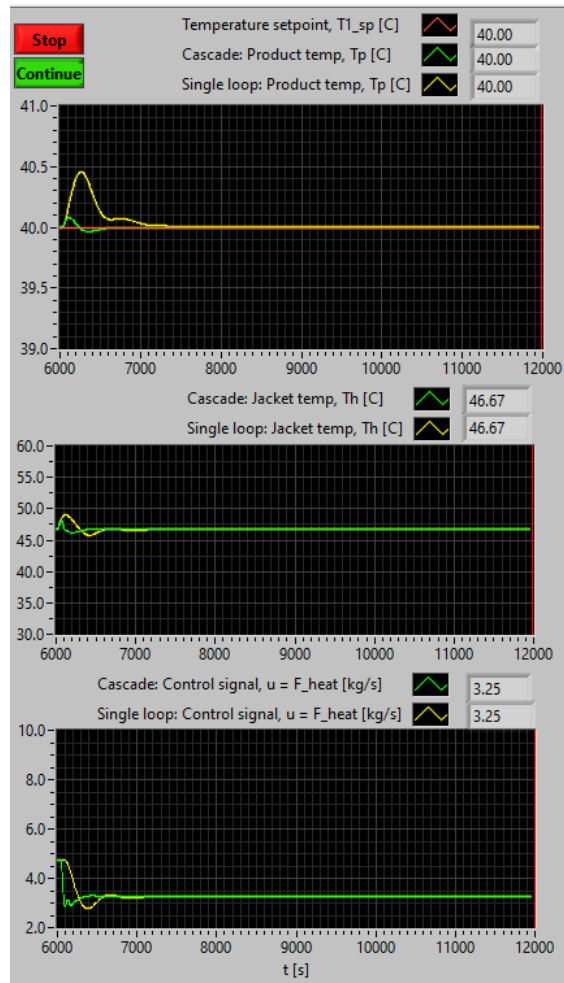
U drugoj simulaciji uvedeni poremećaj je promjena temperature okoline koja je povećana s 20°C na 30°C što je vidljivo na slici 8.



Slika 8.:Temperatura okoline postavljena na 30°C

U prikazu sa slike 9 može se uočiti da je i u ovom slučaju kaskadna regulacija puno bolja od obične regulacije s povratnom vezom. Maksimalni prebačaji su puno manji, odziv je puno stabilniji te je potrebno manje vremena (800s) da se postigne željena izlazna temperatura produkta koja iznosi 40°C. Kod kaskadne regulacije izlazna temperatura produkta nakon uvedenog poremećaja varira od 40°C do 40.1°C, dok su varijacije kod obične regulacije s povratnom vezom veće, tj. temperatura varira od 40°C do 40.5°C.

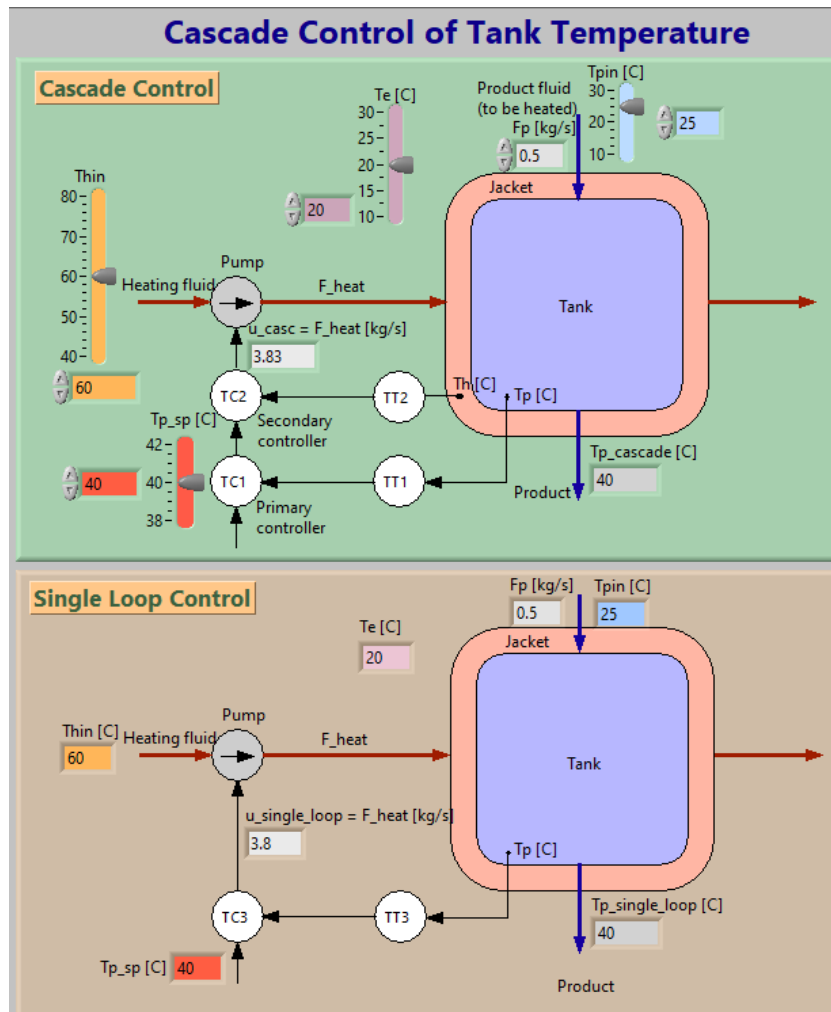
Razlog tome je upravo to što se i ovaj poremećaj nalazi u unutarnjem krugu kaskadne regulacije, tj. nalazi se unutar dohvata slave kontrolera, što je i vidljivo na slici 5. Odziv unutarnjeg kruga znatno je brži od vanjskog te je zato kaskadna regulacija u ovom slučaju bolja od obične regulacije s povratnom petljom.



**Slika 9.:** Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi okoline na na 30°C

### Slučaj 3:

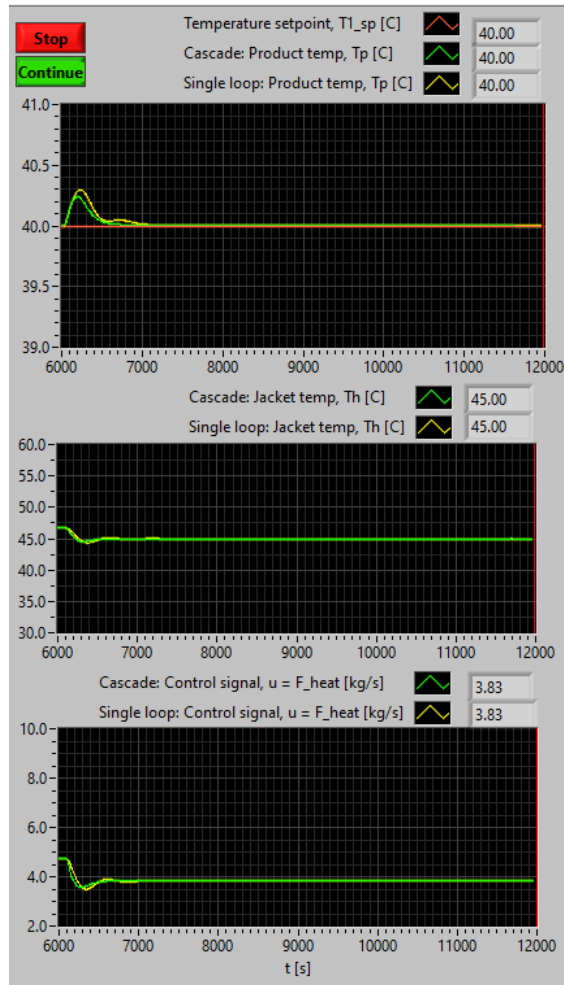
U trećoj simulaciji uvedeni poremećaj je promjena ulazne temperature produkta koja je povećana s 20°C na 25°C kao što je vidljivo na slici 10.



Slika 10.: Temperatura ulazne tekućine postavljena na 25°C

Na slici 11 prikazani su rezultati simulacije. Može se uočiti da su odzivi i kod kaskadne regulacije i kod obične regulacije s povratnom vezom poprilično jednaki.

Vrijeme smirivanja i prebačaji su isti. U ovom slučaju kaskadna regulacija nema nikakve prednosti u odnosu na običnu regulaciju s povratnom vezom zato što se uvedeni poremećaj nalazi u vanjskom krugu kaskadne regulacije, tj. izvan dohvata slave kontrolera kao što je vidljivo na slici 5. Budući da jedino master kontroler može uočiti poremećaj, u ovom slučaju nema razlike između kaskadne regulacije i regulacije s povratnom vezom.



**Slika 11.:Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi ulazne tekućine na 25°C**



#### **4. AUTOMATIZACIJA SUSTAVA DOBAVE GORIVA NA SUPERTANKERU ERS L11 5L90MC-VLCC**

Svrha sustava dobave i cirkulacije goriva je prethodno zagrijati gorivo do ispravne viskoznosti ubrizgavanja, fino filtrirati gorivo te opskrbiti glavni motor i generatore kontinuiranim protokom goriva odgovarajućeg tlaka. Sustav goriva glavnog, ali i pomoćnih motora, sastoji se od dva međusobno povezana kruga; dobavnog i cirkulacijskog.

Sustav dobave tekućeg goriva (HFO i DO) je klasični standardni sustav dobave goriva koji se koristi dugo godina. Sama priprema goriva od ukrcaja goriva, skladištenje goriva i pročišćavanje goriva ostala je nepromijenjena dok se sustav dobave i ubrizgavanja goriva u motor mijenja s tehnološkim razvojem brodskih motora, koji su uvjetovani svjetskim ekološkim zahtjevima za smanjenje zagađenja mora i zraka.

Klasični sustav dobave goriva je u uporabi već dugo godina. Sastoji se od osjetila za mjerenje protoka goriva koje struji u tank za miješanje s gorivom koje se vraća kao preljevno. Iz tog tanka dobavne pumpe usisavaju gorivo i tlače ga kroz zagrijač preko filtra do visokotlačnih pumpa motora. Radi održavanja konstantne viskoznosti goriva ono se zagrijava u zagrijaču vodenom parom. Zagrijavanje goriva regulira se regulacijskim ventilom, prema signalu viskozimetra, propuštanjem odgovarajuće količine pare u zagrijače goriva. Visokotlačne pumpe dobivaju veću količinu goriva od one koju motor troši, višak se vraća u tank za miješanje i tu se miješa s gorivom iz tanka dnevne potrošnje.

Danas se teži promjeni konvencionalnog sustava dobave goriva u elektronički upravljani, jer je cilj poboljšati iskoristivost i osigurati što kvalitetniji rad brodskoga dizelskog motora pri svim radnim režimima. To se postiže boljom regulacijom trenutka i tlaka uštrcavanja goriva, ali i trenutka otvaranja i zatvaranja ispušnih ventila. Samim tim poboljšava se termodinamički proces izgaranja u motoru te se podiže iskoristivost motora. Posebno se poboljšava rad motora pri niskom opterećenju, poboljšava se ubrzavanje motora i smanjuju se štetni sastojci u ispušnim plinovima pri manjim opterećenjima motora.

#### 4.1. O brodu

U ovom radu su opisani osnovni dijelovi i objašnjen je princip rada dobave goriva temeljem Kongsbergovga simulatora brodske strojarnice supertankera ERS L11 5L90MC–VLCC. Supertanker je dužine 305 metara i širine 47 metara, nosivosti 187997 tona i maksimalne brzine 14 čvorova.

Glavni motor (MAN B&W 5L90MC) je snage 17.4 KW s odgovarajućom brzinom motora od 74 rpm. Dvotaktni motor sastoji se od 5 cilindara i 2 turbopunjača. Sistem propelera može se mijenjati unutar kontrolnog centra glavnog motora, tj. može se birati između propelera fiksnog koraka (Fixed Pitch Propeller, FPP) i propelera s kontroliranim korakom (engl. *Controllable Pitch Propeller* - CPP). Električnu energiju dobiva iz dva 850 kW/ 440 V/ 60Hz dizel generatora, jednog 1200 kW /440 V/ 60Hz osovinskog generatora, jednog 850 kw/ 440 V/ 60Hz generatora pokretanog pomoću parne turbine te jednog 180 kW/ 440 V/ 60Hz pomoćnog generatora.

Od tankova tu su 3 HFO tanka, 2 DO tanka, 4 tanka za pogonsko gorivo, 2 tanka za ulje, 1 tank za kaljužu, 2 tanka za balastnu vodu te prednji pretežni tank. Također, brod ima svu potrebnu protupožarnu opremu te sve upravljačke i pomoćne sustave koji su potrebni za sigurno upravljanje.

## 4.2. Sustav dobave goriva

Sustav goriva je jedan od podsustava na brodu. Tablica ispod je jedna vrsta specifikacije brodskih procesa. U ovakvoj specifikaciji sustav goriva spada pod: glavni stroj, brodski sustavi i brodska energetika. U slučaju tankera naprimjer spada i pod poslovi s teretom.

BRODSKI PROCESI		
Vođenje Broda	Navigacija, Komunikacija	
	Management	
	Brodski poslovi	
Pogonski kompleks	Glavni pogon	Propeler propulzor
		Osovinski vod i prijenos
		Glavni strojevi
	Pomoćni pogon	Brodski sustavi
Brodska energetika		
Poslovi s Teretom	Rukovanje teretom Čuvanje tereta	



Postoje razne izvedbe sustava goriva, ovisno o vrsti propulzije, konstrukciji broda, visini strojarnice, namjeni broda i slično. Općeniti dijelovi sustava su: sustav ukrcaja i transfera goriva, sustav skladištenja goriva, sustav pročišćavanja goriva i sustav dobave i ubrizgavanja goriva.

Sustav ukrcaja i transfera goriva se sastoji od cjevovoda, pročištača koji sadrži grubi mehanički filter, transfer pumpe, sustava ventila i aparature za mjerenje sadržaja skladišnih tankova.

Radi efektivnijeg i bržeg ukrcaja/iskrcaja goriva na brod, te radi smanjenja rizika od polucije, također u ovoj skupini je sustav preljevnih tankova koji je međusobno povezan cijevima za ozračivanje.

Sustav skladištenja goriva primjenjuje se pri ukrcaju/iskrcaju goriva te ga čine minimum dvije transfer pumpe goriva. Jedna za teško, jedna za lako gorivo. Izvedba transfer pumpi

mora biti takva da omogući da bilo koja od dvije pumpe može obaviti funkciju za lako i za teško gorivo. Ovaj sustav služi za manipulaciju gorivom na brodu. Za prebacivanje goriva iz skladišnih u taložne (prvotna separacija) te nakon obrade do dnevnih servis tankova.

Sustav pročišćivanja goriva započinje u taložnim tankovima putem gravitacijske separacije (statičko pročišćavanje). Glavno pročišćavanje goriva se vrši u uređajima zvanim separatori. Gorivo se dobavlja centrifugalnim čistiocima pomoću pumpi koje ga sišu iz taložnih tankova i tjeraju kroz zagrijače u separator.

Sustav obuhvaća još i transfer pumpu koja omogućava prebacivanje goriva iz skladišnih tankova preko ventilskih stanica i usisnog filtra pumpe do taložnog tanka. Kapacitet pumpe ovisi o potrošnji goriva te o kapacitetu taložnih tankova.

Prebacivanje, grijanje i priprema goriva kod dizel motornih pogona razlikuje se u pojedinostima od postrojenja do postrojenja, ali osnovni je postupak isti kod svih sporohodnih i srednjehodnih motora na teško gorivo.

Elementi skladišnog dijela sustava goriva su:

- Dvodno tankovi s pripadajućim grijačima, odušnicima i pripadajućim osjetnicima razine tekućine, solenoid ventilima;
- Dvije pumpe (vijčane izvedbe), za teško i lako gorivo;
- Grubi filter za grube nečistoće u gorivu;
- Taložni tank s armaturom, tank dizel goriva (eng. Diesel Oil - DO), i
- Tank sakupljač koji skuplja ispušteno gorivo.

Teško brodsko gorivo (HFO) se nalazi u dvodnu trupa broda. Pumpe sišu gorivo iz dvodna i šalju u taložni tank. Taložni tankovi su većinom kosog dna radi bolje separacije. Teško gorivo prolazi kroz grubi filter, radi odstranjivanja većih tvrdih komponenti. Iz taložnog tanka gorivo ide za dnevni tank. U cilju postizanja preporučenog viskoziteta goriva za separaciju, gorivo se grije parnim ili elektro zagrijačima.

Temperature grijanja goriva su:

- lako dizel gorivo..... obično se ne grije
- srednje dizel gorivo.....do 40 [°C]

- teže dizel gorivo.....do 70 [°C]
- teško gorivo.....80 – 100 [°C]
- mazivo ulje za dizel motore.....75 – 90 [°C]

Iz dnevnog tanka gorivo preko zadnjeg grijača ide pred visokotlačnu sabirnicu (common rail) ili VT pumpu goriva. Temperatura zagrijavanja pri pročišćavanju ovisi o viskozitetu upotrebljenog goriva. Prije samog ulaska u sistem motora gorivo se još zagrijava u posebnoj zagrijaču da bi se postigao viskozitet od 2,2-4,2°E. U tu svrhu do samog grijača je postavljen viskozimetar. Nova verzija nema rotirajućih dijelova kao ni polužja, već temeljem frekvencije fluida mjeri viskozitet.

Laka dizel goriva se pročišćavaju zbog zaostale rđe, pijeska, okujine iz tanka, vode i slično. Te nečistoće se lako skinu u centrifugalnom čistioču. Grijanje je potrebno da bi se gorivo dovelo u toplo stanje pred samo izgaranje, odnosno da bi se pripremio za rasprskič koji ga ispušta u obliku fine magle.

Dobavni dio sustava goriva je najopterećeniji dio sustava kojeg karakterizira konstantni rad. Gorivo cirkulira iz servis tankova do sustava motora, odnosno do visokotlačnog dijela sistema motora. Izvedbe visokotlačnog spremnika goriva su:

- VT pumpa (Bosch pumpa) – pomoću bregaste osovine i seta zupčanika
- Elektronski upravljano brizganje, hidrauličkim uljem – bez bregaste os.
- VT sabirnica (eng. Common rail) – bez bregaste osovine.

Neki od elemenata dobavnog dijela sustava goriva su:

- Servisni tank teškog goriva (pripadajuća oprema),
- Servisni tank dizel goriva (pripadajuća oprema),
- Mreža dobave za ostale potrošače (Generator pare, Incinerator, pomoćni motori),
- Otpadni tank s pripadajućom pumpom, ventilska stanica,
- Visokotlačni dio sustava koje brizga gorivo u cilindre,

- Viskozimetar, pumpe za teško i lako gorivo,
- Pripadajuća armatura cjevovoda (ventili, odušnici, ispusti i dr.); i
- Regulatori

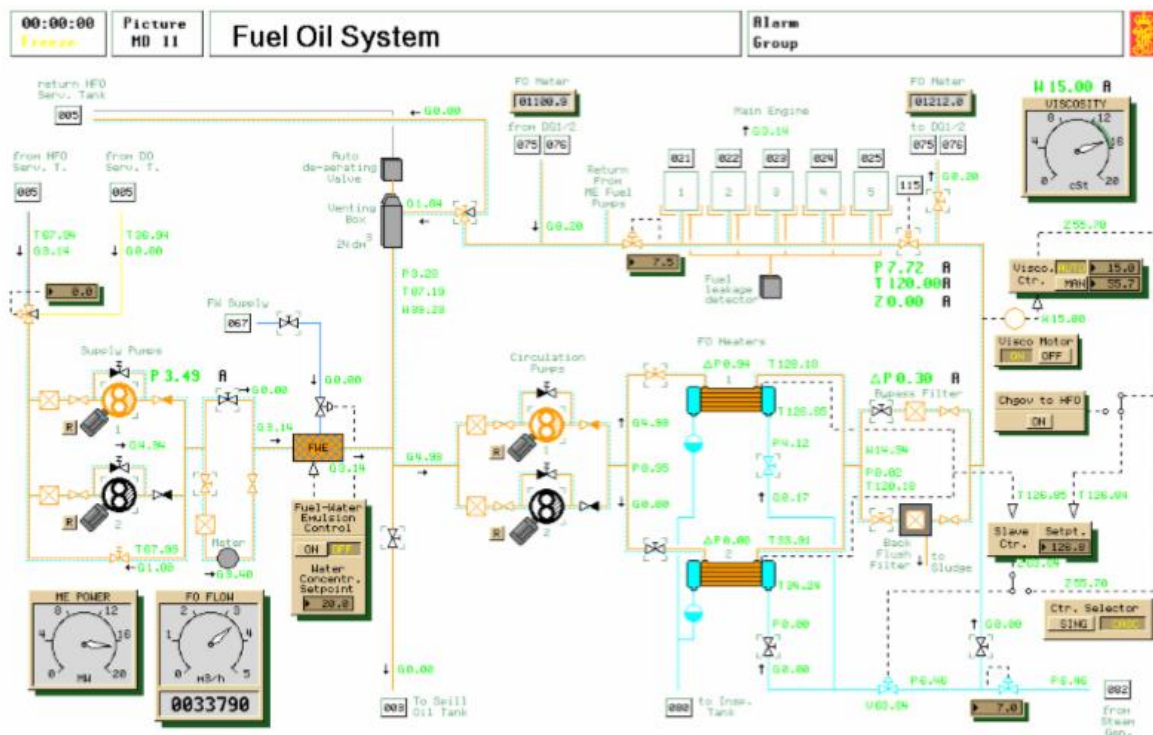
## 5. SIMULACIJA POREMEĆAJA VISKOZNOSTI GORIVA I TLAKA PARE

Na slici 12 prikazan je sustav dobave goriva supertankera ERS L11 5L90MC–VLCC koji započinje dobavnim krugom čija je svrha dobavljanje goriva iz dnevnih tankova lakog ili teškog goriva. Gorivo u svim motorima je iste viskoznosti i u pravilu koristi se teško gorivo (engl. *Heavy Fuel Oil* - HFO). Korištenje dizel goriva (engl. *Diesel Oil* - DO) preporučeno je isključivo za vrijeme održavanja sustava dobave goriva ili kada nisu ispunjeni svi uvjeti za normalno funkcioniranje motora koristeći teška goriva. Dobavni vod iz svakog od dnevnih tankova je opskrbljen nepovratnim ventilom kako bi se spriječilo slijevanje goriva. Gorivo se dobavlja preko troputnog ventila čijim se podešavanjem određuje koje će se gorivo dovoditi. Daljnji elementi dobavnog kruga su dvije dobavne pumpe, koje po svojoj vrsti mogu biti zupčaste ili vijčane, od kojih jedna radi, dok je druga u pričuvi. Sav višak goriva iz dobavnih pumpi se recirkulira kroz zaobilazni cjevovod. S obzirom da ciklus dobave goriva zahtijeva održavanje konstantnog tlaka, potreban je ventil za regulaciju tlaka te mjerač protoka goriva koji mjeri ukupnu količinu isporučenog u odzračnu stanicu. Donošenje raznih ekoloških propisa i zakona uvjetovalo je prilagodbu broskog sustava goriva smanjenju emisija štetnih plinova, koji su produkt izgaranja fosilnih goriva, ispuštenih u atmosferu. Rezultat prilagodbe je ugradnja emulzifikatora između mjerača protoka i odzračne stanice, koji uvodi slatku vodu u sustav, čija je funkcija da na sebe preuzme dio topline tijekom procesa izgaranja, kako bi se smanjile vršne temperature, a na taj način i emisija NO<sub>x</sub>-a. Odzračna stanica se može ispustiti u preljevni tank preko drenažnog ventila.

Nakon dobavnog kruga slijedi cirkulacijski, čija je osnovna zadaća cirkulacija goriva kroz sistem. Sastoji se od dvije cirkulacijske pumpe, koje također mogu biti vijčane ili zupčaste, i gdje je jedna u funkciji, a druga u pričuvi. One usisavaju gorivo iz odzračne stanice i/ili iz dobavnog kruga te ga dalje cirkuliraju kroz sustav pri konstantnom tlaku od 7 do 10 bara.

Cirkulacijski krug je opremljen sa dva parna zagrijača koji obavljaju funkciju grijanja goriva, od kojih jedan obavlja svoju zadaću, dok je drugi tijekom normalnih uvjeta rada u pričuvi. Filtriranje goriva nakon grijača obavlja samočistioc, tj. automatski filter goriva. Prilikom njegovog zatajenja ili redovitog održavanja, u funkciju stupa klasični filter. Viskozitator je zadužen za održavanje konstantnog viskoziteta goriva povećanjem ili smanjenjem protoka pare kroz zagrijače, ovisno o potrebi u tom trenutku. Sustav goriva glavnog motora opremljen

je elektromagnetskim ventilom za zaustavljanje protoka goriva, kojim se upravlja daljinski, izvan strojarnice. Da bi se osigurao siguran dotok goriva do visokotlačnih pumpi te sigurna cirkulacija goriva kroz rasprskalice u slučaju kada je glavni motor zaustavljen, ugrađen je regulator tlaka. Radi izmjene goriva u sustavu, cirkulacijski se krug preko troputnog ventila spaja s dnevnim tankom goriva. Na kraju cirkulacijskog kruga odzračna stanica uklanja parne džepove iz sustava te zatvara krug usisom cirkulacijskih pumpi. Tijekom boravka broda u luci, kada radi samo jedan ili više pomoćnih motora, dovoljno je da rade samo jedna dobavna i jedna cirkulacijska pumpa.



**Slika 12.: Blok shema dobave goriva glavnog motora na supertankeru ERS L11 5L90MC-VLCC [5]**

Kroz dva pokusa tj. dvije simulacije praćeno je kako se mijenja viskoznost goriva i otvorenost regulacijskog ventila koji podešava protok pare za zagrijavanje grijača goriva s obzirom na vrstu regulacije koju promatramo. Cilj je da kvaliteta goriva i svi njegovi parametri (npr. temperatura goriva, viskoznost, itd.) budu u optimalnom stanju. Praćene su promjene na kaskadnoj i običnoj regulaciji s povratnom vezom. Cilj izvedbe ovih pokusa bilo je uočavanje razlike u odzivu između kaskadne i obične regulacije.

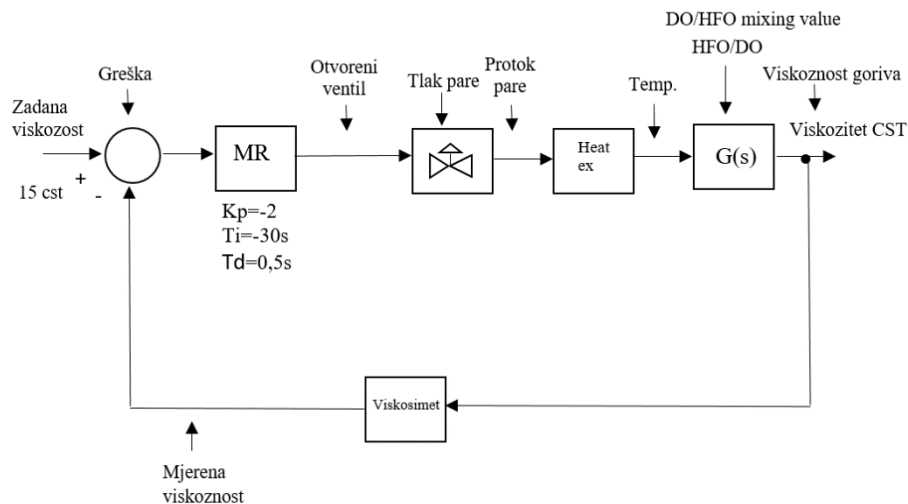


Simulacije su izvedene na Kongsbergovom simulatoru brodske strojarnice supertankera ERS L11 5L90MC–VLCC.

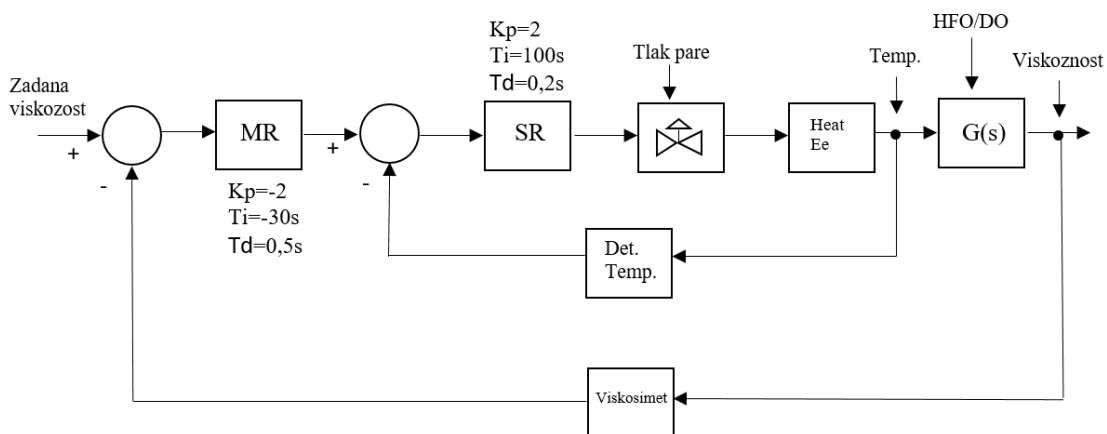
Na slikama 13 i 14 prikazani su blok dijagrami obične regulacije s povratnom vezom i kaskadne regulacije za sustav dobave goriva glavnog motora prema kojima su se izvodile simulacije za različita 2 slučaja dodavanja poremećaja.

Slika 13 prikazuje slučaj običnog regulacijskog kruga za kontrolu viskoznosti goriva koji se sastoji samo od regulatora koji na temelju razlike zadane i izmjerene viskoznosti direktno upravlja s ventilom koji regulira protok pare u izmjenjivč topline i na taj način utječe na temperaturu goriva, koja pak direktno utječe na viskoznost goriva.

Slika 14 prikazuje slučaj kaskadnog regulacijskog kruga za kontrolu viskoznosti goriva koji se sastoji od master regulatora koji na temelju razlike zadane i izmjerene viskoznosti određuje referentnu vrijednost slave kontroleru temperature koji na temelju izmjerene temperature izmjenjivača topline i referentne vrijednosti temperature dobivene od master kontrolera regulira protok pare u izmjenjivču topline i na taj način utječe na temperaturu goriva, koja pak direktno utječe na viskoznost goriva.



**Slika 13.: Obična regulacija s povratnom vezom**



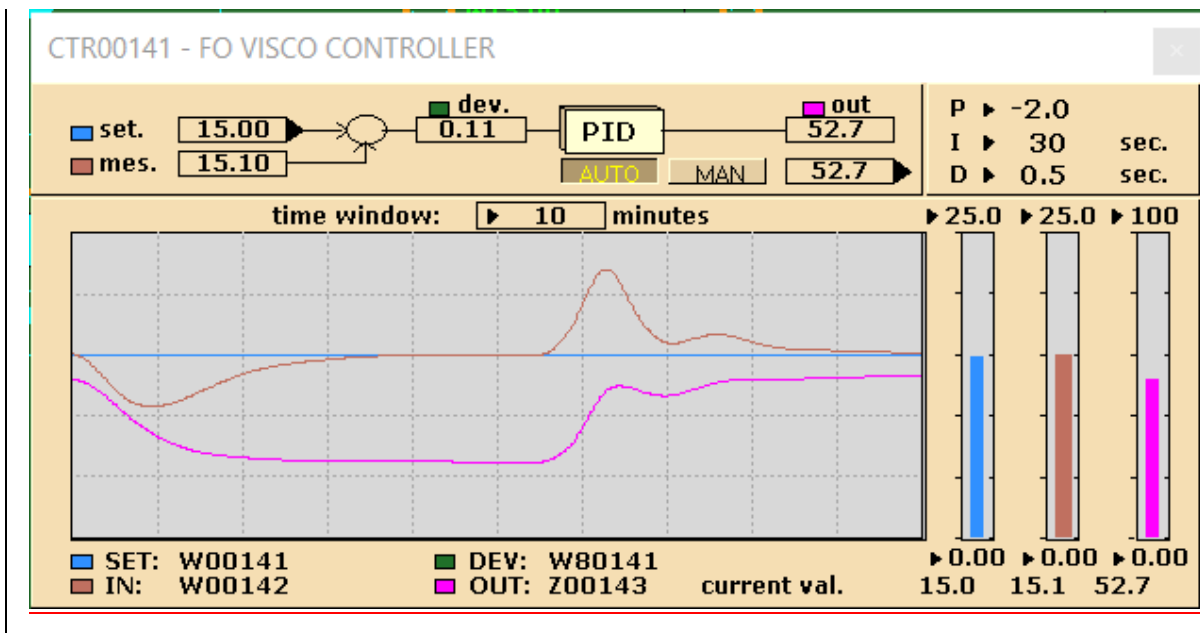
**Slika 14.: Blok dijagram kaskadne regulacije sustava**

Za obje blok sheme na slikama 13 i 14 simulirani su odzivi viskoznosti goriva za slučaj promjene vrste goriva i za slučaj promjene tlaka pare za zagrijavanje izmjenjivača topline.

### 5.1. Simulacija obične i kaskadne regulacije viskoznosti kod promjene tipa goriva

U ovoj simulaciji promjenjena je vrsta goriva koja ulazi u glavni motor tj. prebačeno je s DO (engl. *Diesel Oil*) na HFO (engl. *Heavy Fuel Oil*) – teško gorivo.

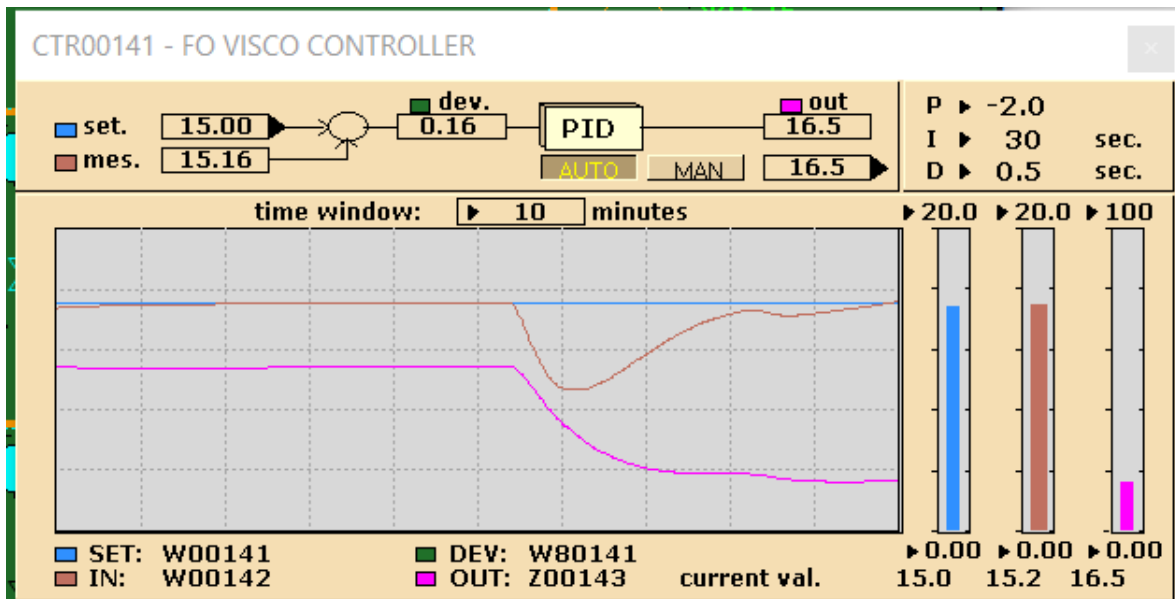
Na slici 15 prikazan je odziv regulatora za slučaj obične regulacije (slika 13), kod koje regulator viskoznosti direktno upravlja ventilom za regulaciju protoka pare kroz izmjenjivač topline.



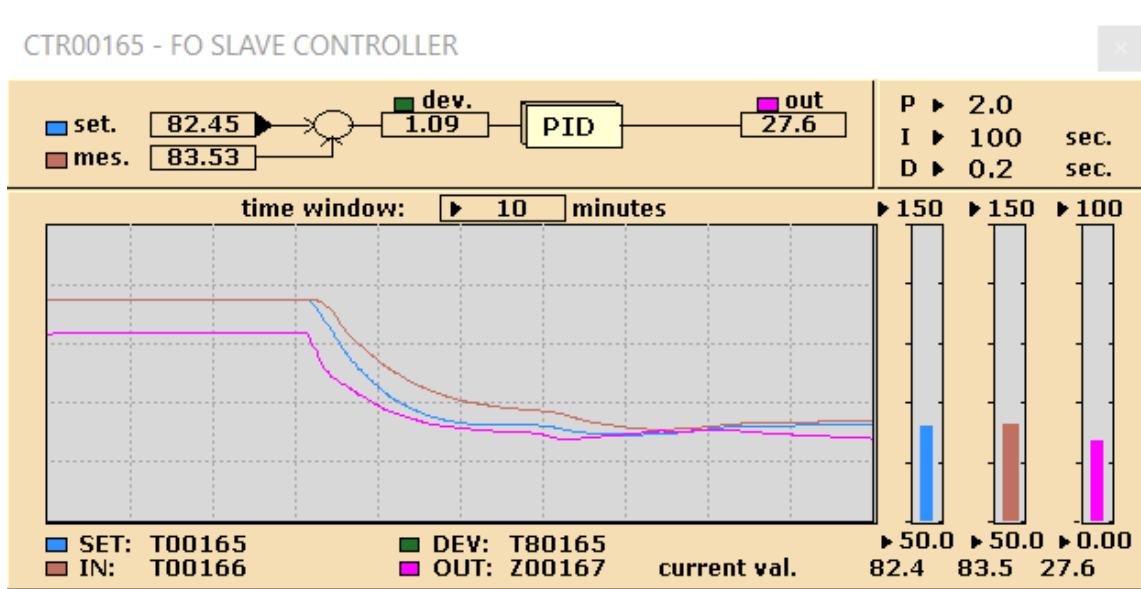
Slika 15.: Odziv regulatora viskoznosti kod obične regulacije

Iz slike 15 vidljivo je da nakon prebacivanja DO u HFO u 65-toj minuti dolazi do povećanja stvarne viskoznosti goriva (smeđa krivulja) i zadane viskoznosti (plava krivulja). Nakon djelovanja regulacijskog kruga sa slike 13, povećava se otvorenost ventila za regulaciju protoka pare u izmjenjivač topline (ljubičasta krivulja), a time se povećava temperatura goriva i viskoznost pada na zadanu vrijednost za vrijeme od 45 min (smeđa krivulja).

Na slikama 16 i 17 prikazani su odzivi master i slave kontrolera koji su spojeni u kaskadni spoj prema blok shemi na slici 14 za slučaj prebacivanja DO u HFO.



Slika 16.: Odziv regulatora viskoznosti kod kaskadne regulacije



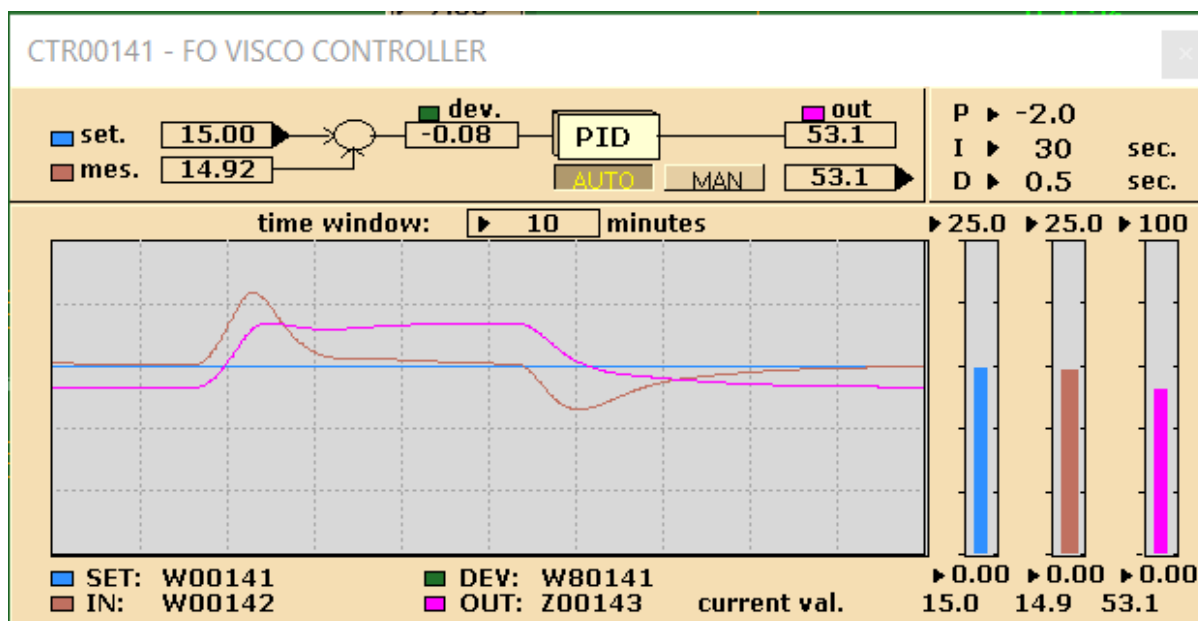
Slika 17.: Odziv regulatora temperature kod kaskadne regulacije

Iz gore navedenih simulacija na slikama 15, 16 i 17 vidljivo je da u kaskadna regulacija nije brža od obične regulacije s povratnom vezom jer poremećaj viskoznosti može uočiti samo master kontroler preko senzora viskoznosti. Uvedeni poremećaj (promjena s DO na HFO) nalazi se u vanjskom krugu koji je znatno sporiji i izvan je dohvata slave regulatora (engl. *secondary, slave*).

## **5.2. Simulacija obične i kaskadne regulacije kod promjene tlaka pare**

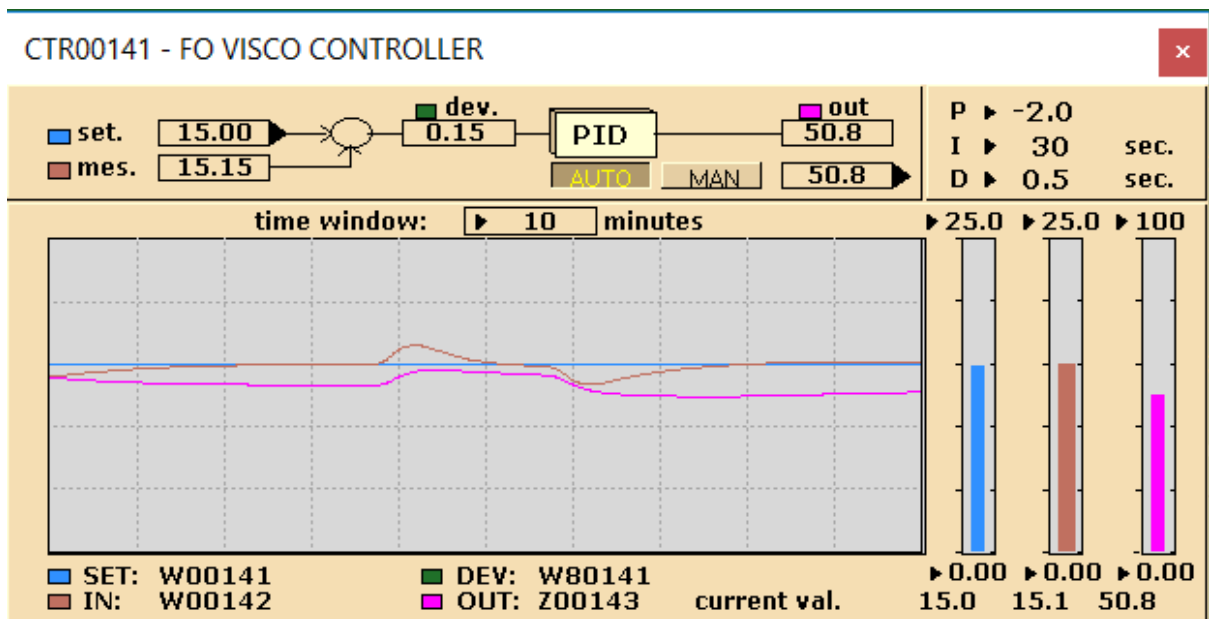
U drugoj simulaciji smanjen je tlak pare za zagrijavanje goriva sa 7 na 5 bara i obratno. Promatrani su viskoznost i temperatura goriva nakon uvedenog poremećaja te odzivi regulatora koristeći kaskadnu i običnu regulaciju s povratnom vezom.

U prvom dijelu simulacije korištena je obična regulacija s povratnom vezom. Tlak pare je smanjen sa 7 na 5 bara te je onda vraćen na početnu vrijednost, tj 7 bara. Na slici 18 vidljiva je spora reakcija obične regulacije na uvedeni poremećaj.

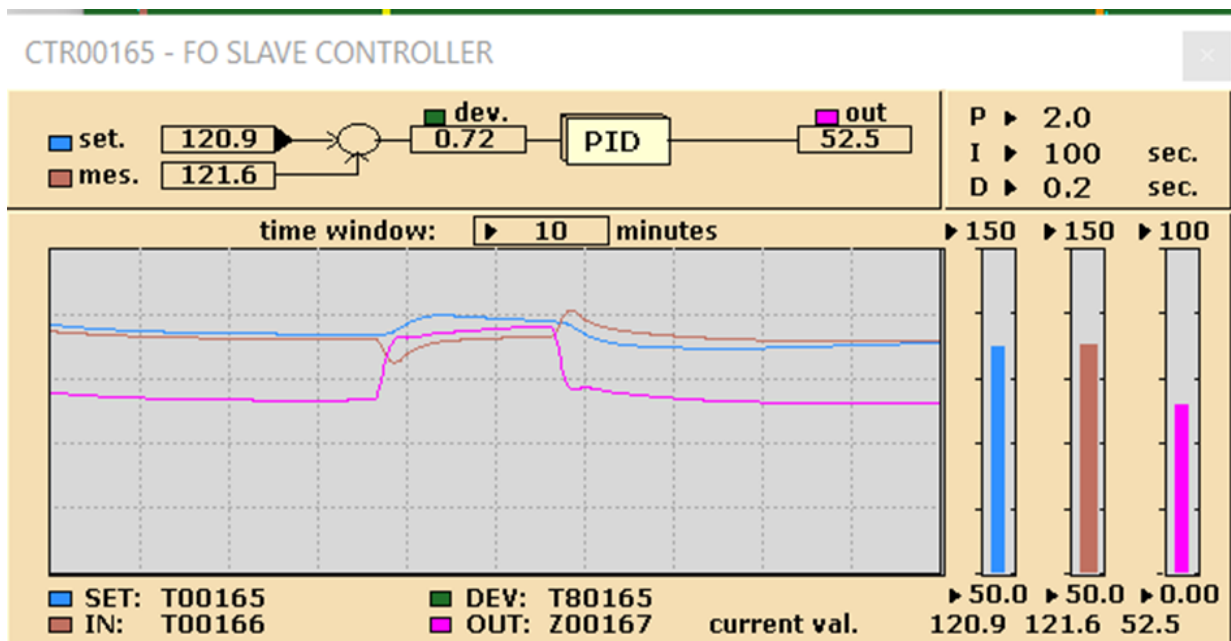


Slika 18.: Odziv regulatora viskoznosti kod obične regulacije

U drugom dijelu simulacije korištena je kaskadna regulacija. Tlak pare je smanjen sa 7 na 5 bara te je onda vraćen na početnu vrijednost, tj 7 bara. Budući da poremećaj spada u unutarnji krug kaskadne regulacije, odziv bi trebao biti znatno brži od obične regulacije s povratnom vezom te bi odstupanje viskoznosti trebalo biti manje.



Slika 19.: Odziv regulatora viskoznosti kod kaskadne regulacije



Slika 20.: Odziv regulatora temperature kod kaskadne regulacije

Sa slika 18, 19 i 20 vidljivo je da kaskadna regulacija pomaže. Reakcija je duplo brža i odstupanja viskoznosti su puno manja. Uvedeni poremećaj promjene tlaka pare za zagrijavanje nalazio se u unutarnjem krugu kaskadne regulacije (slika 14). Poremećaj je primjetio slave kontroler te je samim time reakcija na poremećaj puno brža, odzivi su stabilniji te su odstupanja manja.



## 6. ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada je Automatizacija sustava dobave goriva glavnog motora. U radu su opisane metode vođenja procesa, sustavi automatske regulacije i automatizacija sustava dobave goriva glavnog motora. Završni rad sadrži i praktični dio u sklopu kojeg su provedene simulacije na Kongsbergovom simulatoru brodske strojarnice supertankera ERS L11 5L90MC–VLCC. U prvom dijelu praktičnog rada analizirane su simulacije u svrhu općenite usporedbe kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom. U drugom dijelu praktičnog rada odrađene su simulacije na gore navedenom Kongsbergovom simulatoru u svrhu usporedbe kaskadne regulacije i obične regulacije s povratnom vezom na simuliranom primjeru supertankera ERS L11 5L90MC–VLCC. Kroz oba dijela došlo se do zaključka da je kaskadna regulacija brža i stabilnija u odnosu na običnu regulaciju s povratnom vezom.

Cilj kaskadne regulacije je da u vanjskom krugu treba biti što je više moguće zadržke, a istodobno u unutarnjem što više poremećaja. Ako se poremećaji u procesu javljaju većom brzinom nego što regulacijski krug može reagirati, standardna regulacija s povratnom vezom neće uspjeti dovoljno kompenzirati utjecaj poremećaja. U takvim slučajevima poboljšanje se može ostvariti primjenom kaskadne regulacije.

## LITERATURA

- [1] Kezić, D., *Prezentacije, Automatizacija broda 2*. PFST, Split
- [2] Šurina, T., *Automatska regulacija*, Školska knjiga, 1972.
- [3] Pašalić, N., *Regulacija, automatska, Tehnička enciklopedija*, Sv. 11, JLZ “Miroslav Krleža”, 1963.
- [4] AntoniĆ, R., *Automatizacija broda II*, PFST, Split, 2007.
- [5] Hermansen, A., *Machinery and Operation*
- [6] Bolf, N., *Mjerna i regulacijska tehnika*
- [7] Kuzmanić, I., *Automatizacija*, Split, 2001.
- [8] Petrić, J., *Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2012.

## POPIS SLIKA

Slika 1.: Poopćeni osnovni blok dijagram zatvorene regulacijske petlje s postavnim i mjernim članom [8] .....	7
Slika 2.: Prikaz kaskadne regulacije [1] .....	8
Slika 3.:Prikaz kaskadne regulacije temperature tanka.....	11
Slika 4.:Prikaz obične regulacije temperature tanka.....	11
Slika 5.: Blok dijagram kaskadne regulacije i regulacije s povratnom vezom temperature tanka.....	12
Slika 6.:Temperatura tekućine za zagrijavanje postavljena na 55°C.....	13
Slika 7.:Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi tekućine zagrijavanja na 55°C .....	14
Slika 8.:Temperatura okoline postavljena na 30°C .....	15
Slika 9.: Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi okoline na na 30°C ....	16
Slika 10.:Temperatura ulazne tekućine postavljena na 25°C.....	17
Slika 11.:Rezultati simulacije provedene pri postavljenoj temperaturi ulazne tekućine na 25°C .....	18
Slika 12.: Blok shema dobave goriva glavnog motora na supertankeru ERS L11 5L90MC–VLCC [5] .....	26
Slika 13.: Obična regulacija s povratnom vezom .....	27
Slika 14.: Blok dijagram kaskadne regulacije sustava.....	28
Slika 15.: Odziv regulatora viskoznosti kod obične regulacije.....	29
Slika 16.: Odziv regulatora viskoznosti kod kaskadne regulacije .....	30
Slika 17.: Odziv regulatora temperature kod kaskadne regulacije .....	30
Slika 18.: Odziv regulatora viskoznosti kod obične regulacije.....	32
Slika 19.: Odziv regulatora viskoznosti kod kaskadne regulacije .....	33
Slika 20.: Odziv regulatora temperature kod kaskadne regulacije .....	33

