

# Regulacija brzine crpke kiselgur filtra u filtraciji piva na Braumat sustavu

---

**Mačešić, Mirko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:045662>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**REGULACIJA BRZINE CRPKE KISELGUR FILTRA U  
FILTRACIJI PIVA NA BRAUMAT SUSTAVU**

**Diplomski rad**

**Mirko Mačesić**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMATIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 20.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Mirko Mačešić
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1412, 07.10.2021.
<b>OIB studenta:</b>	46388824485
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Dražen Slišković
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	Tomislav Vukovski
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Ratko Grbić
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Dražen Slišković
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	prof. dr. sc. Robert Cupec
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Regulacija brzine crpke kiselgur filtra u filtraciji piva na Braumat sustavu
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Automatika (zn. polje temeljne tehničke znanosti)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Tema je rezervirana za: Mirko Mačešić Sumentor iz tvrtke: Tomislav Vukovski (Montelektro doo, Slatina) U radu je potrebno opisati tehnološki proces filtracije piva uz primjenu kiselgur filtra. S ciljem razvoja sustava upravljanja kiselgur filtrom provesti analizu pripadnog dijela procesa te izraditi simulacijski model. Na temelju razvijenog modela potrebno je projektirati regulator brzine crpke kiselgur filtra te realizirati programski kod za njegovu automatizaciju. Programski kod je potrebno implementirati u PLC S7-400 te testirati na već postojećem postrojenju.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	20.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 09.10.2023.

Ime i prezime studenta:

Mirko Mačešić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1412, 07.10.2021.

Turnitin podudaranje [%]:

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Regulacija brzine crpke kiselgur filtra u filtraciji piva na Braumat sustavu**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Dražen Slišković

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	3
<b>1.1. Zadatak diplomskog rada</b> .....	4
<b>2. PROIZVODNJA PIVA</b> .....	5
<b>2.1. Glavni sastojci piva</b> .....	5
<b>2.2. Dodatci za pivo</b> .....	8
<b>2.3. Proizvodni proces piva</b> .....	9
<b>2.4. Filtriranje piva</b> .....	16
<b>3. MODEL REGULACIJSKE STAZE I SINTEZA REGULATORA</b> .....	20
<b>3.1. Struktura regulacijskog kruga</b> .....	20
<b>3.2. Darcijev zakon</b> .....	22
<b>3.3. Matematički model regulacijske staze</b> .....	24
<b>3.4. PI regulator</b> .....	28
<b>3.5. Sinteza PI regulatora po Ziegler – Nichols metodi</b> .....	29
<b>3.6. Sinteza PI regulatora po Cohen-Coon metodi</b> .....	31
<b>4. MATLAB I BRAUMAT SIMULACIJE</b> .....	34
<b>4.1. Matlab simulacija i rezultati</b> .....	34
<b>4.2. Braumat simulacija Kiselgur filtra</b> .....	48
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	65
<b>LITERATURA</b> .....	66
<b>SAŽETAK</b> .....	67
<b>ABSTRACT</b> .....	68
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	69
<b>PRILOG 1.</b> .....	70
<b>PRILOG 2.</b> .....	78
<b>PRILOG 3.</b> .....	79

# 1. UVOD

Motivacija za izradu diplomskoga rada o pivovarama dolazi od nastavka prakse sa tvrtkom Montelektro. Montelektro je najveća automatizacijska tvrtka za pivovare u ovom dijelu Europe. Pivovare, kao pogoni za proizvodnju piva, nastale su tek kada su kršćanski samostani počeli proizvoditi pivo u svrhu prodaje. Najstarija pivovara, koja je još uvijek u funkcionalnom stanju, nalazi se u Bavarskoj te je svoju proizvodnju započela 1040. godine. Rane pivovare su uvijek bile građene na više katova radi korištenja gravitacije za prijenos proizvoda do iduće faze. Ovaj tip rasporeda je očuvan i u današnjim pivovarama, iako mehaničke pumpe omogućuju veću fleksibilnosti dizajna pivovare. Gotovo sva oprema u pivovarama danas je izrađena od nehrđajućega čelika, a sustavi su gotovo u potpunosti automatizirani. Automatizacija pivovare donosi uštede između 5 i 10% u proizvodnji piva jer kroz proces pivo koje je pomiješano sa vodom neće ići u odvod već će se recirkulirati u sustav. Najveći problemi u proizvodnji piva su osiguravanje kvalitetnih sastojaka za pivo te postizanje željene kakvoće regulacije sustava automatizacije. Samo u Sjedinjenim Američkim državama u industrijama povezanim sa pivarstvom radi 2 milijuna ljudi a godišnji prihodi iznose 332 milijarde eura.

Rješavanje diplomskoga zadatka odvija se u obliku simulacije u Matlabu te u obliku izrade scade sustava za Kiselgur filter liniju pivovare. Osim scade, nužno je programirati sve korake u proizvodnji piva, kojih u ovom slučaju ima 122.

U drugom poglavlju ovoga rada opisuje se proces proizvodnje piva te su opisani glavni sastojci. Posebna je pažnja obraćena procesu filtracije piva te vrstama pivskih filtera. U trećem poglavlju izrađuje se matematički model regulacijske staze Kiselgur filtra te se opisuju dvije metode sinteze regulatora. U tvrtki Montelektro za regulaciju se koriste PI-regulatori jer daju zadovoljavajuću kakvoću regulacije. Četvrto poglavlje se sastoji od dva dijela. Prvi dio je simulacija regulacijske staze izrađene u poglavlju 3, dok se u drugom dijelu rada izrađuje scada sustava u Braumatu te se svi koraci za proizvodnju piva programiraju u Symatic menageru. U petom poglavlju se nalazi zaključak te se daje osvrt na postignute rezultate u radu.

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

U radu je potrebno opisati tehnološki proces filtracije piva uz primjenu kiselgur filtra. S ciljem razvoja sustava upravljanja kiselgur filtrom provesti analizu pripadnog dijela procesa te izraditi simulacijski model. Na temelju razvijenog modela potrebno je projektirati regulator brzine crpke kiselgur filtra te realizirati programski kod za njegovu automatizaciju. Programski kod je potrebno implementirati u PLC S7-400 te testirati na već postojećem postrojenju.

## 2. PROIZVODNJA PIVA

Pivo je najstarija i najčešće konzumirana vrsta alkoholnog pića na svijetu. Pivo se proizvodi kuhanjem i fermentacijom škroba, uglavnom dobivenog iz zrna žitarica. Najčešće korištena žitarica je ječam, iako se često koriste pšenica, kukuruz, riža te zob. Voda, ječam i hmelj su kroz povijest bili glavna tri sastojka za pivo. Uz glavne sastojke često su se dodavali ostali sastojci kao voće, začini i povrće. U 19. stoljeću znanstvenik Louis Pasteur otkrio je da kvasac uzrokuje fermentacije u alkoholnim pićima, te je nakon toga kvasac pronašao primjenu u pivovarama. Brewing je proces proizvodnje pića od slada. Pivo, lageri i ale najbitnija su pića koja se proizvode od slada. Tijekom kuhanja, fermentacijom šećera u sladovini dolazi do stvaranja etanola (alkohola) i ugljikovog dioksida u pivu. Većina modernog piva kuha se od hmelja, koji služi za dodavanje gorčine pivu te djeluje kao konzervans i stabilizator. U komercijonalnom pivarstvu prirodni učinak karbonizacije se uklanja tijekom obrade te mijenja sa prisilnom karbonizacijom. Količina piva koju proizvode komercijonalne pivovare se kreće od nekoliko hektolitara tjedno do nekoliko tisuća hektolitara tjedno [1].

### 2.1. Glavni sastojci piva

Oko 97% piva čina voda, samim time kvaliteta vode igra značajnu ulogu u konačnoj kvaliteti piva. Minerali u vodi su ključni za kemijske procese koji se pojavljuju tijekom brewing. Neke karakteristike povijениh pivskih marki razvijene su upravo zbog kvalitete lokalne vode. Prilikom proizvodnje svih piva tamnije nijanse korištena vode je bila barem blago tvrda. Plzenska voda koja nije imala gotovo nikakav mineralni sastav omogućavala je proizvođačima da koriste blago pečenu sladovinu i na taj način je stvoren Pilsner. Volumen korištene vode je otprilike šest puta veći od dobivene količine piva. Različiti tipovi vode se koriste u različitim fazama proizvodnje piva. Kako bi bila prikladna za brewing voda mora biti:

- Mikrobiološki čista,
- Bezbojna, bezokusna i bezmirisna,
- Njen pH mora biti neutralan ili blago kisel,



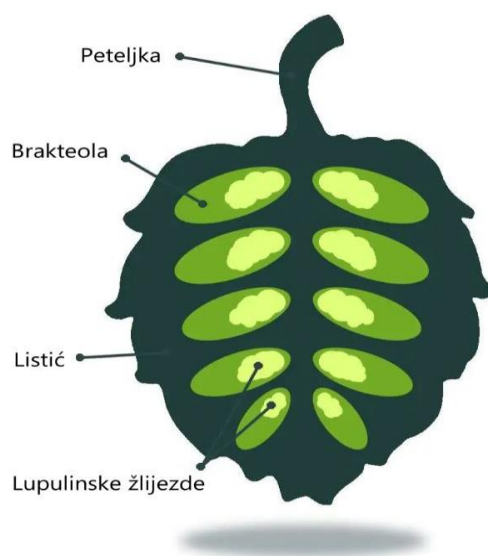
- Slobodan od teških metalnih iona.

Veliki broj substance se može pojaviti u vodi koja dolazi u pivovaru. Za različite substance u vodi potrebni su različiti tretmani kako bi ih otklonili. Proces pripreme može uključiti prozračivanje, sedimentaciju, filtraciju te sterilizaciju vode. Prozračivanje potlačenim zrakom se koristi za oksidaciju željeznih iona, nestabilnih organskih supstanci, vodikovog sulfida i ugljičnog dioksida iz vode. Voda u pivnicama može biti sterilizirana više puta tijekom procesa proizvodnje. Za sterilizaciju se koriste klor, klorov dioksid, ozon, srebro, toplina te ultraljubičasto zračenje. Ioni prisutni u vodi mogu imati širok raspon utjecaja na konačni proizvod. Kalcijevi ioni ( $Ca^{2+}$ ) stabiliziraju enzime tijekom mljevenja slada te samim time spuštaju pH razinu slada. Bakreni ioni ( $Cu^{2+}$ ) predstavljaju problem u brewingu u slučajevima kada su cijevi napravljene od bakra. Bakreni ioni su toksični i uzrokuju mutacije u kvascu. Otpadna voda u pivnicama je predominantno zagađena organskim tvarima te ju je stoga lako pročistiti [1].

**Tablica 2.1.** Veličine substanci te načini otklanjanja zagađenja [1].

Promjer ( $\mu m$ )	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1
Tipovi substanci	Soli	Šećeri	Virusi, Colioidi	Colioidi	Bakterije, kvasac
Tip tretmana	Osmoza	Nanofiltracija	Ultrafiltracija	Mikrofiltracija	Filtracija

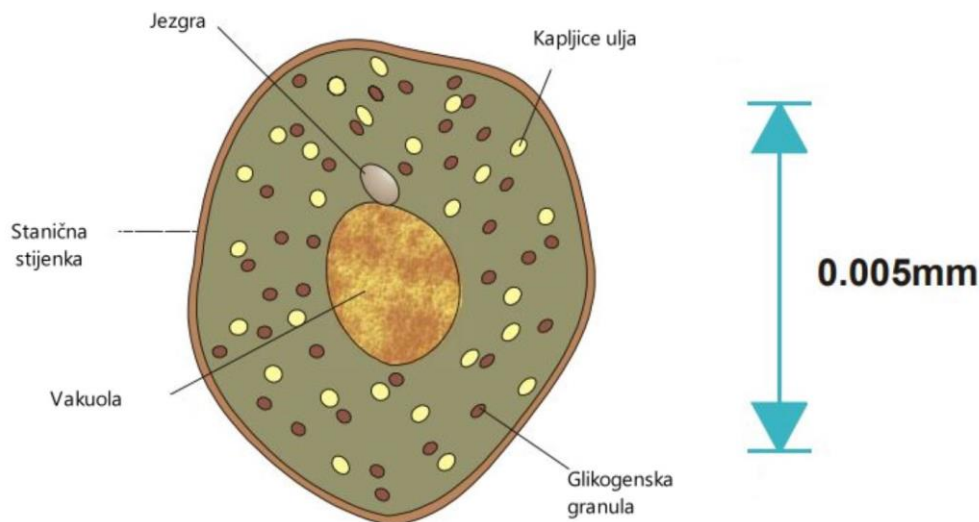
Hmelj je otkriven u srednjem vijeku kako bi se pokušao produžiti vijek trajanja ale-a. Iako su isprva korišteni kao konzervansi, njihov dodatak stvorio je gorak okus u pivu. Najvažniji dio hmelja su  $\alpha$ -kiseline. U konvencionalnim pivovarama hmelj se kuha sa slatkim sladovinom oko sat i pol. Tijekom tog vremena  $\alpha$ -kiseline krenu stvarati gorak okus. Preko 90% uzgojenoga hmelja se koristi u pivovarama. Hmelj je biljka penjačica, u jesen dio biljke koji je u zraku odumire dok korijen ostaje u zemlji. Rast hmelja ovisi o količine sunčeve svjetlosti. Biljci je potrebno minimalno 13 sati sunca dnevno kako bi se potakao rast ali ukoliko je dan predug, može doći do zastoja u rastu. Umjetna svjetlost se često koristi za dostizanje potrebne količine svjetlosti i odgađanje prašenja. Hmelj je potrebno ubrati čim sazre jer ukoliko se ne ubere na vrijeme češeri hmelja se otvore te postanu krhki. Većina ubranog hmelja se suši na farmama dok ne postignu vlažnost od 10% ili manje. Za prezervaciju hmelja potrebna je temperatura od 0.2 stupnja [1].



**Slika 2.1.** Plod hmelja [2].

Sladna zrna opskrbljuju šećer koji fermentira od strane kvasca i stvara alkohol i ugljični dioksid te uz to pružaju ključne nutrijente potrebne kvascu za razmnožavanje. Oni su također glavni izvor boje, okusa i arome piva. Malting je kontrolirani proces u kojem se prvo čeka da žitarice prokliju te ih se zatim suši. Klijanje pokreće razgradnju škroba unutar žitarice. Prilikom procesa maltanja dolazi do germinizacije zrna kako bi se enzimi krenuli stvarati šećer. Enzimi moraju biti zaustavljeni prije nego što razgrade škrob jer će u suprotnom stvoriti previše šećera. Wort je tekućina koja fermentira prilikom dodavanja kvasca te kada nastane potrebno je zaustaviti rad enzima. Enzimi se zaustavljaju opreznim sušenjem zrna. Sladni ječam je daleko najraširenija žitarica u proizvodnji piva, ali nije jedina. Druge žitarice koje se koriste se pšenica, raž, zob i riža [3].

Kvasac je jednostanična gljivica koja može rasti u odsutnosti zraka. Latinski naziv pivskog kvasca je *Saccharomyces cerevisiae*; riječ *saccharomyces* bi se mogla prevesti kao slatka gljivica, jer dolazi od grčkih riječi *saccharo* (šećer) i *myco* (gljivice), dok se riječ *cerevisiae* mogla prevesti kao pivski. Kvasac metabolizira šećere iz žitarica te stvara alkohol i ugljikov dioksid. Prilikom fermentacije kvasac stvara i phenole te estere. Dodatak kvasca pridodaje okusu i aromi piva. Dvije glavne vrste kvasca su lager i ale. Ale kvasac fermentira na temperaturama između 65 °C i 75 °C. Veće temperature prilikom fermentacije potiču generiranje veće količine estera i phenola što rezultira pivom čiji je okus više ovisan o kvascu. Lager kvasac fermentira na nižim temperaturama između 45 °C i 55 °C [3].



**Slika 2.2.** Stanica kvasca [3].

Kvasac se tipično razmnožava aseksualno. Nove stanice pupaju od “majčinske” stanice. Nakon odvajanja novih stanica kvasca na starim ostanu ožiljci. Veći broj ožiljaka označava stariju generaciju kvasca. Veličina kvasaca može uvelike varirati, jer njihova veličina ovisi o vrsti, no u prosječnim mjerenjima bili su veliki od 3 do 4  $\mu\text{m}$  u promjeru, iako neki kvasci mogu doseći preko 40  $\mu\text{m}$ . Kako bi se potakao razvoj kvasca potrebni su mu:

- Ugljikohidrati (šećeri),
- Dušik,
- Vitamini,
- Pojedini minerali od kojih je najvažniji cink [3].

## 2.2. Dodatci za pivo

Dodaci su materijali, osim slada, koji su izvori ekstrakta. Koriste se jer daju jeftiniji ekstrakt od slada i/ili daju poželjne karakteristike proizvodu. Na primjer, mogu razrijediti razine topljivog dušika u sladovini, što omogućuje upotrebu dušikom obogaćene (proteinski bogate) sladove te proizvodnju piva manje sklonom zamagljivanju. Neki dodaci pojačavaju formiranje i zadržavanje pjene. Što je veći udio dodataka korišten u kaši, to je teže postići dobar oporavak ekstrakta, a također se i viskoznost sladovine često povećava i sposobnost fermentacije smanjuje. Dodavanje topivih šećera ili sirupa sladovini povećava kapacitet pivovare i pruža jednostavni metodu za stvaranje sladovine visoke gustoće i podešavanje

fermentabilnosti sladovine. Čvrsti “*mash tun*” dodaci mogu se dodati u kašu, te će škrob koju oni sadrže biti hidrolizirana od strane enzima iz slada. Odabir dodataka zahtijeva brigu. Odabrani materijal mora biti redovito dostupan u odgovarajućim količinama i biti dobre kvalitete. Korištenje ovog materijala mora poboljšati, ili barem ne smanjiti, kvalitetu piva koje se proizvodi. Vrlo je teško zamijeniti korišteni dodatak drugim dodatkom. Osim rizika od promjene prirode piva, promjena dodataka može zahtijevati izmjene u opremi pivovare. Na primjer, postrojenje za rukovanje sirupima potpuno je drugačije od onog potrebnog za bilo koji dodatak u *mash tunu* te je i oprema potrebna za rukovanje brašnom i žitaricama različita. Vrlo je važno da voda koja se koristi za proizvodnju piva ima odgovarajuće količine minerala i soli u sebi. Neki od najvažnijih minerala su:

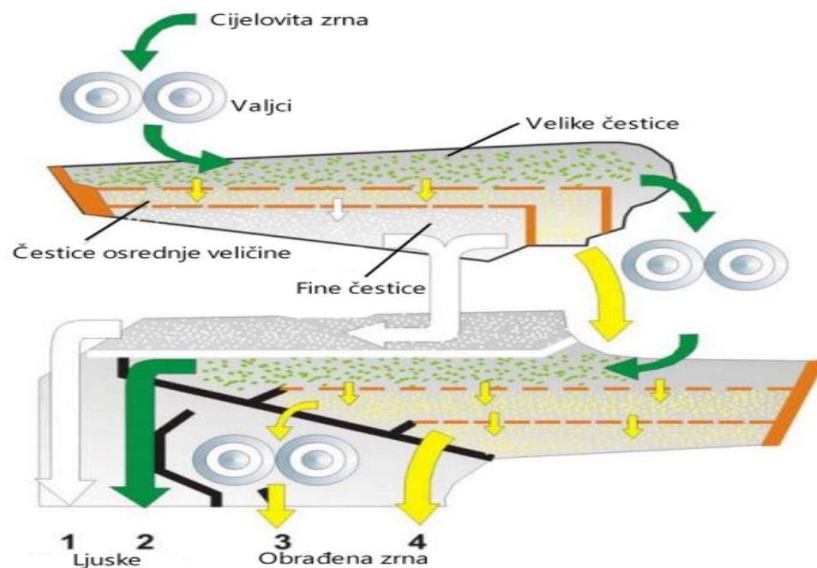
- Kalcij (Ca) – zaslužan je za snižavanje pH razina vode prilikom mashinga i prokuhavanja,
- Magnezij (Mg) – magnezij daju pivo blago gorak okus,
- Natrij (Na) – pri manjim koncentracijama daje pivu sladak okus, a pri većim slani okus,
- Željezo (Fe) – željezo mora biti odsutno u vodi. Željezo sprječava proces saharicifiranja te oslabljuje kvasac. Uz to ubrzava proces zamagljivanja pive te daje pivu metalan okus,
- Cink (Zn) – djeluje kao nutrijent kvascu te pridonosi stvaranju pjene [3].

### **2.3. Proizvodni proces piva**

Slad koji dolazi u tvornicu još uvijek nije obradiv budući da enzimi, okusi i škrob još uvijek zarobljeni unutar sjemenke. Oslobađa ih se mljevenjem sjemenki. Ako se predugo sjeme melje rezultat će biti ljepljiva kaša, a ukoliko proces bude prekratak škrob se neće stići razložiti od strane enzima. Mlinovi mogu biti suhi i mokri. U posudi za gnječenje dodaje se topla voda kako bi se pokrenuo proces preobrazbe. Mokro mljevenje uključuje mljevenje slada i njegovo miješanje s toplom vodom tijekom procesa mljevenja. Gnječenje se događa u mlinu, a ne u posudi za kašu. Posuda za kašu se koristi ukoliko će se koristiti dodaci za smjesu. Zajednički objektivni mokrom i suhom mljevenju su:

- Izložavanje škroba,
- Osigurati ljuske za filtraciju,

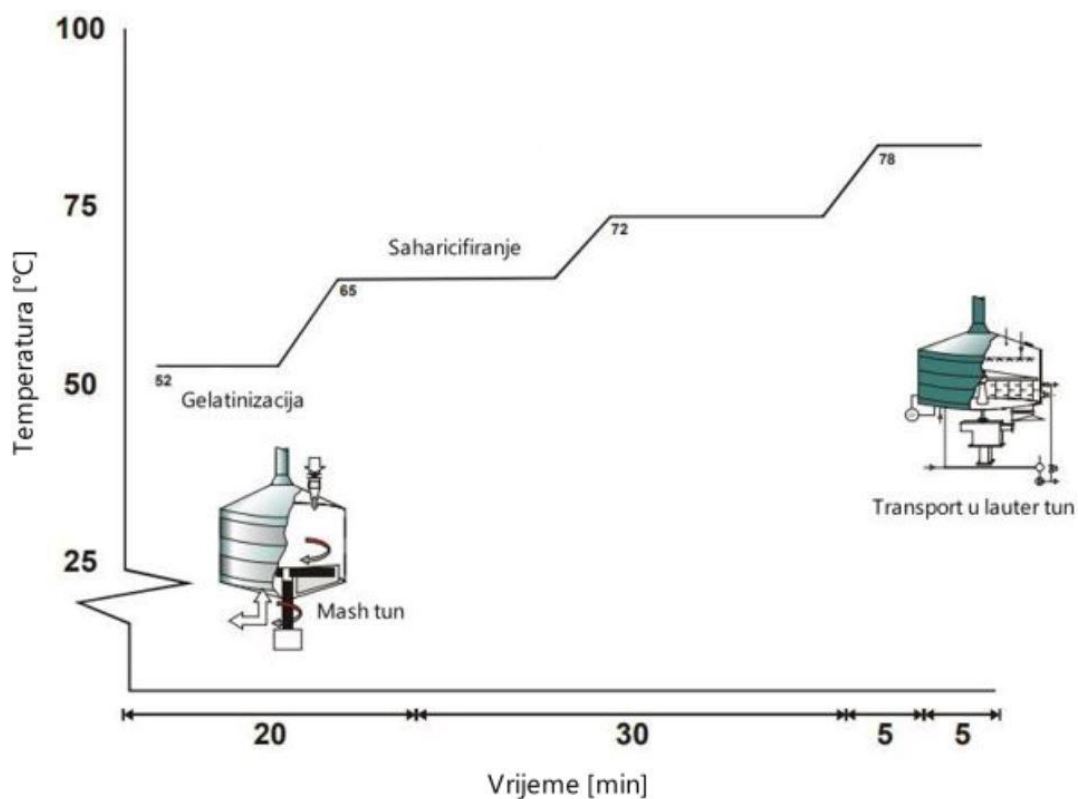
- Mljevenje škroba do željenje viskoznosti [1].



**Slika 2.3.** Mljevenje slada [3].

Nakon mljevenja počinje proces saharicifiranja. Saharicifiranje je proces koji opisuje djelovanje enzima na škrob, te se škrob zatim pretvara u šećer. Enzimi su proteini koju kataliziraju biokemijske reakcije. Najvažniji enzim u sladu je Amylase. Amylase razbija molekulu škroba te ju pretvara u šećer koji se otapa u sladovini. Šećeri koji nastaju tim procesom su: glukoza, maltoza, maltotriosa i dexteroza. Još jedan važan enzim je proteases. Proteases je zadužen za stvaranje razbijanje peptida kako bi stvorio amino kiseline koje su nužne za rast kvasca. Mash tun je dio proizvodnoga procesa u kojem kreće proces saharicifiranja. Suho mljeveno žito se miješa s vodom na određenoj temperaturi u posudi za gnječenje. Ukoliko je smjesa bila mokro mljevena, kaši se ne dodaje voda. Posuda za kašu opremljena je miješalicom te grijačem. Smjesa se zagrijava na različitim temperaturama kroz različite vremenske periode. Čim počne proces saharicifiranja temperatura procesa se mijenja. Različite temperature se koriste za utjecanje na fermentacijske karakteristike piva. Na početku procesa slad se želatinira na nižoj temperaturi te miješa sa vodom. Zbog enzima smjesa postane meka i ljepljiva. Zatim se temperatura podiže postepeno kako bi počeo proces saharicifiranja. Na kraju procesa temperatura se poveća do te mjere da zaustavi aktivnost enzima nakon čega smjesa odlazi u lauter tun [1].

Lauter tun je posuda za odvajanje sladovine od krutine koma. Lauter tun radi slično kao veliko sito. Obično ima prorezano, perforirano dno, koje se također naziva lažno dno, koje drži istrošeno mljeveno zrno, dok dopušta sladovini da se filtrira kroz sloj zrna i skuplja se u prostoru ispod. Sladovina zatim teče u kotao za kuhanje. Kaša se obično dodaje s dna ili bočne strane posude kako bi se izbjeglo pretjerano prozračivanje kaše. Na početku otjecanja, sladovina se obično recirkulira kroz sloj žitarica kao filtarska masa, sve dok se otjecanje ne pojavi čisto kroz kontrolno staklo u recirkulacijskom cjevovodu. Osim ako nisu dimenzionirane za pivnice ili vrlo male mikropivovare, većina posuda za pranje opremljena je motoriziranim grabljama koje režu sloj žitarica kako bi mu dale veću sposobnost filtriranja [4].



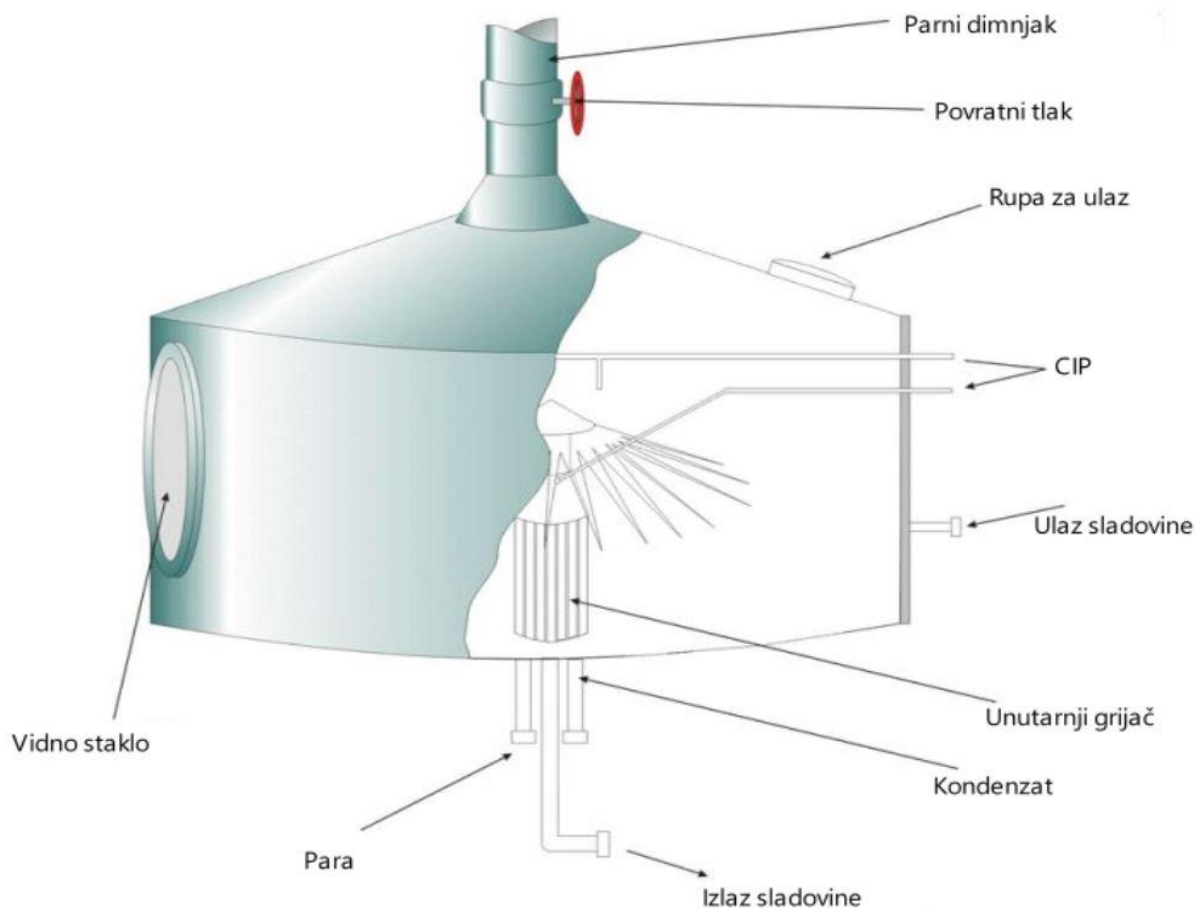
Slika 2.4. Temperaturne promjene pri gnječenju smjese [3].

Kuhanje sladovine jedan je od najvažnijih i najsloženijih aspekata procesa proizvodnje piva. U danima prije nego što su ljudi razvili sposobnost oblikovanja metalnih posuda, sladovina se često točila u drvene ili kamene posude i zagrijavala do točke vrenja dodavanjem užarenog kamenja. Danas postoji vrlo malo vrsta piva kod kojih se sladovina ne kuha. Među poznatijim vrstama je finsko tradicionalno pivo Sahti, za koje se sladovina samo

zagrijava. Iako nisu znali ništa o mikrobima, stari su pivari ubrzo saznali da pivo od kuhane sladovine traje dulje i da je zdravije za piće. Kuhanje sladovine ima različite funkcije:

- inaktivacija rezidualnih enzima iz kaše,
- izomerizacija  $\alpha$ -kiselina gorkog hmelja,
- sterilizacija sladovine,
- uklanjanje neželjenih hlapljivih tvari,
- taloženje neželjenih proteina kao “vruće pauze” (trub) [3].

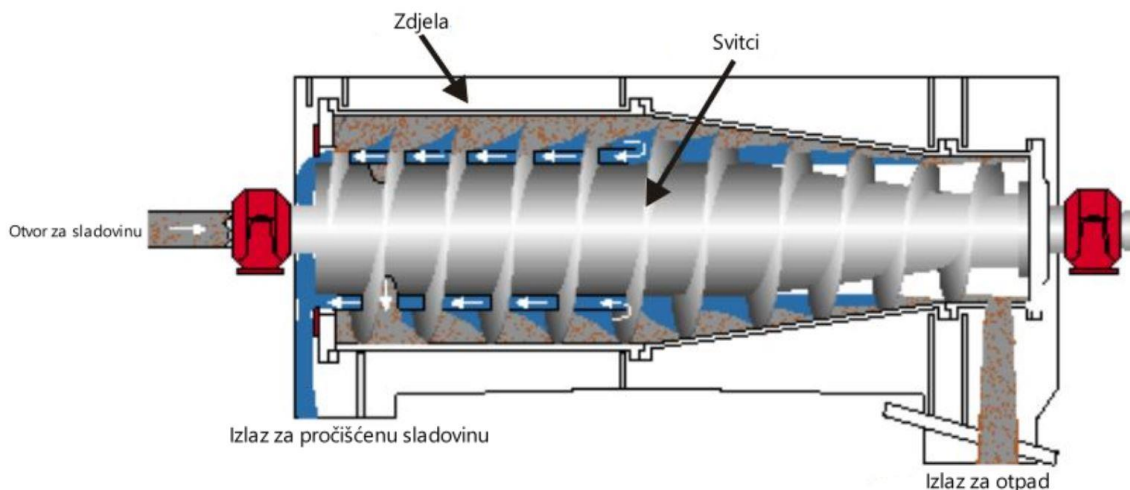
Tijekom učinkovitog kuhanja, svi ovi ciljevi mogu se postići, obično za manje od 90 minuta. Ali postizanje učinkovitog vrenja nije tako jednostavno kao što zvuči. S iznimkom pretvorbe prekursora dimetil sulfida (DMS) (S-metil metionina) u slobodni DMS (spoj s često nepoželjnom aromom koja podsjeća na kuhani kukuruz. Voda se obično iskuhava brzinom od oko 4% na sat. Snažno miješanje je obavezno za učinkovitu koagulaciju proteina za formiranje jata, iako se sile smicanja moraju svesti na najmanju moguću mjeru ako se takva jata ne žele naknadno poremetiti, što otežava uklanjanje neželjenih proteina. Kuhanje se provodi u kotlicima, koji se ponekad nazivaju “bakrenici” zbog metala od kojeg su izvorno izrađeni. Danas se obično izrađuju od nehrđajućeg čelika, ali ponekad sadrže malo “žrtvenog bakra” za vezanje sumpornih spojeva poput sumporovodika. Ali moderni pivar mora biti oprezan; pregrijavanje će “pregorjeti” i karamelizirati šećere, te dovesti do stvaranja nepoželjnih “kuhanih” okusa, tamnjenja sladovine i moguće do karbonilnih tvari koje pridonose odležanom ili ustajalom pivu. U dinamičkim niskotlačnim sustavima vrenja koji omogućuju brzo isparavanje hlapljivih tvari uz smanjenje ukupnog isparavanja vode, tlak se podiže i spušta između tlakova od 1,0 bara i 1,2 bara (što odgovara temperaturama od 100°C–102°C i 104–105°C ); ovo se događa šest puta na sat. Svaki stupanj otpuštanja tlaka dovodi do trenutnog vrenja sadržaja kotlića, uz popratno uklanjanje hlapljivih tvari [1].



**Slika 2.5.** Kotao za kuhanje piva [3].

Nakon kuhanja sladovine potrebno je pročititi smjesu. Pročišćavanje se provodi radi uklanjanja ostataka hmelja koji se potrošio prilikom kuhanja te kolagenskih proteina koji moraju biti uklonjeni prije hlađenja. Ukoliko pročišćavanje nije dobro izvršeno, kvasac neće dobro reagirati prilikom fermentacije što može rezultirati infekcijom piva. Pročišćavanje u pivovarama se izvodi sedimentacijom ili filtracijom. U slučaju sedimentacije, krutine se uklanjaju prirodnom gravitacijom ili induciranom gravitacijom (centrifugama). Centrifuge za pročišćavanje sladovine djeluju centrifugalnom silom na smjesu kako bi krutine otklonili. Centrifugalna sila je inercijska sila koja djeluje na tijelo u neinerciskome sustavu. Djeluje kada se tijela gibaju po zakrivljenoj putanji a smjer sile je radijalan, od središta putanje kojom se tijelo giba prema van. Određuje se kao vektorski umnožak polumjera zakrivljenosti  $r$  i kutne brzine  $w$  [3].





**Slika 2.6.** Centrifuga vruće sladovine [3].

Na slici 2.6. prikazana je centrifuga za uklanjanje krutina u sladovini. Sladovina ulazi u centrifugu kroz središnju cijev te dolazi do distributora koji se nalazi u svitcima. Zatim centrifuga blago akcelerira te izlazi kroz otvore na vrhu svitaka u zdjelu. Zamućena sladovina rotira u zdjeli konstantnom temperaturom te formira koncentrični sloj oko unutrašnjosti zdjele. Krutine koje se nalaze unutar sladovine prijanjaju se uz zid zdjele pod djelovanjem centrifugalne sile. Svitci rotiraju različitom brzinom u usporedbi sa zdjelom. Usmjeravaju krutine prema kraju svitaka gdje se događa pražnjenje [1].

Nakon bistrenja vruća se sladovina mora ohladiti na temperaturu povoljnu za ubacivanje kvasca. Ta temperatura iznosi između 15 i 22 °C za pivo te 6 do 12 °C za lagere. Hlađenje treba biti rapidno kako bi se zaustavile kemijske reakcije te kako bi se zaustavio rast kontaminirajućih mikroba. Vertikalni hladnjaci se većinom koriste za hlađenje sladovine zbog svoje kompaktnosti, brzoga hlađenja te jednostavnoga čišćenja. Ploče vertikalnih hladnjaka su tako postavljene da omogućavaju jednostavno razdvajanje i zamjene. Hladnjake je potrebno često provjeravati radi potencijalnoga curenja i otklanjanja naslaga. U početnoj fazi fermentacije svježe nabacani kvasac treba biti u sladovini koja sadrži otopljeni kisik. Potrebna koncentracija kisika vrlo je bitna i ovisi o sladovini. U prošlosti se čini da zasićenje sladovine sa kisikom iz zraka (cca. 21% O<sub>2</sub>) bilo dovoljno, ali sada je zasićenje čistim kisikom često potrebno. Iznenadujuće je teško brzo otopiti kisik u vodenim otopinama. Prilikom postizanja ravnoteže količina plina otopljenog na odabranoj temperaturi je proporcionalna parcijalnom tlaku plina iznad tekućine. Iako se topljivosti često navode na standardni atmosferski tlak, (jednak onom na dnu živinog stupca 760 mm (29,92 in.)), smanjujući ili povećavajući ovaj tlak će proporcionalno promijeniti ravnotežnu koncentraciju

plina u otopini. Atmosferski tlak uvijek varira. Otapanje tvari (soli, šećera, itd.) u vodi smanjuje količinu plina koji može biti otopljen. Sladovina je jaka otopina smjese tvari i tako topljivost kisika u sladovini je manja nego u čistoj vodi. Sladovina se može ubrizgati sa zrakom ili kisikom na ulazu u hladnjak ili nakon završetka procesa hlađenja. Dodavanje plina u vruće ili tople sladovine omogućuje oksidaciju komponenti sladovine, uzrokujući promjene okusa i zatamnjenja, koja su obično nepoželjna. Nakon hlađenja sladovini se dodaje kvasac. Kvasac je zaslužan za fermentaciju piva. Za najbolje rezultate potrebno je temeljito promiješati kvasac sa sladovinom. Kako bi se postigla konstantna fermentacija potrebno je dodavati konstantnu količinu kvalitetnog kvasca. Bitne karakteristike kvasca su:

- Broj stanica kvasca po milimetru kvadratnom,
- Zdravlje stanica kvasca,
- Održivost – broj živih stanica kvasca [3].

Biokemijske reakcije koje se događaju tijekom fermentacije predstavljaju kumulativne učinke rasta kvasca na sladovini. Nestanak hranjivih tvari i stvaranje etanola, ugljičnog dioksida i drugih metabolita, koji zajedno doprinose pivu, su svi nusproizvodi rasta kvasca. Ovisno o dostupnosti kisika te koncentracijama i izvoru ugljikohidrata, kvasac može biti potpuno aeroban, oksidativan ili fermentivan. Dakle, pivski kvasac ima relativno raznovrstan metabolizam i sposoban je prilagoditi se raznim uvjetima. Osim etanola i ugljičnog dioksida, mnoštvo drugih manjih nusproizvoda kvasca nastaju tijekom fermentacije. Mnogi od njih doprinose okusu piva i aromi. Većina sojeva kvasca za proizvodnju piva imaju optimalnu temperaturu za rast koja iznosi između 30 i 34 °C, ali se fermentacija odvija na nižim temperaturama. Koncentracija kisika dobavljena sladovini na početku fermentacije, jedan je od primarnih regulatora rasta kvasca. Povišena koncentracija kisika rezultira povećanjem brzine fermentacije ali je potrebno paziti pri korištenju visokih koncentracija kisika za smanjenje vremena fermentacije. Iako visoka količina kisika proizvodi bržu primarnu reakciju fermentacije, to može biti štetno za prinos etanola. Glavni cilj je fermentirati sladovinu do željene mase, ovo se naziva potrebni stupanj prigušenja. Udio otopljenih čvrstih tvari u sladovini koji se mogu fermentirati nazivaju se postotak fermeabilnosti sladovine [1].

$$\text{Fermeabilnost (\%)} = \frac{\text{orginalna masa} - \text{željena masa}}{\text{orginalna masa}} \times 100 \quad (2-1)$$

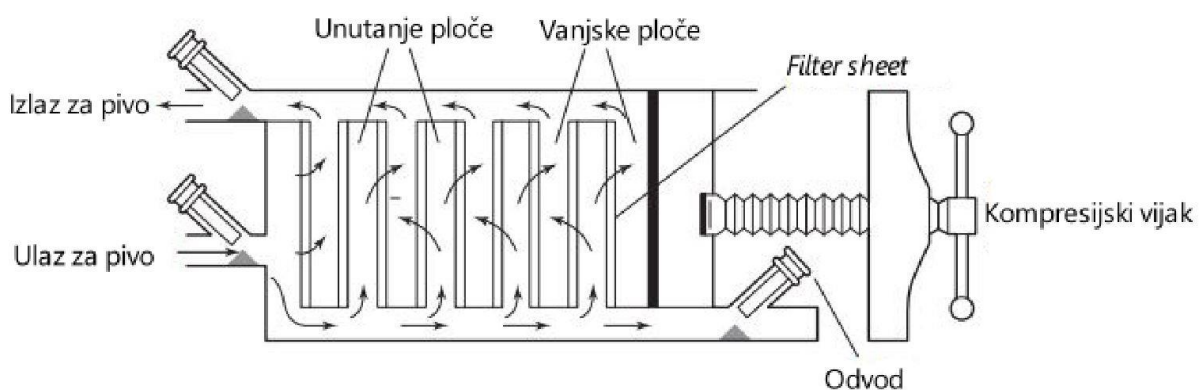
Prva faza prilikom dodavanja kvasca se naziva faza kašnjenja u procesu rasta. Razlog tomu je navikavanje kvasca na novo okruženje i početak apsorpcije nutrijenata. Nakon toga kreće faza rapidnoga rasta, koja kreće između 6 i 12 sati nakon dodavanja kvasca. Rasta je jedino ograničen fizičkim parametrima kao što su temperatura, dostupnost amino kiselina te prisutnost kisika. Nakon faze rasta, slijedi faza fermentacije. Fermentacija je ograničena količinom prisutnih šećera i dušika, te rezultira porastom udjela alkohola te blagim povećanjem temperature. Posljednja faze fermentacije je spora. Kvasac iskorištava posljednje nutrijente te u ovom dijelu procesa dolazi do uklanjanja diacetila. Diacetil je neugodan okus sličan alkoholnom sirupu koji nastaje tijekom glavne fermentacije. Za pivo se po završetku primarne fermentacije kaže da je “zeleno”. Udio ugljičnog dioksida je nizak, pivo je zamagljeno te su mu okus i miris lošiji od piva koje je spremno za prodaju. Pivo stoga mora sazreti u zatvorenim spremnicima u pivovari [1].

Sazrijevanje obično podrazumijeva sekundarnu fermentaciju koja je uzrokovana malom količinom kvasca koje je preostala u pivu. Tijekom sazrijevanja, odvija se pročišćavanje piva. Pročišćavanje se odvija u obliku sedimentacije na niskim temperaturama. Nakon sedimentacije pivo se mora stabilizirati. Zamagljenost piva nastaje zbog kompleksa molekula proteina i polifenola. Ovaj kompleks nastaje tijekom hladnog skladištenja i uklanja se tijekom filtracije. Iako su količine proteina i polyphenola u pivo vrlo niske pri ovom koraku i dalje mogu polako stvarati zamagljenje te se stoga stabilizacijom žele te reakcije usporiti kako bi se pivu produljio vijek trajanja. Polyphenola se rješavamo koristeći spojeve koji ga apsorbiraju. Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) je materijal pun sitnih rupa koji zadržava čestice te ih na taj način uklanja iz smjese [3].

## **2.4. Filtriranje piva**

Posljednji proces koji treba uzeti u obzir u obradi piva, prije pakiranja, je filtracija. Ovo je bistrenje piva do standarda koji je prihvatljiv za prodaju. Proces uključuje uklanjanje svih preostalih stanica kvasca i uklanjanje istaloženog proteina. Pivo mora biti stabilno kako ne bi došlo do vidljivih promjena tijekom njegovog komercijalnog roka (roka trajanja), koji može biti do 52 tjedna. Da bi bilo uspješno, pivo koje dolazi na filter mora sadržavati < 0,2 milijuna stanica kvasca/ml piva. Pokretačka sila za filtraciju je razlika tlakova između ulaza filtera i izlaza. Tlak je uvijek veći na ulazu i razlika tlakova je pokazatelj koliko se filter opire

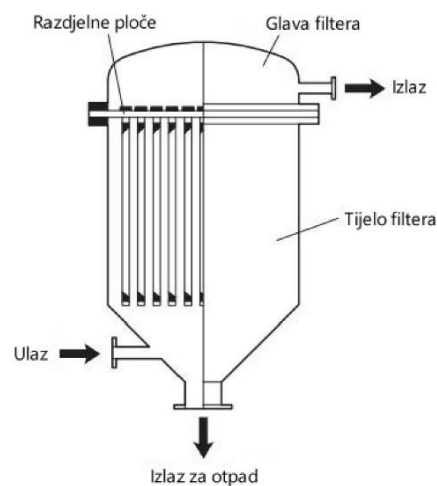
filtraciji. Povećanje ove razlike tlakova ukazuje približavanje kraju rada filtera. Vrlo važan čimbenik uspješne filtracije je hlađenje piva. Što je temperatura niža, više će nepoželjnih čestica biti otklonjeno. Pivo se nakon sazrijevanja stoga mora održavati na temperaturama od -2 do -1 °C. Dva najčešće korištena tipa filtracije su *sheet* filtracija i *powder* filtracija. Standardne filtarske ploče u pivovarama su dimenzija 60x62 cm, a najveće obično 100x100 cm. Velika jednostrana filtarska preša ima 240 filtarskih ploča koje omogućuju filtraciju protoka od 120 hl/h. Ova niska propusnost ograničila je upotrebu *sheet* filtera kao sustava za primarnu filtraciju u velikim pivovarama Cijena održavanja *sheet* filtera je visoka te filteri zauzimaju puno prostora. Također ih je znatno teže automatizirati nego *powder* filtere. *Sheet* filteri se sada obično koriste samo kao drugi filtri za poliranje nakon dubinske filtracije s prašcima [3].



Slika 2.7. Sheet filter [1].

Najuspješnije i isplativije bistrenje piva postiže se *powder* filtracijom. Mnoge pivovare koriste ovaj sustav kao glavni sustav za filtriranje te ovi filteri imaju sposobnost isporučivati pivo sa  $< 0,5$  °EBC jedinica zamućenja. U *powder* filtrima prah se nanosi na nosač i pruža vijugav put kroz koje prolazi pivo, dajući mnoge mogućnosti za hvatanje i adsorpciju čestica. Obično se koriste dvije vrste praha: kieselguhr ili perlit. Kieselguhr je dijatomejska zemlja koja se vadi iz naslaga miocenskih perioda u Europi te Sjevernoj i Južnoj Americi. Sastoji se od kostura morskih algi koje sadrže silicijev dioksid. Kieselguhr prah za upotrebu u pivarstvu priprema se sušenjem i mljevenjem iskopane sirovine. Najučinkovitija filtracija postignuta je korištenje kalciniranog kieselguhra pripremljenog zagrijavanjem sirovine u rotirajućim bubnjevima na temperaturama od 600 do 800 °C. Međutim, ova tvar je klasificirana kao visoko opasna kada se udiše i može izazvati bolest silikoze. Nekalcinirani kieselguhr, pripremljen sušenjem na  $< 400$  °C predstavlja samo umjereni rizik i sada se

obično preferira. Postoje brojne vrste kieselguhra od finih, umjerenih do grubih. Što je kieselguhr finiji bolje je bistrenje ali je manja brzina filtracije. Grublji prah daje veću brzinu protoka ali slabije bistrenje. Potrošnja Kieselguhra varira od 70 do 220 g/hl. Perlit je vulkanski materijal, uglavnom sastavljen od aluminijevog silikata, koji se može pronaći na Grčkim otocima. Sirovi perlit se zagrijava na oko 750 °C, što uzrokuje pucanje čestica koje daju staklastu strukturu. One se samelju u prah koji slobodno teče te je 30% lakši po jedinici volumena od kieselguhra. Perlit predstavlja nizak rizik za zdravlje, ali se zbog male gustoće lako raspršuje u zraku i stvara neugodnu prašinu. Međutim, povećanjem zabrinutosti oko zdravstvenih rizika povezanih s upotrebom kieselguhra, ponovno se pojavio interes za njegovu upotrebu u filtrima za pivo u prahu [1].



**Slika 2.8.** Candle filter [1].

Na slici 2.8. prikazan je *Candle* filter koji koristi kieselguhr prah. *Candle* filter je cilindrična, okomita tlačna posuda koja sadrži mnogo filterskih elemenata. Svaki element se sastoji od šipke Y poprečnog presjeka oko kojih su naslagani prstenasti diskovi. Diskovi su napravljeni tako da tekućina može prodrijeti između njih i zatim teći duž kanala između rupa u diskovima. Kieselguhr prah se nakuplja između susjednih filterskih diskova gdje se događa dubinska filtracija [3].

Najvažnija veličina koju je potrebno regulirati pri filtraciji piva je brzina crpke. U procesu filtracije izvršni član predstavlja crpku. Crpke koje se koriste u komercijalnoj filtraciji imaju snagu između 10 i 30 kW. Dva glavna tipa centrifugalnih crpki su NHK i SHK. NHK (tip koji se koristi u radu) je crpka sa spiralnim kućištem i otvorenim rotorom

(radi optimiziranoga doziranja medija osjetljivih na smicanje) koji se okreće na čvrstoj osovini. Modularni i kompaktni dizajn čini NHK crpke odličnima za rad u industrijama hrane i pića. Pivo se mora držati na nižoj temperaturi kako bi se spriječilo daljnje razmnožavanje kvasca ali je stoga potrebno imati izmjenjivač topline [3].

U izmjenjivač topline se dodaje glikol koji je sredstvo protiv zamrzavanja. Dodavanje glikola unosi poremećaj u sustav jer glikol rashlađuje pivo ali povećava pritisak u liniji što utječe na protok. Nakon izmjenjivača topline slijedi Kieselgur filter.

Prilikom prolaska nefiltriranog piva kroz porozni medij dolazi do otpora protoku što rezultira padom tlaka u sustavu te jest unošenjem poremećajne veličine. Mjerni član ima zadaću mjeriti reguliranu veličinu. Mjerenje je proces u kojem se nepoznata veličina uspoređuje sa poznatom veličinom. Mjerenje je nužno u regulaciji jer ako veličine nisu mjerljive, nije moguće regulirati sustav. Mjerni član u ovom sustavu je hidrostatski senzor tlaka. Hidrostatski senzori tlaka općenito mogu biti uronjeni u tekućinu ili montirani na vanjsku stranu cijevi. U pivarstvu su ti senzori uronjeni u pivo. Hidrostatski senzor sadrži tlačnu dijafragmu gdje se unutarnji dio dijagrame odzračuje na atmosferski tlak preko ventilacijske cijevi u kabelu dok je vanjska strana u kontaktu sa tekućinom i mjeri statički tlak tekućine iznad transmitera [5].

### **3. MODEL REGULACIJSKE STAZE I SINTEZA REGULATORA**

Glavni zadatak sustava automatske regulacije je održavanje procesa u zadanoj radnoj točki. Specifikacije svojstava su većinom opisane kao ograničenje u odzivu sustava. Postoji nekoliko načina na koje se mogu dati specifikacije. U pogledu kakvoće regulacije odzivi sustava prikazuju se u vremenskom području te u frekvencijskom području. Specifikacije sustava dane su u vremenskom obliku te u frekvencijskom obliku, a uz to određuju 4 najvažnija svojstva sustava. Ta svojstva su brzina i prigušenost (dinamika), točnost (statičko vladanje), i robusnost regulacijskog kruga. Automatska regulacija je automatsko održavanje željene vrijednosti neke veličine (procesa) ili mijenjanje te veličine po definiranom zakonu neovisno o djelovanju poremećaja. To se postiže korištenjem povratne veze koja ima zadatak usporediti izmjerene veličine procesa s referentnim veličina. Na temelju razlike između te dvije vrijednosti donosi se odluka o usmjeravanju procesa.

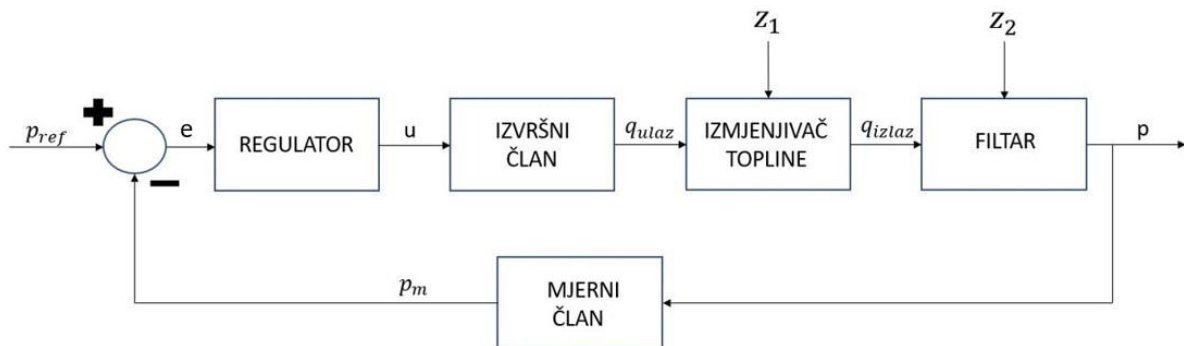
#### **3.1. Struktura regulacijskog kruga**

Prvi korak u matematičkoj analizi sustava je predstavljanje problema u obliku funkcionalnog blok dijagrama. Blok dijagram predstavlja povezivanje dijelova sustava na slikovit način te je njegova svrha prikazivanje funkcionalnih odnosa između elemenata (blokova) sustava. Ukoliko su prijenosne funkcije sustava predstavljene blokovima, te ukoliko se tok signala označava odgovarajućom varijablom rezultat je struktura regulacijskog kruga. Blok dijagrami imaju 4 glavna dijela:

- Krug – drugi naziv za krug je komparator te predstavlja mjesto zbrajanja ili oduzimanja,
- Čvorište – predstavlja mjesto granjanja signala (sve grane signala koje izlaze iz jedne točke imaju istu vrijednost),
- Blok – predstavlja odnos između varijable koja ulazi u blok (pobude) i izlazne varijable (odziva),
- Strjelica – prikazuje smjer signala koji se mijenja u vremenu [5].

Najvažnije veličine prikazane u blokovima automatske regulacije su:

- $p_{ref}(t)$  – kod čvrste regulacije referentna veličina se naziv još i nazivna veličina. Referentna veličina predstavlja željeno ponašanje regulirane veličine,
- $p(t)$  – izlazna ili regulirana veličina,
- $e(t)$  – regulacijsko odstupanje je razlika između regulirane i referentne vrijednosti,
- $u(t)$  – upravljačka veličina. Utječe na iznos regulirane veličine,
- $Z(t)$  – poremećajna veličina predstavlja nepoželjan utjecaj na izlaznu veličinu, Poremećajne veličine su svi utjecaji koji pomjeraju ravnotežnu točku sustava,
- $q_{ulaz}(t)$  – protok piva na ulazu u izmjenjivač topline,
- $q_{izlaz}(t)$  – protok piva na izlazu iz izmjenjivača topline,
- $p_m(t)$  – tlak koji mjerni član mjeri na izlazu sustava.



**Slika 3.1.** Blokovska shema sustava.

Regulator je uređaj koji služi za vremensko preoblikovanje signala regulacijskog odstupanja. Regulator tvori upravljačku veličinu, na temelju regulacijskog odstupanja i regulacijskog algoritma  $G_R(s)$ . Djelovanje regulatora projektira se u odnosu sa zahtjevima postavljenim na kakvoću regulacije. Ako se PID regulatorom ne može postići željena kakvoća upravljanja procesa, potrebno je u sustav uvesti unutrašnje povratne veze struje i napona te brzine vrtnje motora. Izlazni signal koji se dobije iz regulatora (upravljačka veličina), ne može izravno djelovati na motor već postoji postavni član to jest pojačalo snage, koji pogoni motor na temelju upravljačkog signala iz regulatora.

Izvršni član opskrbljuje objekt regulacije potrebnom snagom ili sirovinom za vođenje procesa. Izvršni članovi se načelno sastoje od dva dijela. Prvi dio izvršnoga člana je postavni pogon što je najčešće motor te je drugi dio postavni član što je najčešće ventil. Postavni član često zna biti izveden kao dio regulacijskoga člana a ne izvršnoga. Izvršni član djeluje na proces, na osnovu upravljačkog signala [5].



U regulacijskom krugu koji se analizira u ovom radu dinamika kruga se sastoji od izvršnog člana (crpke), izmjenjivača topline, Kiselgur filtra te mjernog člana. Osim referentne veličine kao ulazne veličine u ovaj regulacijski krug, još su prisutne i poremećajne poremećajne veličine u izmjenjivaču topline i Kiselgur filtru. Poremećajna veličina u izmjenjivaču topline se modelira pomoću Bernoulijevog zakona, a poremećajna veličina u filteru se modelira pomoću Darcijevog zakona.

### 3.2. Darcijev zakon

Darcijev zakon koristi se za modeliranje poremećajne veličine u filtru. Teorija laminarnog protoka kroz homogeni porozni medij se temelji na eksperimentu Darcyja iz 1856. Na slici 3.2. Prikazana je shema eksperimenta sa svim parametrima. Homogeni sloj filtera visine  $h$  je omeđen horizontalnim područjima jednake veličine  $A$ . Ta dva područja su podudarna te se stoga odgovarajuće točke mogu spojiti vertikalnim ravnim linijama. Filterski sloj je procijeđen nestlačivom tekućinom. Ako su otvorene cijevi manometra pričvršćene na gornjoj i donjoj granici sloja filtra, tekućina se diže do visine  $h_2$  odnosno  $h_1$  iznad proizvoljne referentne razine. Variranjem različitih količina uključenih u pokus moguće je zaključiti odnos u sustavu [8]:

$$Q = -K * A * (h_2 - h_1) / h, \quad (3-1)$$

gdje je  $Q$  ukupni volumen tekućine koja se filtrira u jedinici vremena, a  $K$  konstanta koja ovisi o svojstvima fluida i poroznog medija. Formula 3-1, je poznata kao Darcyjev zakon. Znak minus ispred  $K$  ukazuje da je funkcionalna veza suprotnog djelovanja te se povećanjem jedne veličine druga veličina smanjuje. Darcyjev zakon može se još izraziti u smislu tlaka  $p$  i gustoće tekućine  $\rho$ . Na gornjoj granici korita (iznad  $Z_2$ ) tlak je jednak:

$$p_2 = \rho * q * (h_2 - Z_2). \quad (3-2)$$

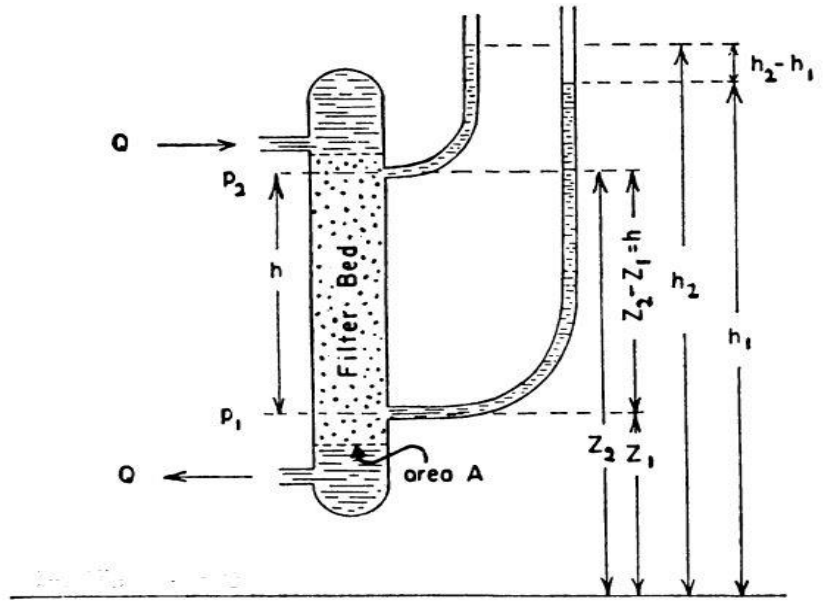
Na donjoj granici (iznad  $Z_1$ ) tlak je jednak izrazu 3-3,

$$p_1 = \rho * q * (h_1 - Z_1). \quad (3-3)$$

Umetanjem izraza 3.1. i 3.2. u 3.3., uz pretpostavku da su parametri  $\rho$  i  $g$  konstantni, slijedi:

$$Q = -K * A * (p_2 - p_1 + \rho * g * h) / h \quad (3-4)$$

Izraz 3-4, je ekvivalent Darcyevom zakonu. Za tekućine koje putuju velikim brzinama te plinove vrlo niske ili vrlo visoke brzine Darcyev zakon ne vrijedi.



Slika 3.2. Darcyjev pokus [8].

Darcyjev zakon, kada se u obzir uzmu konstante propusnosti i viskoznosti dobije oblik primjenjiv u filtraciji piva [8]:

$$Q = - ( K * A * (p_2 - p_1) ) / \mu * L, \quad (3-5)$$

gdje su :

$\mu$  – viskoznost [Pa\*s],

$L$  – dubina sloja [m],

$A$  – površina sloja filtra [ $m^2$ ],

$\Delta p$  – razlika tlaka na ulazu i izlazu iz filtra [bar],

$K$  – specifična propusna konstanta sloja [ $m^2$ ],

$Q$  – protok tvari koja se filtrira [ $m^3/s$ ] [5].

Dimenzija specifične propusnosti je kvadrat duljine [ $m^2$ ] ali tu mjernu jedinicu samo primjenjuju fizičari te kemičari. U većini primjene koristi se mjerna jedinica Darcy:

$$1 \text{ darcy} = 9.87 * 10^{-9} \text{ cm}^2. \quad (3-6)$$

### 3.3. Matematički model regulacijske staze

Sustavi upravljanja mogu se predstaviti skupom matematičkih jednadžbi koje se nazivaju matematički model. Matematički model je matematički prikaz fizičkog ili informacijskog sustava koji daje uvid u njegovo trenutno ponašanje te omogućava predviđanje ponašanja sustava u budućnosti. Matematički modeli se koriste za analizu i projektiranje sustava upravljanja. Kako bi se mogao projektirati regulator, potrebno je raspolagati matematičkim modelom regulacijske staze. Najčešće korišteni matematički modeli su:

- Model diferencijalnih jednadžbi,
- Model prijenosne funkcije,
- Model u prostoru stanja [6].

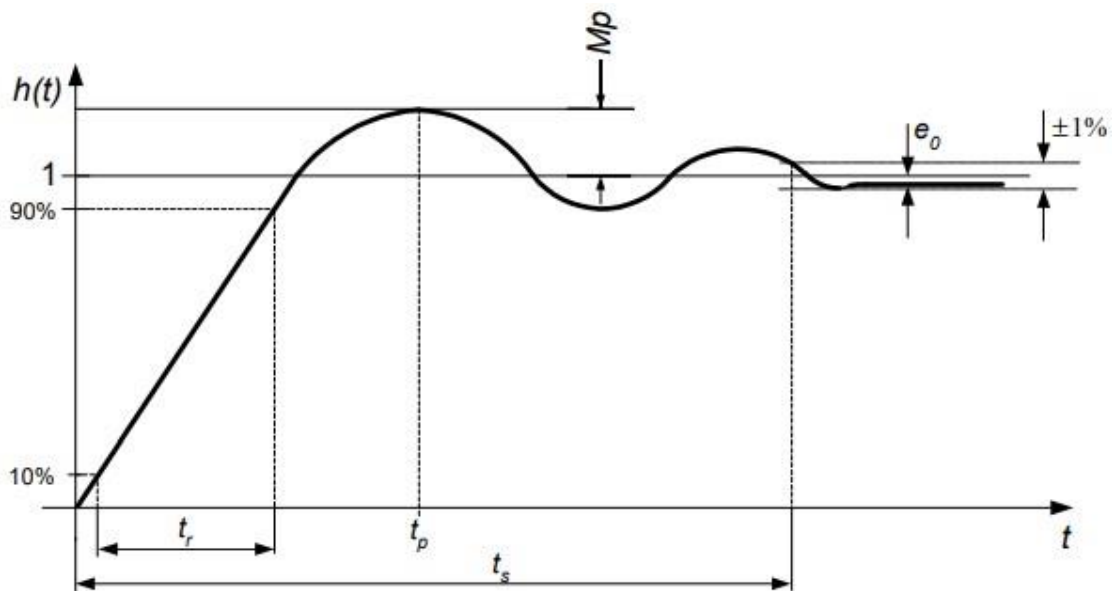
Matematički model sustava u pravilu uključuje samo neke pojedinosti sustava, stoga model nikada u potpunosti ne opisuje vladanje stvarnog sustava (stupanj pojednostavljenosti ovisi o namjeni modela). Kao primjer može poslužiti usporedba matematičkoga modela regulacije brzine vrtnje za vozilo koji je jednostavan te modela aktivnoga ovjesa u vozilu koji je znatno složeniji. Što je model složeniji to vjernije izražava promjene fizikalnih veličina u sustavu. Ovisno o parametrima sustava i okolnostima, jedan matematički model može biti prikladniji od drugih. Nakon izrade matematičkoga modela sustava, razni analitički i računalni alati se mogu koristiti za potrebe analize i sinteze. Za sustav vrijedi da je linearan ukoliko vrijedi princip superpozicije. Princip superpozicije kaže da odziv stvoren od strane dviju različitih funkcija istovremeno je jednak sumi individualnih odziva. Dakle, za linearne sustave vrijedi da se odziv nekoliko ulaza može izračunati tretiranjem odziva jednoga po jednoga te zbrajanjem rezultata. U stvarnom svijetu su svi modeli nelinearni te ih je prvo potrebno lineanizirati. Prijenosna funkcija linearne, vremenski nepromjenjive, diferencijalne jednadžbe sustava je definirana kao omjer Laplacove transformacije izlaza na Laplacovu transformaciju ulaza, pod pretpostavkom da su svi početni uvjeti nula. Ako se razmotri linearni vremenski nepromjenjiv sustav definiran diferencijalnom jednadžbom:

$$a_0y + a_1\dot{y} + \dots + a_{n-1}\dot{y} + a_n y = b_0x + b_1\dot{x} + \dots + b_{m-1}\dot{x} + b_m x, \quad (n \geq m) \quad (3-7)$$

slijedi prijenosna funkcija:

$$G(s) = \frac{L[\text{izlaz}]}{L[\text{ulaz}]} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}. \quad (3-8)$$

Korištenjem prijenosnih funkcija moguće je prikazati dinamiku sustava algebarskim jednadžbama u s području. Ako je najveća snaga s u nazivniku prijenosne funkcije jednaka n, sustav se tada naziva n-tog reda.



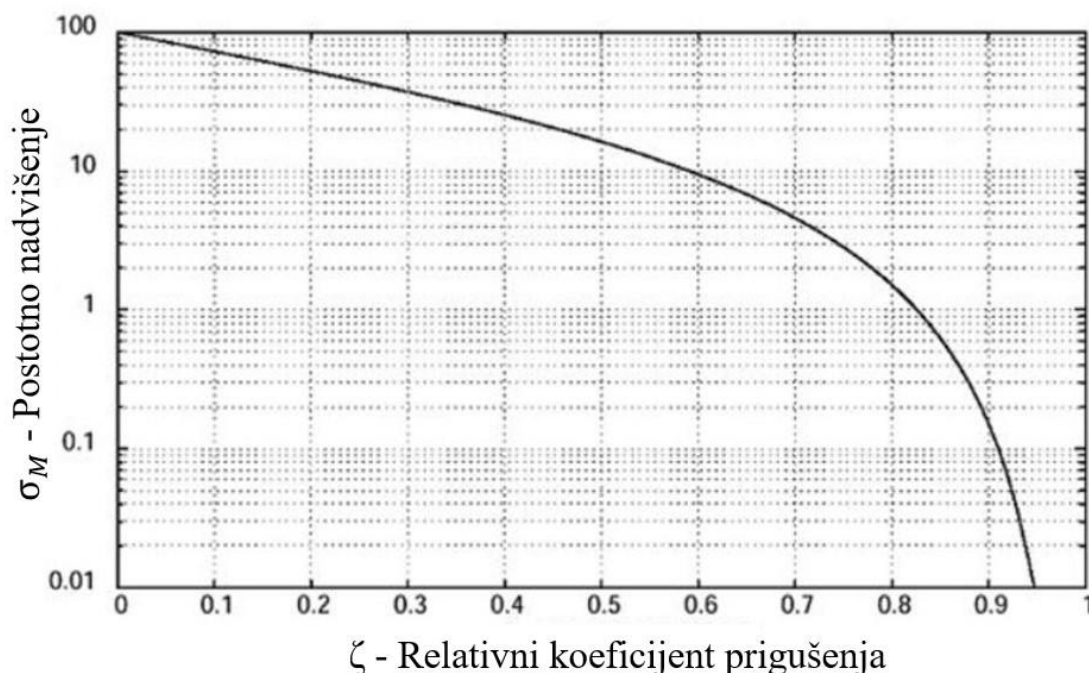
**Slika 3.3.** Odziv zatvorenog regulacijskog kruga za  $P_2$  član [5].

Za uspješnu sintezu sustava automatskoga upravljanja vladanje zatvorenog regulacijskog kruga treba postići odgovarajuću kakvoću regulacije [7], parametri kakvoće regulacije opisani su u tablici 3.1. Za određivanje zahtjeva vremenskog odziva, koristi se odskočna funkcija kao pobuda sustava.

**Tablica 3.1.** Izravni pokazatelji kakvoće regulacije [5].

$t_r$ – vrijeme porasta	Vremenska razlika između odziva sustava na 10% i 90% konačne vrijednosti.
$t_s$ – vrijeme smirivanja	Duljina vremena nužna za smanjivanje prijelaznoga dijela odziva na gotovo ustaljenu vrijednost.
$t_p$ – vrijeme maksimalnog prebačaja	Vremenski trenutak u kojem dolazi do maksimalnog prebačaja.
$M_p$ – maksimalni prebačaj	Prebačaj odziva izražen u postotcima.
$e_o$ – trajno regulacijsko odstupanje	Regulacijska pogreška sustava u stacionarnom stanju.

Vrijeme porasta, vrijeme smirivanja, vrijeme maksimalnog prebačaja te maksimalni prebačaj su dinamički pokazatelji kakvoće regulacije dok je trajno regulacijsko odstupanje statički pokazatelj kakvoće regulacije.



Slika 3.4. Veza između relativnog koeficijenta prigušenja sustava i postotnog nadvišenja [5]

Relativni koeficijent prigušenja je veličina između 0 i 1 kojom se definira stupanj prigušenja odziva regulacijskog kruga. Ukoliko je jednak 0, polovi prijenosne funkcije leže na imaginarnoj osi i oscilacije su neprigušene, a ukoliko je jednak 1 polovi leže na realnoj osi i odziv je granično prigušeni pa nema oscilacija.

Prijenosne funkcije svih dijelova regulacijske staze dobiveni su od strane firme koja projektira sustav upravljanja pivovare. Jedino je potrebno odrediti iznose poremećaja sustava. Poremećaji se pojavljuju u Kiselgur filtru te se računaju uz pomoć Darcijevog zakona. Poremećaji se još pojavljuju u izmjenjivaču topline i računaju se uz pomoć promjene tlaka unutar cijevi te grafa ovinosti protoka o tlaku koji se nalazi na slici 13. Darcijev zakon za pivo dan je u izrazu 3-5. Površina Candle filtra se računa preko:

$$A = r^2 * \pi * 100. \quad (3-9)$$

Candle filter sa sastoje od 100 svijeća koje se nalaze unutar filtra te površina svih njih zajedno jednaka je ukupnoj površini filtracije. Polumjer svakog filtra iznosi 2 centimetra što znači da je ukupna površina filtra (A)  $0.1256 \text{ m}^2$ . Visina filtera (L) iznosi 4 metra, viskoznost

piva ( $\mu$ ) iznosi  $18.26 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  a permeabilnost piva  $3.09 \cdot 10^{-8} [\text{m}^2]$  [9]. Stoga je promjena tlaka u filtru pri protoku od 30 hl/h jednaka:

$$\Delta p = 30 \cdot 10^2 \cdot 0.00005296385 = 0.15889 [\text{bar}]. \quad (3-10)$$

Što se tiče izmjenjivača topline, promjenu protoka moguće je izračunati Bernoulijevom jednačbom. Bernoulijeva jednačba je temeljna jednačba u mehanici koja opisuje očuvanje energije pri strujanju fluida:

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{Konst.} \quad (3-11.)$$

Pri protoku piva na ulazu i izlazu izmjenjivača topline nema razlike visine,  $\rho \cdot g \cdot h$  je jednak nula:

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{Konst.}, \quad (3-12)$$

gdje su:

$P$  – tlak u cijevi [Pa],

$\rho$  – specifična gustoća tekućine [ $\text{Kg} / \text{m}^3$ ],

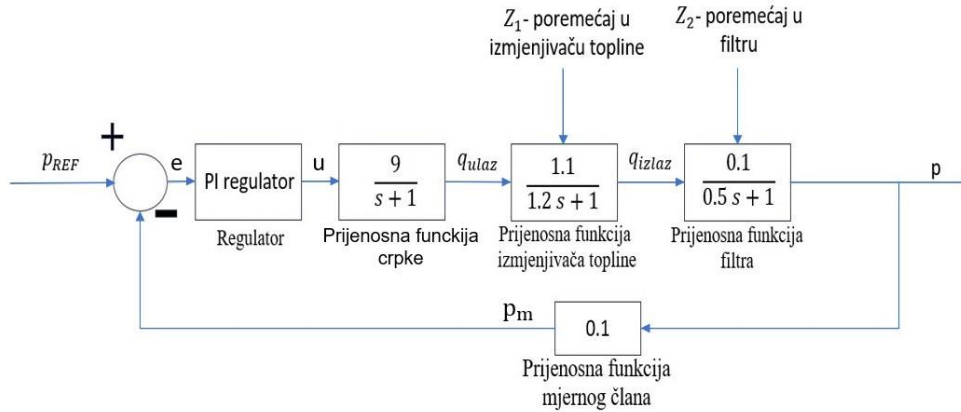
$v$  – brzina protoka tekućine [ $\text{m}^3 / \text{s}$ ] [10].

Pošto je riječ o sustavu u pogonu, poznati su iznosi željenih veličina. Tlak na ulazu u izmjenjivač topline je jednak 3.4 bar-a a na izlazu 3.1 bar-a, specifična gustoća piva iznosi  $1030 \text{ Kg} / \text{m}^3$  te je brzina na ulazu u izmjenjivač topline jednaka 30 hl/h.

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \quad (3-13)$$

$$v_2^2 = \frac{(P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2) - P_2}{\frac{1}{2} \cdot \rho} \quad (3-14)$$

Uvrštavanjem brojeva u izraz 3-14, dobije se protok od 30.097 hl/h ( $v_2$ ), što znači da je poremećaj protoka uzrokovan korištenjem izmjenjivača topline jednak 0.097 hl/h. Poznavanjem prijenosnih funkcija te veličine poremećaja, moguće je napraviti matematički model regulacijske staze.



Slika 3.5. Struktura regulacijskog kruga uz naznačene prijenosne funkcije dijelova regulacijske staze.

### 3.4. PI regulator

U regulacijskoj tehnici PI regulator (proporcionalni–integralni regulator) je regulator koji upravlja postrojenjem na temelju zbroja pogrešaka (razlike između izlaza i zadane vrijednosti) te integrala te vrijednosti. To je poseban slučaj PID regulatora u kojemu se derivacijski (D) dio vladanja ne koristi. Standardna ponašanja regulatora su:

- Proporcionalno (P)
- Integralno (I)
- Derivacijsko (D)
- Proporcionalno-integralno (PI)
- Proporcionalno-integralno-derivacijsko (PID)

PI-regulator s polom u ishodištu s-ravnine (integralno djelovanje) ima mogućnost poboljšanja statičkog vladanja regulacijskog kruga, a s nulom ima mogućnost povećanja stabilnosti i brzine regulacijskog kruga. Prijenosna funkcija PI-regulatora glasi [6]:

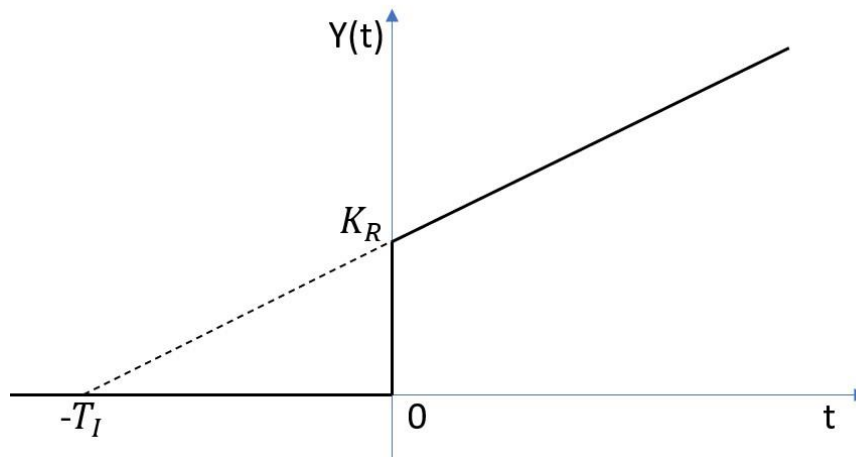
$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_R \left(1 + \frac{1}{T_I s}\right) = K_R \frac{1+T_I s}{T_I s} = K_R \left(1 + \frac{1}{jT_I \omega}\right) = K_R \frac{1+jT_I \omega}{jT_I \omega} \quad (3-15)$$

gdje je:

$K_R$ - koeficijent pojačanja,

$T_I$ -integralna vremenska konstanta (s).

Integralni element dodan proporcionalnom regulatoru pretvara izvorni sustav u sustav višega reda. Iz toga razloga sustav upravljanja može postati nestabilan za velike iznose  $K_R$ , budući da korijen karakteristične jednadžbe može imati pozitivan realni dio. Proporcionalni dio teži stabilizaciji sustava, dok integralni dio nastoji smanjiti pogrešku. Povećanjem vrijednosti  $T_I$  prekoračenje ima tendenciju da bude manje te brzina odziva je sporija [6].



Slika 3.6. Prijelazna funkcija PI regulatora [7].

### 3.5. Sinteza PI regulatora po Ziegler – Nichols metodi

Jedno od najpoznatijih pravila u praksi za podešavanje parametara regulatora definirali su Ziegler i Nichols 1942. Pravila su izvedena empirijski na temelju podešavanja regulatora, pri čemu prijelazna funkcija zatvorenog regulacijskog sustava pokazuje smanjenje amplitude po periodi oscilacije za otprilike 25 %. Postoje dvije mogućnosti za podešavanje prema Ziegleru i Nicholsu, a to su metoda ruba stabilnosti i metoda prijelazne funkcije. Metoda ruba stabilnosti primjenjuje se u raznim vrstama simulacija regulacijskih sustava gdje nije štetno dovesti regulacijske sustave do granice stabilnosti. Koraci za provedbu metode ruba stabilnosti [11]:

- 0) Proces se dovede u radnu točku.
- 1) Standardnom regulatoru koji se nalazi u regulacijskom krugu odabere se samo P djelovanje a I i D se isključe.



- 2) Pojačanje regulatora  $K_R$  se povećava dok se u zatvorenom regulacijskom krugu ne pojave trajne oscilacije. Kada dođe do pojave trajnih oscilacije, to je znak da je trenutno pojačanje kritično  $K_{RKR}$ .
- 3) Mjeri se iznos kritične periode  $T_{KR}$ .
- 4) Uz pomoć  $K_{RKR}$  i  $T_{KR}$  određuju se parametri regulatora ( $K_R, T_I, T_D$ ) pomoću tablice 3.2.

**Tablica 3.2.** Tablica za određivanje vrijednosti parametara prema metodu ruba stabilnosti.

	Tip regulatora	Vrijednost parametara regulatora		
		$K_R$	$T_I$	$T_D$
Metoda ruba stabilnosti	P	$0.5 K_{RKR}$	-	-
	PI	$0.45 K_{RKR}$	$0.85 T_{KR}$	-
	PID	$0.6 K_{RKR}$	$0.5 T_{KR}$	$0.12 T_{KR}$

U industriji gdje nije poželjno sustave dovoditi do ruba stabilnosti, više se koristi metoda prijelazne funkcije, to jest odziva procesa na skokovitu promjenu ulaza procesa. Prvi korak je snimanje prijelazne funkcije  $y(t)$ . Za primjenu metode prijelazne funkcije koristi se aproksimacija vladanja procesa  $PT_1T_t$  -vladanjem:

$$G_R(s) = \frac{K_P}{1 + T_1(s)} e^{-sT_t} . \quad (3-16)$$

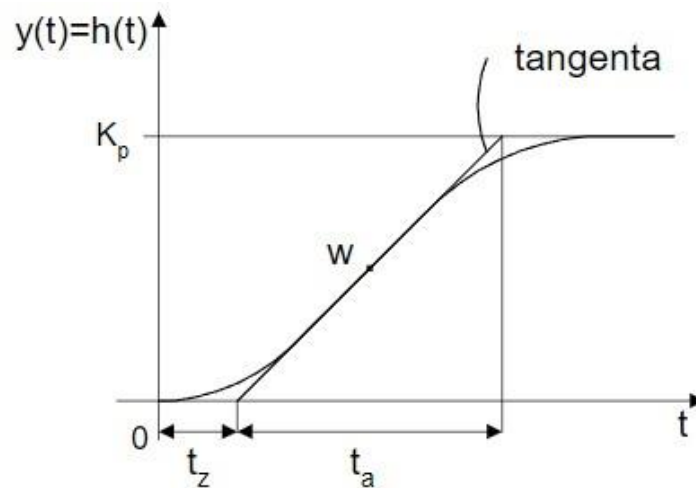
gdje su:

$K_P$  – pojačanje,

$T_1$  – dominantna vremenska konstanta [s],

$T_t$  – mrtvo vrijeme [s].

Prema Ziegler-Nichols metodi iz prijelazne funkcije se određuju tri karakteristične veličine. Veličine su određene vrijednošću izlazne veličine i tangente u točki infleksije. Pojačanje procesa  $K$ , određuje se iz stacionarne točke izlazne veličine. Vrijeme zadržavanja  $t_Z$  se određuje presjekom tangente u točki infleksije s osi  $x$  (vremenskom osi). Vrijeme porasta ( $T_a$ ) određuje se iz vremena od presjeka tangente u točki infleksije s  $t$  osi do presjeka tangente sa vrijednosti odziva u stacionarnom stanju. Na slici 3.7. znak  $w$  predstavlja točku infleksije funkcije.



Slika 3.7. Prijelazna funkcija  $h(t)$  prigušenog sustava višeg reda [7].

Tablica 3.3. Tablica za određivanje vrijednosti parametara regulatora koristeći metodu prijelazne funkcije.

	Tip regulatora	Vrijednost parametara regulatora		
		$K_R$	$T_I$	$T_D$
Metoda prijelazne funkcije	P	$1/K_s * t_1/t_z$	-	-
	PI	$0.9/K_s * t_1/t_z$	$3.33 t_z$	-
	PID	$1.2/K_s * t_1/t_z$	$2 t_z$	$0.5 t_z$

Za primjenu Ziegler Nicholsove metode prijelazne funkcije odabire se  $T_t$  tako da je jednak vremenu zadržavanja  $t_z$  a vremenska konstanta ( $T_1$ ) takva da bude jednaka vremenu porasta  $t_a$  [6].

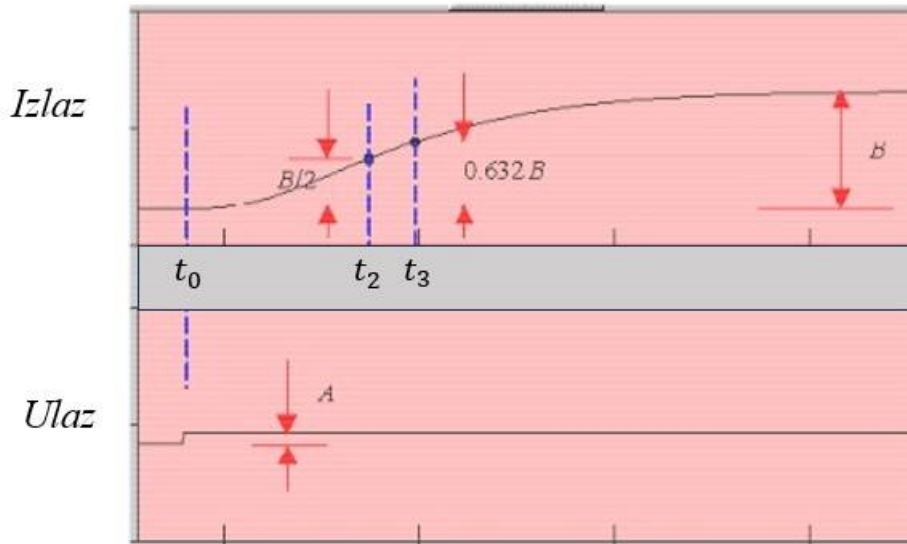
### 3.6. Sinteza PI regulatora po Cohen-Coon metodi

Osim ZN metode, postoji još nekoliko iskustvenih metoda za određivanje parametara PID regulatora. Jedna od tih metoda je Cohen-Coon metoda podešavanja. Odziv sustava modeliran je aproksimacijom vladanja procesa s  $PT_1T_t$ -vladanjem.

Koraci u provedbi eksperimenta prema Cohen-Coon metodi su sljedeći:

- 0) Čekanje da proces dosegne stabilno stanje,
- 1) Narine se pobuda (step),

- 2) Na izlaznoj karakteristici određuju se parametri  $t_0$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $A$  i  $B$ .  $t_0$  je vrijeme u kojemu step blok da impuls,  $t_2$  je vrijeme pri kojemu amplituda izlazne karakteristike dosegne 50% maksimalne vrijednosti,  $t_3$  je vrijeme pri kojemu amplituda izlazne karakteristike dosegne 63,2% maksimalne vrijednosti.  $A$  je iznos pobude dok je  $B$  maksimalna amplituda izlazne karakteristike,



Slika 3.8. Prijelazna funkcija  $h(t)$  prigušenog sustava višeg reda (izlaz), te odziv step bloka (ulaz).

- 3) Koristeći parametre  $t_0$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $A$  i  $B$  određuju se parametri procesa  $\tau_m$ ,  $\tau_d$  i  $K$ .  $\tau_m$  je efektivna vremenska konstanta odziva prvog reda,  $K$  je amplituda izlazne karakteristike podijeljena sa amplitudom pobude, a  $\tau_d$  je mrtvo vrijeme [11]:

$$t_1 = \frac{t_2 - (\ln(2))t_3}{1 - \ln(2)}, \quad (3-17)$$

$$\tau_m = \frac{3}{2} * (t_2 - t_1), \quad (3-18)$$

$$\tau_d = t_2 - \tau_m, \quad (3-19)$$

$$K = \frac{B}{A}, \quad (3-20)$$

- 4) Uz pomoć tablice 3.4. određuju se parametri regulatora.

Tablica 3.4. Tablica za određivanje vrijednosti parametara regulatora koristeći Cohen Coon metodu.

Tip regulatora	$K_R$	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{\tau_m}{K \tau_d} * (1 + \frac{\tau_d}{3 \tau_m})$	-	-
PI	$\frac{\tau_m}{K \tau_d} * (0.9 + \frac{\tau_d}{12 \tau_m})$	$\tau_d (\frac{30 + 3 \tau_d / \tau_m}{9 + 20 \tau_d / \tau_m})$	-
PD	$\frac{\tau_m}{K \tau_d} * (1.25 + \frac{\tau_d}{6 \tau_m})$	-	$\tau_d (\frac{6 - 2 \tau_d / \tau_m}{22 + 3 \tau_d / \tau_m})$
PID	$\frac{\tau_m}{K \tau_d} * (1 + \frac{\tau_d}{3 \tau_m})$	$\tau_d (\frac{32 + 6 \tau_d / \tau_m}{13 + 8 \tau_d / \tau_m})$	$\tau_d (\frac{4}{11 + 2 \tau_d / \tau_m})$

Cohen-Coon metoda daje početne procjene, a daljnje fino podešavanje može biti potrebno za postizanje željene izvedbe regulacije. Vrijedno je napomenuti da je Cohen-Coonova metoda heuristička metoda i ne mora uvijek dati optimalne rezultate. Druge rigoroznije metode ugađanja, kao što je Ziegler-Nicholsova, mogu biti prikladnije za određene primjene [11].

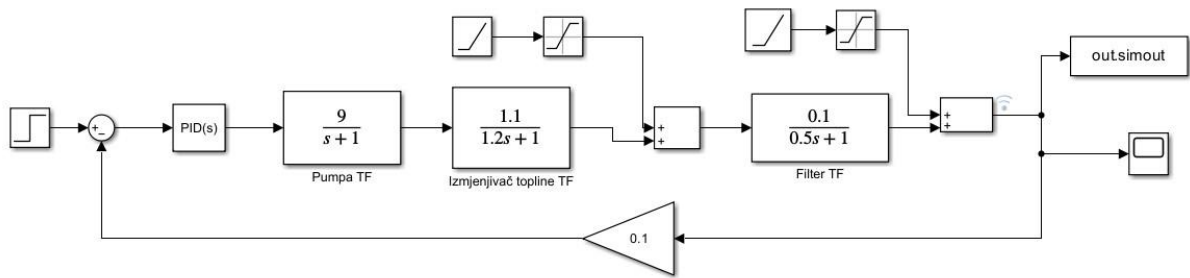
## 4. MATLAB I BRAUMAT SIMULACIJE

Simulacija vladanja sustava provodi se na računalu na temelju matematičkog modela sustava i narinute pobude. Simulacije se mogu koristiti za podešavanje performansi, optimiziranje procesa, poboljšanje sigurnosti, testiranje teorija i obuku osoblja. Sustavi znanstvenoga modeliranja omogućuju korisniku uvid u učinke različitih uvjeta i djelovanja. Simulacije se također mogu koristiti kada je stvarni sustav nedostupan ili preopasan za eksperimentiranje ili kada je sustav još u fazi projektiranja (teorije). Neke od prednosti simulacija su :

- 1) Manji financijski rizik – simulacije su jeftinije od eksperimentiranja na stvarnom procesu. Potencijalni troškovi testiranja teorije u stvarnosti mogu uključivati prelazak na neprovjereni proces, zapošljavanje osoblja ili kupnju nove opreme. Simulacija omogućava testiranje teorija i izbjegavanje skupih pogrešaka,
- 2) Identična ponovljena testiranja – simulacija omogućava da testiranje različitih teorija okolnostima. To znači da se teoriju mogu usporediti bez odstupanja,
- 3) Uvid u poboljšanje procesa – Moguće je napraviti simulaciju koja će omogućiti uvid u utjecaj vremena na proces.

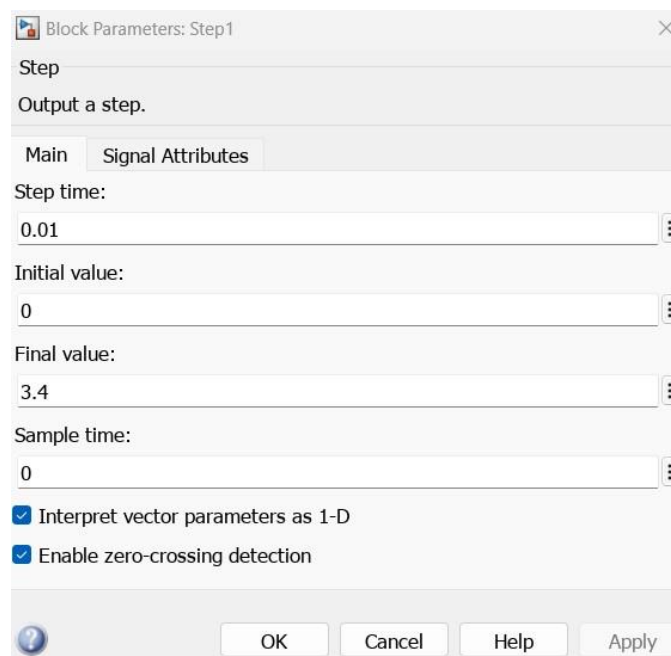
### 4.1. Matlab simulacija i rezultati

Matlab je programska platforma dizajnirana specifično za inženjere i znanstvenike u svrhu analize i dizaja sustava. Matlab se koristi za analizu podataka, razvoj algoritama te stvaranje modela. Simulink je program za grafičko programiranje temeljeno na MATLAB-u za modeliranje, simulaciju i analizu dinamičkih sustava s više područja. Njegovo primarno sučelje je alat za grafičko blok dizajniranje. Nudi tijesnu integraciju s ostatkom MATLAB okruženja i može pokretati MATLAB ili biti skriptiran iz njega. Simulink se naširoko koristi u automatskom upravljanju i digitalnoj obradi signala.



**Slika 4.1.** Simulink model regulacijskog kruga Kiselgur filtra.

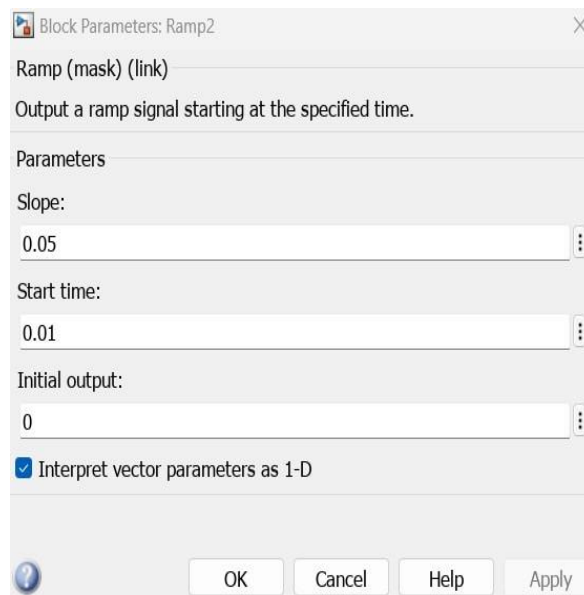
Na temelju matematičkoga modela regulacijske kruga razvijenog u prethodnom poglavlju, u Simulinku se pravi blok dijagram koji oponaša vladanje stvarnog sustava u stvarnim uvjetima. Na ulazu regulacijskog kruga se nalazi step blok s konačnom vrijednosti od 3.4, što predstavlja radnu točku ulazu regulacijskog kruga. Step blok predstavlja izvor signala sustava. U ovom regulacijskom krugu je važnija kakvoća potiskivanja utjecanja smetnji nego kakvoća prelaska na novu radnu točku.



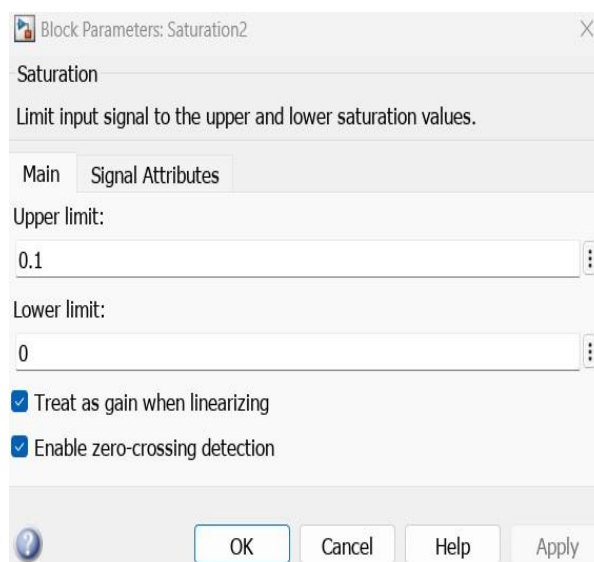
**Slika 4.2.** Parametri step bloka korištenog u Simulink simulacijskom modelu regulacijskog kruga.

Na slikama 4.3. i 4.4. nalaze se blokovi *ramp* i *saturation* koji se koriste za modeliranje poremećajne veličine u izmjenjivaču topline, a na slikama 4.5. i 4.6. nalaze se blokovi *ramp* i *saturation* koji se koriste za modeliranje poremećajne veličine u Kiselgur

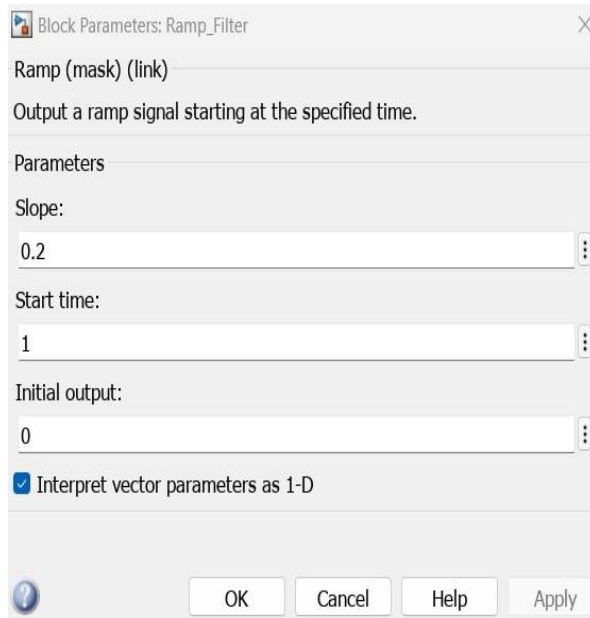
filtru. Parametri blokova za izmjenjivač topline određeni su u izrazu 3-14, a u filtru izrazom 3-10. Blok *Ramp* generira signal koji počinje u određenom trenutku te mijenja vrijednost određenom brzinom. Parametri nagiba bloka, vrijeme početka i početni izlaz određuju karakteristike izlaznog signala. Blok zasićenja proizvodi izlazni signal koji je vrijednost ulaznog signala ograničio na gornju i donju vrijednost zasićenja. Razlog korištenja *rampa* i *saturationa* umjesto step bloka za aproksimaciju poremećaja je u tome što poremećaj raste s vremenom te se na ovaj način aproksimiraju stvarni uvjeti u regulacijskom krugu Kiselgur filtra.



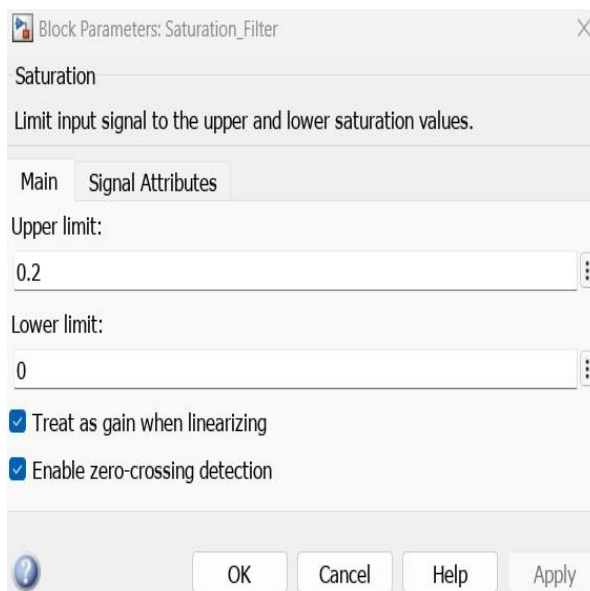
**Slika 4.3.** Parametri ramp bloka izmjenjivača topline.



**Slika 4.4.** Parametri saturation bloka izmjenjivača topline.



**Slika 4.5.** Parametri ramp bloka Kiselgur filtra.

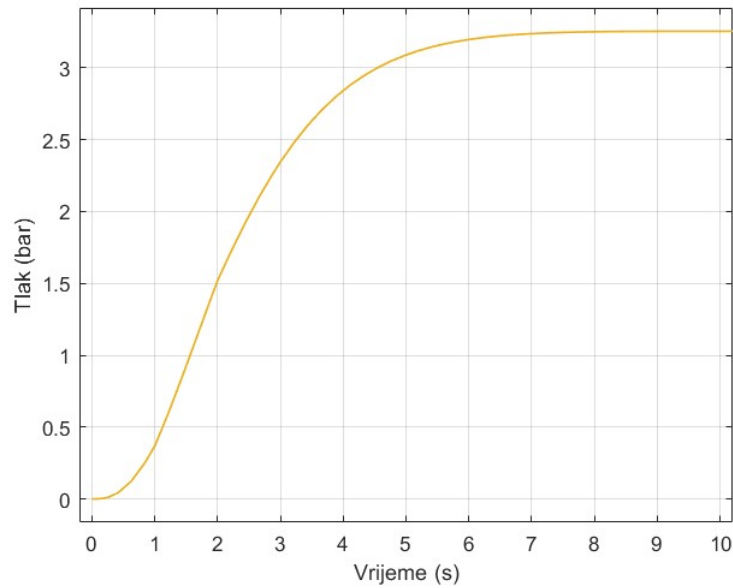


**Slika 4.6.** Parametri saturation bloka Kiselgur filtra.

Pokretanjem simulacije dobiva se odziv zatvorenoga regulacijskog kruga. Za dobivanje odziva zatvorenoga kruga koristi se P-regulator s pojačanjem 1. P djelovanje se dodaje radi poboljšanja brzine odziva sustava a I djelovanje se dodaje radi smanjivanja trajnog regulacijskog odstupanja. Poboljšanje jednog svojstva odziva može negativno utjecati na

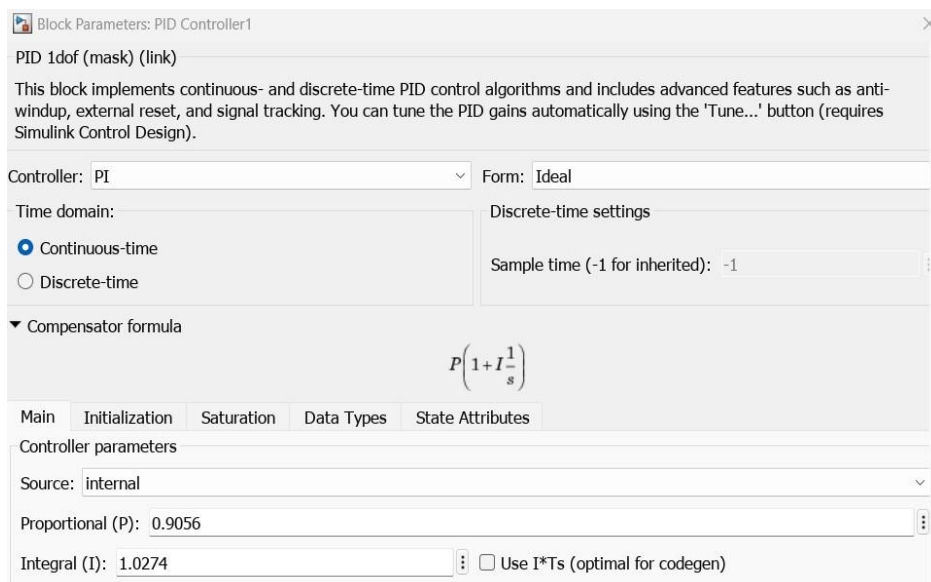


druga svojstava te je često potrebno mnogo iteracija kako bi se došlo do preciznog podešenja regulatora.

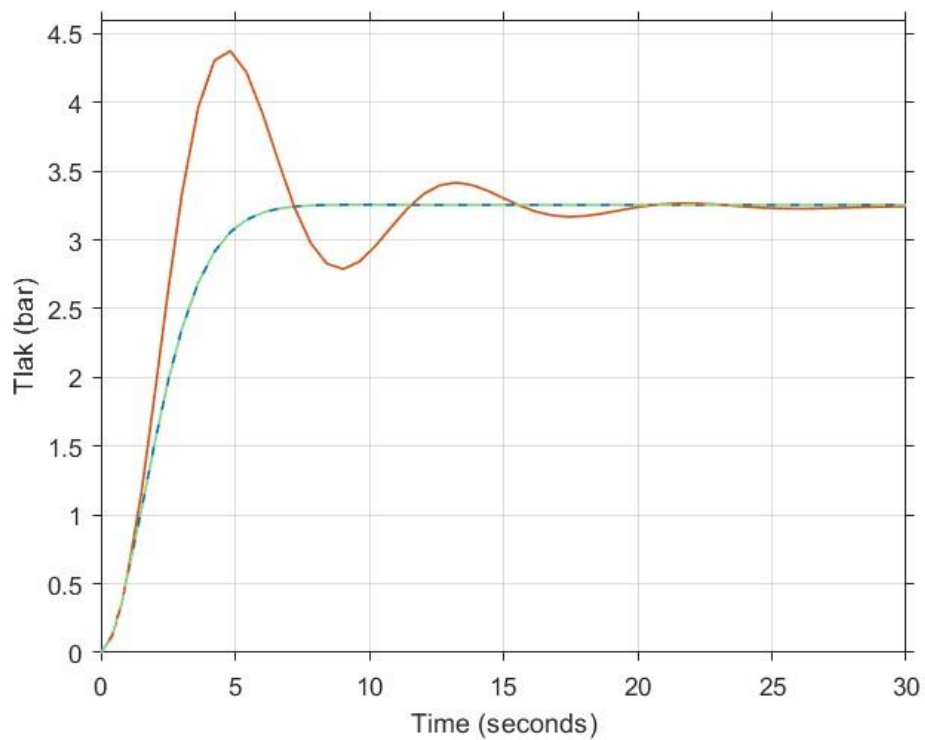


**Slika 4.7.** Prijelazna funkcija zatvorenoga kruga Kiselgur filtra.

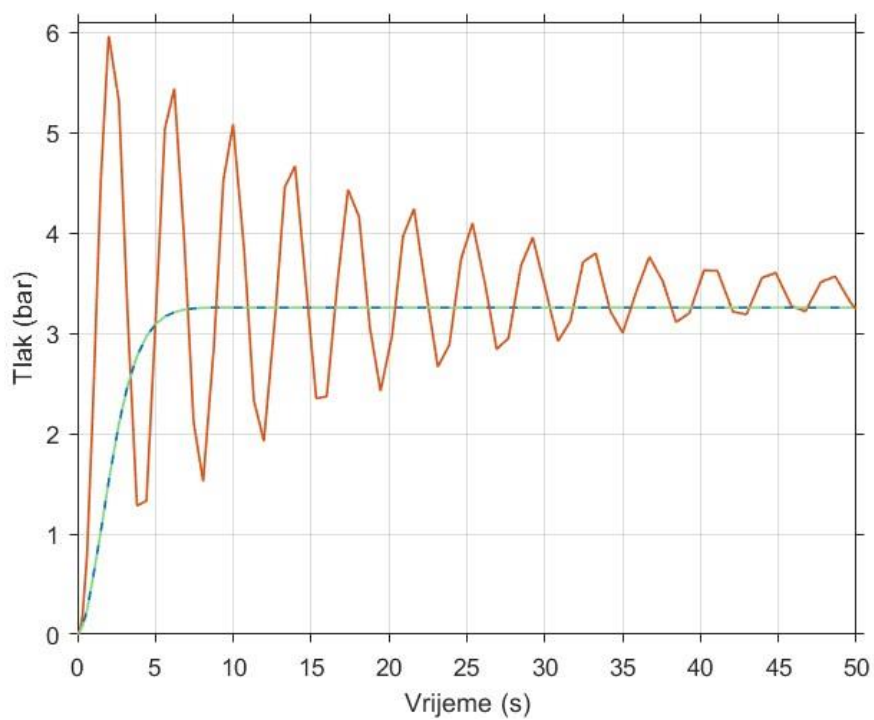
Parametri regulatora, određeni na jedan od načina opisan u prethodnom poglavlju, upisuju se unutar bloka regulator. U ovom slučaju korišten je blok model PID regulatora. Uzet je idealni oblik regulatora a ne realni, te je vremensko području kontinuirano.



**Slika 4.8.** Parametri regulatora dobiveni Cohen-Coon metodom uneseni u blok PID.



**Slika 4.9.** Odziv zatvorenoga kruga Kieselgur filtra s regulatorom parametriranim po Cohen-Coon metodi.



**Slika 4.10.** Odziv zatvorenoga kruga Kieselgur filtra s regulatorom parametriranim po Ziegler-Nichols metodi.

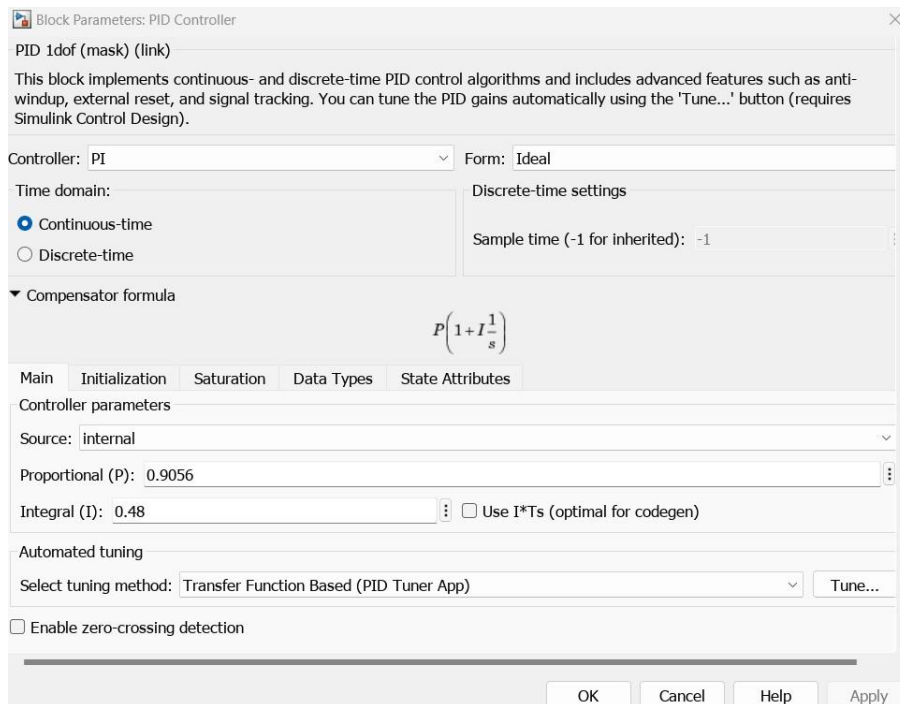
Na dijagramima 4.9. i 4.10. nalaze se dva odziva. Crvenom bojom označeni su odzivi zatvorenoga kruga kada je korišten regulator parametriran po jednoj od metoda, dok je zelenom bojom označena prijelazna funkcija zatvorenoga kruga Kiselgur filtra gdje PI-regulator ima pojačanje 1, a integralnu konstantnu 0.

**Tablica 4.1.** Tablica usporedbe pokazatelja kakvoće regulacije.

Pokazatelji kavkoće regulacije	Ziegler-Nichols – prijelazna funkcija	Cohen-Coon
$t_r$ – vrijeme porasta	0,5s	3,85s
$t_{\varepsilon-3\%}$ – vrijeme smirivanja	47s	20s
$t_m$ – vrijeme maksimalnog prebačaja	1,9s	4,7s
$\sigma_m$ – maksimalno nadvišenje	80,3%	32,88%
$e_o$ - trajno regulacijsko odstupanje	10,91%	2,33%
$t_o$ – period prigušenih oscilacija	4s	8,7s

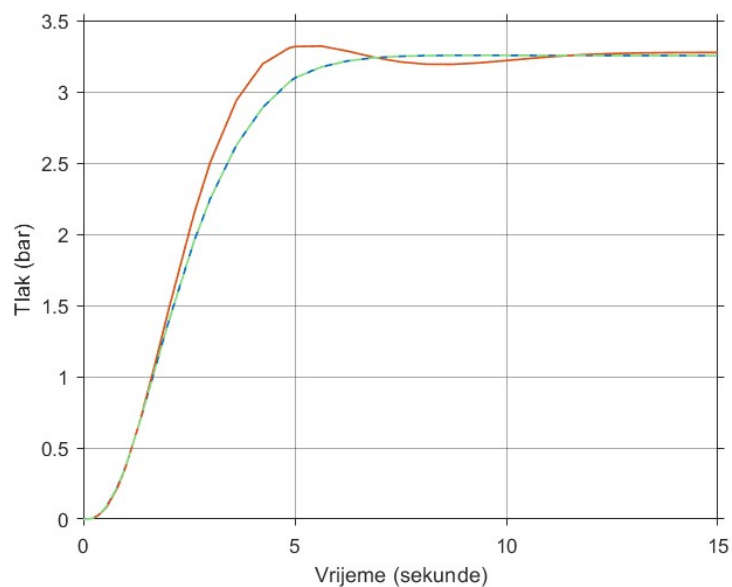
Relativni koeficijent prigušenja  $\zeta$  određuje se prema slici 3.4. Za Cohen-Coon metodu relativni koeficijent prigušenja iznosi 0,36 a za Ziegler-Nichols metodu iznosi 0,04. Korijeni sustava su konjugirano-kompleksni parovi. Odziv je prigušeno oscilatorni. Vlastita frekvencija titranja  $\omega_n$  sustava za Cohen-Coon metodu iznosi 1,43 rad, a za Ziegler-Nichols metodu 3,31 rad.

Na temelju pokazatelja bolja regulacija je dobivena korištenjem Cohen-Coon metode sinteze regulatora. Iako je vrijeme porasta znatno više, relativni koeficijent prigušenja, trajno regulacijsko odstupanje te maksimalno nadvišenje znatno su bolji nego u slučaju korištenja Ziegler-Nichols metode. Ziegler-Nichols i Cohen-Coon su iskustveni postupci, te je potrebno fino podešavanje parametara regulatora radi postizanje željene kakvoće regulacije od 0.7.



**Slika 4.11.** Podešeni parametri regulatora uneseni u blok PID.

Radi postizanja odgovarajuće kakvoće regulacije, I djelovanje se smanjuje za 0.5474 dok P djelovanje ostaje isto što rezultira smanjivanjem trajnog regulacijskog odstupanja.



**Slika 4.12.** Odziv zatvorenoga kruga Kiselgur filtra s podešenim parametrima regulatora.

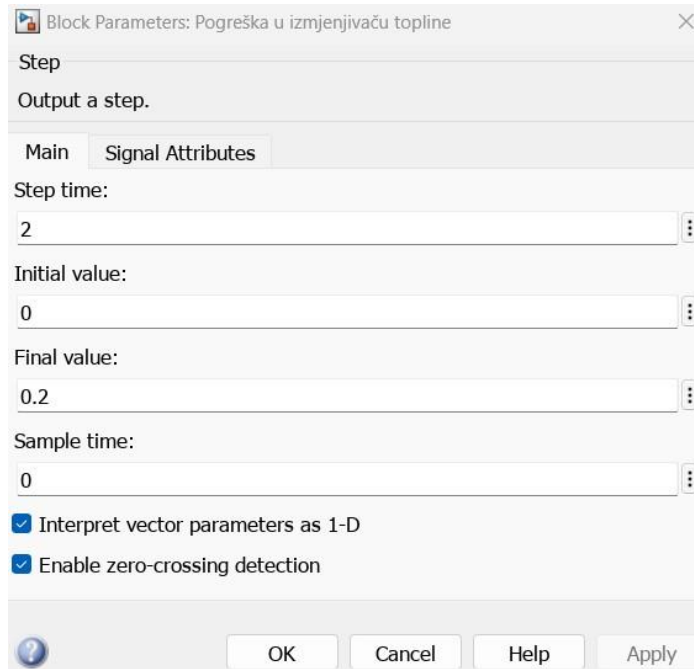
Na slici 4.12. nalaze se dva odziva. Crvenom bojom označen je odzivi zatvorenoga kruga sa podešenim regulatorom, dok je zelenom bojom označena prijelazna funkcija zatvorenoga kruga Kiselgur filtra gdje P-regulator ima pojačanje 1.

**Tablica 4.2.** Tablica pokazatelja kavoće regulacije.

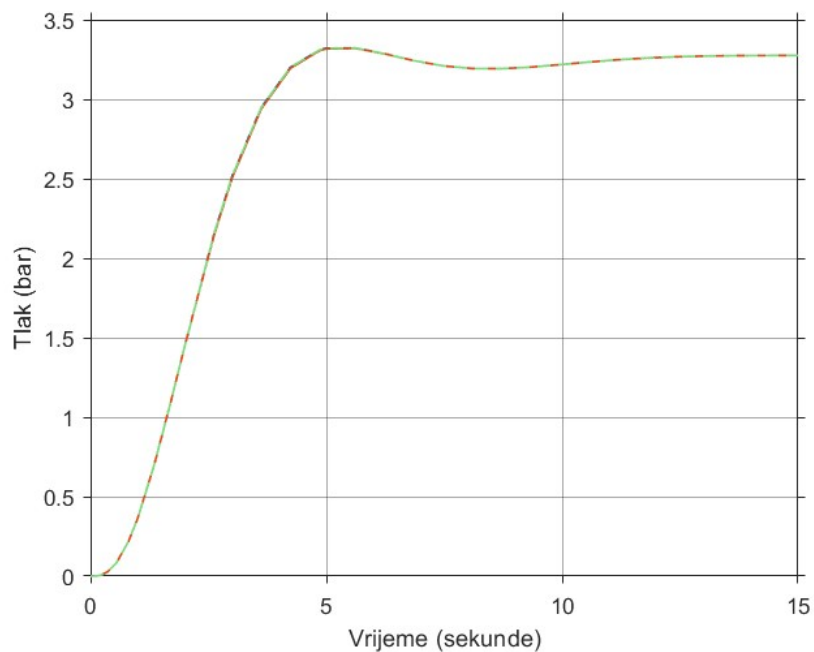
Pokazatelji kavkoće regulacije	Podešeni parametri
$t_r$ – vrijeme porasta	4s
$t_{\varepsilon-3\%}$ – vrijeme smirivanja	12s
$t_m$ – vrijeme maksimalnog prebačaja	4,96s
$\sigma_m$ – maksimalno nadvišenje	3,03%
$e_o$ - trajno regulacijsko odstupanje	1%
$t_o$ – period prigušenih oscilacija	7s

Relativni koeficijent prigušenja  $\zeta$  određuje se prema slici 3.4. Relativni koeficijent prigušenja iznosi 0,74 dok je željeni relativni koeficijent prigušenja 0,7. Maksimalno nadvišenje iznosi 3,4 bar-a dok je dopušteno nadvišenje 4,5 bar-a, vrijeme smirivanja mora biti manje od jedne minute te trajno regulacijsko odstupanje mora biti manje od 5%. Prema zahtjevima tehnologa proizvodnje performanse regulacijskog kruga su zadovoljavajuće.

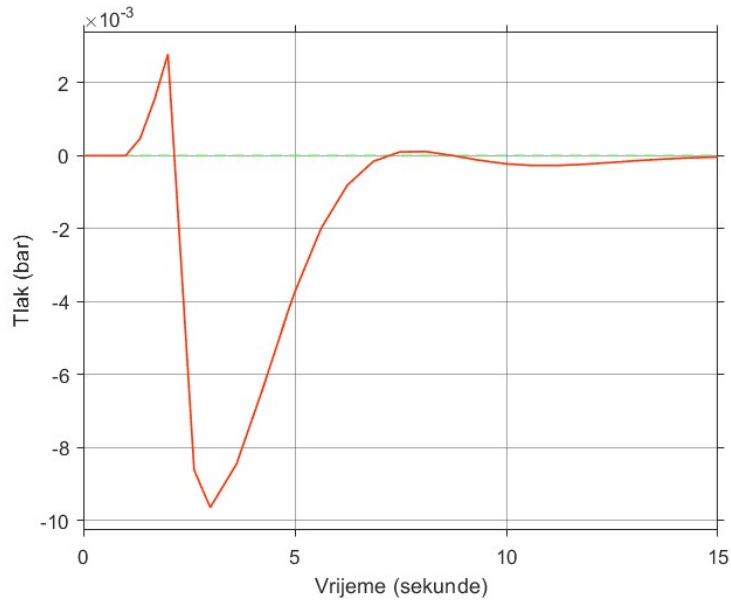
U sustavu postoje dva izvora poremećaja te je potrebno ispitati dali će performanse regulacijskog kruga biti zadovoljavajuće u slučaju njihovog nagloga porasta. Za simulacije će se koristiti dvostruko veće amplitude poremećaja od onih što su dobivene računanjem u prethodnom poglavlju te će se umjesto kombinacije blokova *ramp* i *saturation* koristiti *step* blok. Dok kombinacija *ramp* i *saturation* blokova predstavlja porast poremećaja u stvarnim uvjetima, *step* blok se koristi za ispitivanje kakvoće regulacije u slučaju naglog skoka poremećajne veličine.



**Slika 4.13.** Parametri step bloka korištenog u Simulink simulacijskom modelu regulacijskog kruga u slučaju pogreške u izmjenjivaču topline.



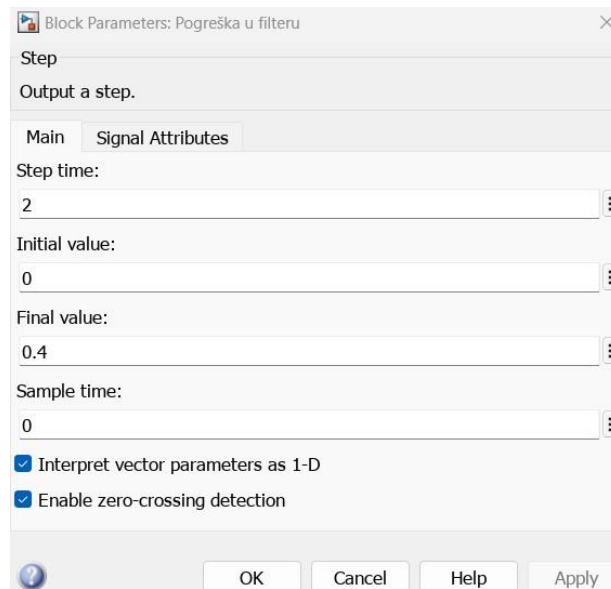
**Slika 4.14.** Odziv zatvorenoga kruga Kieselgur filtra s podešenim parametrima regulatora u usporedbi sa odzivom pri pogrešci u izmjenjivaču topline.



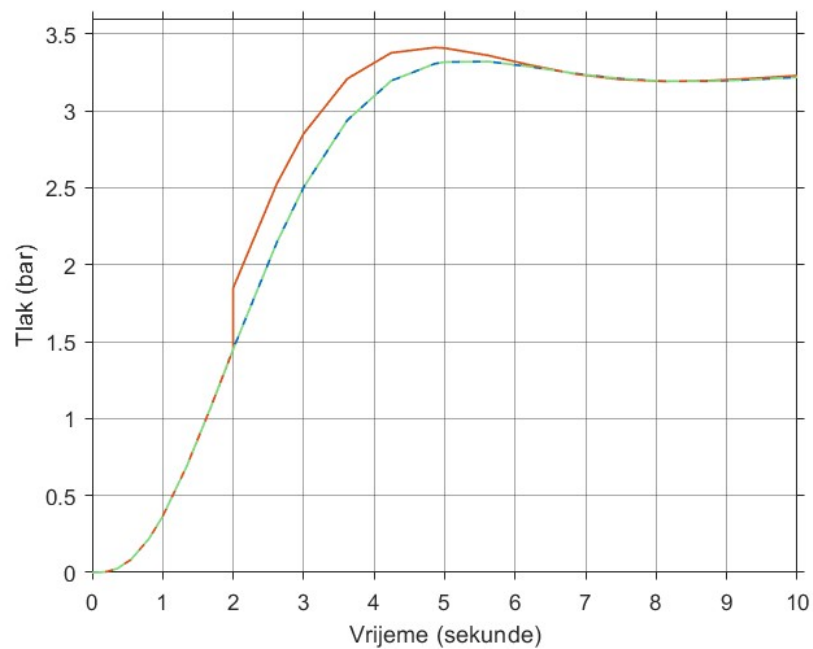
**Slika 4.15.** Razlika odziva zatvorenoga kruga Kiselgur filtra u slučaju pogreške u izmjenjivaču topline.

Crvenom bojom na slici 4.14. prikazan je odziv zatvorenog kruga Kiselgur filtra pri normalnom radu, a zelenom bojom označen je odziv u slučaju naglog porasta poremećajne veličine u izmjenjivaču topline. Na slici 4.15. prikazana je razlika tlakova kroz vrijeme između karakteristike odziva pri normalnom radu i u slučaju naglog porasta poremećajne veličine. Zbog malih razlika u iznosima tlakova na izlazu, slika 4.15. je korisna radi boljeg uvida u promjenu razlike tlakova kroz vrijeme. Pri porastu protoka za 2hl/h tlak na izlazu kruga će se najviše promijeniti za 0.01 bar. Relativni koeficijent prigušenja iznosi 0,74 dok je željeni relativni koeficijent prigušenja 0,7. U slučaju naglog porasta poremećajne veličine u izmjenjivaču topline regulator će reagirati na vrijeme te neće doći do znatnog narušavanja kakvoće regulacije.

Osim poremećaja u izmjenjivaču topline, poremećajna veličina se pojavljuje i u Kiselgur filtru. Za simulaciju naglog porasta poremećaja u filtru također je korišten *step* blok te amplituda poremećaja dvostruko veća od one dobivene računanjem u prethodnom poglavlju. Poremećaj se pojavljuje nakon dvije sekunde rada kruga te ima amplitudu od 0.4 bar-a.

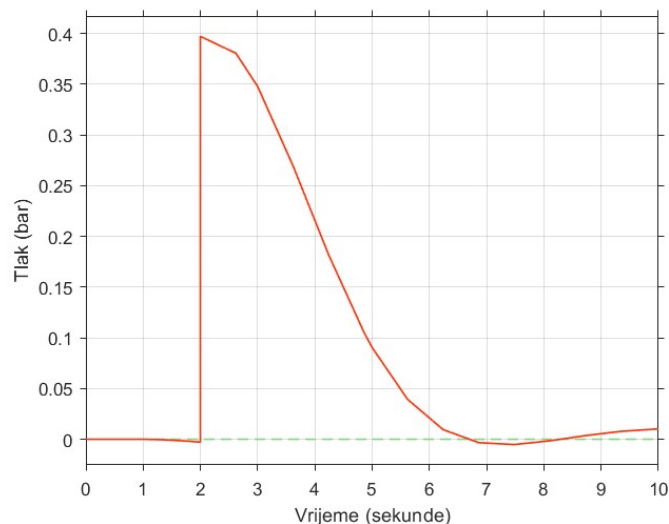


**Slika 4.16.** Parametri step bloka korištenog u Simulink simulacijskom modelu regulacijskog kruga u slučaju pogreške u filteru.



**Slika 4.17.** Odziv zatvorenoga kruga Kieselgur filtra s podešenim parametrima regulatora u usporedbi sa odzivom pri pogrešci u filteru.





**Slika 4.18.** Razlika odziva zatvorenoga kruga Kiselgur filtra u slučaju pogreške u filtru.

Crvenom bojom na slici 4.17. prikazan je odziv zatvorenog kruga Kiselgur filtra pri normalnom radu, a zelenom bojom označen je odziv u slučaju naglog porasta poremećajne veličine u filtru. Na slici 4.18. prikazana je razlika tlakova kroz vrijeme između karakteristike odziva pri normalnom radu i u slučaju naglog porasta poremećajne veličine. Zbog malih razlika u iznosima tlakova na izlazu, slika 4.15. je korisna radi boljeg uvida u promjenu razlike tlakova kroz vrijeme. Pri porastu tlaka u filteru za 0.4 bar-a tlak na izlazu kruga će se najviše promijeniti za 0.4 bar.

**Tablica 4.3.** Tablica pokazatelja kakvoće regulacije u slučaju naglog porasta poremećajne veličine u filtru.

Pokazatelji kavkoće regulacije	Podešeni parametri
$t_r$ – vrijeme porasta	4,2s
$t_{\varepsilon-3\%}$ – vrijeme smirivanja	12s
$t_m$ – vrijeme maksimalnog prebačaja	4,96s
$\sigma_m$ – maksimalno nadvišenje	4,55%
$e_o$ - trajno regulacijsko odstupanje	1%
$t_o$ – period prigušenih oscilacija	7s

Relativni koeficijent prigušenja iznosi 0,15 dok je željeni relativni koeficijent prigušenja 0,7. Maksimalno nadvišenje iznosi 3,45 bar-a dok je dopušteno nadvišenje 4,5 bar-a, vrijeme smirivanja mora biti manje od jedne minute te trajno regulacijsko odstupanje mora

biti manje od 5%. Prema zahtjevima tehnologa proizvodnje performanse regulacijskog kruga su i dalje zadovoljavajuće u slučaju naglog porasta poremećajne veličine u filtru. Nagli porast poremećajne veličine u filtru utječe znatno više na kakvoću regulacije nego poremećaj u izmjenjivaču topline. Razlog tomu je što se filter nalazi na kraju regulacijskoga kruga, te će poremećaji stvoreni na njemu izazvati veću promjenu na izlaznoj karakteristici zatvorenoga kruga.

## 4.2. Braumat simulacija Kiselgur filtra

Prvi dio praktičnoga dijela diplomskoga rada je popunjavanje excel tablica s odgovarajućim podacima. U excel tablicama su se na odgovarajuće liste unosili elementi s P&ID sheme te se opis elemenata nalazio u PCB listama. U PCB listama se nalazi popis svih korištenih elemenata te njihovih adresa. Uz to su prikazane sheme instalacija pivovare. N.O. ventil je ventil koji je prije dolaska signala na njega otvoren te se dolaskom signala zatvara. Uobičajeni filteri rade na suprotan način. Prije dolaska signala na njih su zatvoreni te se tek nakon dolaska signala otvaraju. Svaki tip elemenata imao je svoju posebnu tablicu u excelu. Ventili su se nalazili u tablici ICM-2 dok su tipa u ICM-1 motori i crpke. Nakon unosa imena elementa u excel tablicu, potrebno je iz PCB listi zapisati opis toga elementa te u slučaju ventila njihov aktivacijski signal Q, feedback ON signal (za otvaranje ventila) te feedback OFF (za zatvaranje ventila). U listu DFM0 unose se brojači. Za liste DFM1-DFM4 se unose parametri sa int vrijednostima a za liste od DFM5-DFM8 se unose elementi s realnim vrijednostima. Najvažniji dijelovi excel lista su:

- 1) ICM-1 – crpke i motori,
- 2) ICM-2 – regulacijski ventili i n.o. ventili,
- 3) ICM-3 – double seat ventili,
- 4) ICM-4 – crpke i motori,
- 5) VLT – frekvencijski pretvarači,
- 6) AIN – mjeraci tlaka, protoka, temperature, razine tekućine...,
- 7) TIMER – timeri i level switchevi,
- 8) DFM – brojači, parametri s int vrijednostima, parametri s realnim vrijednostima,
- 9) EPE-INI – lista u kojoj se navode koraci koji moraju biti zadovoljeni kako bi proces otišao u idući korak.

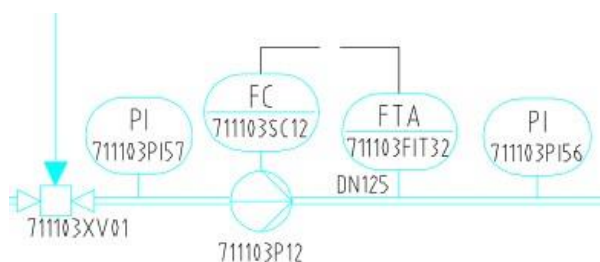
	AS	COMPONENT	ADDRESS					TYPICAL #	AS	COMPONENT	ADDRESS					TYPICAL #
			Main valve Q	valve energized I	valve deenergized I	Upper seat Q	Lower seat Q				Main valve Q	valve energized I	valve deenergized I	Upper seat Q	Lower seat Q	
		01A	71.11.01SV31	1120.2	1120.0			5		01B	71.14.01SV31	1120.3	1120.1			5
		02A	71.11.01XV05	1121.5	1121.4	1121.5		1		02B	71.14.01XV04	1137.5	1137.4	1137.5		1
		03A	71.11.01XV09	1121.1	1121.0	1121.1		1		03B	71.14.01XV05	1137.1	1137.0	1137.1		1
		04A	71.11.01XV14	1122.5	1122.4	1122.5		1		04B	71.14.01XV09	1138.5	1138.4	1138.5		1
		05A	71.11.01XV16	1122.1	1122.0	1122.1		1		05B	71.14.01XV10	1138.1	1138.0	1138.1		1
		06A	71.11.01XV28	1123.5	1123.4	1123.5		1		06B	71.14.01XV14	1139.5	1139.4	1139.5		1
		07A	71.11.01XV29	1123.1	1123.0	1123.1		1		07B	71.14.01XV16	1139.1	1139.0	1139.1		1

Slika 4.19. PCB dokumentacija pivovare.

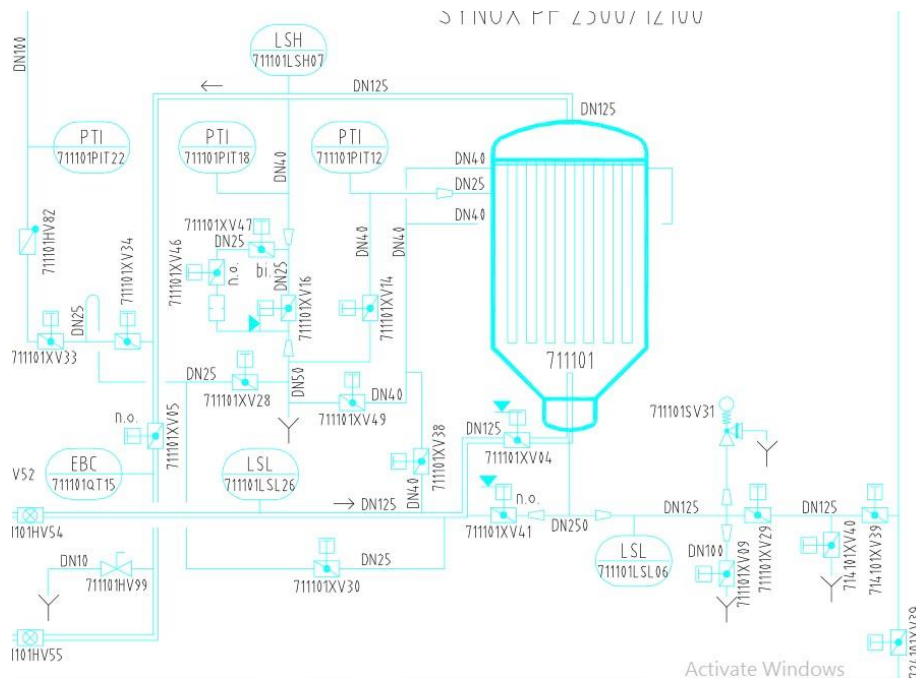
Def	No	NAME	Sequence	Ref/Ctrl	Image	Addr	Loc	Desc
Total f								
Filter	ICM-Nr	ICM-Name	Assigned plant section	Reference to control mode	Image where ICM displayed	Address	Location	Description
E	1	71_11_03P12	3	#REF1	demo bik	#REF1	KGF_1	KGL - Product pump
E	2	71_11_02P12	4	M 10 0	demo bik	Cmd=M128.1;lock=M256.1;Fbk1=I12.5;Fbk0=-;Ctrl=-	KGDT_1	KGDT - Agitator motor
E	65	ICM1_65	0	M 10 0	demo bik	Cmd=M136.0;lock=M264.0;Fbk1=-;Fbk0=-;Ctrl=-	Location ICM1 65	Description ICM1 65
E	66	71_11_02M14	4	Q20.2	demo bik	Cmd=M136.1;lock=M264.1;Fbk1=I21.0;Fbk0=-;Ctrl=Q20.2	KGDT_1	KGDT - Desing pump
E	67	ICM1_67	0	M 10 0	demo bik	Cmd=M136.2;lock=M264.2;Fbk1=-;Fbk0=-;Ctrl=-	Location ICM1 67	Description ICM1 67

Slika 4.20. ICM-1 lista.

Cijelo postrojenje dano je u oblike P&ID sheme te se postrojenje rastavlja na više funkcionalnih dijelova. Unutar diplomskoga rada unose se elementi za 4. dio (kiselgur filter) i 5. dio (dosimat) postrojenja. Na P&ID shemi se prvo locira element, te se određuje u koji dio postrojenja ga je potrebno unijeti (4 ili 5 u ovom slučaju). Na slikama 4.21. i 4.22. prikazani su dijelovi postrojenja u P&ID shemi te se vide adrese pojedinih elemenata. Važno je unijeti ispravnu adresu radi komunikacije PLC-a sa odgovarajućim uređajem. Pumpa, cooler i kiselgur filter spadaju u 4. dio postrojenja dok je KG dosimat sam 5. dio postrojenja. Slike svih excel lista nalaze se u prilogu 1. Nakon popunjavanja lista, potrebno je otvoriti MACRO excel listu za prijenos podataka iz excela na IOS sustava te je idući korak izrada scada sustava u braumatu.



Slika 4.21. Crpka u P&ID shemi.








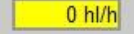
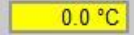

**Slika 4.22.** Kiselgur filter u P&ID shemi.

Braumat je softver razvijen od strane Siemens za industriju pivarstva koji pruža mogućnosti kontrole procesa i automatizacije sustava. Kontroleri se u braumatu dodaju odlaskom na tools tab te sa padajućeg izbornika klikom na control. Zatim se u izborniku odabere kontroler. Potrebno je odabrati odgovarajući PCU gdje se element nalazi ( za ovaj dio rada je to riječ PCU09 ili PCU10 ). Zatim sa pronade adresa elementa te učita odgovarajući simbol. Za početak je potrebno pogledati P&ID shemu te utvrditi gdje će se koja komponenta nalaziti na Braumat shemi. Uz kiselgur filter na shemi su se nalazi securoks tank, hladnjak, dosimat tank...

Najbrojnije komponente su ventili te izrada sheme započinje sa njihovim dodavanjem. Ventili se dodaju klikom na variables te izborom control. Zatim se odabere mjesto na shemi gdje se ventil želi postaviti. Nakon toga otvori se novi izbornik gdje je potrebno odabrati valves/motors. Kada se otvori izbornik upisuje se ime željenog ventila i odabire odgovarajući simbol. Iako enzim dozing nije u okviru diplomskoga rada, njegovi se elementi postavljaju na braumat shemu. Razlog tomu je preglednost ostalih shema što isto uvijek treba imati na obziru. Nakon postavljanja svih elemenata na shemu ostalo je za kraj testirati ispravnost sheme. Testiranje se vrši radi provjere adresa pojedinih elemenata te radi provjere jesu li svi elementi na broju u konačnoj shemi. Ukoliko element ima krivu adresu dobiti će input signal

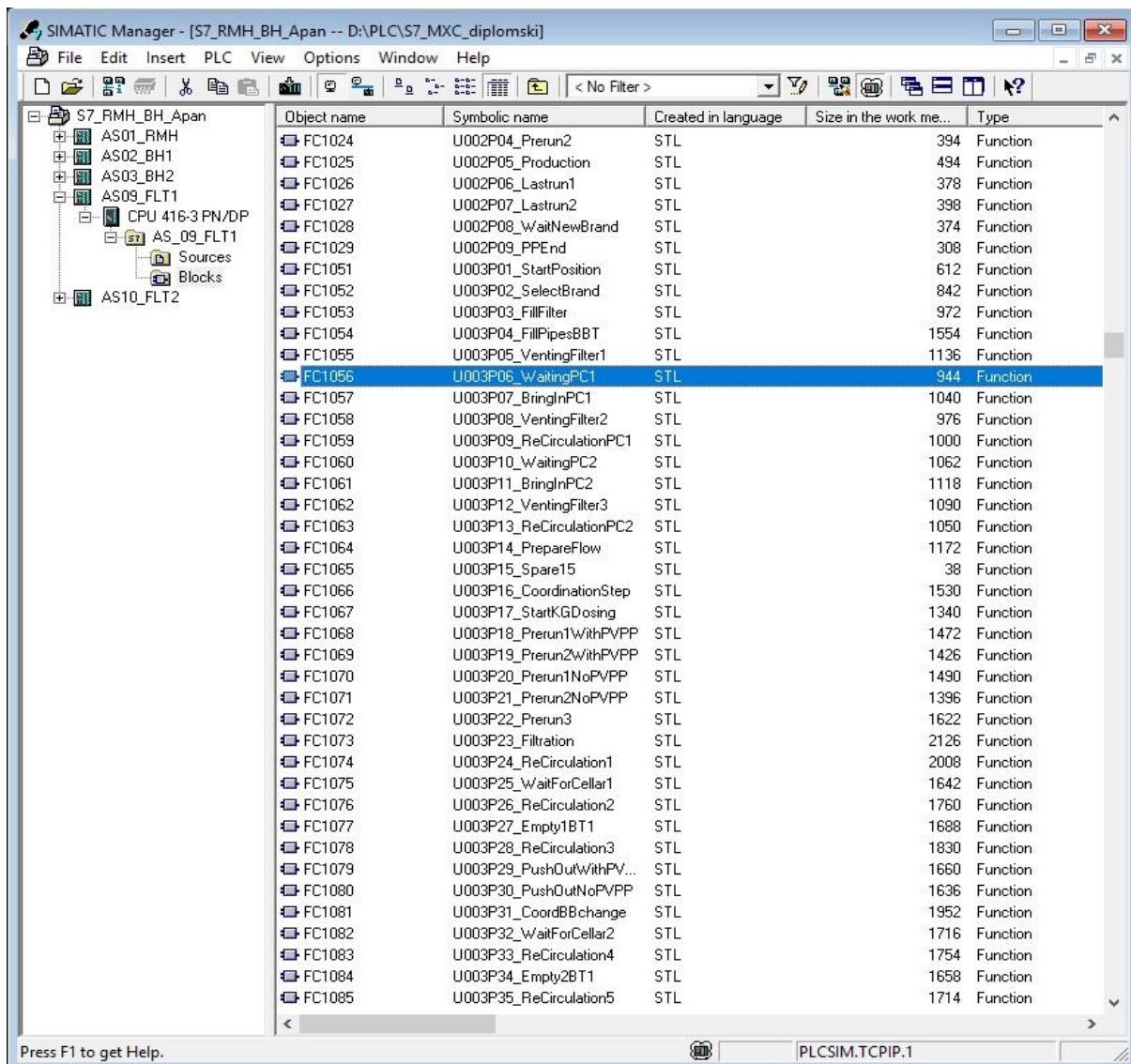
u krivom trenutku te je stoga potrebno izvršiti provjeru. Braumat shema sustava nalazi se u prilogu 2.

**Tablica 4.4.** Popis elemenata korištenih za izradu Braumat sustava.

Simboli elemenata u Braumat sustavu	Naziv i opis elementa
	Regulacijski ventil – ventil koji vodi ukoliko je na njega doveden impuls
	Normaly open regulacijski ventil – ventil koji je otvoren ukoliko na njemu nije doveden impuls
	Double seat ventil – ventil koji ima dva stanja ovisno o tome koji je impuls doveden na njega
	Crpka – unutar pivovara postoje pumpe za protok piva, vode, glikola...
	Level switch – sklopka koja reagira ovisno o razini tekućine u cijevima (pivo ili voda, ovisno o položaju)
	Mjerač protoka – uređaj koji mjeri protok piva u cijevi ali postoje i uređaji za mjerenje protoka vode, zraka, glikola...
	Mjerač temperature – uređaj koji mjeri temperaturu u ključnim dijelovima postrojenja
	Mjerač tlaka – uređaj koji mjeri tlak u ključnim dijelovima postrojenja

Nakon izrade sheme sustava u Braumatu slijedi programiranje koraka u pivovari. Optimalna interakcija svih alata za programiranje i funkcija uključenih u projekt omogućuje visoku kvalitetu postrojenja i proizvodnje, kao i smanjenje troškova puštanja u rad i rada. Osnova je softver Symatic koji pruža podršku u svim fazama projekta. Objekti u Symatic manageru mogu biti funkcija (FC), funkcijski blok (FB) te organizacijski blok (OB). Funkcija (FC) i funkcijski blok (FB) koriste se za optimizaciju korisničkog programiranja. Glavna upotreba FC i FB je podjela i organiziranje korisničkog programa u manje dijelove koji se mogu lako razumjeti te pomaže u održavanju i rješavanju problema. Funkcija (FC) je logički blok bez memorije. Ovaj blok korisnik može kreirati i pozvati onoliko puta koliko je potrebno. Funkciji možemo dodijeliti različite parametre kao što su In, Out, In-Out, Temp. Privremene varijable definirane u FC-u pohranjuju se u lokalni skup podataka koji će se izgubiti nakon izvršenja FC-a. Funkcijski blok (FB) je logički blok s memorijom. Ovaj blok također može kreirati korisnik i pozivati onoliko puta koliko je potrebno. Razlika je u tome što kad god pozovemo funkcijski blok (FB), on stvara DB kao svoju memoriju. Ovaj DB se naziva blok podataka instance. Također možemo dodijeliti različite parametre u funkcijskom bloku kao In, Out, In-Out, Temp i Stat, što je dodatni parametar u FB-u. Podaci spremljeni u

bloku podataka instance ne gube se nakon izvođenja FB-a. Međutim, privremeni podaci pohranjeni su u lokalnom skupu podataka koji se gubi nakon izvođenja FB-a. Organizacijski blokovi (OB) su sučelje između operativnog sustava i korisnika. Pozivaju se od strane operacijskog sustava te kontroliraju pokretanje, procesiranje i obradu pogrešaka. Svi organizacijski blokovi imaju prioritet koji je između 1 i 26. Organizacijski blokovi sa višim prioritetom mogu prekinuti rad onih sa nižim prioritetom.



Slika 4.23. SIMATIC Manager.

Kiselgur filter ima 122 koraka od početka proizvodnje do kraja. Od tih 122 isprogramirani su koraci od 1 (Start Position) do 33 (Recirculation 1). Za potrebe programiranja koristi se programski jezik SCL. SCL (Structured Control Language) je tekstualno programiranje visoke razine jezik koje se temelji na PASCAL-u. Uz elemente

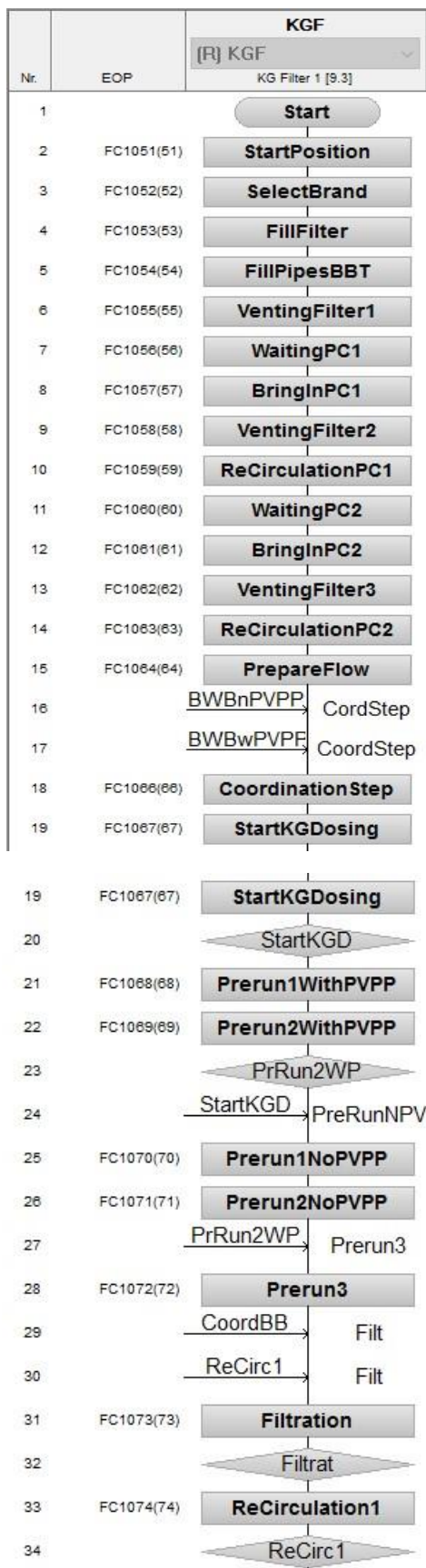
programskoga jezika visoke razine, SCL također uključuje elemente jezika tipične za PLC-ove kao što su ulazi, izlazi, mjerači vremena, bitna memorija, blokovi pozive itd. Drugim riječima, SCL nadopunjuje i proširuje STEP 7 softver za programiranje. Na slici 30. prikazane su funkcije KG filtra koje kreću od funkcije 1051 pa do funkcije 1173. Svaka funkcija ima svoje vrijeme trajanja nakon koje prelazi u idući korak u slučaju da su svi uvjeti zadovoljeni. Ukoliko uvjeti nisu zadovoljeni, pale se alarmi te ukoliko se razlozi paljenja alarma ne uklone sustav odlazi u stanje zvano power failure. Nakon otklanjanja problema sustav se ponovno pokreće te ispočetka počinje korak u kojemu je nastupio power failure.

Na slici 4.24. prikazani su neki od koraka pri filtraciji piva. Na slici je vidljivo vrijeme trajanja koraka koje znatno varira između koraka. Najdulji je korak odabir tipa piva pri pokretanju proizvodnje i traje 1000 sekundi. Uz vrijeme vidljivi su i setpointi pojedinog koraka. Svi setpointi trebaju biti zadovoljeni kako bi proces otišao u idući korak. Za korak fill filter nužno je da level switch koji je iznad kiselgur filtera ima impuls 7 sekundi, to jest da je cijev kroz koju prolazi pivo puna 7 sekundi. Uz taj setpoint još je potrebno da su pumpe od kiselgur filtra i dosimata u radu 50 sekundi.

Step	EOP ID	Name/ROP ID	Time	Setpoint 1	Setpoint 2	Setpoint 3	Setpoint 4	Setpoint 5	ε ^
3	52	SelectBrand	Time	BitMaskU003 [-]					
		143	1000:00:00	BF(00000000)					
4	53	FillFilter	Time	BitMaskU003 [-]	TimeLSH [s]	PumpFSP_KGD [s]	PumpFSP_KGF [s]		
		196	00:06:00	BF(00000000)	7	50.0	50		
5	54	FillPipesBBT	Time	BitMaskU003 [-]	Volume [hl]	PumpFSP_KGF [s]	PumpFSP_ENZYM ...	PumpFSP_BT2 [s]	PumpFSP_BT2 [s]
		197	00:30:00	BF(00000000)	100.0	35	50.0	25.0	
6	55	VentingFilter1	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]	MOF1_10_96 [Num]	
		198	00:10:00	BF(00000000)	3	1300	2.0	3	
7	56	WaitingPC1	Time	BitMaskU003 [-]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]			
		199	00:20:00	BF(00000000)	1300	3.0			
8	57	BringInPC1	Time	BitMaskU003 [-]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]			
		200	00:15:00	BF(00000000)	1300	3.0			
9	58	VentingFilter2	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]		
		201	00:00:10	BF(00000000)	2	1300	3.0		
10	59	ReCirculationPC1	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	Turb25_FLT [Min.]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]	
		202	00:20:00	BF(00000000)	720	0.0	1300	3.0	
11	60	WaitingPC2	Time	BitMaskU003 [-]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]			
		203	00:07:00	BF(00000000)	1300	3.0			
12	61	BringInPC2	Time	BitMaskU003 [-]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]			
		204	00:20:00	BF(00000000)	#	#			
13	62	VentingFilter3	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]		
		205	00:00:10	BF(00000000)	2	#	#		
14	63	ReCirculationPC2	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	Turb25_FLT [Min.]	Turb90_FLT [Min.]	FlowSP_KGF [hl/h]	Temp1SP_KGF [°C]
		206	00:25:00	BF(00000000)	720	2.0	2.0	#	
15	64	PrepareFlow	Time	BitMaskU003 [-]	StepTimeU003 [sec]	PressSP_KGF [Min.]	Temp1SP_KGF [°C]		
		207	00:10:00	BF(00000000)	5	7.5	3.0		

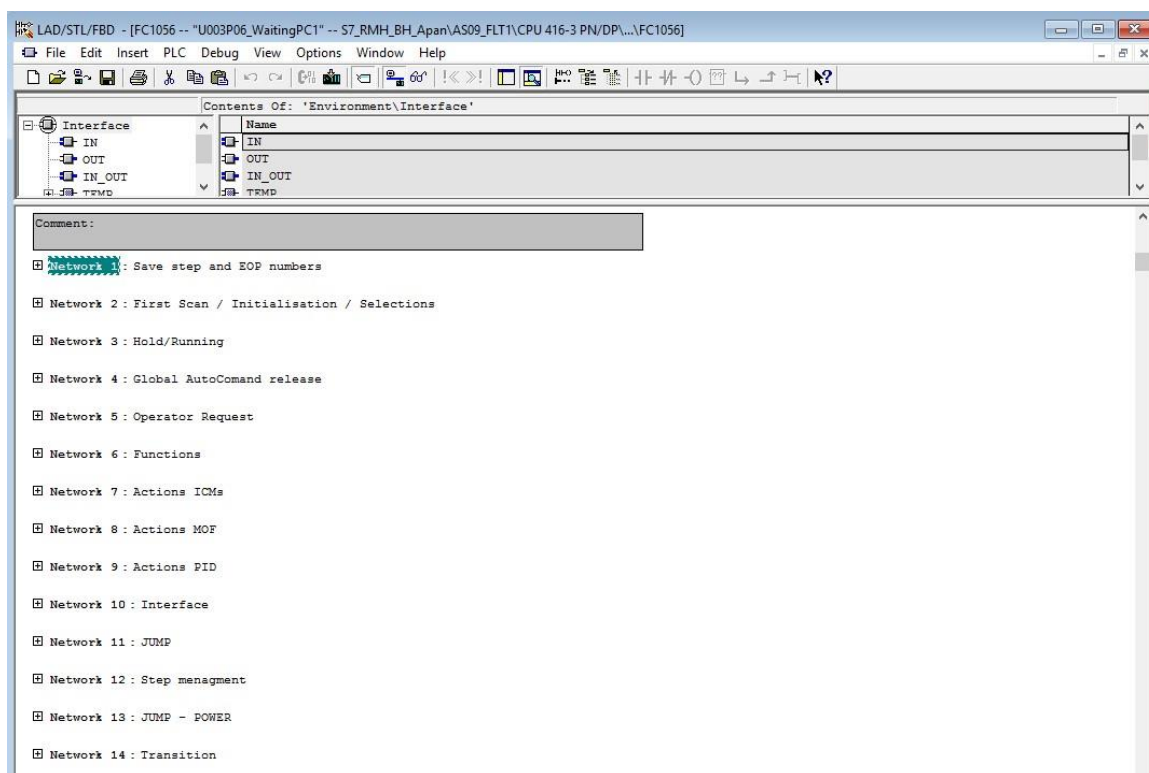
Slika 4.24. Vrijeme izvršavanja pojedinih koraka i njihovi setpointi.





Slika 4.25. Recept za filtraciju piva.

Na slici 4.26. nalazi se jedan od recepata za filtraciju piva. Ovisno o vrsti piva (Heiniken, Buddweiser, Corona...) potrebno je primijeniti drugi recept za proizvodnju. Razlike u receptima mogu biti vrijeme trajanja pojedinog koraka, različita struktura koraka (različit raspored koraka) te različiti uvjeti za završetak koraka.



Slika 4.26. Networki u koraku Waiting precoat 1.

Od 24 isprogramirana koraka u receptu za primjer je uzet korak Waiting precoat 1. Waiting precoat 1 je šesti korak po redu te unutar tog koraka se čeka dolazak kiselgur praha iz dosimata. Kiselgur prah koji dolazi iz dosiamata pri prolasku kroz svijeće u filteru zapinje u rupama koje vode iz filtera jer su komadi praha preveliki, te se na taj način stvara površina za filtriranje. Koraci imaju između 12 i 16 networka u filtraciji, što može biti različito za druge dijelove postrojenja. Svaka funkcija se obrađuje 0.1 sekundu te se networki obrađuju jedan po jedan. Svrha rastavljanja koda u više networka je radi lakšega snalaženja, što znatno pomaže pri otklanjanju pogrešaka. Neke od najvažniji operacija su:

- 1) A – and, provjera jeli stanje adrese bita u “1” te kao izlaz daje RLO. Ukoliko ima više uvijeta, svi moraju biti zadovoljeni kako bi RLO bio 1.
- 2) AN – and not, provjerava jeli stanje adrese bita u “0” te kao izlaz daje RLO.
- 3) O – or, od više navedenih uvijeta, barem jedan mora biti zadovoljen kako bi rezultat bio “1”

RLO je rezultat logičke operacije, taj bit je zadužen za dodavanje logike svakom networku.

Prvi network u svim koracima je Save step and EOP numbers. Prvo je potrebno definirati privremene varijable iStep i iEop. Znak T ispred #iStep i #iEOP znači da se radi tranfer u te varijable. Te varijable su definirane u “Temp” varijablama kao što je prikazano na slici 4.28. TAK između varijabli iStep i iEOP je spremnik podataka u PLC-u. Na kraju networka 1 se nalazi dio u kojemu se resetiraju stanja svih bistabila kako bi bili u neutralnoj poziciji prilikom pokretanja idućega koraka. Radi preglednosti, neki od manje bitnih networka i uputa u FDS dokumentaciji nalaze se prilogu 3.

```

Network 1: Save step and EOP numbers
T #iStep #iStep
TAK
T #iEOP #iEOP
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "U003_Data".Prod.P06 DB3003.DBX20.6 -- EOP 0056: KGF_P06 - Waiting step Precoat 1
L 6
T "usrBM_DB_UTILITY".u[3].LastEOP DB2999.DBW16 -- EOP number in production steps
A "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
JCN jSTO
L "SEQ".u.iStep DB725.DBW116 -- Current step number
T "usrBM_DB_UTILITY".u[3].PreviousProcEOPNum DB2999.DBW18 -- Order number in procedure for previous step
jSTO: NOP 0
L 1
T "U003_Data".StepManagement.MaxStepNumInGOP DB3003.DBW44
//Bitmask
L MD 688
CAD
T DB3003.DBBD 48
// Reset bistabil valves aux bits
SET
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
R "U003_Data".Data.BI_SpareV1 DB3003.DBX74.0 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_71_10_01KV05 DB3003.DBX74.1 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_71_10_01KV01 DB3003.DBX74.2 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_71_11_03KV05 DB3003.DBX74.3 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_71_11_01KV47 DB3003.DBX74.4 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_SpareV6 DB3003.DBX74.5 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_SpareV7 DB3003.DBX74.6 -- bistabil Valve active in previous step
R "U003_Data".Data.BI_SpareV8 DB3003.DBX74.7 -- bistabil Valve active in previous step

```

Slika 4.27. Network 1 koraka Waiting precoat 1.

Contents Of: 'Environment\Interface\TEMP'				
	Name	Data Type	Address	Comment
IN	iStep	Int	0.0	
OUT	iEOP	Int	2.0	
IN_OUT				
TEMP				
RETURN				

Slika 4.28. Temporary varijable iStep i iEOP.

Network 5 se naziva operator request. Svrha operator requesta je obavještanje operatora na scadi sustava te je za daljnji rad potrebna potvrda operatora da je zaprimio poruku. Unutar operator requesta može se nalaziti i potreba za odlukom, tipa ukoliko je potrebno promijeniti temperaturu na hladnjaku.

```

Network 5: Operator Request
A      "EopStart"           M102.2      -- EOP start command
AN     "EopStop"           M102.3      -- EOP stop command
A      "RLO0"              M97.0       -- Always FALSE
S      "OperatorRequest"   M101.6      -- Operator request
  
```

**Slika 4.29.** Network 5 koraka Waiting precoat 1.

U networku 7 nalaze se funkcije u koraku waiting precoat 1. Jedina funkcija pri ovom koraku je ona koja mjeri vrijeme pojedinog step-a (u ovom koraku postoje dva step-a).

```

Network 6: Functions
AN     "EopStop"           M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_RUN_OK"   M1944.2     -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
=      "DFM-StepTimeU003-REL" M2760.2     -- DFM1.003: Step time - release time
  
```

**Slika 4.30.** Network 6 koraka Waiting precoat 1.


Unutar networka 7 definirana su stanja ventila prilikom tog koraka. Na slikama 4.32. , 4.33. i 4.34. FDS dokumentacije nalaze se uvjeti pojedinog koraka. Slovom I označi se svi ventili koji trebaju biti uključeni. To se jedino ne odnosi na N.O. ventile (normaly open) jer ukoliko nemaju slovo I znači da trebaju biti otvoreni, a ukoliko imaju impuls, trebaju se zatvoriti. RLO0 označava da N.O. ventil uvijek mora biti otvoren dok RLO1 označava da N.O. ventil mora uvijek biti zatvoren. Osim toga kod coolera postoje dva zahtijeva koja ne smiju biti ispunjena, ti zahtjevi se odnose na mjerače temperature prije ulaza u hladnjak te nakon izlaza iz hladnjaka. Ukoliko nema protoka kroz hladnjak, oni neće raditi te je potrebno zatvoriti ventile hladnjaka.

```


Network 7: Actions ICMs
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
O      "71_10_01XV01_A_AC"                        M193.2     -- ICM 3.011_AC: PT1-Hauptleitung DAW Einlauf - auto activate
)
=      "71_10_01XV01_A_AC"                        M193.2     -- ICM 3.011_AC: PT1-Hauptleitung DAW Einlauf - auto activate
S      "U003_Data".Data.BI_71_10_01XV01         DB3003.DBX74.2 -- bistabil Valve active in previous step
//KGF
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO0"                                      M97.0      -- Always FALSE
=      "71_11_03XV04_NO_AC"                      M162.1     -- ICM 2.018_AC: KGL_1 - KGF inlet - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO1"                                      M108.1     -- Always TRUE
=      "71_11_03XV05_NO_AC"                      M162.2     -- ICM 2.019_AC: KGL_1 - KGF to PVFP filter - auto activate
S      "U003_Data".Data.BI_71_11_03XV05         DB3003.DBX74.3 -- bistabil Valve active in previous step
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
=      "71_11_03P12_AC"                          M128.0     -- ICM 1.001_AC: KG line pump - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
=      "71_11_03XV11_AC"                        M192.1     -- ICM 3.002_AC: KGL-kleiner Kreislauf - auto activate
//Cooler 1
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
AN      "usrMOF".MOF11_26_64.LOCK_71_22_01XV04   DB3900.DBX10500.4
AN      "usrMOF".MOF11_26_64.LOCK_71_22_01XV05   DB3900.DBX10500.5
=      "71_22_01XV04_AC"                        M164.2     -- ICM 2.035_AC: KGF_1 - Cooler 1 inlet - auto activate
=      "71_22_01XV05_AC"                        M164.3     -- ICM 2.036_AC: KGF_1 - Cooler 1 outlet - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO1"                                      M108.1     -- Always TRUE
AN      "usrMOF".MOF11_26_64.AC_71_22_01XV10_NO   DB3900.DBX10500.6
=      "71_22_01XV10_NO_AC"                    M164.4     -- ICM 2.037_AC: KGF_1 - Cooler 1 bypass - auto activate
//KG Filter
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
=      "71_11_01XV04_AC"                        M160.1     -- ICM 2.002_AC: KGF_1 - KGF Inlet distributor - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO0"                                      M97.0      -- Always FALSE
=      "71_11_01XV41_NO_AC"                    M161.4     -- ICM 2.013_AC: KGF_1 - KGF bottom inlet - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO0"                                      M97.0      -- Always FALSE
=      "71_11_01XV05_NO_AC"                    M160.2     -- ICM 2.003_AC: KGF_1 - KGF Outlet filter - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
=      "71_11_01XV28_AC"                      M160.6     -- ICM 2.007_AC: KGF_1 - KGF air supply leakage - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO0"                                      M97.0      -- Always FALSE
=      "71_11_01XV46_NO_AC"                    M161.5     -- ICM 2.014_AC: KGF_1 - KGF power failure (n.o.) - auto activate
//Sludge
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
=      "71_41_01XV40_AC"                      M188.0     -- ICM 2.225_AC: KGF 1 to Sludge tanks drain - auto activate
//Securox
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO1"                                      M108.1     -- Always TRUE
=      "71_14_01XV10_NO_AC"                    M163.0     -- ICM 2.025_AC: KGF_1 - Securox bypass 1 (n.o.) - auto activate
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO1"                                      M108.1     -- Always TRUE
=      "71_14_01XV23_NO_AC"                    M163.3     -- ICM 2.028_AC: KGF_1 - Securox bypass 1 (n.o.) - auto activate
//BT2
AN      "EopStop"                                M102.3      -- EOP stop command
A      "SEQU003_INIT_OK"                          M1928.2    -- SEQU003_INIT_OK: KG Filter 1 - initial position sequence
A      "RLO0"                                      M97.0      -- Always FALSE
=      "71_10_03XV37_NO_AC"                    M171.3     -- ICM 2.092_AC: POSL_1 - BT 2 CO2 CIP bypass BT 2 L1 (n.o.) - auto activate

```


Slika 4.31. Network 7 koraka Waiting precoat 1.

FC number		Step number	FC	SN	<b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland 
FC	SN				
6	Waiting step Precoat 1				
7	Bring in Precoat 1				
			71 1001XV05	BT 1 outlet 1 (bi)	
			71 1001XV01	BT 1 DAW supply (bi)	
			71 1103XV21	KGF big re-circulation	
			71 1103XV59	KGF to BBT	
			71 1103XV04	KGF inlet (n.o.)	
			71 1103XV05	KGF to PVPP Filter (bi)	
			71 1103XV11	KGF small re-circulation	
			71 1103XV01	KGF cold water	
			71 1103P12	KGF pump	
			71 2201XV04	Cooler 1 inlet	
			71 2201XV05	Cooler 1 outlet	
			71 2201XV10	Cooler 1 bypass(n.o.)	
			71 1102P12	KG dosing pump	
			71 1102XV04	KGD to dosing pump	
			71 1102XV05	KG PC inlet/bypass	
			71 1102XV09	KGD drain	
			71 1102XV29	KGD outlet	
			71 1102XV30	KGD KG supply	
			71 1101XV04	KGF inlet distributor	
			71 1101XV41	KGF bottom inlet (n.o.)	
			71 1101XV05	KGF outlet filter (n.o.)	

Slika 4.32. FDS lista – ventili 1.

FC number		Step number	FC	SN	<b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland 
FC	SN				
6	Waiting step Precoat 1				
			71 1101XV33	KGF air supply 1	
			71 1101XV34	KGF airtsupply 2	
			71 1101XV28	KGF air supply leakage	
			71 1101XV38	KGF spray bar	
			71 1101XV46	KGF power failure (n.o.)	
			71 1101XV47	KGF power failure (bi)	
			71 1101XV49	KGF vent spray bar	
			71 1101XV81	KGF air supply bypass pressure	
			71 410XV40	KGF 1 to Sudge tanks drain	
			71 410XV39	KGF 1 to Sudge tanks	

Slika 4.33. FDS lista – ventili 2.

FC number		Step number	FC	SN	<b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland 
FC	SN				
6	Waiting step Precoat 1				
			71 1303XV10	PVPP bypass(n.o.)	
			71 1003XV04	BT 2 inlet	
			71 1003XV09	BT 2 drain	
			71 1003XV16	BT 2 vent	
			71 1003XV17	BT 2 inlet CIP	
			71 1003XV23	BT 2 CO2 Supply 1	
			71 1003XV24	BT 2 CO2 inlet	
			71 1003PSV75	BT 2 CO2 Pressure release	
			71 1003XV37	BT 2 CO2 CIP bypass BT 2 L1 (n.o.)	
			71 1701P12	BT 2 pump	

Slika 4.34. FDS lista – ventili 3.

U networku 8 nalaze se MOF-ovi koraka to jest kontrolni dijelovi. U ovom networku nalaze se uvjeti za kontrolu protoka, agitatora, tlaka te u slučaju problema, mogućnost odlaska u power failure.

```

Network 8: Actions MOF
// ===== MOF =====
//KG Dosing
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF1_11_80.REQ  DB3900.DBX1060.0 -- MOF025:1-11.80 KG Desimat Agitator control
//KGF
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF1_12_10.REQ  DB3900.DBX1260.0 -- MOF030:1-12.10 KGF Min. filtration flow
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF1_12_11.REQ  DB3900.DBX1300.0 -- MOF031:1-12.11 KGF Min. filter flow
//Cooler
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF11_26_60.REQ  DB3900.DBX4060.0 -- MOF100:11-26.60 Cooler 1 pressure controle
=   "usrMOF".MOF11_26_64.REQ  DB3900.DBX10500.0 -- MOF261: 11-26.64 Cooler 1 Max. differential pressure
//POWER
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF1_99_35.REQ   DB3900.DBX8820.0 -- MOF219:1-99.35 Power failure KG-Filter production

```

Slika 4.35. Network 8 koraka Waiting precoat 1.

U networku 9 nalaze se svi PID regulatori koji trebaju raditi u specifičnom koraku. Pri koraku waiting precoat 1 radi PID regulator zadužen za regulaciju protoka piva kroz cijevi te PID regulator zadužen za regulaciju temperature unutar hladnjaka.

```

Network 9: Actions PID
// ===== PID's =====
AN  "EopStop"                M102.3          -- EOP stop command
=   "usrMOF".MOF1_12_52.REQ  DB3900.DBX1420.0 -- MOF034:1-12.52 KGF Flow regulation (hl/h )
=   "usrMOF".MOF11_26_73.REQ  DB3900.DBX4100.0 -- MOF101:11-26.73 Cooler 1 temperature regulation

```

Slika 4.36. Network 9 koraka Waiting precoat 1.

U networku 10 nalaze se signali koji trebaju biti uključeni pri koraku waiting precoat 1. Za svaki signal je nužno da postrojenje nije zaustavljeno (AN "EopStop") te ukoliko je postrojenje u pogonu aktivira se određeni zahtjev. Taj zahtjev može biti slanje glycola za potrebe hlađenja, zahtjev za enzimima, zahtjev za hmeljom itd. Ukoliko na slikama 4.38. i 4.39. pod određenim signalom stoji samo znak I, jedini je uvjet za izvršenje koraka da postrojenje nije u power failuru. Ukoliko je ispod signala znak BS potrebno je u slučaju pjene specificirati da će se koristiti pjena te tank u kojem se skladišti pjena te posljednji slučaj je kada ispod signala postoji znak B. U tom slučaju uz uvjet da postrojenje nije u zastoju važno je navesti da će se tipa koristiti pjena. Precoat tankovi dobiju request od PLC-a za početak doziranja kiselgura u ovom networku.

```

Network 10: Interface
// ===== Signal exchange =====
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-9944.01" M2329.0 -- FLT>DAW - Demand DAW for Filters
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "U003_Data".IF.DAW_REQ DB3003.DEX56.3
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "SEQU003_RUN_OK" M1944.2 -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
= "U003_Data".IF.DAW_ACT DB3003.DEX56.4

//BT1
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-1016.01" M2301.0 -- KGF>BT1 - Demand BT 1 for production

//Cooler 1
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_11-2689.01" M2322.0 -- COOL1>GLY - Glycol Start supply

//Precoat
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "ToPLC10".IF.toPC1.Coos_11_1014_01 DB4010.DEX22.0 -- From KGL1 - Demand PC1
= "ToPLC10".IF.toPC1.Coos_11_1014_02 DB4010.DEX22.1 -- From KGL1 - Demand PC1 transfer

//Enzyme
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useEnzyme DB3003.DEX76.2 -- Brand dependent
A "U003_Data".Data.Sel_EnzymeTank1 DB3003.DEX75.0
= "Coos_11-1039.01" M2311.0 -- KGF>ENZY1 - Demand Protease/Enzyme 1

AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useEnzyme DB3003.DEX76.2 -- Brand dependent
A "U003_Data".Data.Sel_EnzymeTank2 DB3003.DEX75.1
= "Coos_12-1039.01" M2312.0 -- KGF>ENZY2 - Demand Protease/Enzyme 2

//FVPP
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useFVPP DB3003.DEX76.1 -- Brand dependent
= "Coos_1-1030.01" M2308.0 -- KGF>FVPP - Start MP 02 FVPP Filter

//Hop
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useHOP DB3003.DEX76.4
= "Coos_13-1039.01" M2313.0 -- KGF>HOP - Demand Hop for dosing

- - -

//Blender
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-1037.01" M2310.0 -- KGF>BLEND - Demand Blending for production

//Foam dosing 1
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useFoam DB3003.DEX76.3 -- Brand dependent
A "U003_Data".Data.Sel_FoamTank1 DB3003.DEX75.3
= "Coos_14-1039.01" M2315.0 -- KGF>FOAM1 - Demand Foamstabiliser 1
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
A "U003_Data".Data.useFoam DB3003.DEX76.3 -- Brand dependent
A "U003_Data".Data.Sel_FoamTank2 DB3003.DEX75.4
= "Coos_15-1039.01" M2316.0 -- KGF>FOAM2 - Demand Foamstabiliser 2


//Carbonator
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-1027.01" M2307.0 -- KGF>CARB - Demand Carbonator for production

//PLT
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-1020.01" M2303.0 -- KGF>PLT - Demand PLT

//BBT
AN "EopStop" M102.3 -- EOP stop command
= "Coos_1-1021.01" M2304.0 -- KGF>BBT - Demand BBT for production

```

Slika 4.37. Network 10 koraka Waiting precoat 1.


FC	Step number	Step name	Signal exchange
		<b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland 	
6	Waiting step Precoat 1		Demand DAW for Filters Demand BT 1 for production BT 1 stand by BT 1 empty BT 1 brand change BT 1 last run BT 1 refilling Glycol start supply Glycol stop supply Demand PC 1 Demand PC 1 transfer Demand PC 2 & BF Demand PC 2 transfer Demand Sludge tank 1 for filling Demand Sludge tank 2 for filling Demand Protease/Enzyme 1 Protease/Enzyme 1 start dosing Protease/Enzyme 1 dosing stand by Protease/Enzyme 1 dosing end Demand Protease/Enzyme 2 Protease/Enzyme 2 start dosing Protease/Enzyme 2 dosing stand by Protease/Enzyme 2 dosing end Start MP 02 PVPP Filler Start PVPP regulation Start big re-circulation Start small re-circulation with KGF
7	Bring in Precoat 1		

Slika 4.38. FDS Lista – signal exchange 1.



FC number		Step name	Step number	
6		Waiting step Precoat 1	B	I
7		Bring in Precoat 1	B	I

**Bucher Unipektin AG**  
Competence Center Filtration  
Moosmühlestr. 8  
CH-9000 St. Gallen  
Switzerland



Demand Hop for production  
Hop start dosing  
Hop dosing stand by  
Hop dosing end  
Demand Blending for Production  
Blending start  
Blending stand by  
Blending finish  
Demand Foamstabiliser 1  
Foamstabiliser 1 start dosing  
Foamstabiliser 1 dosing stand by  
Foamstabiliser 1 dosing end  
Demand Foamstabiliser 2  
Foamstabiliser 2 start dosing  
Foamstabiliser 2 dosing stand by  
Foamstabiliser 2 dosing end  
Demand Carbonator for Production  
Carbonator start  
Carbonator stand by  
Carbonator finish  
Carbonator open Valve 711702L CV08 100%  
Glycol start supply  
Glycol stop supply  
Demand PLT  
PLT start dosing  
PLT standby dosing  
PLT end  
Demand BBT for Production

Slika 4.39. FDS Lista – signal exchange 2.

U networku 12 nalaze se stepovi pri koraku waiting precoat 1. Stepovi su definirani radi raspodjele naredbi. Nakon što su sve naredbe iz step 1 izvršene, sustav odlazi u step 2.

```

Network 12: Step managment
AN      "EopStart"                M102.2      -- EOP start command
A       "SEQU003_RUN_OK"          M1944.2     -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
A       "U003_Data".StepNum.Step_1 DB3003.DBX46.0
A       "RLO0"                   M97.0       -- Always FALSE
S       "U003_Data".StepManagement.NextStep DB3003.DBX42.0

// step 2 end cond
AN      "EopStart"                M102.2      -- EOP start command
A       "SEQU003_RUN_OK"          M1944.2     -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
A       "U003_Data".StepNum.Step_2 DB3003.DBX46.1
A       "RLO0"                   M97.0       -- Always FALSE
S       "U003_Data".StepManagement.NextStep DB3003.DBX42.0

```

Slika 4.40. Network 12 koraka Waiting precoat 1.

U networku 13 je opisan jump power failure. Ukoliko je alarm u sustavu aktiviran, sustav iz sigurnosnih razloga “skače” u power failure. Nakon što je uzrok aktivacije alarma otklonjen, sustav se vraća u korak gdje je alarm bio aktiviran.

```

Network 13: JUMP - POWER
// **** jump to (FC1114 - PowerFailure) ****

AN      "EopStart"                M102.2      -- EOP start command
A       "usrMOF".MOF1_99_35.REQ    DB3900.DBX8820.0 -- MOF219:1-99.35 Power failure KG-Filter production
A       "usrMOF".MOF1_99_35.ALARM DB3900.DBX8820.1 -- MOF219:1-99.35 Power failure KG-Filter production
JCN     JPPF
L       "usrEM_DB_UTILITY".KGF_EOPNum_PowerFailure DB2999.DBW512 -- FC 1114 PowerFailure - ROP position in procedure
T       "SEQ".u.iNewStep          DB725.DBW114 -- Next step number
SET
BEU
JPPF: NOP 0

```

Slika 4.41 Network 13 koraka Waiting precoat 1.

Transition je posljednji network u svim koracima te su u njemu napisani uvjeti za prijelaz u idući korak recepta. U slučaju koraka Waiting precoat 1 ne smije biti aktiviran EopStart (pokretanje koraka), mora biti aktiviran SEQU003\_RUN\_OK što znači da je sustav trenutno u radu, te od PLC-a 10 je potrebno dobiti potvrdu da je kiselgur prah tražen, da je prah spreman za transport te da je prah u transportu.

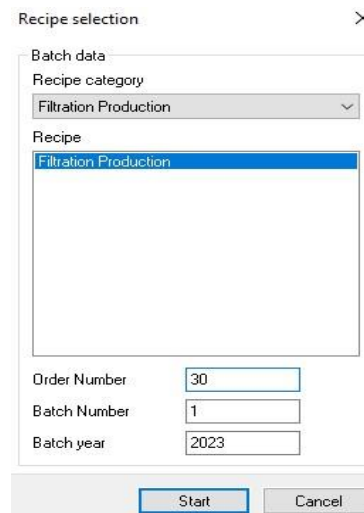
```

Network 14: Transition
AN  "EopStart"                M102.2      -- EOP start command
A   "SEQU003_RUN_OK"         M1944.2     -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
A   "ToPLC10".IF.toPC1.Coos_11_1014_02  DB4010.DBX22.1 -- From KGL1 - Demand PC1 transfer
A   "FromPLC10".IF.toKGF1.PC1.Coos_11_1410_01 DB4060.DBX22.0 -- To KGL1 - PC 1 ready for transfer
A   "FromPLC10".IF.toKGF1.PC1.Coos_11_1410_02 DB4060.DBX22.1 -- To KGL1 - PC 1 in transfer

```

Slika 4.42. Network 14 koraka Waiting precoat 1.

Po završetku programiranja odlaskom u Braumat moguće je pokrenuti jedan od receptata za proizvodnju piva. Za početak proizvodnje traži se broj narudžbe, serijski broj te godina proizvodnje.



Slika 4.43. Odabir recepta u braumatu.

Na slici 4.44. nalazi se tablica akcija u braumat sustavu. Ikona bijele ruke predstavlja pauziranje procesa proizvodnje dok crni kvadrat predstavlja potpuno gašenje. Ukoliko alarm bude upaljen, to će biti vidljivo na displayu te će ubrzo nakon toga status sustava prijeći iz running u paused. Klikom na ikonu play sustav se opet pokreće nakon pauze te nastavlja izvršavati sekvencu.

		SID	Sequence	Status	Display	Step	ID	Name	Time	D.-No	B.-No	R.-Type	Recipe
⏏	▶	3	KG Filter 1	Running	A+	3	52	SelectBrand	00:00:25	30	1	Filtration Product	Filtration Product
⏏	▶	4	KG Dosimat Tank 1	Running	A+	2	164	EPE 51	00:00:55	30	1	Dosing Product	Dosing Product

**Slika 4.44.** Tablica braumat akcija.

Nakon pokretanja sustav odlazi u korak dva koji je seleckija tipa piva. Izvršavanjem svih uvjeta koraka dva, proizvodnja odlazi u korak tri. Zadnji korak u proizvodnji je 122 te njegovim izvršenjem završava proces proizvodnje piva.

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskoga rada je bio objasniti način rada pivovare te usporediti metode za određivanje parametara PI regulatora. Iako su u pitanju pivovare, Ziegler-Nichols metoda i Cohen-Coon metoda primjenjive su u svim granama industrije gdje je potrebno parametrirati regulatore te je stoga rad koristan inženjerima generalno. Praktičan dio rada u braumatu može se primijeniti u izradi budućih projekata te je podloga za daljnji nastavak rada u toj grani industrije, jer se u njemu nalaze interdisciplinarna znanja (elektronika, programiranje, kemija...). Najznačajniji dio rada je usporedba metoda parametriranja te na temelju odziva, određivanje koja je metoda prikladnija za ovo postrojenje. Na temelju rezultata, Cohen-Coon metoda daje bolje rezultate u ovom slučaju. Za postizanje željene kakvoće regulacije bilo je potrebno još ručno podesiti parametre kako bi se postigao relativni koeficijent prigušenosti od 0,7. Također je ispitvano vladanje zatvorenoga regulacijskoga kruga Kiselgur filtra u slučaju naglog porasta poremećajnih veličina. U slučaju naglog porasta regulator djeluje na vrijeme te kakvoća regulacije nije znatno promijenja. Poremećaj u filtru znatno više utječe na kakvoću regulacije nego poremećaj u izmjenjivaču topline. Razlog tomu je što se poremećajna veličina u filtru nalazi na samom kraju regulacijske staze. Daljnji nastavak rada na ovu temu može biti u obliku razvoja metode za automatsko podešavanje PI regulatora ili praktična izrada modela kiselgur filtra. Kroz ovaj rad studenti dobivaju uvid u korake nužne za implementiranje sustava regulacije u industriji.

## LITERATURA

1. Dennis E. Briggs, Chris A. Boulton, Peter A. Brookes and Roger Stevens, Brewing Science and practice, 2004
2. <https://essentiallyhops.co.uk/hops/> , 5.8.2023.
3. T. Ogunmoroti, Brewing for begginers, Lagos, 2011.
4. <https://beerandbrewing.com/dictionary/b69DWCRC5H/> , 7.8.2023.
5. Joško Petrić, Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2012. Zagreb
6. Petar Crnošija, Toni Bjažić, Osnove automatike prvi dio : Analiza i sinteza kontinuiranih sustava – teorija i primjena, Zagreb, 2011.
7. Prof.dr.sc Nedjeljko Perić, Automatsko upravljanje, predavanja, Zagreb, 2005.
8. Adrian E. Scheidegger, The psysics of flow trough porous media, Toronto, 1974.
9. A. Vagová\* , L Chládek and P. Vaculík, The determination of impact of malt grist moisture on porosity and permeability using measurement of differential air pressure, Prag, 2019.
10. <https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-6-bernoullis-equation>, 12.8.2023.
11. F Isdaryani , F Feriyonika , R Ferdiansyah, Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system, Indonezija, 2020.

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisan je proces proizvodnje piva te je napravljena regulacijska staza za parametrisiranje regulatora kiselgur filtra. Parametri regulatori su projektirani Ziegler Nicholsovom metodom te Cohen Coon metodom. U programskom paketu matlab raspisan je kod oba sustava te su u simulinku blokovski dizajnirani sustavi. Dobiveni odzivi od oba tipa regulatora se uspoređuje te se odlučuje koji je povoljniji u ovom slučaju za regulaciju. Drugi dio praktičnoga dijela ja izrada braumat sustava kieselgur filtra za postojeće postrojenje u Meksiku te programiranje sustava.

**Ključne riječi:** PI regulator, matlab, braumat, pivarstvo, simulink, regulacijska staza

## **ABSTRACT**

### **Pump regulation of a kiselgur filter in a beer filtration system made in Braumat software**

In this thesis, the proces of beer brewing is described and the regulation path for the parametrization of the kiselgur filter regulator is made. The regulator parameters were designed using the Ziegler-Nichols methode and the Cohen Coon method. In the program package matlab the code of both the regulation paths is written and in simulink the systems are designed in a block scheme. The responses obtained from both types of regulatora are compared and then comes the decision which regulator is more favorable in this case of regulation. The second part of the practical assignment is the creation of a braumat kiselguhr filter system for the an existing plant in Mexico and the programming of the system.

**Key words:** PI controller, matlab, braumat, brewing, simulink, control path

## ŽIVOTOPIS

Mirko Mačesić rođen je 8. rujna 1999. godine u Vinkovcima. Osnovnu školu je pohađao u “Osnovna škola Stjepana Antolovića, Privlaka“. Zbog ljubavi prema fizici i elektronici upisuje srednju školu “Tehnička škola Ruđera Boškovića, Vinkovci“. Tijekom školovanja 3 puta je postigao drugo mjesto na županijskom natjecanju iz fizike, jednom drugo mjesto na županijskom natjecanju iz geografije te drugo mjesto na međuškolskom natjecanju u šahu. Nakon završene srednje škole upisuje prediplomski studij elektroenergetike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek koji završava 2021. godine.



# PRILOG 1.

U prilogu 1. nalaze se sve excel tablice koje su popunjene pri izradi rada. Unutar excel tablica nalaze se svi elementi iz 4. (Kiselgur filter) i 5. (Dosimat) dijela postrojenja.

ICM-Nr	ICM-Name	Reference to feedback 0	Reference to feedback 1	Reference to control mode	Image where ICM displayed	Address	Location	Description	Activation	Feedback ON (open, running)	Feedback OFF (closed)	Auto activate
1	71_11_03XV04	11133.1	11133.0	Q1133.1	demo bik	=M160.0.lock=M288.0.Fbk=M1133.0; Fbk=M1133.1.Ctrl=Q11	KGF_1	KGL Hauptleitung Einlauf	Q1133.1	11133.0	11133.1	M160.0
10	71_19_01XV79	11150.5	11150.4	Q1150.5	demo bik	=M161.1.lock=M289.1.Fbk=M1150.4; Fbk=M1150.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGG-Tranferleitung 3 Gully	Q1150.5	11150.4	11150.5	M161.1
11	71_11_02XV20	11130.5	11130.4	Q1130.5	demo bik	=M161.2.lock=M289.2.Fbk=M1130.4; Fbk=M1130.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-DIP Ventilauf Spritzkopf	Q1130.5	11130.4	11130.5	M161.2
12	71_11_02XV30	11132.5	11132.4	Q1132.5	demo bik	=M161.3.lock=M289.3.Fbk=M1132.4; Fbk=M1132.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-Dosimat Einlauf	Q1132.5	11132.4	11132.5	M161.3
13	71_11_01XV41	11219.1	11219.0	Q1219.1	demo bik	=M161.4.lock=M289.4.Fbk=M11219.0; Fbk=M11219.1.Ctrl=Q12	KGF_1	KGF - Boiler inlet valve	Q1219.1	11219.0	11219.1	M161.4
14	71_11_02XV05	11129.5	11129.4	Q1129.5	demo bik	=M161.5.lock=M289.5.Fbk=M1129.4; Fbk=M1129.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-Schnellschwemmung Auslauf	Q1129.5	11129.4	11129.5	M161.5
15	71_11_02XV09	11129.1	11129.0	Q1129.1	demo bik	=M161.6.lock=M289.6.Fbk=M1129.0; Fbk=M1129.1.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-Gully	Q1129.1	11129.0	11129.1	M161.6
16	71_11_02XV29	11131.1	11131.0	Q1131.1	demo bik	=M161.7.lock=M289.7.Fbk=M1131.0; Fbk=M1131.1.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-Dosimat Auslauf	Q1131.1	11131.0	11131.1	M161.7
17	71_11_02XV04	11128.1	11128.0	Q1128.1	demo bik	=M162.0.lock=M290.0.Fbk=M1128.0; Fbk=M1128.1.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-Dosierpumpe Einlauf	Q1128.1	11128.0	11128.1	M162.0
18	71_11_02XV27	11131.5	11131.4	Q1131.5	demo bik	=M162.1.lock=M290.1.Fbk=M1131.4; Fbk=M1131.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGD-CO2 Lanze Reinigung	Q1131.5	11131.4	11131.5	M162.1
19	71_11_01XV33	11124.0	11124.0	Q1124.1	demo bik	=M162.2.lock=M290.2.Fbk=M1124.0; Fbk=M1124.0.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF-Luft Eintritt	Q1124.1	11124.0	11124.0	M162.2
20	71_11_03XV05	11134.5	11134.4	Q1134.5	demo bik	=M160.1.lock=M288.1.Fbk=M1134.4; Fbk=M1134.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGL-Hauptleitung Auslauf	Q1134.5	11134.4	11134.5	M160.1
21	71_11_01XV34	11125.5	11125.4	Q1125.5	demo bik	=M162.3.lock=M290.3.Fbk=M1125.4; Fbk=M1125.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF-Luft Anschluss	Q1125.5	11125.4	11125.5	M162.3
22	71_11_01XV05	11121.5	11121.4	Q1121.5	demo bik	=M162.4.lock=M290.4.Fbk=M1121.4; Fbk=M1121.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF - Main line outlet	Q1121.5	11121.4	11121.5	M162.4
23	71_11_01XV30	11124.5	11124.4	Q1124.5	demo bik	=M162.5.lock=M290.5.Fbk=M1124.4; Fbk=M1124.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF - Gargling enema	Q1124.5	11124.4	11124.5	M162.5
24	71_14_01XV35	11140.1	11140.0	Q1140.1	demo bik	=M187.7.lock=M315.7.Fbk=M1140.0; Fbk=M1140.1.Ctrl=Q11	KGF_1	TRAP - Backwash valve 1	Q1140.1	11140.0	11140.1	M187.7
25	71_14_01XV36	11141.5	11141.4	Q1141.5	demo bik	=M188.0.lock=M316.0.Fbk=M1141.4; Fbk=M1141.5.Ctrl=Q11	KGF_1	TRAP - Backwash valve 2	Q1141.5	11141.4	11141.5	M188.0
26	71_11_01XV28	11123.5	11123.4	Q1123.5	demo bik	=M162.6.lock=M290.6.Fbk=M1123.4; Fbk=M1123.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF - Air inlet leakage	Q1123.5	11123.4	11123.5	M162.6
27	71_11_01XV49	11127.5	11127.4	Q1127.5	demo bik	=M162.7.lock=M290.7.Fbk=M1127.4; Fbk=M1127.5.Ctrl=Q11	KGF_1	KGF - Spray pipe gully	Q1127.5	11127.4	11127.5	M162.7

Slika P1.1. – Excel tablica ICM-2 komponenata prvi dio.

7	Def	No	NAME	RefFld0	RefFld1	RefCrt1	Image	Addr	Loc	Desc				
8	Total													
9	Filter	ICM-Nr	ICM-Name	Reference to feedback 0	Reference to feedback 1	Reference to control mode	Image where ICM displayed	Address	Location	Description	Activation	Feedback ON (open, running)	Feedback OFF (closed)	Auto activate
28	E	24	71_11_01XV49	1127.5	1127.4	Q1127.5	demo bik	=M162.7.lock=M290.7.Fbk1=1127.4; Fbk0=1127.5;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Spray pipe gully	Q1127.5	1127.4	1127.5	M162.7
29	E	246	71_14_01SV31	(NULL)	1120.1	Q1120.3	demo bik	cmd=M190.5.lock=M318.5.Fbk1=1120.1; Fbk0=-;Ctrl=Q1120	KGDT 1	TRAP - Safety valve	Q1120.3	1120.1		M190.5
30	E	25	71_11_01XV38	1125.1	1125.0	Q1125.1	demo bik	=M163.0.lock=M291.0.Fbk1=1125.0; Fbk0=1125.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Spray pipe inlet	Q1125.1	1125.0	1125.1	M163.0
31	E	26	71_11_01XV81	1127.1	1127.0	Q1127.1	demo bik	=M163.1.lock=M291.1.Fbk1=1127.0; Fbk0=1127.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Air Inlet bypass	Q1127.1	1127.0	1127.1	M163.1
32	E	27	71_14_01XV14	1139.5	1139.4	Q1139.5	demo bik	=M163.2.lock=M291.2.Fbk1=1139.4; Fbk0=1139.5;Ctrl=Q11	KGf 1	TRAP - Trubraum Ventilation	Q1139.5	1139.4	1139.5	M163.2
33	E	28	71_11_01XV14	1122.5	1122.4	Q1122.5	demo bik	=M163.3.lock=M291.3.Fbk1=1122.4; Fbk0=1122.5;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf-Trubraum Ventilation	Q1122.5	1122.4	1122.5	M163.3
34	E	29	71_11_01XV16	1122.1	1122.0	Q1122.1	demo bik	=M163.4.lock=M291.4.Fbk1=1122.0; Fbk0=1122.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Vent spout	Q1122.1	1122.0	1122.1	M163.4
35	E	3	71_22_01XV10	1145.1	1145.0	Q1145.1	demo bik	=M160.2.lock=M288.2.Fbk1=1145.0; Fbk0=1145.1;Ctrl=Q11	KGf 1	BK-Bypass	Q1145.1	1145.0	1145.1	M160.2
36	E	30	71_11_01XV46	1126.5	1126.4	Q1126.5	demo bik	=M163.5.lock=M291.5.Fbk1=1126.4; Fbk0=1126.5;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Power failure valve KGF	Q1126.5	1126.4	1126.5	M163.5
37	E	31	71_11_01XV47 A	1126.1	1126.0	Q1146.4	demo bik	=M163.6.lock=M291.6.Fbk1=1126.0; Fbk0=1126.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Power failure valve PPVP	Q1146.4	1126.0	1126.1	M163.6
38	E	32	71_11_01XV09	1121.1	1121.0	Q1121.1	demo bik	=M163.7.lock=M291.7.Fbk1=1121.0; Fbk0=1121.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Drain	Q1121.1	1121.0	1121.1	M163.7
39	E	33	71_11_01XV29	1123.1	1123.0	Q1123.1	demo bik	=M164.0.lock=M292.0.Fbk1=1123.0; Fbk0=1123.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGf - Trub spout	Q1123.1	1123.0	1123.1	M164.0
40	E	34	71_41_01XV40	1142.5	1142.4	Q1142.5	demo bik	=M164.1.lock=M292.1.Fbk1=1142.4; Fbk0=1142.5;Ctrl=Q11	KGf 1	TRUB - Transfer line Gully	Q1142.5	1142.4	1142.5	M164.1
41	E	35	71_41_01XV39	1029.5	1029.4	Q1029.5	demo bik	=M164.2.lock=M292.2.Fbk1=1029.4; Fbk0=1029.5;Ctrl=Q10	KGf 1	TRUB - Transfer line Gully	Q1029.5	1029.4	1029.5	M164.2
42	E	36	71_11_01SV31	(NULL)	1120.0	Q1120.2	demo bik	cmd=M164.3.lock=M292.3.Fbk1=1120.0; Fbk0=-;Ctrl=Q1120	KGf 1	KGf - Safety valve	Q1120.2	1120.0		M164.3
43	E	37	71_11_03XV59	1166.1	1166.0	Q1166.1	demo bik	=M164.4.lock=M292.4.Fbk1=1166.0; Fbk0=1166.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGL - Large circuit barner	Q1166.1	1166.0	1166.1	M164.4
44	E	38	71_14_01XV04	1137.5	1137.4	Q1137.5	demo bik	=M164.5.lock=M292.5.Fbk1=1137.4; Fbk0=1137.5;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Main line inlet	Q1137.5	1137.4	1137.5	M164.5
45	E	39	71_14_01XV10	1138.1	1138.0	Q1138.1	demo bik	=M164.6.lock=M292.6.Fbk1=1138.0; Fbk0=1138.1;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Bypass 1	Q1138.1	1138.0	1138.1	M164.6
46	E	4	71_22_01XV04	1145.5	1144.0	Q1144.1	demo bik	=M160.3.lock=M288.3.Fbk1=1144.0; Fbk0=1144.5;Ctrl=Q11	KGf 1	BK-Hauptleitung Einlauf	Q1144.1	1144.0	1144.5	M160.3

Slika P1.2. – Excel tablica ICM-2 komponenata drugi dio.

7	Def	No	NAME	RefFld0	RefFld1	RefCrt1	Image	Addr	Loc	Desc				
8	Total													
9	Filter	ICM-Nr	ICM-Name	Reference to feedback 0	Reference to feedback 1	Reference to control mode	Image where ICM displayed	Address	Location	Description	Activation	Feedback ON (open, running)	Feedback OFF (closed)	Auto activate
40	E	34	71_41_01XV40	1142.5	1142.4	Q1142.5	demo bik	=M164.1.lock=M292.1.Fbk1=1142.4; Fbk0=1142.5;Ctrl=Q11	KGf 1	TRUB - Transfer line Gully	Q1142.5	1142.4	1142.5	M164.1
41	E	35	71_41_01XV39	1029.5	1029.4	Q1029.5	demo bik	=M164.2.lock=M292.2.Fbk1=1029.4; Fbk0=1029.5;Ctrl=Q10	KGf 1	TRUB - Transfer line Gully	Q1029.5	1029.4	1029.5	M164.2
42	E	36	71_11_01SV31	(NULL)	1120.0	Q1120.2	demo bik	cmd=M164.3.lock=M292.3.Fbk1=1120.0; Fbk0=-;Ctrl=Q1120	KGf 1	KGf - Safety valve	Q1120.2	1120.0		M164.3
43	E	37	71_11_03XV59	1166.1	1166.0	Q1166.1	demo bik	=M164.4.lock=M292.4.Fbk1=1166.0; Fbk0=1166.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGL - Large circuit barner	Q1166.1	1166.0	1166.1	M164.4
44	E	38	71_14_01XV04	1137.5	1137.4	Q1137.5	demo bik	=M164.5.lock=M292.5.Fbk1=1137.4; Fbk0=1137.5;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Main line inlet	Q1137.5	1137.4	1137.5	M164.5
45	E	39	71_14_01XV10	1138.1	1138.0	Q1138.1	demo bik	=M164.6.lock=M292.6.Fbk1=1138.0; Fbk0=1138.1;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Bypass 1	Q1138.1	1138.0	1138.1	M164.6
46	E	4	71_22_01XV04	1145.5	1144.0	Q1144.1	demo bik	=M160.3.lock=M288.3.Fbk1=1144.0; Fbk0=1144.5;Ctrl=Q11	KGf 1	BK-Hauptleitung Einlauf	Q1144.1	1144.0	1144.5	M160.3
47	E	40	71_14_01XV09	1138.5	1138.4	Q1138.5	demo bik	=M164.7.lock=M292.7.Fbk1=1138.4; Fbk0=1138.5;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Drain	Q1138.5	1138.4	1138.5	M164.7
48	E	41	71_14_01XV66	1141.1	1141.0	Q1141.1	demo bik	=M165.0.lock=M293.0.Fbk1=1141.0; Fbk0=1141.1;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Bypass 3 leakage	Q1141.1	1141.0	1141.1	M165.0
49	E	42	71_14_01XV23	1140.5	1140.4	Q1140.5	demo bik	=M165.1.lock=M293.1.Fbk1=1140.4; Fbk0=1140.5;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Bypass 2	Q1140.5	1140.4	1140.5	M165.1
50	E	43	71_14_01XV05	1137.0	1137.0	Q1137.1	demo bik	=M165.2.lock=M293.2.Fbk1=1137.0; Fbk0=1137.0;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Main line outlet	Q1137.1	1137.0	1137.0	M165.2
51	E	44	71_14_01XV16	1139.1	1139.0	Q1139.1	demo bik	=M165.3.lock=M293.3.Fbk1=1139.0; Fbk0=1139.1;Ctrl=Q11	KGDT 1	TRAP - Filtrate venting	Q1139.1	1139.0	1139.1	M165.3
52	E	5	71_18_09XV05	1147.5	1147.4	Q1147.5	demo bik	=M160.4.lock=M288.4.Fbk1=1147.4; Fbk0=1147.5;Ctrl=Q11	KGf 1	KMA-Auslauf	Q1147.5	1147.4	1147.5	M160.4
53	E	6	71_18_10XV04	1148.5	1148.4	Q1148.5	demo bik	=M160.5.lock=M288.5.Fbk1=1148.4; Fbk0=1148.5;Ctrl=Q11	KGf 1	KME-Einlauf	Q1148.5	1148.4	1148.5	M160.5
233	E	7	71_18_09XV10	1147.1	1147.0	Q1147.1	demo bik	=M160.6.lock=M288.6.Fbk1=1147.0; Fbk0=1147.1;Ctrl=Q11	KGf 1	Kühlmittel Bypass	Q1147.1	1147.0	1147.1	M160.6
234	E	8	71_22_01XV05	1145.5	1145.4	Q1145.5	demo bik	=M160.7.lock=M288.7.Fbk1=1145.4; Fbk0=1145.5;Ctrl=Q11	KGf 1	BK-Hauptleitung Auslauf	Q1145.5	1145.4	1145.5	M160.7
255	E	9	71_19_01XV38	1149.1	1149.0	Q1149.1	demo bik	=M161.0.lock=M289.0.Fbk1=1149.0; Fbk0=1149.1;Ctrl=Q11	KGf 1	KGK-CP Rücklauf 1	Q1149.1	1149.0	1149.1	M161.0

Slika P1.3. – Excel tablica ICM-2 komponenata treći dio.

NAME	Unit	DS_ENABLE	Profile	SLAVE_NR	GTYP	NR_DPHELD	PB_START	POB_START	Enable_ICM_OR	Enable_ICM_NR	SETP_SOURCE	Image	Loc	Desc
VLT.Name	Assigned plant section	Enable set	0=FC-Profile, 1=PROFIDrive file	DP Slave number	PPOO Type (1=12 Byte, 2=20 b, 3 = 4b, 4 = 12b)	Number of DP messages for bus diagnosis	Inputs start word	Outputs start word	Enable ICM group number	Enable ICM number	Setpoint source	Image where ICM displayed	Location	Description
71_11_03SC12	3	0	0	0	4	0	2132	2132	0	0	ASL_366.Y_REAL	demo bik	KGf_1	KGf-Danfoss FC 45 kw
71_11_02SC12	4	0	0	0	4	0	2060	2060	0	0	ASL_366.Y_REAL	demo bik	KGDT_1	KGDT-Danfoss FC 1.5 kW

Slika P1.4. – Excel tablica VLT komponentata.

Def	No	NAME	Sequence	RefCtrl	Image	Addr	Loc	Desc
f								
Filter	ICM-Nr	ICM Name	Assigned plant section	Reference to control mode	Image where ICM displayed	Address	Location	Description
E	1	71_11_03P12	3	#REF!	demo bik	#REF!	KGf_1	KGL - Product pump
E	2	71_11_02P12	4	M 10 0	demo bik	Cmd=M128.1;lock= M256.1;Fbk1=I12.5; Fbk0=-;Ctrl=-	KGDT_1	KGDT - Agitator motor
E	65	ICM1_65	0	M 10 0	demo bik	Cmd=M136.0;lock= M264.0;Fbk1=-; Fbk0=-;Ctrl=-	Location_ICM1_65	Description_ICM1_65
E	66	71_11_02M14	4	Q20.2	demo bik	Cmd=M136.1;lock= M264.1;Fbk1=I21.0; Fbk0=-;Ctrl=Q20.2	KGDT_1	KGDT - Desing pump
E	67	ICM1_67	0	M 10 0	demo bik	Cmd=M136.2;lock= M264.2;Fbk1=-; Fbk0=-;Ctrl=-	Location_ICM1_67	Description_ICM1_67

Slika P1.5. – Excel tablica ICM-1 komponentata.

Def	No	NAME	Image	Addr	Loc	Desc														
Total																				
All																				
Clear																				
Filter	ICM-Nr	ICM-Name	Image where ICM displayed	Address	Location	Description	Activation	Feedback ON (open, running)	Feedback OFF (closed)	Auto activate	Interlock									
E	1	71_18_10LCV08_RV	demo bik	md=M224.0;lock= M352.0;Fbk1=-; Fbk0=MM042.0;Ctrl=MM010	KGF_1	KGD - Dosing pump	MM010.0	MM042.0	M224.0	M352.0	-									
E	102	71_11_02P12_PiC	demo bik	Cmd=M236.5;lock= M364.5;Fbk1=-; Fbk0=-;Ctrl=Q10.1	KGF_1	KGD - Agitator motor	Q10.1		M236.5	M364.5	-									
E	108	71_11_03P12_PiC	demo bik	Cmd=M237.3;lock= M365.3;Fbk1=-; Fbk0=-;Ctrl=Q20.0	KGDT_1	KGL - Product pump	Q20.0		M237.3	M365.3	-									
	2	71_13_02PCV08_RV	demo bik	md=M224.1;lock= M352.1;Fbk1=-; Fbk0=MM042.1;Ctrl=MM010	PVDT_1	PVDT - Steam Regulation Valve	MM010.1	MM042.1	M224.1	M352.1	-									
	3	71_17_01LCV08_RV	demo bik	md=M224.2;lock= M352.2;Fbk1=-; Fbk0=MM042.2;Ctrl=MM010	BLEND_1	BLEND_1 - DAW big regulation valve	MM010.2	MM042.2	M224.2	M352.2	-									
	4	71_17_01LCV18_RV	demo bik	md=M224.3;lock= M352.3;Fbk1=-; Fbk0=MM042.3;Ctrl=MM010	BLEND_1	BLEND_1 - DAW small regulation valve	MM010.3	MM042.3	M224.3	M352.3	-									
	5	71_17_02LCV08_RV	demo bik	md=M224.4;lock= M352.4;Fbk1=-; Fbk0=MM042.4;Ctrl=MM010	CARB_1	CARB_1 - Carbonator pressure regulation (n.o.)	MM010.4	MM042.4	M224.4	M352.4	-									
	6	71_17_02LCV18_RV	demo bik	md=M224.5;lock= M352.5;Fbk1=-; Fbk0=MM042.5;Ctrl=MM010	CARB_1	CARB_1 - Carbonator CO2 regulation	MM010.5	MM042.5	M224.5	M352.5	-									
	7	71_18_22LCV08_RV	demo bik	md=M224.6;lock= M352.6;Fbk1=-; Fbk0=MM042.6;Ctrl=MM010	POSL_1	POSL_1 - Cooling regulation valve	MM010.6	MM042.6	M224.6	M352.6	-									
	8	71_10_01LCV08_RV	demo bik	md=M224.7;lock= M352.7;Fbk1=-; Fbk0=MM042.7;Ctrl=MM010	BT1_1	BT1_1 - BT 1 Control valve (n.o.)	MM010.7	MM042.7	M224.7	M352.7	-									
	9	71_15_01LCV08_RV	demo bik	md=M225.0;lock= M353.0;Fbk1=-; Fbk0=MM043.0;Ctrl=MM011	PLT_1	PLT_1 - PLT dosing control valve	MM011.0	MM043.0	M225.0	M353.0	-									
	10	71_51_01PCV08_RV	demo bik	md=M225.1;lock= M353.1;Fbk1=-; Fbk0=MM043.1;Ctrl=MM011	CIP1	CIP1 - CIP 1 Steam Big Regulation 1	MM011.1	MM043.1	M225.1	M353.1	-									
	11	71_51_01PCV18_RV	demo bik	md=M225.2;lock= M353.2;Fbk1=-; Fbk0=MM043.2;Ctrl=MM011	CIP1	CIP1 - CIP 1 Steam Small Regulation 2	MM011.2	MM043.2	M225.2	M353.2	-									
	12	71_51_02PCV08_RV	demo bik	md=M225.3;lock= M353.3;Fbk1=-; Fbk0=MM043.3;Ctrl=MM011	CIP2	CIP2 - CIP 2 Steam Big Regulation 1	MM011.3	MM043.3	M225.3	M353.3	-									
	13	71_51_02PCV18_RV	demo bik	md=M225.4;lock= M353.4;Fbk1=-; Fbk0=MM043.4;Ctrl=MM011	CIP2	CIP2 - CIP 2 Steam Small Regulation 2	MM011.4	MM043.4	M225.4	M353.4	-									
	14	ICM4_14	demo bik	md=M225.5;lock= M353.5;Fbk1=-; Fbk0=MM043.5;Ctrl=MM011	location_ICM4	Description ICM4 14	MM011.5	MM043.5	M225.5	M353.5	-									
	15	ICM4_15	demo bik	md=M225.6;lock= M353.6;Fbk1=-; Fbk0=MM043.6;Ctrl=MM011	location_ICM4	Description ICM4 15	MM011.6	MM043.6	M225.6	M353.6	-									
	16	ICM4_16	demo bik	md=M225.7;lock= M353.7;Fbk1=-; Fbk0=MM043.7;Ctrl=MM011	location_ICM4	Description ICM4 16	MM011.7	MM043.7	M225.7	M353.7	-									
	17	ICM4_17	demo bik	md=M226.0;lock= M354.0;Fbk1=-; Fbk0=MM044.0;Ctrl=MM012	location_ICM4	Description ICM4 17	MM012.0	MM044.0	M226.0	M354.0	-									

Slika P1.6. – Excel tablica ICM-4 komponentata.

Def	No	NAME	Sequence	ManualGroup	Type	MonTrnSv	StartingAlar	DelayOnSv	DelayOffSv	InvertCtrl	RefFbkAvale	StartingAlar	BypassInter	SimFbk	FaultTimeSv	RefInterLoc	RefFbk0	RefFbk1	RefCtrl	Image	Addr
Total																					
All																					
Clear																					
Filter	ICM-Nr	ICM-Name	Assigned plant section	0 none, 1-64 manual group >64 Manual = 1	Type	Monitoring time (sec)	Starting alarm is active	Target value for turn on delay	Target value for turn off delay	Inverted load output	ICM without reply	Enable starting alarm	Bypass interlock	Feedback simulation	Fault time (sec)	Reference to interlock	Reference to feedback 0	Reference to feedback 1	Reference to control mode	Image where ICM displayed	
E	1	71_11_03XV21	3	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1166.5	1166.4	Q1166.5	demo bik	=M192
E	2	71_11_03XV11	3	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1134.1	1134.0	Q1134.1	demo bik	=M192	
E	3	71_11_03XV01	3	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1133.5	1133.4	Q1133.5	demo bik	=M192	
E	4	71_11_02XV24	4	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1130.1	1130.0	Q1130.1	demo bik	=M192	
	5	71_13_03XV04_A	5	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1071.4	1071.5	Q1069.0	demo bik	=M192	
	6	71_13_03XV05	5	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1074.4	1074.5	Q1074.5	demo bik	=M192	
	7	71_13_02XV24	6	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1066.0	1066.1	Q1066.1	demo bik	=M192	
	8	71_17_01XV04	7	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1030.4	1030.5	Q1030.5	demo bik	=M192	
	9	71_17_02XV04	8	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1024.0	1024.1	Q1024.1	demo bik	=M193	
	10	71_10_03XV24	9	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1035.4	1035.5	Q1035.5	demo bik	=M193	
	11	71_10_01XV01_A	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1191.0	1191.1	Q1192.4	demo bik	=M193	
	12	71_10_01XV04	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1153.0	1153.1	Q1153.1	demo bik	=M193	
	13	71_10_01XV05_A	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1190.0	1190.1	Q1191.4	demo bik	=M193	
	14	71_10_01XV17	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1222.4	1222.5	Q1222.5	demo bik	=M193	
	15	71_10_01XV24	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1157.4	1157.5	Q1157.5	demo bik	=M193	
	16	71_10_01XV34	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1223.4	1223.5	Q1223.5	demo bik	=M193	
	17	71_10_02XV17	11	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1164.0	1164.1	Q1164.1	demo bik	=M194	
	18	71_15_01XV04	12	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1167.4	1167.5	Q1167.5	demo bik	=M194	
	19	71_15_01XV24	12	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1171.4	1171.5	Q1171.5	demo bik	=M194	
	20	71_15_02XV17	12	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1180.0	1180.1	Q1180.1	demo bik	=M194	
	21	71_12_01XV17	21	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1223.0	1223.1	Q1223.1	demo bik	=M194	
	22	71_12_01XV20	21	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	1	(NULL)	1186.4	1186.5	Q1186.5	demo bik	=M194	

Slika P1.7. – Excel tablica ICM-3 komponentata.

7	Def	No	NAME	Sequence	DigVaRef	DigVaStart	DigVaEnd	ConvFund	ProcVaStart	ProcVaEnd	Loc	Desc						
8	Total																	
9	Filter	AIN-Nr	AIN-Name	Assigned unit	Reference to measured value	Digital start value	Digital end value	Conversion FB (1=raw value, 0=SZ)	Start value	End value	Location	Description	Marker Bottom Limit	Marker Top Limit	Decimal places	Eng. Units		
10	E	9	71_11_01QT15_36	0	(NULL)	0	2	2998	0	2	KGf_1	KGf - Turbidity meter	M 1145.0	M 1177.0				
11	E	15	71_11_02FIT32	0	PID 3072 (DWORD)	0	27648	-1	0	1000	KGDT_1	KG - Dosing flow meter	M 1145.6	M 1177.6		kg/h	F	
12	E	16	71_11_03FIT32	0	PID 3112 (DWORD)	0	27648	-1	0	1500	KGf_1	KGf - Beer flow meter main line	M 1145.7	M 1177.7		kg/h	F	
13	E	34	71_18_10FIT32	0	PID 3637 (DWORD)	0	27648	-1	0	500	KGf_1	BK - Glycol flow meter	M 1148.1	M 1180.1		kg/h	F	
14	E	42	71_18_20FIT32	100	PID 5224 (DWORD)	0	27648	-1	0	1000	SYS_P09	DAKO-Mengenmessung	M 1149.1	M 1181.1		kg/h	F	
15	E	43	71_18_21FIT32	100	PID 5264 (DWORD)	0	27648	-1	0	500	SYS_P09	LUFT-Mengenmessung	M 1149.2	M 1181.2		kg/h	F	
16	E	51	71_11_02LT13	0	PID 4480 (DWORD)	0	27648	-1	0	100	KGDT_1	KGf - Level measure	M 1150.2	M 1182.2		%	F	
17	E	60	71_41_01TT103	41	PID 5184 (DWORD)	0	27648	-1	0	100	SLDG1	TRUB-Temperatur Messung	M 1151.3	M 1183.3		°C	F	
18	E	61	71_41_02TT103	42	PID 5204 (DWORD)	0	27648	-1	0	100	SLDG2	TRUB-Temperatur Messung	M 1151.4	M 1183.4		°C	F	
19	E	66	71_18_09TT102	0	PID 4520 (DWORD)	0	27648	-1	-10	10	KGf_1	KMA - Temperature transmitter	M 1152.1	M 1184.1		°C	F	
20	E	67	71_18_10TT103	0	PID 3657 (DWORD)	0	27648	-1	-10	10	KGf_1	KME - Temperature transmitter	M 1152.2	M 1184.2		°C	F	
21	E	68	71_22_01TT102	0	PID 4596 (DWORD)	0	27648	-1	-5	10	KGf_1	BK - Inlet temperature transmitter	M 1152.3	M 1184.3		°C	F	
22	E	69	71_22_01TT103	0	PID 4616 (DWORD)	0	27648	-1	-5	10	KGf_1	BK - Outlet temperature transmitter	M 1152.4	M 1184.4		°C	F	
23	E	76	71_18_09PT145	0	PID 4510 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KMA - Pressure transmitter	M 1153.3	M 1185.3		bar	F	
24	E	77	71_18_10PT143	0	PID 4546 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KME - Pressure transmitter	M 1153.4	M 1185.4		bar	F	
25	E	78	71_22_01PT143	0	PID 4576 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	BK - Outlet pressure transmitter	M 1153.5	M 1185.5		bar	F	
26	E	79	71_22_01PT145	0	PID 4586 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	BK - Outlet pressure transmitter	M 1153.6	M 1185.6		bar	F	
27	E	80	71_11_01PT112	0	PID 4450 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KGf - Pressure transmitter unfiltered	M 1153.7	M 1185.7		bar	F	

Slika P1.8. – Excel tablica AIN komponena prvi dio.

7	Def	No	NAME	Sequence	DigVaRef	DigVaStart	DigVaEnd	ConvFund	ProcVaStart	ProcVaEnd	Loc	Desc						
8	Total																	
9	Filter	AIN-Nr	AIN-Name	Assigned unit	Reference to measured value	Digital start value	Digital end value	Conversion FB (1=raw value, 0=SZ)	Start value	End value	Location	Description	Marker Bottom Limit	Marker Top Limit	Decimal places	Eng. Units		
25	E	78	71_22_01PT143	0	PID 4576 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	BK - Outlet pressure transmitter	M 1153.5	M 1185.5		bar	F	
26	E	79	71_22_01PT145	0	PID 4586 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	BK - Outlet pressure transmitter	M 1153.6	M 1185.6		bar	F	
27	E	80	71_11_01PT112	0	PID 4450 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KGf - Pressure transmitter unfiltered	M 1153.7	M 1185.7		bar	F	
28	E	81	71_11_01PT118	0	PID 4460 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KGf - Pressure transmitter filtered	M 1154.0	M 1186.0		bar	F	
29	E	82	71_11_01PT122	0	PID 4470 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	KGf - Pressure transmitter buffer route	M 1154.1	M 1186.1		bar	F	
30	E	83	71_14_01PT112	0	PID 4490 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	TRAP - Inlet pressure transmitter	M 1154.2	M 1186.2		bar	F	
31	E	84	71_14_01PT118	0	PID 4500 (DWORD)	0	27648	-1	0	10	KGf_1	TRAP - Outlet pressure transmitter	M 1154.3	M 1186.3		bar	F	
32	E	102	71_11_01QT15_25	0	(NULL)	0	2	2998	0	2	KGf_1	KGf - Turbidity meter	M 1156.5	M 1188.5				
33	E	103	AIN 103	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1156.6	M 1188.6				
34	E	104	AIN 104	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1156.7	M 1188.7				
35	E	105	AIN 105	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1157.0	M 1189.0				
36	E	106	AIN 106	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1157.1	M 1189.1				
37	E	111	AIN 111	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1157.6	M 1189.6				
38	E	112	AIN 112	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1157.7	M 1189.7				
39	E	113	AIN 113	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1158.0	M 1190.0				
40	E	114	AIN 114	0	(NULL)	0	27648	0	0	100			M 1158.1	M 1190.1				
41		1	71_18_01QT15	100	DB2991.DBD92 (DWORD)	0	200	2997	0	200	SYS_P09	DAW-O2 Measurement KGF&PVP	M 1144.0	M 1176.0		ppb		
42		2	71_18_05QT15	100	DB2991.DBD98 (DWORD)	0	200	2997	0	200	SYS_P09	DAW-O2 Measurement Blender L1	M 1144.1	M 1176.1		ppb		

Slika P1.9. – Excel tablica AIN komponena drugi dio.

7	NAME	TimeVaPos	TimeValLeg	TimerType	Sim	InvtLegOut	InvtPosOut	RefIn	RefOutPos	RefOutLeg	Addr	Image	Loc	Desc	
8	f														
9	Timer-Name	Assigned plant	SE == Delay time for positive output signal SI == Positive pulse	SE == Delay time for negative output signal SI == negative pulse	Timer: SE, 1=SI	Simulation: OnOff, 1=On	Invert negative output: No, 1=Yes	Invert positive output: No, 1=Yes	Reference to start input	Reference to positive output	Reference to negative output	Marker Start, Result posting	Image	Location	Description
18	71_11_02LSL06	4	5	5	0	0	0	0	1101.5	(NULL)	(NULL)	A=101.5 Ep= M1305.0 En=M1369.0 E=M2567.0 In=101	demo bik	KGDT_1	KGDT - level switch
19	71_11_01LSL06	3	5	5	0	0	0	0	1101.2	(NULL)	(NULL)	A=101.2 Ep= M1305.1 En=M1369.1 E=M2567.1 In=101	demo bik	KGDT_1	KGDT - level switch
20	71_11_01LSL26	3	5	5	0	0	0	0	1101.4	(NULL)	(NULL)	A=101.4 Ep= M1305.2 En=M1369.2 E=M2567.2 In=101	demo bik	KGDT_1	KGDT - level switch
36	71_11_01LSH07	3	5	5	0	0	0	0	1101.3	(NULL)	(NULL)	A=101.3 Ep= M1307.2 En=M1371.2 E=M2569.2 In=101	demo bik	KGDT_1	KGDT - level switch
53	71_11_02XIS19	4	5	5	0	0	0	0	126.6	(NULL)	(NULL)	A=26.6 Ep= M1309.3 En=M1373.3 E=M2571.3 In=126.6	demo bik	KGDT_1	KGDT - tank lid monitoring
54	71_11_02XIS2	4	5	5	0	0	0	0	118.5	(NULL)	(NULL)	A=18.5 Ep= M1309.4 En=M1373.4 E=M2571.4 In=118.5	demo bik	KGDT_1	KGDT - ensuring start-up of dosing pump
64	71_11_03FIT32	3	5	5	0	0	0	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	A=M1246.6 Ep= M1310.6 En=M1374.6 E=M2572.6 In=	demo bik	KGDT_1	KGDT - beer flow meter main line
67	71_11_02P12 - SSW	4	5	0	0	0	0	0	112.3	(NULL)	(NULL)	A=12.3 Ep= M1314.3 En=M1378.3 E=M2576.3 In=112.3	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - service switch
68	71_11_02P12 - THR	4	5	5	0	0	0	0	112.4	(NULL)	(NULL)	A=12.4 Ep= M1314.4 En=M1378.4 E=M2576.4 In=112.4	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - thermistor relay
69	71_11_02P12 - RDY	4	5	5	0	0	0	0	112.5	(NULL)	(NULL)	A=12.5 Ep= M1314.5 En=M1378.5 E=M2576.5 In=112.5	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - ready switch
70	71_11_03P12 - SSW	3	5	0	0	0	0	0	120.0	(NULL)	(NULL)	A=20.0 Ep= M1319.6 En=M1383.6 E=M2581.6 In=120.0	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - service switch
71	71_11_03P12 - THR	3	5	5	0	0	0	0	120.1	(NULL)	(NULL)	A=20.1 Ep= M1319.7 En=M1383.7 E=M2581.7 In=120.1	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - thermistor relay
72	71_11_03P12 - RDY	3	5	5	0	0	0	0	120.2	(NULL)	(NULL)	A=20.2 Ep= M1320.0 En=M1384.0 E=M2582.0 In=120.2	demo bik	KGDT_1	KGDT - product pump - ready switch
73	71_11_02M14 - SSW	4	5	0	0	0	0	0	120.6	(NULL)	(NULL)	A=20.6 Ep= M1320.4 En=M1384.4 E=M2582.4 In=120.6	demo bik	KGDT_1	KGDT - agitator motor - service switch
74	71_11_02M14 - THR	4	5	5	0	0	0	0	120.7	(NULL)	(NULL)	A=20.7 Ep= M1320.5 En=M1384.5 E=M2582.5 In=120.7	demo bik	KGDT_1	KGDT - agitator motor - thermistor relay
75	71_11_02M14 - RDY	4	5	5	0	0	0	0	121.1	(NULL)	(NULL)	A=21.1 Ep= M1320.6 En=M1384.6 E=M2582.6 In=121.1	demo bik	KGDT_1	KGDT - agitator motor - ready switch
76	71_11_02LSL21	4	5	5	0	0	0	0	1106.1	(NULL)	(NULL)	A=M1270.0 Ep= M1334.0 En=M1398.0 E=M2596.0 In=	demo bik	KGDT_1	KGDT - dosing pump oil level switch
81	TIMER_01_58	0	5	5	0	0	0	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	A=M1247.1 Ep= M1311.1 En=M1375.1 E=M2573.1 In=	demo bik	Location_TIMER01_58	Description_TIMER01_58
82	TIMER_01_59	0	5	5	0	0	0	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	A=M1247.2 Ep= M1311.2 En=M1375.2 E=M2573.2 In=	demo bik	Location_TIMER01_59	Description_TIMER01_59
83	TIMER_01_60	0	5	5	0	0	0	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	A=M1247.3 Ep= M1311.3 En=M1375.3 E=M2573.3 In=	demo bik	Location_TIMER01_60	Description_TIMER01_60

Slika P1.10. – Excel tablica TIMER1 komponenta.

7	Def	No	Name	Function	SetPoint	ActualValueRef	InActVal	Reduction	HysterAbove	HysterBelow	SubstValue	Enable	UseSubstValue	Addr	Image	Loc			
8	Total																		
9	Filter	DFM-Nr	DFM-Name	Assigned unit	Quadratic	1=Restarting timer 2=Consecutive timer 3=Reverse timer	Setpoint	Setpoint REAL	Reference to actual value	Initialize actual value if setpoint#	Reduction (Function: 1,2,3)	Hysteresis (Function: 4,14)	Hysteresis (Function: 4,14)	Substitute value (Function: 5)	Enable execution (Function: 1,2,3)	Use substitute value (Function: 5)	Address	Image	Location
10	E	1	PumpFSP_KGD	3	5	0.000	FIXV.1.AVA	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.0	demo bik	KGDT_1	Location
11	E	2	FlowSP_KGD	3	4	0.000	AIN.15.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.1	demo bik	KGDT_1	Location
12	E	3	RatioSP_KGD	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.2	demo bik	KGDT_1	Location
13	E	4	PumpFSP_KGF	4	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.3	demo bik	KGDT_1	Location
14	E	5	FlowSP_KGF	3	4	0.000	AIN.16.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.4	demo bik	KGDT_1	Location
15	E	6	PressSP_KGF	3	4	0.000	AIN.80.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.5	demo bik	KGDT_1	Location
16	E	7	PumpFSP_ENZYM	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.6	demo bik	KGDT_1	Location
17	E	8	FlowSP_ENZYM	3	4	0.000	AIN.18.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1720.7	demo bik	KGDT_1	Location
18	E	9	RatioSP_ENZYM	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.0	demo bik	KGDT_1	Location
19	E	10	PumpFSP_BT2	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.1	demo bik	KGDT_1	Location
20	E	11	LevelSP_BT2	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.2	demo bik	KGDT_1	Location
21	E	12	PumpFSP_FOAM	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.3	demo bik	KGDT_1	Location
22	E	13	FlowSP_FOAM	3	4	0.000	AIN.14.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.4	demo bik	KGDT_1	Location
23	E	14	RatioSP_FOAM	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.5	demo bik	KGDT_1	Location
24	E	15	CoolVInFSP_KGF	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.6	demo bik	KGDT_1	Location
25	E	16	Temp1SP_KGF	3	4	0.000	AIN.69.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1721.7	demo bik	KGDT_1	Location
26	E	17	Cool2VInFSP_KGF	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.0	demo bik	KGDT_1	Location
27	E	18	Temp2SP_KGF	3	4	0.000	AIN.74.ProcValAct	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.1	demo bik	KGDT_1	Location
28	E	19	BoostPumpFSP_KGF	3	5	0.000	(NULL)	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.2	demo bik	KGDT_1	Location

Slika P1.11. – Excel tablica DFM5 komponenta prvi dio.

7	Def	No	Name	Function	Setpoint	ActualValueRef	InActVal	Reduction	HysterAbove	HysterBelow	SubstValue	Enable	UseSubstValue	Addr	Image	Loc	
8	Total																
9	Filter	DFM-Nr	DFM-Name	Assigned unit	1=Restarting timer 2=Consecutive timer 3=Reverse timer 4=Setpoint	Setpoint REAL	Reference to actual value	Initialize actual value if setpoint#	Reduction (Function: 1,2,3)	Hysteresis (Function: 4,14)	Hysteresis (Function: 4,14)	Substitute value (Function: 5)	Enable execution (Function: 1,2,5)	Use substitute value (Function: 5)	Address	Image	
28	E	19	BoostPumpFSP_KGF	3	5	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.2	demo bik	Location
29	E	20	PressOutlet_KGF	3	4	0.000	AIN_92.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.3	demo bik	Location
30	E	21	TimeLSH	3	1	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M3722.4	(NULL)	M1722.4	demo bik	Location
31	E	22	TimeSL	3	1	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M3722.5	(NULL)	M1722.5	demo bik	Location
32	E	23	TimeFlowStab	3	1	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M3722.6	(NULL)	M1722.6	demo bik	Location
33	E	24	Flow	3	4	0.000	AIN_16.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1722.7	demo bik	Location
34	E	25	LevelBT1	3	4	0.000	POLY_5.OutputVal	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.0	demo bik	Location
35	E	26	LevelKGD	3	4	0.000	POLY_6.OutputVal	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.1	demo bik	Location
36	E	27	Turb25_FLT	3	4	0.000	AIN_102.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.2	demo bik	Location
37	E	28	Turb60_FLT	3	4	0.000	AIN_9.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.3	demo bik	Location
38	E	29	Turb25_BT2	3	4	0.000	AIN_119.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.4	demo bik	Location
39	E	30	Turb60_BT2	3	4	0.000	AIN_11.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.5	demo bik	Location
40	E	31	Selfoam	3	5	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.6	demo bik	Location
41	E	32	SelfEnzym	3	5	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1723.7	demo bik	Location
42	E	33	SelfSludge	3	5	0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1724.0	demo bik	Location
43	E	34	Density	3	4	0.000	AIN_10.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1724.1	demo bik	Location
44	E	35	PressSP_BT2	3	4	0.000	AIN_87.ProcValAct	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1724.2	demo bik	Location
45	E	36				0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1724.3	demo bik	Location
46	E	37				0.000	(NULL)	1	0	0	0	0	U M102.0	(NULL)	M1724.4	demo bik	Location

Slika P1.12. – Excel tablica DFM5 komponenta drugi dio.

7	Def	No	NAME	Unit	DFM1	DFM2	DFM3	DFM4	DFM5	DFM6	DFM7	DFM8	DFM9	DFM10	DFM11	DFM12	DFM13	DFM14	DFM15	DFM16	DFM17	DFM18	DFM19	DFM20	DFM21	DFM22	DFM23	DFM24	Next step condition	Alter	Label	Jump		
8	Total																																	
9	EPE-Nr	Name	Kzuo	DFM-1	DFM-2	DFM-3	DFM-4	DFM-5	DFM-6	DFM-7	DFM-8	DFM-9	DFM-10	DFM-11	DFM-12	DFM-13	DFM-14	DFM-15	DFM-16	DFM-17	DFM-18	DFM-19	DFM-20	DFM-21	DFM-22	DFM-23	DFM-24	Next step condition	Alter	Label	Name of J			
60	e	51	Start-Position	3	1.131	1.3																												
61	e	52	Brandselection	3	1.131																													
62	e	53	Filter	3	1.131	5.21																												
63	e	54	FilippestoBBT	3	1.131	0.1	5.4	5.7	5.10	5.12	5.16	5.19																						
64	e	55	Ventingfilter	3	1.131	1.3	5.5	5.16																										
65	e	56	WaitingPrecoat1	3	1.131	5.5	5.16																											
66	e	57	BringinPrecoat1	3	1.131	5.5	5.16																											
67	e	58	Ventingfilter	3	1.131	1.3	5.5	5.16																										
68	e	59	Re-circPC1	3	1.131	1.3	5.27	5.5	5.16																									
69	e	60	WaitingPrecoat2	3	1.131	5.5	5.16																											
70	e	61	BringinPrecoat 2	3	1.131	5.5	5.16																											
71	e	62	Ventingfilter	3	1.131	1.3	5.5	5.16																										
72	e	63	Re-circPC2	3	1.131	1.3	5.27	5.28	5.5	5.16																								
73	e	64	Prepareflowreg	3	1.131	1.3	5.6	5.16																										
74	e	65	Spare	3	1.131	0.1																												
75	e	66	Coordinationstep	3	1.131	5.26	5.27	5.28	5.6	5.16																								
76	e	67	StartKiesdos	3	1.131	0.3	5.3	5.6	5.11	5.16																								
77	e	68	Prerun1withPVPP	3	1.131	0.1	5.34	5.3	5.6	5.11	5.16	5.18	5.20																					
78	e	69	Prerun2withPVPP	3	1.131	0.1	5.34	5.3	5.6	5.11	5.16	5.18	5.20																					
79	e	70	Pre1withoutPVPP	3	1.131	0.1	5.34	5.3	5.6	5.11	5.16	5.18	5.20																					
80	e	71	Pre2withoutPVPP	3	1.131	0.1	5.34	5.3	5.6	5.11	5.16	5.18	5.20																					
81	e	72	Prerun3	3	1.131	0.1	5.34	5.3	5.6	5.9	5.11	5.14	5.16	5.18	5.20																			
82	e	73	Education	3	1.131	0.2	5.34	5.3	5.6	5.9	5.11	5.14	5.16	5.18	5.20																			

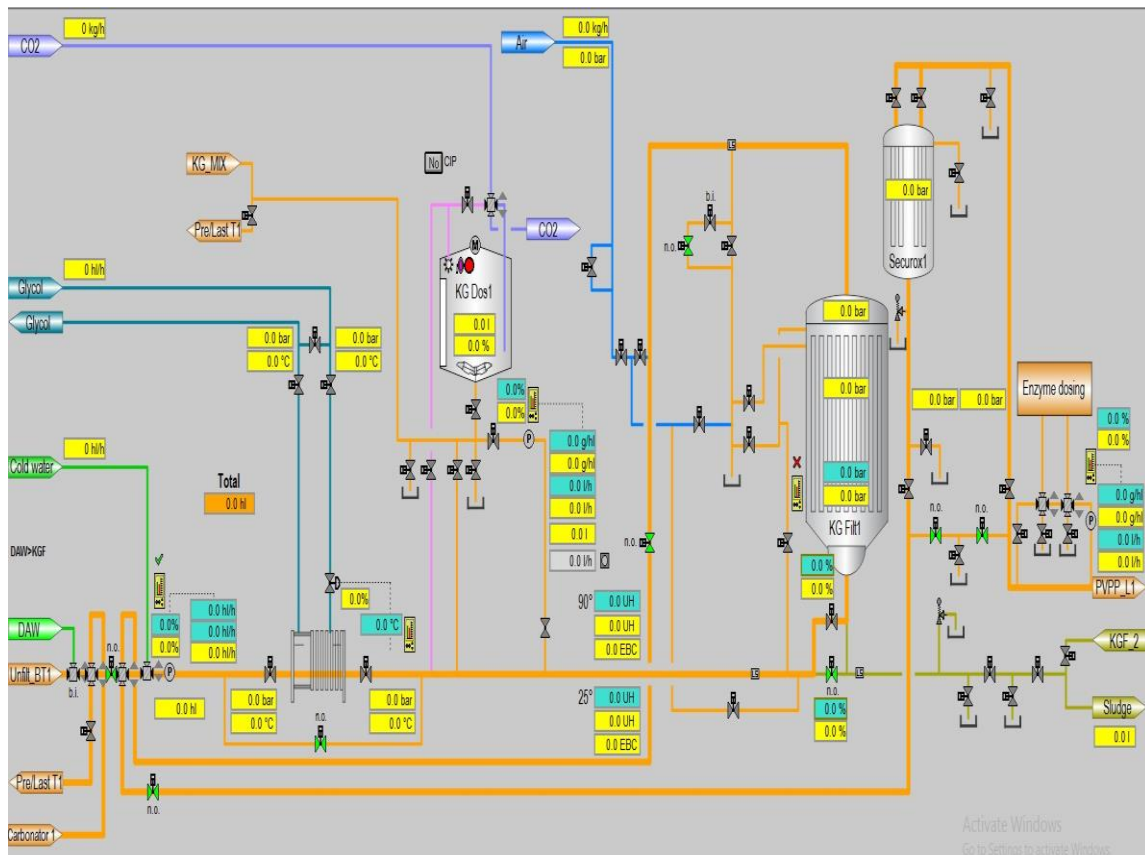
Slika P1.13. – Excel tablica EPE-INI komponenta prvi dio.





## PRILOG 2.

U prilogu 2. nalazi se braumat shema Kiselgur filtra i Dosimata. Razlog stavljanja ovog dijela rada u prilog je bio preglednost slike.



Slika P2.1. Braumat sustav filtracije

## PRILOG 3.

U prilogu 3. nalaze se neki od networka koraka Waiting precoat 1 te dokumentacija tih koraka.

```
[-] Network 2: First Scan / Initialisation / Selections
      A      "EopStart"                M102.2      -- EOP start command
      JCN    nFS
nFS:  NOP  0
```

Slika P3.1. Network 2 koraka Waiting precoat 1.

```
[-] Network 3: Hold/Running
// A      "WRN".WRN_101.REQUEST
// A      "WRN".WRN_101.ALARM
O        "SEQ".u.INTERN.boICMErr    DB725.DBX105.0  -- (Internal)
O        "MOFxxx-ALARM"             M15000.3
A        "RLOO"                     M97.0          -- Always FALSE
R        "SEQU_Release"             M102.0          -- Automatic step change
```

Slika P3.2. Network 3 koraka Waiting precoat 1

```
[-] Network 4: Global AutoComand release
AN      "EopStop"                    M102.3        -- EOP stop command
A       "SEQU_Release"                M102.0        -- Automatic step change
=       "SEQU003_RUN_OK"              M1944.2      -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence

AN      "EopStop"                    M102.3        -- EOP stop command
A(
L       L#0
L       "SEQ".u.dwTmSPVal             DB725.DBD176  -- Step monitoring setpoint value
<>D
)
A       "SEQU003_RUN_OK"              M1944.2      -- SEQU003_RUN_OK: KG Filter 1 - control bit sequence
=       "SEQU003_RELT"                M1960.2      -- SEQU003_RELT: KG Filter 1- time release sequence

AN      "EopStop"                    M102.3        -- EOP stop command
A(
L       L#0
L       "SEQ".u.dwTmSPVal             DB725.DBD176  -- Step monitoring setpoint value
<>D
)
=       "EnableMonTm"                 M101.7        -- Enable monitoring time
```

Slika P3.3. Network 4 koraka Waiting precoat 1.

```

Network 11 - JUMP
A "EopStart" M102.2 -- EOP start command
JCN WEIT
L 0
T "SEQ".u.byAlterResult DB725.DBB193 -- Alternative object number

WEIT: NOP 0

// **** jump to (FC10xx) ****

// AN "EopStart" M102.2 -- EOP start command
// AN "OperatorRequest"
CLR
AN "JUMP_OS".boOS_Label[255] DB310.DBX31.6
A "RLO0" M97.0 -- Always FALSE
JCN JP01

L 255
T "SEQ".u.byAlterResult DB725.DBB193 -- Alternative object number
S "JUMP_OS".boOS_Label[255] DB310.DBX31.6
SET
BEU

// -----
JP01: NOP 0

```

Slika P3.4. Network 11 koraka Waiting precoat 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL		
1		Step name <b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland <b>BUCHER</b> unipektin	MOF																																				
2	Fc number	Step number																																					
3																																							
4	FC	SN																																					
11		6	Waiting step Precoat 1																																				
12		7	Bring in Precoat 1																																				

Slika P3.5. Lista u kojoj je navedeno koji MOF-ovi trebaju biti uključeni u pojedinom koraku-1.

A	B	C	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM								
1		Step name <b>Bucher Unipektin AG</b> Competence Center Filtration Moosmühlestr. 8 CH-9000 St. Gallen Switzerland <b>BUCHER</b> unipektin																																				
2	Fc number	Step number																																				
3																																						
4	FC	SN																																				
11		6	Waiting step Precoat 1																																			
12		7	Bring in Precoat 1																																			

Slika P3.6. Lista u kojoj je navedeno koji MOF-ovi trebaju biti uključeni u pojedinom koraku-2.