

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Talis Tiivoja 112675IAEB

PELLETIPÕLETI KONTROLLERI DISAINIMINE

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Eero Haldre
Diplomeeritud insener

Tallinn 2018

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Talis Tiivoja

20.05.2018

Ülesande püstitus

Teema: pelletipõleti kontrolleri disainimine

Lahendatav probleem on disainida ettevõttele Pelltech OÜ kontrolleri suurusega ~10x15 cm, mis on võimeline kontrollima ja juhtima pelleti põletamisega seotud protsesse.

Nõuded kontrolleri jaoks:

- Suuteline juhtima kahte tagasisidega alalisvoolu ventilaatorit.
- Võimeline lülitama 220V AC seadmeid.
- Vahendid põlemisprotsessi jälgimiseks ja juhtimiseks.
- Arvestama ohutusnõuetega.
- Võimaldama töötamist akutoitelt.
- Olema ühilduv Pelltech OÜ lisaseadmetega.

Valminud kontrolleri koos põletiga peaks suutma anda põlemisel väljundvõimsust umbes 15 kW. Täpsemad juhitavad seadmed ning nende parameetrid selguvad koostamise käigus. Kontrolleri disainimine ja prototüüpimine viiakse läbi ettevõttes Pelltech OÜ. Töö käigus arvestatakse ettevõtte nõuetega ning komponentide valikul juba ettevõttes kasutusel olevate nominaalide ja komponentidega, skeemiliste lahenduste väljatöötamisel ettevõtte kogemuste ja teadmistega. Tulemuste sobivust kontrollitakse prototüübi koostamisega, mille peal viiakse läbi esmased katsed ja parandatakse avastatud vead.

Annotatsioon

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on arendada Pelltechi uue katla pelletipõleti kontrolleri. See arendustöö hõlmab endas aluseks võetud kontrolleri põhjal uue plaadi koostamist, muudatuste ja lisanduste analüüsimist ning PCB plaadi disainimist.

Lõputöös on keskendunud ainult teatud arendustöö osadele nagu uute lahenduste ja muudatuste kirjeldamine, PCB plaadi disainimine ning kasutatava tarkvara kirjeldamine.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 21 leheküljel, 5 peatükki, 8 joonist.

Abstract

Designing pellet burner controller

The aim of this thesis is to develop a new controller to Pelltech OÜ for controlling the pellet burner inside a new pellet boiler. This includes developing a new controller based on an older one, analyzing the changes and additives and designing the PCB.

This thesis concentrates only on a part of the development process like describing the new solutions and made changes, the designing of the PCB and the software used on the controller.

The thesis is in Estonian and contains 21 pages of text, 5 chapters, 8 figures.

Lühendite ja mõistete sõnastik

ADC	<i>Analog-to-digital converter</i> , analoog-digitaalmuundur.
IR	<i>Infrared</i> , infrapuna.
LED	<i>Light-emitting diode</i> , valgusdiod.
MOSFET	<i>Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor</i> , isoleeritud paisuga väljatransistor.
OEM	<i>Original equipment manufacturer</i> , algupärane tootja.
PTC	<i>Positive temperature coefficient</i> , positiivne temperatuurikoefitsent.
PWM	<i>Pulse width modulation</i> , pulsilaiusmodulatsioon.
TRIAC	<i>Triode for alternating current</i> , sümistor.
UART	<i>Universal asynchronous receiver-transmitter</i> , universaalne asünkroonne vastuvõtja-saatja.

Sisukord

1 Sissejuhatus.....	9
2 Kombikatla ülevaade.....	10
2.1 Põleti seadmestik.....	11
2.2 Kontrolleri funktsionaalsus.....	13
3 Kasutajaliides.....	15
4 Tiguajamite juhtimine.....	19
4.1 Skeemi analüüs.....	20
4.2 Tagasisideahelad.....	21
5 Trükkplaadi disain.....	23
6 Kontrolleri tarkvara.....	26
6.1 Puhastuse juhtimine.....	27
7 Kokkuvõte.....	29
Kasutatud kirjandus.....	30
Lisa 1 – Väike katlakomplekt.....	31
Lisa 2 – Endine kasutajaliides.....	32

Jooniste loetelu

Joonis 1: Katla ülesehitus.....	10
Joonis 2: Funktsionaalne blokkdiagramm.....	13
Joonis 3: Kasutajaliides.....	15
Joonis 4: Kasutajaliidese skeem.....	16
Joonis 5. Välisteo skeem.....	20
Joonis 6: Ekraani ja nupu paiknemine.....	23
Joonis 7: Kontrolleri trükkplaat.....	24
Joonis 8: Sisend-väljund mooduli trükkplaat.....	25

1 Sissejuhatus

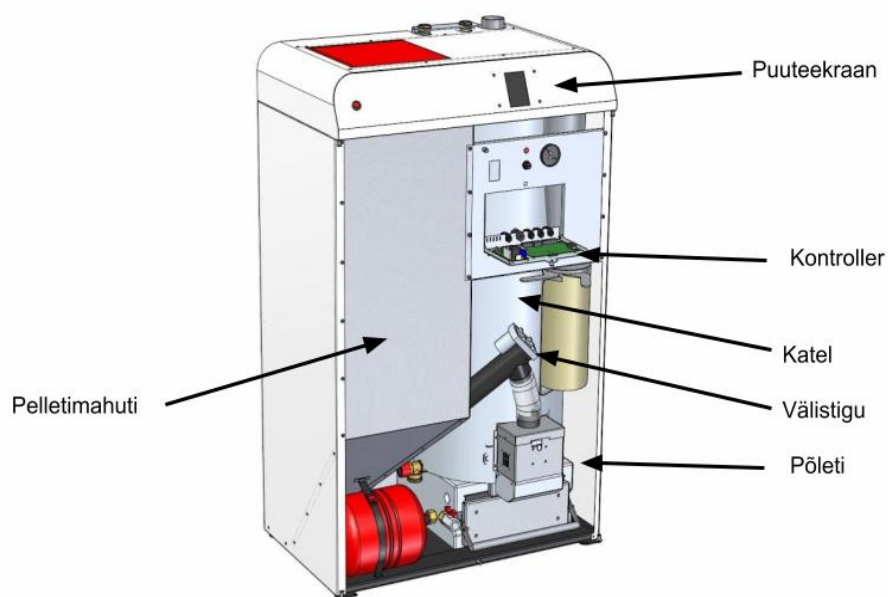
Firma Pelltech on 2006 aastal loodud ettevõtte, mis on spetsialiseerunud pelletipõletite ja katelde müügile, tootmisele ning arendusele [1]. Põletite mudelivalik on lai, alustades väikestele eramajadele mõeldud 20kW põletist ning lõpetades tööstustele mõeldud 1500kW põletiga. Katlaid pakutakse alates võimsusest 30kW ning lõpetades 1000kW. Olenemata sellest, et ettevõtte poolt pakutav mudelivalik on nii põletite kui ka katelde osas üsnagi lai, on siiski tarbijaid, kelle soovet hetkel rahuldada ei suudeta. Puudust on väiksemast ja kompaktsemast katlast, milles sisalduks peale põleti ja katla ka piisava mahuga pelletimahuti. Praegu tootmises olev 30kW katel koos 20kW põletiga on oma mõõtmetel üsna suur ning seda veel ilma pelletimahutita (Lisa 1).

Selle tühimiku täitmiseks otsustati disainida ning välja töötada kombikatel, milles sisalduksid nii katel, põleti kui ka mahuti. Põleti tüübiks valiti urnis vertikaalne põletamine, mida ettevõttes pole varem kasutatud. Kõik katla osad on disainitud ning testitud algusest peale kohapeal.

Lõputöös keskendutakse kombikatlas sisalduva pelletipõleti kontrolleri arendustööle. Püüdes hoida ettevõttes sisalduvate kontrollerite erinevusi minimaalsena on disainimise alusena kasutatud pelletipõleti PV50b kontrollerit. Töös kirjeldatakse tehtud muudatusi ja täiendusi, analüüsitakse skeemilisi ja tarkvaralisi lahendusi ning põhjendatakse tehtud valikuid.

2 Kombikatla ülevaade

Kombikatel koosneb mitmest erinevast osast (Joonis 1), mis peavad omavahel hästi kokku sobima, et saavutada parim põlemiskvaliteet ning suurim efektiivsus. Terve süsteemi saab jagada laias laastus kolmeks: pelletimahuti, katel ja põleti.



Joonis 1: Katla ülesehitus

Pelletimahutisse mahub pelleteid umbes 100 kg jagu, millest peaks kütust jätkuma kuni nädalaks ajaks, olenevalt tarbitavast võimusesest. Pelletimahuti täitmine käib läbi kaanel asetseva avause, mida katab punane kate. Katel ise on silindrilise kujuga ning kolme suitsukäiguga. Pärast viimast suitsukäiku asetseb tsüklon, mis on mõeldud lendtuha püüdmiseks, et hoida peenosakeste kontsentratsioon väljuvates suitsugaasides võimalikult madalana. Lendtuhk kogutakse tsükloni all asetsevasse 2.5 liitrisesse

mahutisse, mida on tarvis perioodiliselt tühjendada. Tsükloni kohal asetseb suitsuventilaator. Katla põhjas asetseb tuhakast, kuhu kogunevad põlemisjääd, mis viiakse sinna iga põleti puhastustsükliga. Tuhakast vajab samuti perioodilist tühjendamist, siiski harvemini kui tsükloni mahuti, kuna tuhakast on oma mõõtmetelt suurem. Katla alumises osas tuhakasti kohal paikneb põleti – terve süsteemi üks olulisemaid osi. Põleti juhtkontroller paikneb katla keskel oleval luugil. Kontroller juhib põlemisprotsessiks vajalikke seadmeid ja suhtleb katlamooduliga, kuhu kuvatakse kõik olulisem informatsioon. Katlamoodul on peale informatsiooni kuvamise võimeline ka muutma põleti seadeid, läbi mille käib põlemisprotsessi konfigureerimine. Lisaks eelnimetatud funktsionaalsusele on katlamoodul ka põletile elektrooniliseks termostaadiks ning tal on olemas 4 konfigureeritavat 220V väljundit, mida saab kasutada erinevate seadmete juhtimiseks. Koduse küttesüsteemi juhtimiseks on katlamoodulil lisaks võimekus juhtida kahte segamiskraani, mida ollakse võimelised juhtima nii toatemperatuuri kui välistemperatuuri järgi. Katlamooduli külge on lisaks võimalik ühendada internetimoodul, mis teeb võimalikuks kogu süsteemi juhtimise ning jälgimise üle interneti.

2.1 Põleti seadmestik

Kõik eelnevad Pelltechi toodetud pelletipõletid on olnud iseseisvad, mis on tinginud ka vajaduse, et kogu mehaanika, koos teda juhtiva elektroonikaga peab mahtuma ühise korpuse alla. See on piiranud kontrolleri mõõtmeid ning seadnud ka teatavaid piiranguid pistikute ja komponentide asukohale. Disainitavas katlas moodustavad põleti, katel ja mahuti ühise koosluse, kuna loodud põleti ning katel on mõeldud töötama koos. Pööramata tähelepanu sellele, et põletit saaks kasutada ka teiste turul saadaval olevate põletitega, on kadunud mõte pressida kogu juhtivsüsteem põletiga ühise korpuse alla. Põleti sisse jäävate komponentide arvu saab seega viia miinimumini, mis aitab hoida põleti dimensioone väiksena. Elektroonikast jääb sel juhul põletisse alles vaid põleti tööks ja jälgimiseks vajalikud seadmed ning neid koondav sisend-väljund moodul, mis ühendatakse kontrolleriga. Kontrolleri enda saab sellisel juhul teisaldada põletist eemale katla kere külge, mis peale suure disainivabaduse aitab kaasa ka süsteemi ohutusele, hoides kuumatundlikud komponendid põlemisallikast eemal.

Kontrolleriga koos on põletist teisaldataud ka toiteplokk ning aku, mis paigaldatakse selle vahetuslähedusse. Aku on vajalik süsteemi toitmiseks voolukatkestuse korral. Põlemisprotsessi juhtimiseks vajalikest seadmetest jäävad kontrolleriga otse ühendatuks välistigu ja suitsuventilaator, mis paiknevad väljaspool põleti korpust, ning mida pole seetõttu mõistlik ühendada sisend-väljund mooduliga.

Sisend-väljund moodulil paiknevad pistikud, kuhu ühendatakse põleti tööks vajalikud seadmed ja andurid:

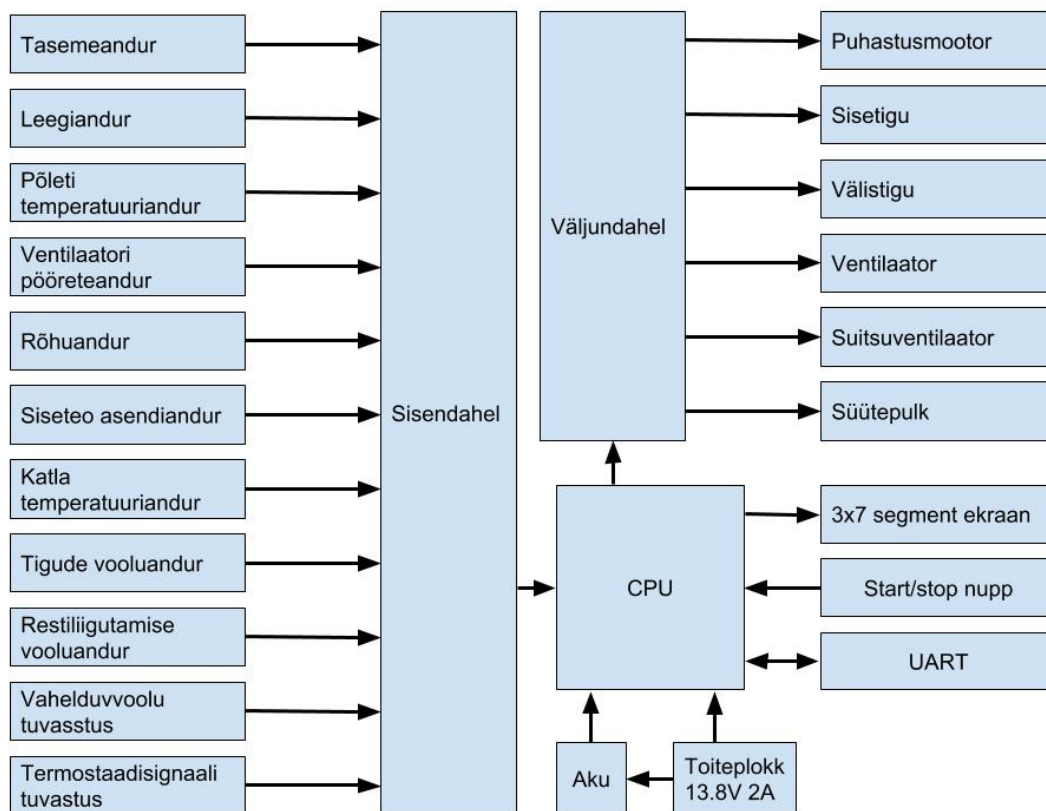
- Tasemeandur, mis on vajalik tuvastamiseks pelletite olemasolu pelletitorus. Tasemeandur koosneb saatjast ja vastuvõtjast.
- Leegiandur, mis on vajalik tuvastamiseks leegi olemasolu põlemiskambris. Oluline on tuvastada nii kütuse süttimine süütamisel kui ka kustumine põlemistsükli lõppedes.
- Sisetigu koos pööretetagasisidega, millega toimub kütuse doseerimine põlemiskambrisse. Pööreteandur on lihtne halli andur, millega mõõdetakse sisetee mootori otsas oleva käigukasti väljundvõlli otsa liimitud magneti polaarsuste muutumist.
- Ventilaator koos pöörete tagasisidega, millega toimub põlemisõhu reguleerimine. Kasutusel on harjasteta alalisvoolu ventilaator, millel on pöörete tagasiside juba sisse ehitatud.
- Temperatuuriandur, millega mõõdetakse põleti elektroonikakambri temperatuuri. Andur paikneb otse plaadil mitte ei ühendu pistikusse.
- Alarõhuandur, millega mõõdetakse tõmmet põlemiskambris ning mille andmete alusel toimub suitsuventilaatori reguleerimine. Andur paikneb otse plaadil, mitte ei ühendu pistikusse.
- Ohutustermostaat, mis katkestab ventilaatorite toite tagamispõlemise korral, mõõtes pelletitoru temperatuuri. Pole isetagastuv ning vajab kasutaja poolset uuesti sisselülitamist aktiveerumise korral.

- Süütepulk, millega toimub põlemiskambris oleva kütuse süütamine. Ainukene vahelduvvoolu tarbija põleti elektroonikakambris.

Sisend-väljund moodul on ühendatud kontrolleriiga kahe kaabliga, millest üks on kasutuses andurite signaalide jaoks ja teine tarbijate toidete ühendamiseks. Selline lahendus on vajalik, et hoida analoogsignaale eemal võimalikest häireallikatest.

2.2 Kontrolleri funktsionaalsus

Põleti kontrolleriil on täita mitmed erinevad funktsioonid, mille tarbeks on süsteemi ühendatud mitmeid andureid ning mootoreid (Joonis 2).



Joonis 2: Funktsionaalne blokkdiagramm

Kütuse doseerimine – pelletite doseerimine põletisse toimub kahe alalisvoolu mootoriga teoga, kus üks tigu kannab mahutist teisele teole pelleteid ette. Teise teo kohal paiknevas pelletitorus on IR LED-ist ja fotodiodist koosnev tasemeandur, millega tuvastatakse pelletite olemasolu. Teise teo puhul mõõdetakse halli anduri abil ka tehtud pöörded pelletite täpseks doseerimiseks. Mõlema teo puhul mõõdetakse mootori poolt tarbitavat voolu, et tuvastada nii liiga suurt kui ka väikest koormust.

Pelletite süütamine – kütuse süütamine käib 220V 400W süütepulgaga. Kütuse süütamine tuvastatakse leegianduriga, milleks on fototakisti.

Põlemisõhu reguleerimine – õhku juhitakse põlemiskambrisse alalisvoolu mootoriga ventilaatoriga, millel on olemas ka pööretetagasiside. Ventilaatori kiiruse juhtimine käib toitepinge muutmisega, kasutades selleks PWM-i.

Rõhu reguleerimine – põletikambris oleva rõhu juhtimine käib vahelduvvoolu mootoriga ventilaatoriga. Rõhu mõõtmiseks on eraldi komponendina lahendatud rõhuandur, mis on võimeline mõõtma kahe keskkonna vahelist rõhu diferentsiaali. Kiiruse reguleerimine käib TRIAC-iga, muutes mootorile jäävat pinget väärtust.

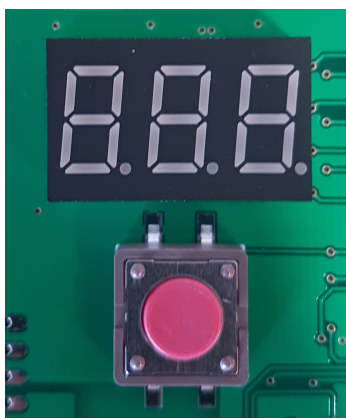
Põlemiskambri puhastamine – põlemisjääkide eemaldus toimub urni all olevate aukude avamisega, mille jaoks on alalisvoolu mootori otsa asetatud lineaarne ülekanne. Vajalik on mootorite juhtotste polaarsuse muutmine, et pärast aukude avamist need uuesti ka sulgeda.

Toitepinge ja termostaatsignaali tuvastamine – Vajalik vahelduvvoolu olemasolu tuvastamine, et omada informatsiooni põleti toitepinge ja töökäsu olemasolu kohta. Termostaadist läbikäiv vool on vahelduvvool.

Kommunikatsioon – suhtluseks välismaailmaga on UART ühendus, mille kaudu käib tööprotsessi konfigureerimine ning jälgimine, samuti ka tarkvara kauguuendamine. Suhtlus käib kas internetti ühendamiseks mõeldud mooduliga või katlakontrolleriga.

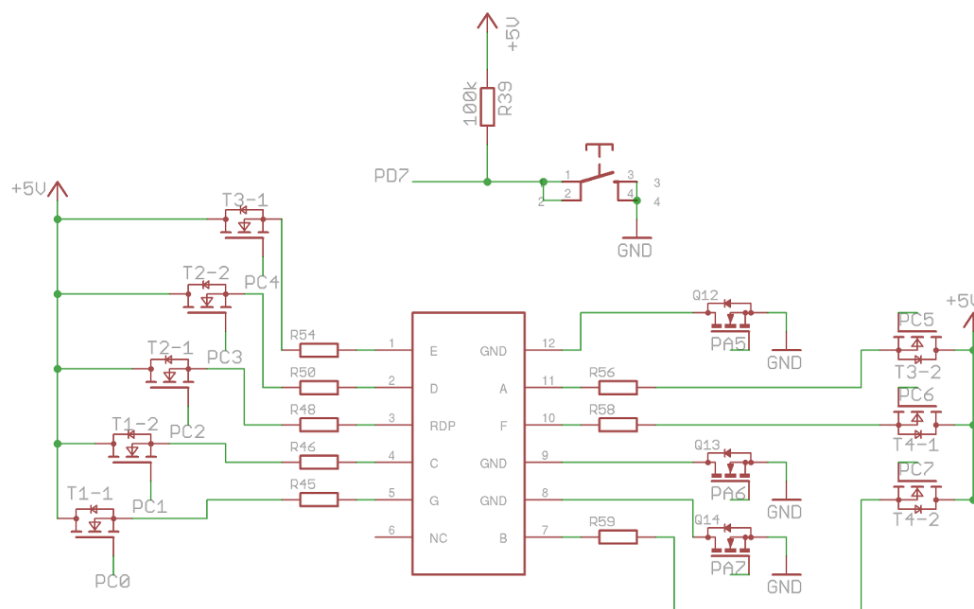
3 Kasutajaliides

Aluseks võetud kontrolleri kasutajaliideseks on 2x16 sümboliga ekraan ning viie nupuga lüliti (Lisa 2). Ekraanile oli kuvatud infot põleti hetkeoleku kohta. Menüüs liikudes on võimalik jälgida olulisemate põlemisprotsessi puudutavate muutujate hetkeväärtusi ja muuta põlemisprotsessi mõjutavate parameetrite väärtusi. Kasutajaliidese abil on võimalik muuta keelt ning lülitada põletit sisse-välja, samuti juhtida mõningaid põleti funktsioone käsitsi. Olgugi, et selline kasutajaliides oleks olnud võimalik uue kontrolleri puhul, otsustati sellest siiski loobuda, kuna katla küljes on juba olemas puutetundlik katlakontroller, mis on võimeline täitma sarnast funktsionaalsust, ainult et rohkem graafilisemal moel. Kuna põleti on teoreetiliselt võimeline töötama ka ilma katlakontrollerita, siis jääb endiselt alles vajadus mingisuguse lihtsa tagasiside jaoks, mis annaks mingisugust tagasisidet süsteemi hetke seisukorra üle. See on vajalik olukordades, kus katlakontroller on mingil põhjusel lakanud töötamast või on tekkinud probleeme nende omavahelises suhtluses. Sellisel juhul töötaks seade ilma kasutajapoolse kontrollita ning võiks seetõttu osutada potentsiaalselt ohtlikuks. Kahjuks ei piisa ainult tagasisidest, vaid peab leiduma ka mingi viis põleti ohutuks peatamiseks. Põletilt toite eemaldamine võib tunduda siinkohal küll lahendusena, kuid sel juhul jääb leek põlemiskambrisse alles ja loomuliku tõmbe puudumisel võib siiski toimuda tagasipõlemine.



Joonis 3: Kasutajaliides

Põleti seisundi kõige otsesem tagasiside on tema hetkeolek. Põleti juhttarkvaras on põlemisprotsess jaotatud mitmete olekute vahel alustades süütamise ja lõpupõlemisega ning lõpetades erinevate vigadega. Sellest lähtuvalt on tarvis mingisugust ekraani, millel kuvada põleti hetkeolekut. Kuna juba praegu on kõik põletite vead peale tekstilise seletuse kodeeritud tähega „E” ning kahekohalise veakoodiga, tunduski kõige mõistlikum kasutada kolme seitsmesegmendilise sümboliga ekraani. Sellisel juhul tuleb kõik olekud kodeerida kolmekohalisteks tekstidena. Vead on võimalik kuvada koodina, mille ette on lisatud täht „E”. Segmentidega ekraane toodetakse erinevates suurustes ja värvides, samuti nii ühise katoodi kui ka ühise anoodiga. Valikuks langes tootja Wenrun ekraan LTD036AUE-101C-03. See ekraan on mõõtmetega 14 x 22.5mm, ühise katoodiga ning sümbolite värvuseks on punane [2]. Otseselt polnud ekraan ei suuruse ega värviga piiratud, kuid valiku tegemisel langetati otsus visuaalselt hinnates kõige sobilikumale suurusele ning värvile.



Joonis 4: Kasutajaliidese skeem

Ekraani juhitakse Atmel Atmega64 protsessoriga. Selle tarbeks on segmentide toite juhtimiseks eraldatud Port C ning iga segmenti aktiveerimiseks veel kolm jalga.

Kõigi segmentide toite juhtotsade asumine ühes pordis aitab hoida tarkvara keerukuse madalana. Iga sümboli ühised katoode on ühendatud läbi transistori maaga, kuna iga segment tarbib voolu 20mA siis maksimaalne vool on:

$$I_{symbol} = I_{segment} * 7 = 20 \text{ mA} * 7 = 140 \text{ mA} ,$$

kus I_{symbol} on ühe sümboli voolutarve kõigi segmentide põledes ning $I_{segment}$ on ühe segmentide voolutarve. Seetõttu pole võimalik ühiseid katoode mikroprotsessori külge ühendada, sest üks jalg on maksimaalselt võimeline vastu võtma kuni 40mA voolu [3].

Segmentide toited on ühendatud ekraaniga läbi transistoride. Sisendvool 20mA ei ületa küll maksimaalset 40mA piiri ega ka kogu mikroprotsessori kohta käivat 400mA piiri, kuid jääb väga lähedale mõningate portide summaarse 100mA piirile [3]. Nii anoodi kui ka katoodi poolel on transistoridena kasutusel n-kanaliga MOSFET. Voolu piiramiseks kasutusel olevate takistite suurused on arvatud järgnevalt:

$$R_{limit} = (V_{CC} - V_F) / I_F = (5 \text{ V} - 2 \text{ V}) / 20 \text{ mA} = 3 \text{ V} / 20 \text{ mA} = 150 \Omega ,$$

kus R_{limit} on segmentide voolu piirava takisti väärtus, V_{CC} on skeemi toitepinge, V_F on ühe segmentide diodile jääv pingelang ning I_F diodi soovitud voolutarve. Kasutada võib ka suurema takistusliku väärtusega takisteid, kuid sel juhul langeb sümbolite heledus. Korruga on võimalik aktiveerida vaid ühte segmenti, nii et kõigi kolme segmentide aktiveerimine tuleb lahendada tarkvaraliselt.

Põleti tööprotsessi alustamiseks ja peatamiseks on kasutajal olnud eelnevalt mitu võimalust. Põleti töökäsku oli võimalik sisse ja välja lülitada muutes otseselt selleks mõeldud parameetrit põleti parameetrite listis. Teiseks võimaluseks oli kasutada loodud otseteid, kus nupustikul oleva „OK” nupu all hoidmine kauem kui kolm sekundit lülitas töökäsu sisse. Nupustikul oleva „◀” nupu all hoidmine kauem kui kolm sekundit lülitas töökäsu välja. Kuna uuel kontrollerial enam nupustikku ei eksisteeri tuleb sama funktsionaalsuse jaoks leida teine lahendus. Töökäsu muutmise juures on oluline, et põhiliselt soovitakse muuta vaid käsu olekut, kui on sisse lülitatud, siis lülitada välja ning vastupidi. Sellest tulenevalt tulebki välja, et mure saab lahendada paigaldades plaadile nupu, millele vajutusega saab kasutaja anda märku soovist muuta töökäsku.

Nupp on skeemiliselt lahendatud üsnagi lihtsalt ühendades nupp ühelt poolt maaga ja teiselt poolt mikroprotsessori sisendjalaga. Sisendjalale on paigutatud ka „pullup”, et hoida sisendi väärtust kõrgena juhul kui nupp pole vajutatud. Siinkohal tasub ka märkimist, et mikroprotsessori kood peab arvestama, et nupu vajutamisel ning päästmisel tekkiv front pole ühtlane ning seetõttu oleks vajalik tarkvaralist filtreerimist, et vältida signaali häiringuid.

4 Tiguajamite juhtimine

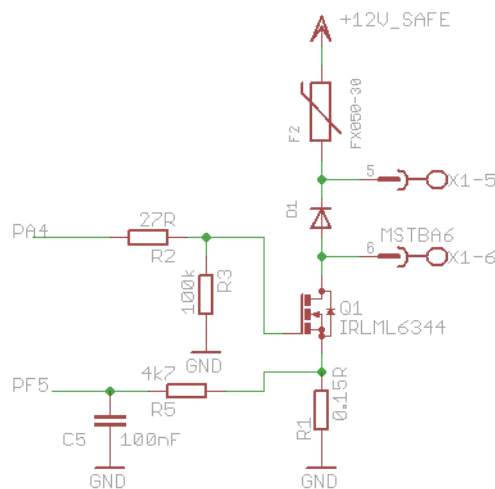
Põletil on kütuse doseerimiseks kasutada kaks identset 12V alalisvoolu mootorit. Valitud on alalisvoolumootorid, kuna omavad suuremat efektiivsust ning lihtsamalt mõõdetavat voolutarvet, samuti on nad ka vaiksemad ning kompaktsemad. Kuna süsteem ise on veel prototüüpimisfaasis, siis kasutatavate mootorite täpseid parameetreid pole hetkel teada, ning elektroonika disainimisel on arvestatud, et mootorid võivad tarbida kuni 5A voolu. Mootorite töötsüklid on erinevad, kus välistigu, mis kannab siseteole pelleteid ette, töötab harvemini kuid pikemate tsüklitega ning sisetigu, mis töötab tihedamalt aga lühikeste tsüklitega. Töötamise eripära on siiski piisavalt sarnane, et kasutada skeemilises lahenduses sarnast ülesehitust. Ainukene erinevus, mis kahel skeemil olema saab, tuleneb ohutusest. Sisetee spiraalil peab olema võimalikult vähe pelleteid. Rikke korral tuleb kõik see tühjendada põlemiskambrisse. Sellest tulenevalt on lülitina kasutatava n-kanaliga jõutransistori juhtots välistee puhul tõmmatud kõrgeks ehk transistor on suletud, et vältida mahutist pelletite juurdevedu, ning sisetee puhul madalaks, ehk transistor on avatud, et kõik spiraalis sisalduvad pelletid kanda põlemiskambrisse, et vältida tagasipõlemist.

Pelletite olemasolu tuvastamiseks on sisetee kohal olevas torus kaks omavahel vastastikku olevat diodi, millest üks on IR-LED, ehk saatja, ning teine fotodiod ehk vastuvõtja. Saatja perioodiliste impulsside ja nende vastuvõtjapoolse mõõtmisega on võimalik tuvastava signaali katkestus, mis tähendab, et pellet on blokeerinud saatja signaali. Impulsi pikkuse valik peab olema sobilik, et genereeritud valgustugevus ei oleks liiga suur, kuna muidu võib läikivatelt pelletitelt peegelduv signaal endiselt jõuda vastuvõtjani, mille tulemusena jõuab protsessorini vale informatsioon hetkeoleku kohta. Pelletite olemasolu kasutavad nii sisetigu kui ka välistigu, kus esimene teab selle korral, et on olemas kütust, mida põlemiskambrisse transportida, ning teine teab, et on tarvis kütuse juurde vedamine siseteole. Mõlema teo lülitamisel on ka viited, et vältida asjatut sisse-välja lülitamist.

4.1 Skeemi analüüs

Skeemis muudatuste ja paranduste tegemise vajadus tuleneb aluseks võetud kontrolleri sama ahela probleemidest. Tulenevalt eelneva siseteomootori tarnija kontakti kaotamisest tuli leida põletis kasutamiseks uued mootorid, mis oleks eelnevaga võimsuselt ja dimensionaalselt sarnased. Mootoritega tekkisid koheselt aga probleemid, kuna põleti käivitamisel kippus transistor maha põlema, mille tagajärjel jäi mootor konstantselt töötama. Juhtudel, kus transistor suutis eelneva üle elada tekkis probleeme mootori seisma jäämisega, ilma mingisuguse ilmse põhjuseta. Analüüsi käigus sai vea põhjus leitud, milleks oli uue mootori suurem tühikäigu vool, mis esmastel käivitamistel oli kuni 0.9A kuid mõningase töötamise järel langes 0.4 - 0.5A-ni. Võrdluseks, vanal mootoril oli tühikäigu vooluks kõigest 0.1 – 0.2A. Probleemi tuum paiknes aga transistori juhtotsa jätmises määramata olekusse süsteemi käivitamisel, mille tagajärjel polnud transistor ei suletud ega avatud, vaid paiknes kuskil vahepeal. Tulenevalt vana mootori madalast voolutarbest ei omanud see varem probleemi, kuna võimsused olid väiksed, kuid skeemiline lahendus oli siiski vigane. Probleemid mootori lihtsalt seisma jäämisega tulenesid aga jällegi mootori suuremast voolutarbest, skeemi toiteahelas asuva PTC kaitsme suuruse valikul polnud arvestatud nii suurte vooludega.

Teomootor paikneb skeemis klemmide X1-5 ja X1-6 vahel (Joonis 5).



Joonis 5. Välisteo skeem.

Esimene komponent teo juhtimise ahelas on isetagastuv kaitse, mis on vajalik mootori kaitsmiseks liigse koormuse või kinni kiilumise korral. Isetagastuv kaitse töötab sarnaselt PTC termistorile, voolu tarbimise suurenemisel hakkab seade soojenema, mille tagajärjel suureneb seadeldise takistus, kuni lõpuks piirini, kus kogu pingelang jääb ainult kaitsele. Toite kadudes seade jahtub maha ning taastub vaikselt juhtiv olek. Selline seade on skeemi valitud põhjusel, et selliseid sündmusi võib tihedalt ette tulla ning läbipõleva kaitsme kasutamine sellises situatsioonis oleks tülikas, kuna vajaks igakordset vahetamist. Valitud kaitsmeks on hetkel FX100 – 30, mis 5A voolutarbe korral sulgeb toite kahe sekundi jooksul [4].

Tarbijaga paralleelselt olevaks diodiks on *flyback* diod. Sellise diodi kasutamine on vajalik kuna mootor on induktiivne koormus. Diodi puudumisel induktseeriks induktiivne koormus transistori sulgemisel suure vastupinge, mis võib transistori hävitada. Kuna diod on normaalolekus vastupingestatud, siis ta voolu ei juhi, ning mootori normaalset töösüklit ei sega. Toite lahti ühendamisel tekib aga vastupinge ja diod hakkab juhtima, moodustades ajutise vooluringi. Tänu sellele ei toimu tarbijas kiiret voolulangust ning vastupinge on piiratud diodile jääva pingelanguga. Selline olek kestab hästi lühiajaliselt, kõigest mõned millisekundid. Skeemis on hetkel sellise diodina kasutusel SOD123 korpuses MBRX-140, mis oma madala päripingelangu ning suure voolutaluvusega sobib seda ülesannet täitma [5].

Transistori puhul on oluline, et ta sobiks nii lülitava koormusega, kui ka oleks juhitav otse mikroprotsessorilt. Skeemis on vastava koha peal kasutusel MOSFET jõutransistor, mis oma madala avatud oleku takistusega sobib hästi seda ülesannet täitma. Kasutatav IRLML6344 vastab oma parameetritelt hästi esitatud nõuetele [6].

4.2 Tagasisideahelad

Tigude otsese tagasisidena on kasutusel lihtne mootori poolt tarbitava voolu mõõtmine. Selle põhjal on võimalik saada infot, kas mootor on üldse skeemi ühendatud, kas ta töötab, ega ta pole kinni kiilunud.

Viimane on kõige suuremaks ohuallikaks, sest kinni kiilunud mootori korral läheb koguvõimus mähise soojendamisele ning mootor võib lihtsalt maha põleda. Teistel juhtudel saame anda kasutajale tagasisidet, miks põleti ei tööta ja mida võiks kontrollida.

Voolu mõõtjana on skeemis tarbijaga järjestikku paiknev mõõtetakisti, mille valikul on arvestatud mootori poolt potentsiaalselt tarbitavate vooludega ning mikroprotsessori ADC mõõtevahemikuga. Mikroprotsessori referentspingena on kasutusel 2.5V, mis tähendab, et mõõtetakistile jääv pingelang peab olema sellest väiksem. Arvestama peab ka asjaoluga, et pingelang mõõtetakistil tähendab ka väiksemat pingelangu mootoril, mis vähendab tema väljundvõimsust. Sellest tulenevalt peab mõõtetakisti olema küllaltki väike, et ta ei mõjutaks liialt mootori tööd, samas piisavalt suur, et temale jääv pingelang oleks ilma võimendamata mõõdetav.

Eelnevale tuginedes on mõõtetakistiks valitud $150\text{m}\Omega$ takisti, millele jääv pingelang 5A korral on üksnes 0.75V. 2.5 referentspinge ja 10 bitise ADC korral teeb see mõõtetäpsuseks:

$$I_{bit} = (V_{ref} / 2^{10}) / R = (2.5 \text{ V} / 1024) / 150 \text{ m}\Omega = 16.28 \text{ mA} ,$$

kus I_{bit} on ühele bitile vastav vool, V_{ref} on ADC referentspinge ja R on mõõtetakisti oomiline väärtus. Selline mõõtetäpsus on rohkem kui piisav, kuna etteantud täpsusklassiks on 0.1A.

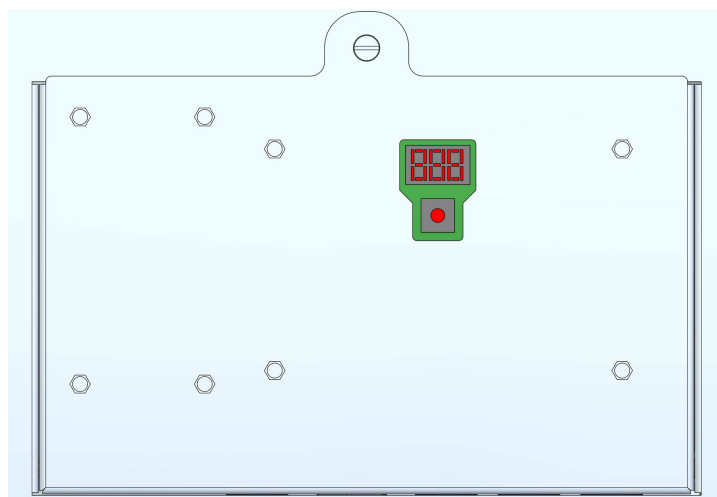
Peale voolumõõtmise on siseteo tagasisidena kasutusel ka pööreteandur, millega tuvastatakse mootori otsas oleva käigukasti väljundvõlli asend. Asendi tuvastajana on kasutusel lihtne halliandur, mis vastavalt võlli otsa paigaldatud magneti polaarsuse muutumisele muudab oma väljundsignaali. Pöörete mõõtmine on oluline kütuse täpseks doseerimiseks, et kindlustada kõrge põlemisefektiivsus ning koguda adekvaatset infot põlemisel kulunud pelletite hulga kohta.

5 Trükkplaadi disain

Trükkplaat on disainitud joonestusprogrammiga Eagle 6.5.0, millega on koostatud ka teised ettevõttes kasutusel olevad trükkplaadid. Kasutatud sai just seda programmi, kuna seda on õpetatud ülikoolis kasutama ja ettevõtte poolt on eelistatud, et kõik skeemid oleks koostatud ühe programmiga.

Trükkplaadi disainimisel mõõtmetelt suuri piiranguid polnud, kuid arvestada tuli siiski mehaanikute poolt etteantud mõõtmetega 140 x 95 mm. Trükkplaadi suurusele seadsid piiranguid selle tarbeks eraldatud luugi mõõtmed, kuhu peale trükkplaadi tuli ka veel mahutada toiteplokk. Trükkplaadi kinnitamiseks vajalikud augud asuvad nurkades 0.8 mm kaugusel plaadi äärtest. Plaat on kahepoolne, kus enamus komponente paiknevad plaadi pealmisel osal, alumisel osal paiknevad vaid ekraan ja nupp.

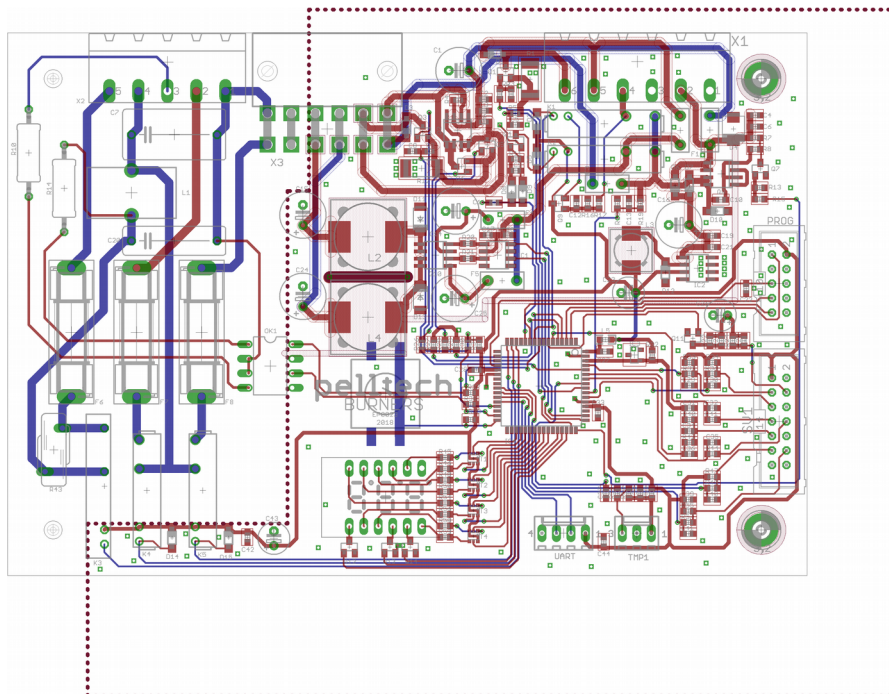
Ekraani ja nupu paigutamiseks olid mehaanikute poolt samuti vabad käed ning seetõttu on need visuaalsuse mõttes paigutatud plaadi keskele alumisse äärde, mille tõttu paiknevad nad kontrolleri luugi ülemises osas (Joonis 6). Plaadil asetsevad pistikud on paigutatud äärtesse mehaanilise tugevuse pärast, et vältida plaadi purunemist pistikute kokku lahku ühendamisel. Pistikud on erinevat tüüpi, millest kahte käib ühendus plaadiga paralleelselt ning kahte plaadiga risti.



Joonis 6: Ekraani ja nupu paiknemine

Komponentide paigutamisel on arvesse võetud tootjapoolseid soovitusi ja nende koosmõju skeemi teiste osadega. Omavahel on eraldatud vahelduvvoolu ja alalisvoolu ahelad, kuna esimene võib oma kõrgema pingega ja sageduse tõttu tekitada häiringuid tundlikes skeemiahelates. Peale selle on eraldatud ka 13.8V pingega alalisvoolu tarbijate maahendused, et hoida ära suurte voolude liikumine läbi mõõteahelate, mis võib nende mõõdetavaid suurusi mõjutada. Eriti oluline on mootorite voolude eraldamine, kuna nende käivitamisel tekkiv kõrge vooluimpulss võib häirida anduritest tuleva analoogsignaali mõõtmist, millega on varasemates kontrollerites probleeme olnud.

Radade laiuste ning omavaheliste kauguste puhul on arvestatud neid läbivaid voole ning pingeid, toetudes IPC-2221 standardile [7]. Rajad, mis kannavad anduritest tulevaid analoogsignaale ning rajad, mis kannavad digitaalsignaale on laiusega 0.254 mm. Voolud, mis neis radades liiguvad, on kordades väiksemad kui sellise laiusega rada lubaks, aga kuna trükkplaadi pakketihedus pole kõrge, siis on kasutatud laiemaid radasid.



Joonis 7: Kontrolleri trükkplaat

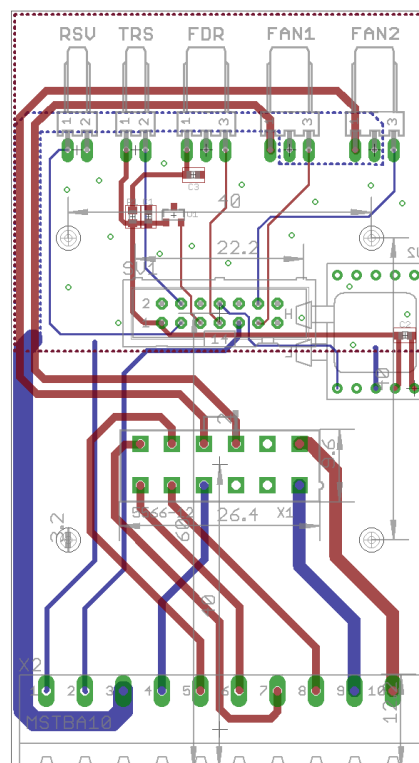
Rajad, mis kannavad skeemi tulevat toitepinget ning mootoritesse ja akudesse minevaid voolusid on laiusega 1.016 mm. Voolude reaalkäitused võivad küll aheliti erineda,

kuid on arvestatud suurima vooluga, mis põleti normaalsel töötamisel neid radasid läbida võib. Kuna skeemi tulev toitepinge on 13.8V, on seda pinget kandvate vooluradade kaugus teistest radadest veidi suurem, 0.4572 mm. Seda on küll palju rohkem kui nõutud, kuid aitab minimaliseerida ohtusi ning vähendada parasiitmahtuvusi.

Rajad mis kannavad skeemis 5V on laiusel 0.6096 mm. 5V on kasutusel toitepingena nii mikroprotsessorile kui ka releedele ning mitmetele anduritele. Sama pingega käib ka süsteemis kasutusel olevate transistoride lülitamine, kuna kogu digitaalloomika kasutab samuti 5V loogikat.

Distants erinevate vooluradade, komponentide jooteväljade ning läbiviikude vahel on 0.254 mm, mis on samuti enam kui piisav. Plaadi mõlemal pool paiknevad maaväljad on omavahel ühendatud läbiviikude võrgustikuga, et vähendada maavälja impedansi.

Samasuguseid radade parameetreid on kasutatud ka sisend-väljund mooduli trükkplaadi disainimisel. Plaadi suuruseks on 55 x 100 mm.



Joonis 8: Sisend-väljund mooduli trükkplaat

6 Kontrolleri tarkvara

Põleti kontrolleri juhttarkvara on kirjutatud BASIC programmeerimiskeeles, mis kompileeritakse kokku spetsiaalselt Atmel AVR perekonna protsessoritele mõeldud kompilaatoriga. BASIC programmeerimiskeel on üsna lihtsa süntaksiga ning tänu sellele inimesele kergesti loetav. Planeeritud on tarkvara ümberkirjutamine C-keelde, kuid kuna selle arendustöö võib võtta palju aega oli eelistatud jäämine eelnevate kontrolleri poolt kasutatavale keelele, tänu millele oli võimalik suure osa nende koodi taaskasutamine ning jätta keelevahetus tulevikku.

Tarkvara on üles ehitatud mitmetest erinevatest protsessidest, mida käivitatakse erinevate ajavahemike jooksul. Olulisemaid protsesse käivitatakse peatsüklis ilma mingisuguse ajalise piiranguta, ehk neid protsesse täidetakse nii tihedalt kui võimalik. Selliste protsesside alla käivad näiteks sisendite mõõtmine, kommunikatsioon ning draiverite juhtimine. Ülejäänud protsesside jaoks on kaks erinevat ajavahemikku, kui tihedalt neid täidetakse: iga poole sekundi tagant ja iga sekundi tagant. Sekundi tagant juhitavaid protsesse on vähe ning nendeks on enamasti erinevad taimerid protsesside ja olekute ajalise kestvuse mõõtmiseks. Poole sekundi tagant käib erinevate mootorite ja ventilaatorite kiiruste kontroll ning käivitamine ja seiskamine.

Tarkvara üheks olulisemaks osaks on olekumasin, milles on määratud põleti erinevate osade juhtimine. Olekumasin on jagatud mitmeks erinevaks olekuks, millest igaüks kirjeldab ühte seisundit põleti töös, nendest olulisemaks on 11 erinevat põleti tööseisundit.

- Ootab – oodatakse signaali termostaatlülitilt põlemisprotsessi alustamiseks.
- Testib – testitakse põleti erinevaid osi.
- Puhastab – puhastatakse põleti põlemiskambrit.
- Laeb – kütuse laadimine põlemiskambrisse süütamiseks.

- Süütab – kütuse süütamine.
- Süttib – kütuse põlemise stabiliseerimine.
- Põleb – põhiolek, toimub kütuse põletamine erinevatel võimsusastmetel.
- Hoia leeki – pilootleegi hoidmine, et vältida põlemisprotsessi lõpetamist signaali kadumisel.
- Lõpupõlemine – siseteo spiraalis sisalduva kütuse tühjendamine põlemiskambrisse.
- Lõpupuhe – kütuse ärapõlemise ootamine.
- Ei tööta – põleti töökäsk seadetest on välja lülitatud.

Peale tööseisundite on olemas ka mitmeid vea- ja hoiatusseisundeid, mis annavad märku tekkinud vigadest ja probleemidest. Vea- ja hoiatusseisundid erinevad üksteisest selle poolest, et esimese korral peatatakse põleti töö, kuid teine on vaid teavituseks, mille korral põleti tööd ei seisata.

6.1 Puhastuse juhtimine

Põlemiskambri puhastamine on üks protsessidest, mis erineb tugevalt aluseks võetud kontrolleri loogikast. Eelneval põletil toimus lihtsalt resti sisse välja liigutamine ning sellega asi piirdus. Uuel kontrolleril on tarvis teistsugust juhtimist, kuna enam pole tegemist resti edasi-tagasi liigutamisega vaid pööramisega.

Puhastusmootori juhtimiseks on kontrolleril H-sild, et oleks võimalus mootorit mõlemas suunas käima panna. Puhastustsükkel ise näeb välja järgnevalt: mootori juhtotstele antakse toide peale ning jälgitakse, et mootori poolt tarbitav vool ei ületaks etteantud väärtusi. Voolupiir on ette antud põleti seadetest ning see on muudetav, et kompenseerida mootori väsimusel tekkivat suuremat voolutarvet. Liikumise lõpppositsioon tuvastatakse voolupiiri ületamisel, kuid et teha vahet jõudmisel lõpppositsiooni ning keset puhastamist kinni kiilumise vahel, mõõdetakse ka veel ühest

asendist teise kulunud aega. Igasugune maksimaalse etteantud voolu lühiajaline ületamine enne etteantud aja möödumist tähendab liikumise ebaõnnestumist, mille tulemusel muudetakse mootorile antud pinge vastupidiseks ning alustatakse liikumist puhastustsükli algusesse. Määratud aja möödumisel voolupiiri ületamisel lülitatakse mootorilt toitepinge maha, pööratakse polaarsus vastupidiseks ning alustatakse liikumist tagasi endisesse asendisse. Sellist liikumist korratakse neli korda, et kindlustada põlemiskambri edukas puhastamine. Puhastamise ebaõnnestumise korral, mis juhtub kui puhastamine on võtnud liiga kaua aega, peatatakse põleti töö ning kuvatakse kasutajale vastav veateade, mis interneti olemasolul saadetakse ka kasutaja meilile või SMS-i teel telefonile.

7 Kokkuvõte

Lõputöö tulemusena projekteeriti toimiv pelletipõleti kontrolleri. Projekteerimisele esitatud nõuded said täidetud ning tehtud muudatused edukalt sisse viidud. Esimene prototüüp on ettevõttes katsetamisel andnud häid tulemusi ning suuremaid probleeme pole esinenud, kuid pikaajalisemad katsed ootavad veel ees. Esmased tulemused tõestavad valitud komponentide sobivust ning skeemiliste lahenduste toimimist. Uus kasutajaliides töötab, kuid kuna prototüüp on olnud lühikest aega kättesaadav, siis tarkvaraline pool on endiselt veel lahendamata, kuna ei omanud esmasel testimisel suurt prioriteeti.

Projekti ootab järgnevalt ees proovipartii tellimine ning komplekteerimine, et testida terve süsteemi koostöötamise võimekust. Proovipartii suuruseks saab olema 5 kombikatelt. Selle tarvis on vaja tellida mitmeid komponente, kaasa arvatud uued kontrolleriid, et välistada käsitsi juotmisel tekkida võivaid probleeme. Tarkvara poole pealt vajavad veel lahendamist nii välisteo juhtimise täiustamine kui ka kasutajaliidesele kuvatava informatsiooni teksti koostaja implementeerimine. Välisteo poole pealt on olemas juhtimist teostav moodul, kuid puudub veel voolu mõõtmise ning selle kontroll, mis vajavad samuti lahendamist.

Kasutatud kirjandus

- [1] Pelltech [WWW] <http://uus.pelltech.eu> (02.05.2018)
- [2] LTD036AUE-101C [WWW]
<https://www.tme.eu/ee/Document/7f08b97f61121eee008e6cfced3e204c/LTD036AUE-101C.pdf> (02.05.2108)
- [3] Atmel Atmega64 [WWW] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2490-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega64-L_datasheet.pdf (09.05.2018)
- [4] Radial leaded PTC FX/FU Model [WWW]
<https://www.tme.eu/en/Document/1c9dfe194f810e324ec8ed0f3cd453e3/FX.FUu.pdf>
(09.05.2018)
- [5] MBRX120 THRU MBRX160 [WWW] [https://www.mouser.com/ds/2/258/MBRX120-MBRX160\(SOD123\)-350176.pdf](https://www.mouser.com/ds/2/258/MBRX120-MBRX160(SOD123)-350176.pdf) (09.05.2018)
- [6] IRLML6344TRPbF [WWW] <https://www.infineon.com/dgdl/irlml6344pbf.pdf?fileId=5546d462533600a4015356689c44262c> (09.05.2018)
- [7] IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design [WWW]
<http://www.ipc.org/TOC/IPC-2221.pdf> (09.05.2018)

Lisa 1 – Väike katlakomplekt



Lisa 2 – Endine kasutajaliides

