



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

ELEKTROENERGEETIKA JA MEHHATROONIKA INSTITUUT

**PARABOOL-PEEGLIGA PÄIKESEKOLLEKTORI KIIRGUSE
VASTUVÕTJA MUDELI EHTAMINE JA SOOJUSKADUDE
UURIMINE**

Construction and research of heat losses of solar radiation receiver
model for a solar collector with parabolic mirror

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Alan-Skiip Küttim

Õpilaskood: 142973

Juhendaja: Lauri Kütt

Tallinn 2017

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneriplomiti taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ inseneriteaduskond
BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Alan-Skiip Küttim 142973
Õppekava: MAHB
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: professor, Lauri Kütt
Konsultandid:

LÕPUTÖÖ TEEMA:

Parabool-pegliga päikesekollektori kiirguse vastuvõtja mudeli ehitamine ja soojuskadude uurimine

Construction and research of heat losses of solar radiation receiver model for a solar collector with parabolic mirror

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Mehaanilise mudeli ehitamine ja isoleerimine	31.02.2017
2.	Küttekeha ehitamine	31.03.2017
3.	õõteseadmete ühendamine ja programmeerimine	15.04.2017
4.	Mudeli katsetamine ja andmete kogumine	18.05.2017
5.	Andmete analüüs ja lõputöö kirjutamise lõpetamine	23.05.2017

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Projekteerida ja ehitada päikesekollektori kiirguse vastuvõtjast mudel ning teha sellele mõningad edasiarendused soojuskadude vähendamiseks. Mudeli kuumutamiseks kütteelemendi tegemine ja mõõteseadmete seadistamine ja programmeerimine. Mõõtetulemuste põhjal mudeli soojuskadude arvutamine.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: eesti

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg: 25.05.2017

Üliõpilane Alan-Skiip Küttim /alkiri/ Kuupäev

Juhendaja Lauri Kütt /alkiri/ Kuupäev

SISUKORD

EESSÖNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. PARABOOL-PEEGLIGA PÄIKESEKOLLEKTORI ÜLDINE KIRJELDUS	8
1.1 Parabool-peegel	8
1.2 Kiirguse vastuvõtja	9
1.3 Termoelektriline element	10
2. MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE JA EHTAMINE	11
2.1 Materjalide valik korpuse raami ehitamisel	11
2.2 Detailide töötlemine	12
2.2.1 Puurimine	13
2.2.2 Keermestamine	13
2.2 Raami soojuskadude vähendamine	15
2.3 Raamile karastatud klaasi lisamine	17
2.3.1 Karastatud klaas	18
2.4 Korpuse isoleerimine	19
3. KATSESEADME ELEKTROONIKA JA VAJALIKE ELEKTROONIKASEADMETE VALIK	20
3.1 Küttekeha vajalikud komponendid ja konstruktsioon	20
3.2 Toiteplokk	22
3.3 Mõõteriista valik	23
3.3.1 Keysight 34972A sisendid	23
3.3.2 Keysight 34972A andmetöötlus ja programmeerimine	24
3.4 Temperatuuri mõõtevahendid	25
3.4.1 Üldiselt termopaaridest	25
3.4.2 Parand termopaari võrdlusjootekoha temperatuuri arvutamiseks	25
3.5 Takistustermomeetrid	27
3.5.1 Pt1000 takistustermomeeter	27
4. TEMPERATUURI MÕÕTMINE JA PROGRAMMEERIMINE	28
4.1 Temperatuuri mõõtmiste katsed	28

4.2 Mõõteseadme programmeerimine	29
5. ANDMETE ANALÜÜS JA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE	32
5.1 Andmete täpsuse tõstmine eksponendi arvutamisega	32
5.2 Soojuskadude arvutamine.....	35
5.3 Raami temperatuurid erinevates punktides	32
5.4 Andmete analüüs	35
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38
KASUTATUD ALLIKAD.....	39
LISA 1. TOITEPLOKI JOONIS	41
LISA 2. 34901A 20 – KANALIGA MULTIPLEKSORI SKEEM	42
LISA 3. PYTHONI PROGRAMMEERIMISKOOD	43
LISA 4. PYTHON 2.7 PROGRAMMEERIMISE ALGORITM.....	45
LISA 5. 30 W 90 KRAADI TAVALINE	46

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema arenes välja professor Lauri Kütti teaduslikust projektist, milleks on parabool-peegliga päikesekollektor. Kuna projekt on veel poolik, siis andis see autorile hea võimaluse siduda see oma lõputööga ning ehitada soojuse vastuvõtja mudel ja uurida, millised oleksid selle reaalsed soojuskaod. Töö teema pakkus autorile huvi, sest mudelit on võimalik reaalselt valmis ehitada ning katsetada.

Antud töö on valminud tänu Tallinna Tehnikaülikooli professori Lauri Kütti juhendamisel. Autor soovib tänada oma juhendajat professionaalse juhendamise eest ja vajalike seadmete ning materjalide võimaldamise eest.

SISSEJUHATUS

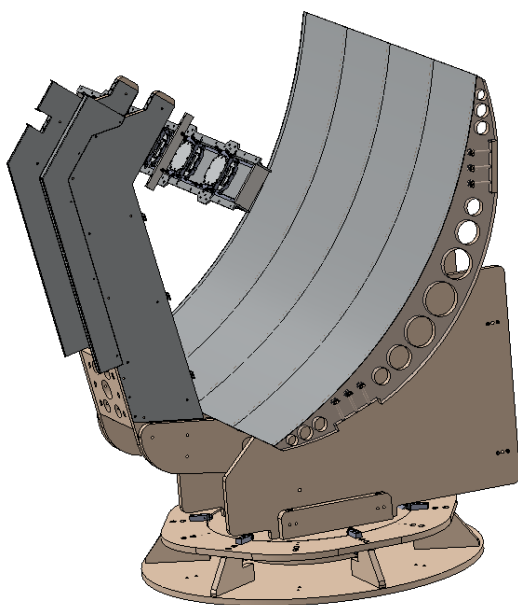
Tänapäeval on taastuvenergia kasutamine küllaltki aktuaalne teema ja pidevalt üritatakse luua uusi alternatiive fossiilkütustele. Päikese soojusenergiat rakendavad tehnoloogiad on oluliselt energia-efektiivsemad kui fotogalvaanilised elemendid, mis muundavad päikeseenergia otse elektrienergiaks. Parabool-peegli päikesekollektori eesmärk on muuta päikeseenergia soojusenergiaks ja siis läbi termoelektrilise elemendi omakorda elektriliseks energiaks. Masin on võimeline ennast ja peeglit pöörama intensiivsema päikesevalguse suunas. Termoelektriline element hakkab elektrit tootma temperatuuride vahe pealt, mida suurem on temperatuuri vahe, seda rohkem voolu päikesekollektor toodab.

Bakalaureusetöö ülesandeks on projekteerida mudel, mis on vähendatud versioon reaalsest päikesekollektori soojuse vastuvõtjast ja mõõta selle soojuskaod, mis lähevad kaduma konveksioonina, kiirgusena ja soojusjuhtivusega raami. Mudeli eesmärgiks on anda võimalikult palju soojusenergiat edasi termoelektrilisele elemendile, mis kinnitatakse alumiiniumlati teisele poolele. Esmalt tuleb projekteerida mudel *Solidworks* programmis ja uurida erinevaid materjale, mida saab kasutada soojuse vastuvõtja ehitamisel, sest korpus peab olema võimeline taluma kuni 300° C. Pärast projekteerimist on võimalik mudel valmis ehitada. Edasi tuleb ehitada kütteseade, millega oleks võimalik mudelit kuumutada kindla võimsusega ja mõõteseadmed, millega oleks võimalik mudeli temperatuure erinevatest punktides automaatselt mõõta. Pärast mõõtetulemuste kättesaamist tuleb arvutada soojuskaod ja neid analüüsida.

Kõik, millest räägitakse 1. peatükis ei ole autori enda poolt tehtud. Päikesekollektor ise ja ka CAD-failid päikesekollektorist on tehtud juhendaja poolt. Samuti idee elektrit toota termoelektrilise elemendiga on juhendaja idee. Autor kasutas 1. peatükis mainitud andmeid ja mõõtmeid alusena oma mudeli ehitamisel. Järgnevates peatükkides tehtu on kõik autori enda ehitatud ja katsetatud. Mõõtetulemuste arvutamiseks saadi valemid juhendaja käest.

1. PARABOOL-PEEGLIGA PÄIKESEKOLLEKTORI ÜLDINE KIRJELDUS

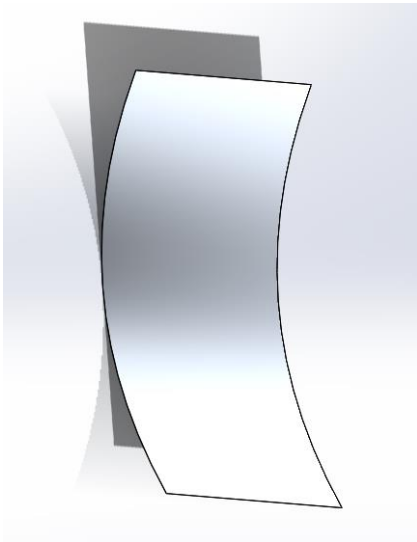
Päikesekollektori ülesanne on ennast keerata päikse suunas ja samuti muuta peegli kaldenurka nii, et peeglile langev päikesevalgus oleks maksimaalne. Samuti on masin võimeline tuvastama, kas ta on sattunud varju või mitte. Päikesevalgusest tekkiva fookuspunkti asukoht on alumiiniumlati ees, et vältida lati sulamist. Eesmärgiks on võimalikult palju päikselt saadud soojusenergiat edasi anda termoelektrilise elemendi kuumale poolele. Selleks peab korpus, mille sees kuum latt paikneb, olema võimalikult väikeste soojuskadudega. Alumiiniumlati teisele poolele on kinnitatud termoelektriline element ehk Peltier` element. Elektri tootmiseks tuleb elementi ühelt poolt kuumutada ja teiselt poolt jahutada. Osa soojusenergiast antakse edasi jahutussüsteemi, kus soojus juhitakse soojusvahetisse.



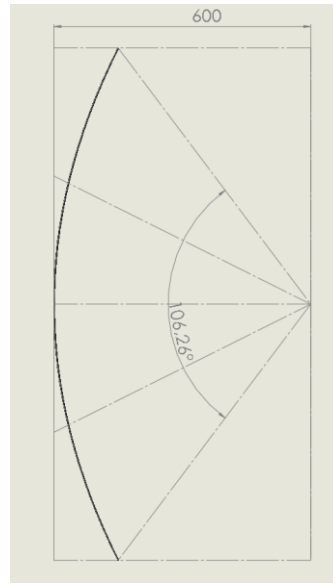
Sele 1.1 Parabool-peegli päikesekollektor

1.1 Parabool-peegel

Peegli pindala on $1,5 \text{ m}^2$, kuid kui lahutada sellest maha varjupindala, mis tekib peeglile, siis loeme tootlikuks pindalaks 1 m^2 . Juhendaja sõnul langeb Eestis päikeselise ilmaga 1 m^2 1000 W võimsust, millega oleks võimalik päikesekollektori korpusel olev alumiiniumlatt saavutada kuni 300° C . Sele 1.3 näitab, et fookuspunkt jääb peegli keskpunktist $0,6 \text{ m}$ kaugusele.



Sele 1.2 Peegil 3D mudel



Sele 1.3 Joonis peegli mõõtudest

1.2 Kiirguse vastuvõtja

Kiirguse vastuvõtjaks on päikesekollektoril 10 mm paksune ja 1,23 m pikk alumiiniumlatt. Korpuse lati ümber on samuti alumiiniumist ning latt on korpusesse kinnitatud keraamiliste tükide vahele, et vähendada soojusjuhtivust korpusesse. Kinnitused asetsevad PEEK seibide peal. Alumiiniumlati ja korpuse vahele on jäätud 10 mm vahe, sest teades alumiiniumi joonpaisumistegurit $\alpha_1 = 0,0000238 \frac{1}{C}$ ja temperatuuri muutust, mis on umbes 270 °C, saame teada, et lati joonpaisumine on 8 mm.

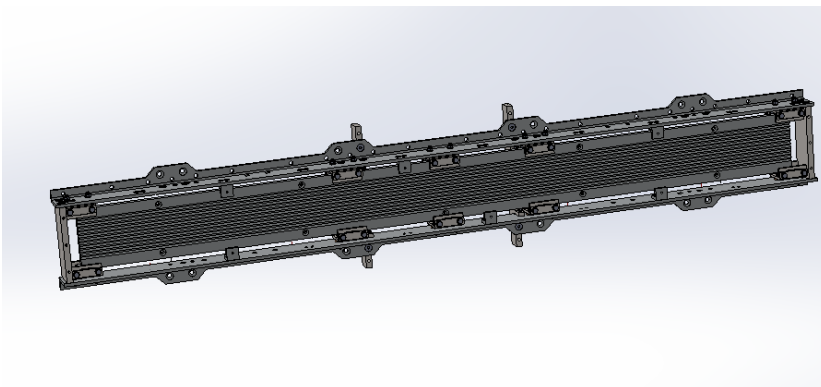
$$\Delta l = \alpha_1 * l_1 * \Delta t, \quad (1.2)$$

kus Δl – joonpaisumine,

α_1 – joonpaisumistegur,

l_1 – algpikkus,

Δt – temperatuuri muutus.

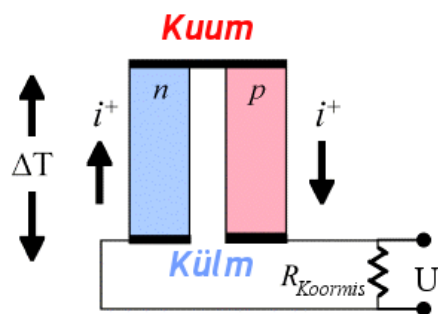


Sele 1.4 Kiirguse vastuvõtja päikesekollektori küljes

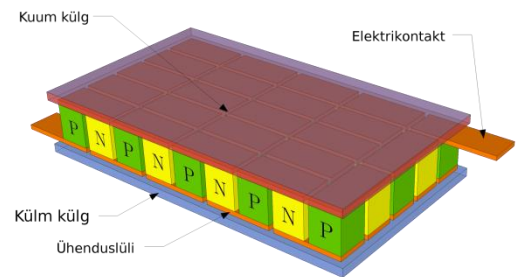
1.3 Termoelektriline element

Peltier' element on termoelektriline pooljuht-element, mis tänu Peltier' efektile võimaldab jahutada või soojendada teist objekti, mis on elemendiga termilises kontaktis. Soojenemine ja jahutamine sõltub vastavalt elementi läbiva voolu polaarsusele. Tänu Peltier efekti pöördnähtusele, Seebecki efektile, on võimalik kasutada Peltier' elementi ka elektrigeneraatorina, mis võimaldab temperatuuri vahe pealt elektrit toota. [1]

Peltier element koosneb omavahel ühendatud N- ja P- tüüpi pooljuhtidest, millel on elektronide tihedus erinev. Pooljuhtide soojuslikud ühendused on rööbiti ühendatud ning kontaktis kahel küljel oleva soojusjuht-plaadiga. Elektrilised ühendused on pooljuhtidel ühendatud jadamisi. Ühendades N- ja P-tüüpi pooljuhtide kuumad otsad elektriliselt ning lisades külmade otste vahele koormuse, siis tekib tänu Seebecki efektile ahelas elektrivool. Temperatuuride vahe põhjustab elektripinget kahe punkti vahel ning soojusliikumine võimaldab elektrivoolu tekke. [1]



Sele 1.5 Peltier element termoelektrilise generaatorina. [3]



Sele 1.6 Elemendi siseehitus. [3]

2. MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE JA EHTAMINE

2.1 Materjalide valik korpuse raami ehitamisel

Projekteerimisel lähtuti algselt olemasolevast lahendusest, millest tuli teha mudel, mis oleks mõõtmetelt võimalikult sarnane olemasolevast, kuid oleks viis korda lühem. Väiksem mudel hoiaks kokku majanduslikke ressursse ja seda oleks kergem katsetada ning täiustada. Eesmärgiks oli mudel ehitada nii, et korpuse keskel paikneval alumiiniumlati kuumenemisel oleksid soojuslikud kaod atmosfääri võimalikult minimaalsed. Korpuse ehitamiseks kasutati kahte 10 mm paksust alumiiniumlatti ja kahte alumiiniumist 50x50x5 L-profiili. L-profiil tagab konstruktsiooni tugevuse ja sinna külge on hea ka teisi olulisi detaile kinnitada. Soojust vastuvõtva lati kinnitamiseks kasutati alumiiniumist 40x20x4 U-profiili. Kinnitused on paigaldatud L-profiili külge poltliitega, aga kuna polt tekitab seal külmasilla, siis on selle tõkestamiseks vahele tehtud PEEK plastikust seibid, mis takistavad metallide omavahelist kontakti. PEEK ehk polüeteereeterketooni kasutatakse, sest sellel on madal soojusjuhtivus (tabel 2.1) ja see kannatab ka kõrget temperatuuri. Soojuskiirguse vastuvõtja ehitamiseks kasutati samuti 10 mm paksust alumiiniumlatti, kuid laiemate mõõtmetega võrreldes korpuse detailidega. Latte on 2 tükki, millest üks on üle värvitud kuumuskindla musta värviga. Alumiiniumi headeks omadusteks on hea soojusjuhtivus ja kõrge erisoojus, mis tagab suure soojusmahtuvuse.

Tabel 2.1 Kasutatud materjalide nimekiri ja nende parameetrid [2, lk 116]

Detail	Materjal	Kogus tk	Mõõdud mm	Soojusjuhtivus W/(m * K)	Erisoojus kJ/(kg * K)	Sulamis-temperatuur °C
Soojust vastuvõttev latt	Alumiinium (Al)	4	246x100x10	204	0,94	659
Korpuse detail	Alumiinium (Al)	2	125x48,5x10	204	0,94	659
L-profiil	Alumiinium (Al)	2	50x50x5 316	204	0,94	659
U-profiil	Alumiinium (Al)	4	40x20x4 50	-	0,94	659
PEEK ümar varras	PEEK plastik	1	Diameeter 16	0,25	-	315

2.2 Detailide töötlemine

Korpuse detailid on omavahel ühendatud poltliidetega. Töötlusprotsessid, mida kasutati, olid puurimine ja keermestamine. Poldid olid M4 JA M5 kuuskantpesaga peitpeapoldid, sest neid on mugav keerata ja need annavad korpusele parema välimuse võrreldes kuuskantpeaga poldiga. Samuti ei jää poldi pead ette uute detailide kinnituste tegemisele. Faasid tehti faasipuuriga.

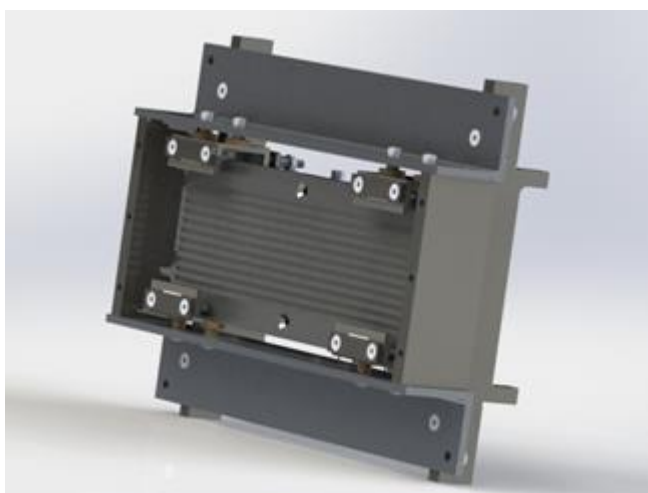


Sele 2.1 Korpuse L-profiil 50x50x5

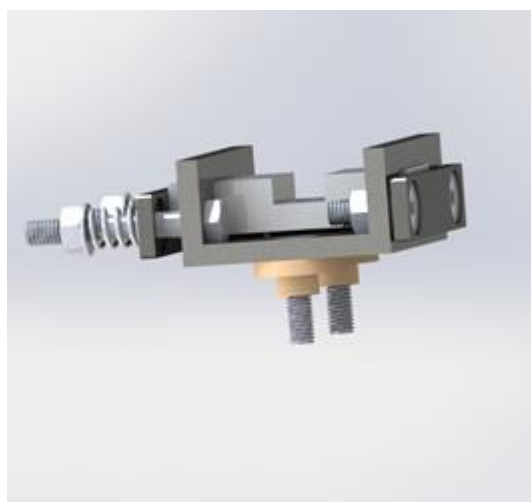


Sele 2.2 Korpuse külglatt

U-profiilidest kinnituste ülesandeks on alumiiniumlati hoidmine fikseeritud asendis. Kinnitusi on 4 tükki ja need ühendatakse M4 poltidega raami külge. Augud on raami sisse tehtud 5,5 mm läbimõõduga, sest sinna vahele läheb polüeteereterketoonist seib. PEEK ümarvardast seibide saamiseks tuli need valmistada treipingis. Seibid on tehtud astmega, et takistada soojusjuhtivust ka augu sees, millest polt läbi läheb. Kinnitusmehhanismiks on survevedrud, millega pressitakse alumiiniumlatt keraamika tükkide vahele. Keraamika tükid on lõigatud ketaslõikuriga, kasutades kivilõike ketast.



Sele 2.3 Korpuse mudel esimese etapi lõpus



Sele 2.4 Kinnitus

2.1.1 Puurimine

Puurimisel on oluline, et määrataks õige ettenihe ja löikekiirus, mille puhul detaili puurimine osutub tootlikumaks ja ökonoomsemaks. Enamasti valitakse puurimisparameetrid käsiraamatutest. Nürinenud puur hakkab löikeprotsessis vilisema. Nürinenud puur tuleb teritada, kasutades puuri terituseks mõeldud keraamilisi otsikuid. Puuri teritamisest sõltub puuri kuju, millest on tingitud puuri püsivusaeg ja suurim löikekiirus. [4]

Tabel 2.2 Standardväärtused kiirloketerasest spiraalpuuriga puurimisel [2, lk 341]

Tooriku materjal		Löökekiirus m/min	Puuri läbimõõt d, mm				
Materjali grupp	Tõmbetugevus N/mm^2		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50
		Pöördeetenihe f, mm					
Teras, suure tugevusega	$R_m > 800$	20	0,04	0,08	0,10	0,15	0,20
Roostevaba teras	$R_m \leq 800$	12	0,03	0,06	0,08	0,12	0,18
Alumiiniumsulamid	$R_m \leq 350$	45	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60
Vasksulamid	$R_m \leq 500$	60	0,10	0,15	0,30	0,40	0,60

Aukude puurimisel kasutati tsentrite märkimiseks kärni. Kärniga märkimisel tuleb aukude suhteliselt täpse puurimise korral puurida kaks korda. Eelnev puurimine toimub väiksema puuriga, veerand läbimõõdu sügavusele ja pärast kontrollitakse puuritud augu kokkulangevust märgitud ringjoone järgi. Kui eelnevalt puuritud augu keskpunkt on nihkunud, siis saab seda parandada kanali puurimisega tsentrist selles suunas, kuhu on vaja puuri nihutada. Kasutatakse veel ühte kontrollpuurimist, et veenduda augu õiges paiknemises. Kui auk on tsentris, siis auk puuritakse lõpuni. [4]

Läbiaukude puurimisel tuleb kasutada teisi töövõtteid võrreldes umbaukude puurimisega. Läbiaugu puurimisel väheneb tunduvalt metalli takistus ning vastavalt sellele tuleb vähendada ettenihet. Kui ettenihet ei vähendata, tungib puur järsult läbi metalli, haarates kaasa suuri metalliosakesi, kiilub kinni ja võib puruneda. [4]

2.1.2 Keermestamine

Mudeli ehitamisel tehti sisekeermeid sisekeermepuuridega käsitsi. Keermed on ISO-meeterkeermete tolerantsiklassiga, mille piirmõõtmed on võetud inseneri käsiraamatust. Meeterkeeret iseloomustab samm ja läbimõõt millimeetrites. Normaalkeret tähistatakse tähega M ja arvuga, mis näitab läbimõõtu, näiteks: M5, M20. Peenkeermeid tähistatakse samuti tähega M ja arvudega, mis näitavad läbimõõtu ja sammu, näiteks: M24 x 1,5 ; M12 x 1. [5]

Puuri läbimõõdu valik on keermetatavate avade puurimisel väga tähtis. Kui läbimõõt on suurem ettenähtust, siis sisekeere jääb nõrgaks või seda pole üldse võimalik teha. Väiksema läbimõõdu puhul on keermepuuri rakendamine raskendatud, mis viib keermeniitide murdumiseni või keermepuuri kinni kiilumise ja purunemiseni. Keerme lõikamisel ei toimu ettenihkejõu ja keermepuuri pöörlemise mõjul mitte ainult tooriku metalli lõikamine, vaid lisaks sellele metall voolab telgjõu suunas ehk tekib muljumine ja eri materjalidel toimub see erisuguselt. Kõvadel ja rabedatel metallidel, näiteks teras, muutub augu läbimõõt keermetamisel vähem kui sitketel ja pehmetel, näiteks alumiinium. [5]

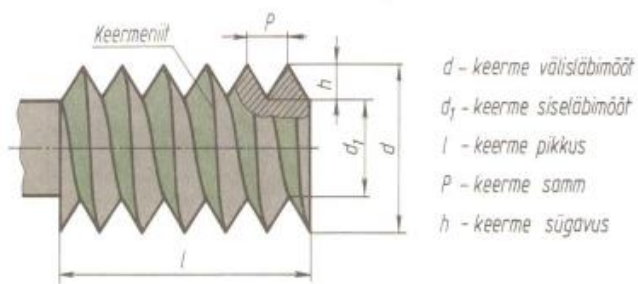
Selleks, et garanteerida keermepuuri kvaliteeti ja vältida keermepuuri võimalikku purunemist, tuleb augu läbimõõtu teha veidi suurem kui keermepuuri siseläbimõõt. Puuride soovitatavad läbimõõdud valitakse käsiraamatutest või kasutatakse valemeid (2.1 ja 2.2). [5]

$$d = D - 1,5h, \quad (2.1)$$

kus d - puuri läbimõõt mm,
 D - keermepuuri siseläbimõõt mm,
 h - keermeprofiili kõrgus mm.

$$d = D - P, \quad (2.2)$$

kus d - puuri läbimõõt mm,
 D - keermepuuri siseläbimõõt mm,
 P - keermepuuri samm mm.



Sele 2.5 sisekeermepuuri parameetrid. [6]

Tabel 2.3 Sisekeermete piirmõõtmed DIN ISO 965-2 [2, lk 248]

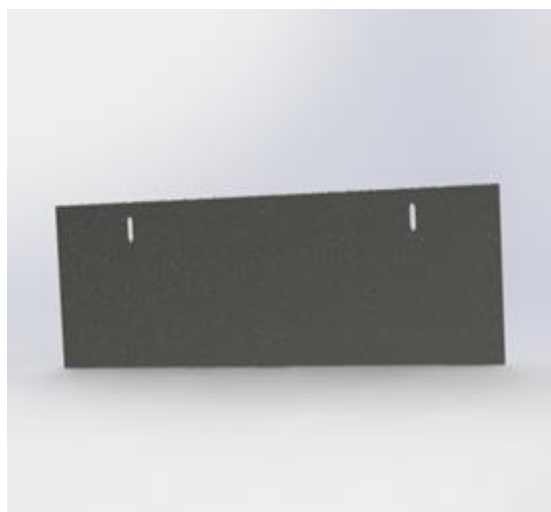
Keermed	Sisekeermed – tolerantsiklass 6H				
	Suurim läbimõõt, D	Keskläbimõõt D_2		Vähim läbimõõt D_1	
		min	max	min	max
M3	3,0	2,675	2,775	2,459	2,599
M4	4,0	3,545	3,663	3,242	3,422
M5	5,0	4,480	4,605	4,134	4,334
M6	6,0	5,350	5,500	4,917	5,135
M8	8,0	7,188	7,348	6,647	6,912

2.2 Raami soojuskadude vähendamine

Kuna soojuslevik toimub veel konvektsiooni ja kiirguse toimele, siis on selline avatud raamistik küllaltki ebaefektiivne soojuse säilitamiseks. Et vähendada soojuskadusid konvektsiooni ja kiirguse tagajärjel, tuli katta kinni raami soojusenergiat vastuvõttev osa ja jätta avatuks ainult selline osa, mida oleks vaja fokuseeritud päikesekiirguse sisenemisel raami. Selle ala kinni katmiseks kasutati kahte 1 mm paksust legeer teraslehte. Terasi kasutatakse, kuna tema soojusjuhtivus on madal võrreldes teiste metallidega ja tema sulamistemperatuur on kõrge. Kuna terasest leht on õhuke, siis on oluline, et metalli joonpaisumistegur oleks madal. Terasest lehtmatali kinnitamisel kasutati nelja alumiiniumist L-profiili 20x20x2. Kinnitused on raami külge ühendatud poldiga. Teraslehe ja raami vahele on jäetud 10 mm vahe, mis hiljem täidetakse isolatsiooniga, et vähendada teraslehe kuumenemist. Teraslehe kinnitamiseks freesiti kaks ovaalset ava, kust mahuks täpselt läbi M4 polt. Avade eesmärgiks on võimalus hiljem korrigeerida pilu suurust, kust päikesekiirgus hakkab sisse tulema. Pilu miinimumsuurus on 20 mm ja maksimaalne 34 mm. Materjalina oleks terase asemele sobinud ka titaan, mis oleks konstruktsiooni kergemaks teinud, kuid kuna teras oli kergemini kättesaadav, siis kasutati seda terast.



Sele 2.6 Kinnituste asetus raamil

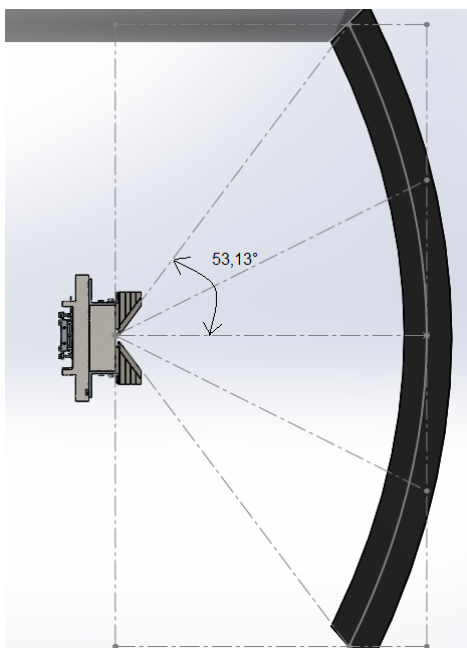


Sele 2.7 Terasleht

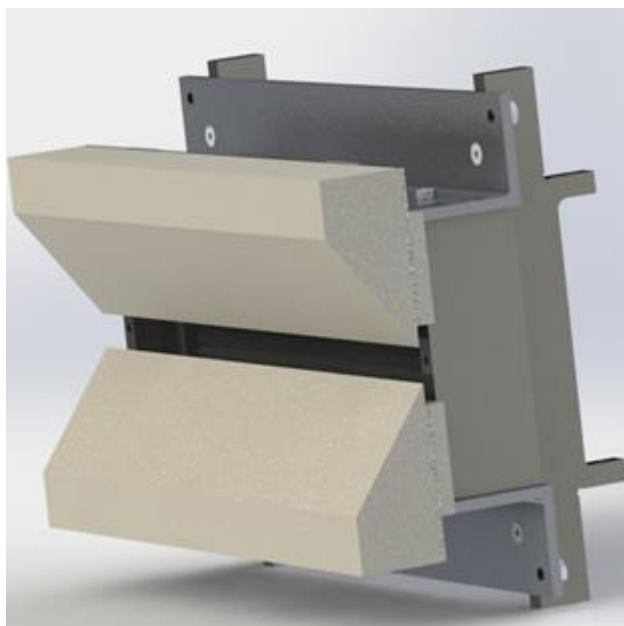
Tabel 2.4 Metallide omadused [2, lk 117]

Materjal	Tihedus Kg/dm ³	Sulamistemperatuur °C	Soojusjuhtivus W/(m * K)	Joonpaisumistegur $\frac{1}{°C}$
Alumiinium	2,7	659	204	0,0000238
Teras, legeer	7,9	1500	14	0,0000161
Titaan	4,5	1670	15,5	0,0000082

Selleks, et soojuskadusid veelgi vähendada, on vaja terasleht ka väljastpoolt isoleermaterjaliga katta. Isolatsioonmaterjalina kasutati FPB 10 tulekindlat kivivillaplaati. See plaat tagab tulekindluse ja omab ka väga madalat soojusjuhtivust 0,035 W/(m * K). Samuti on see plaat ka piisavalt jäik, et sellest keerulisema geometriaga isolatsiooni konstruktsioon teha, kuid samas on seda kerge töödelda, näiteks saab seda kipsnoaga väga kergelt lõigata. Keeruliseks tegi väljast isoleerimise see, et isolatsioon ei tohi takistada valguskiirguse levikut raami sisse. Selleks tehti 10 mm paksustest kivivillaplaadi tükkidest sobiva kaldega isolatsiooni tükk, mis kinnitati teraslehele poltidega. Kivivillaplaadid on ühendatud omavahel kuumuskindla silikooniga, mis kannatab kuni 300 °C. Õige nurk isolatsiooni konstruktsioonile leiti kasutades programmi *Solidworks*, kus saab määrata valguse peegeldumise piirid, kui on teada detaili kaugus peeglist, milleks on 600 mm. [7]



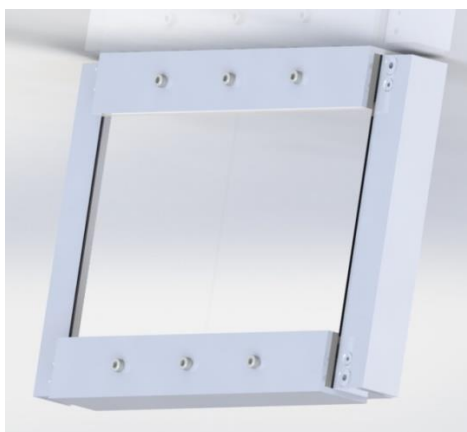
Sele 2.9 Isolatsiooni õige nurga leidmine



Sele 2.10 Mudel koos eesmise isolatsiooniga

2.3 Raamile karastatud klaasi lisamine

Hetkel on soojuskadu küllaltki suur läbi 20 mm pilu. Selleks, et soojuskadusid veelgi vähendada, pandi mudelile ette veel karastatud klaas. Samasuguseid klaase kasutatakse ka prožektorvalgustitel, kus klaasid on loodud kannatama 275 °C. Klaasi kinnitamiseks tuli ehitada uus raamistik. Selleks kasutati erinevaid alumiiniumist L-profiile. Klaas kinnitati raamistikku survestamise teel. Klaasi ja alumiiniumi vahele asetati ka 10 mm FPB 10 kivivillaplaati, mille eesmärk on kaitsta klaasi purunemise eest ja samas ka vähendada raami ja klaasi omavahelist soojusjuhtivust.

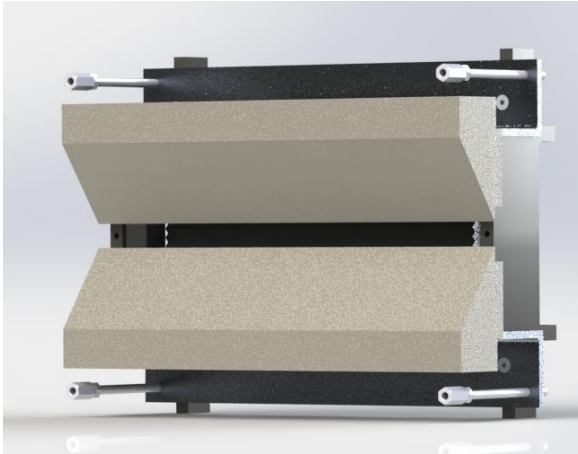


Sele 2.11 Karastatud klaas raamis

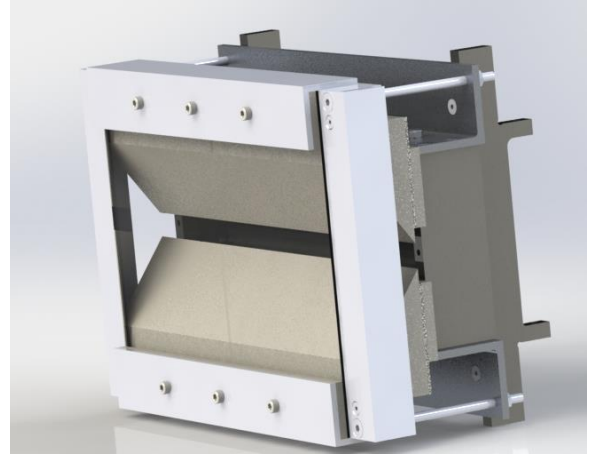
Tabel 2.5 Klaasiga raami ehitamiseks kasutatud materjal

Nimetus	Kogus, tk	Materjal	Mõõdud, mm
L-profiil	2tk	alumiinium	40x40x4 276
L-profiil	2tk	alumiinium	30x30x3 219
L-profiil	2k	alumiinium	30x30x3 315,5
Klaas	2tk	Karastatud klaas	179x138

Klaasiga raami kinnitamiseks ühendati mudeli L-profiili nurkadesse 4 M6 keermelatti. Ühest otsast kinnitati keermelatt kahe mutriga mudeli raami külge, teise otsa keerati üks tavaline mutter ja selle peale veel üks 20 mm M6 jätkumutter. Jätkumutter valiti sellepärast, et klaasiga raami saaks kiiresti ja lihtsalt katsete käigus ära võtta ja peale tagasi panna. Sellepärast on oluline, et saaks raami koos klaasiga kinnitada poltidega, millel on kuuskantpesad, sest see teeb klaasi eest ära võtmise oluliselt kergemaks, kui klaasi kinnitamine mutriga.



Sele 2.12 Kinnitussüsteem jätkumutritega



Sele 2.13 Mudeli lõplik konstruktsioon

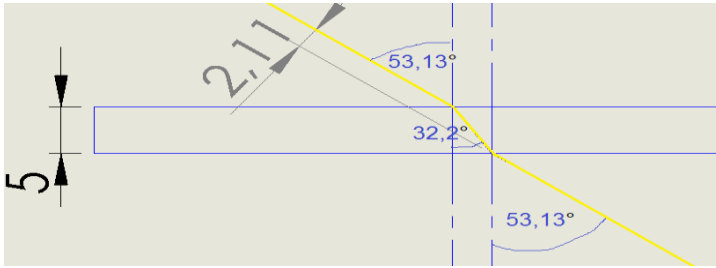
2.3.1 Karastatud klaas

Karastatud klaas võimaldab kõrgemaid mehhaanilisi ja temperatuurilisi omadusi kui tavaline või kuumutatud klaas, säilitades sealjuures teised klaasile omased näitajad. Karastatud klaas on kuni 5 korda tugevam võrreldes sama paksusega klaasiga. Välja arvatud tugevus ja purunemise eripära on karastatud klaasil samad -keemilised, -peegeldus ja paisumis omadused, mis tavalisel klaasil. Kui karastatud klaasile avaldatakse tugevat survet ja see puruneb, siis klaas pudeneb pisikesteks tükkideks, mille puhul oht tõsiseid löikehaavu saada on minimaalne. Lisaks peab karastatud klaas hästi vastu kuumusele ja talub temperatuuri kuni 275 °C. [8]

Valguse murdumine läbi klaasi muudab valguskiirguse suunda väga vähesel määral, sest klaasi pakus on ainult 5 mm. Teades õhu optilist tihedust vaakumi suhtes ja klaasi optilist tihedust, on võimalik valguse murdumine läbi klaasi välja arvutada. Klaasi siseneva valguskiire ja klaasist väljuva valguskiire kauguse üksteisest saab *Solidworksist*, mis on 2,11 mm. Ära tuleks veel märkida, et arvutus on tehtud kõige äärmuslikumast punktis. Langemisnurga vähenedes väheneb ka murdumisnurk, mille tõttu klaasi siseneva ja väljuva valguskiire nihe väheneb veelgi. [16]

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \quad (2.3)$$

kus n_2 – Klaasi optiline tihedus,
 n_1 – Õhu optiline tihedus 1,
 α – Valguse langemisnurk,
 γ – Valguse murdumisnurk.



Sele 2.14 Valguse murdumine 5 mm klaasis

2.4 Korpuse isoleerimine

Korpuse isoleerimisel kasutati kahte erinevat materjali FPB 10 ja keraamilist kuumuskindlat villa. FPB 10 tuleτόkkeplaati kasutati korpuse väljast isoleerimisel ja seest isoleeriti kohad, kus temperatuur ei ületa 200 °C. FPB 10 kasutati, kuna tema lõikamine oli lihtne ja kergesti teostatav. Tuleτόkkeplaatide jupid ühendati omavahel traadi tükkidega. Alumiiniumlati ümber pandi keraamilist kuumuskindlat villa, sest ta kannatab pikalt 1280 °C ja tema keemiline kvaliteet on parem kui FPB 10 plaadil, sest tuleτόkkeplaat hakkab 200 °C juures mingit kemikaali eritama. Mõlemad plaadid on madala soojusjuhtivusega ja tulekindlad, mistõttu neid ka kasutati. [15]



Sele 2.15 Keraamiline kiudvill. [15]



Sele 2.16 FPB 10. [7]

3. KATSESEADME ELEKTROONIKA JA VAJALIKE ELEKTROONIKASEADMETE VALIK

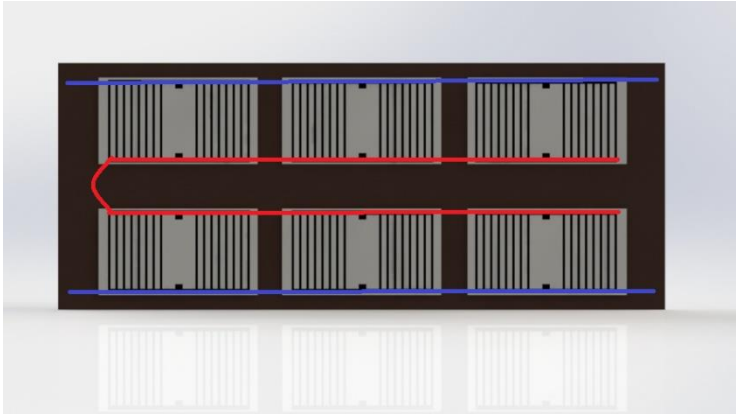
Valminud mudeli katsetamiseks on vajalik raami keskel paikneva alumiiniumlati kuumutamine kindla võimsuse juures ning seejärel mõõta raami erinevatest punktides alumiiniumlati temperatuure. Kuna päikesekollektor ei ole veel võimeline ennast ise päikese asukoha järgi liigutama ja käsitsi liigutamine oleks liialt tülikaks muutunud, siis ehitati elektrooniline küttekeha, mis võimaldaks alumiiniumlatti ühtlaselt kuumutada kuni 300 °C. Elektriga kuumutamise üks positiivne külg on ka võimalus tekitada stabiilset võimsust küttekehale, mis võimaldab uurida alumiiniumlati maksimaalset temperatuuri kindla võimsuse juures.

3.1 Küttekeha vajalikud komponendid ja konstruktsioon

Katsetused hakkavad toimuma erinevate alumiiniumlattidega, millest üks on läikiva pinnaga $\epsilon = 0,3$ ja teine on värvitud üle musta värviga $\epsilon = 0,9$, et suurendada neeldumistegurit. Sellepärast peab olema võimalik küttekeha paigaldada kergesti ühelt latilt teisele, kuid küttekeha peab tagama soojuseülekande võimalikult ühtlaselt. Oluline on, et küttekeha võimaldaks saavutada 300 °C, mis seab küttekeha ehitamisele mõningad piirangud.

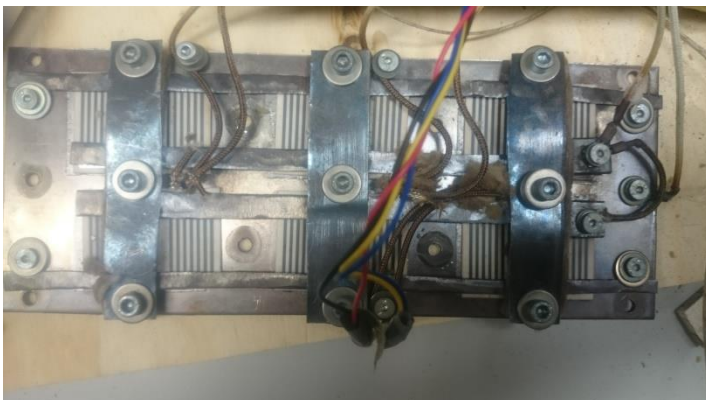
Kütteelementideks valiti 6 keraamilist 75 Ω plaattakistit, sest nad töötavad temperatuuriga 300 °C. Takistid pannakse 3 mm paksuse vasklati peale, mis on alumiiniumlatiga samade mõõtmetega 246x100x3. Kuna jootetina sulab juba 220 °C juures, siis ei ole võimalik takisteid omavahel kokku joota, selleks on takistite ja nende ühenduste kinnitamiseks tehtud vasklatti M5 keermega augud ja poltidega surutakse PAROC SSB 10 mm paksustele kivivilla ribadele, mille peal on veel 1 mm paksune plekkleht. PAROC SSB on loodud kannatama survepinget 40 kPa, mille tõttu on ta piisavalt jäik ja temaga on võimalik komponente kinni suruda. [7]

Ühendused takistite vahel on tehtud 2 mm paksusest vaskribadest. Alljärgnev sele 3.1 iseloomustab ühendusi takistite vahel. Negatiivne ühendus tehakse vasklati külge ja veetakse üle takistite nii nagu sinise joonega näidatud (vt. sele 3.1). Positiivne ühendus on näidatud punase joonega (vt. sele 3.1). Positiivne vaskriba ei tohi takistite vahekohtades vasklatti puudutada, muidu tekib lühis. Selleks on positiivse vaskriba alla pandud FPB 10 kivivilla ja samuti on 2 mm vaskriba ise piisavalt jäik, et vasklatti mitte puudutada. Punase kaarena joonistatult osa on kaabli ühendus, et ühendada kaks rada omavahel kokku. Samuti tuuakse toiteploki ühendused kaabliga, kus negatiivne ühendus kinnitatakse vasklati külge ja positiivne ühendus vaskriba külge. Kaabel, mida kasutatakse on kuumuskindel ja see on mõeldud tauluma kõrgeid temperatuure.

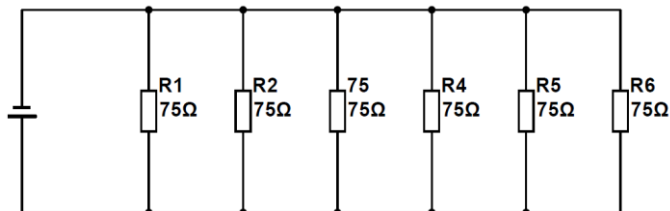


Sele 3.1 Takistite ühendamine

Vasklatti kasutatakse, kuna seda on võimalik ühendada poltidega alumiiniumlati külge ja polte lahti ühendades on võimalik kogu kütteelemendi konstruktsioon korraga ringi tõsta. Samuti on vase soojusjuhtivus nii hea, et tema paiknemine kütteelemendi ja köetava alumiiniumlati vahel takistab soojusülekannet väga minimaalselt. Vask- ja alumiiniumlattide vahele pandi veel kleebitavat grafiiti, et vähendada kahe latide vahele jäävaid õhuauke. Samuti kleebiti takistite ja vasklatti vahale grafiiti.



Sele 3.2 Reaalne kütteelement



Sele 3.3 Küttekeha elektriskeem

3.2 Toiteplokk

Kuna ühe takisti takistus on 75Ω ja takisteid on 6 tk ühendatud paralleelselt, tuleb kogu vooluringi takistuseks $12,5 \Omega$ ja katsetamiseks on vajalik võimsus 200 W ehk 5 korad vähem, kui täispika alumiiniumlati puhul. Teades vooluringi kogutakistust ja nõutavat võimsust saab välja arvutada voolutugevuse ja pinget, mida peab toiteplokk võimaldama. Toiteplokkiks sai valitud Hewlett Packard 6030A, mis võimaldab väljundisse anda $0\text{--}200 \text{ V}$ pinget ja $0\text{--}17 \text{ A}$ voolu. Toitplokk valiti, kuna väiksem toiteplokk energaetika instituudis ei võimaldanud soovitud võimsus, siis järgmine vaba toiteplokk, mis leidis oli HP 6030A. Toiteploki hea omadus on veel programmeerimisvõimalus, mis võimaldab tulevikus mõõteseadme täielikult automatiseerida. Toiteploki joonist on võimalik näha LISA 1. [10]



Sele 3.4 Toiteplokk

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (3.1)$$

kus R - Kogu vooluringi takistus,
 R_1 - Ühe takisti takistus,
 R_2 - Teise takisti takistus.

$$P = I^2 * R, \quad (3.2)$$

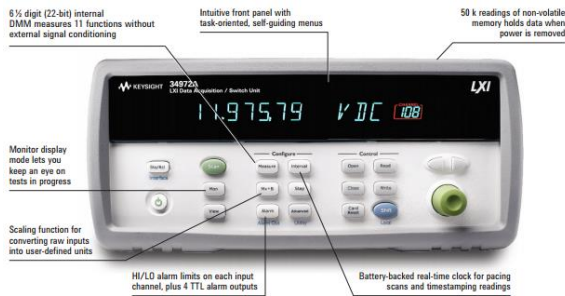
kus P – võimsus,
 I – voolutugevus,
 R – kogu vooluringi takistus.

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3.3)$$

kus I – voolutugevus,
 U – pinge,
 R – takistus.

3.3 Mõõteriista valik

Temperatuuri mõõtmisteks oli vaja mõõteriista, mis võimaldaks mõõta mitmest punktist korraga ja erinevate termoelektriliste komponentidega. Oluline oli ka mõõteseadme programmeerimisvõimalus, et mõõtmisi oleks võimalik seadistada vastavalt oma vajadustele ja salvestada *Excelsisse*. Nende kriteeriumite tõttu sai valitud mõõteriistaks Keysight 34972A mõõtesead.

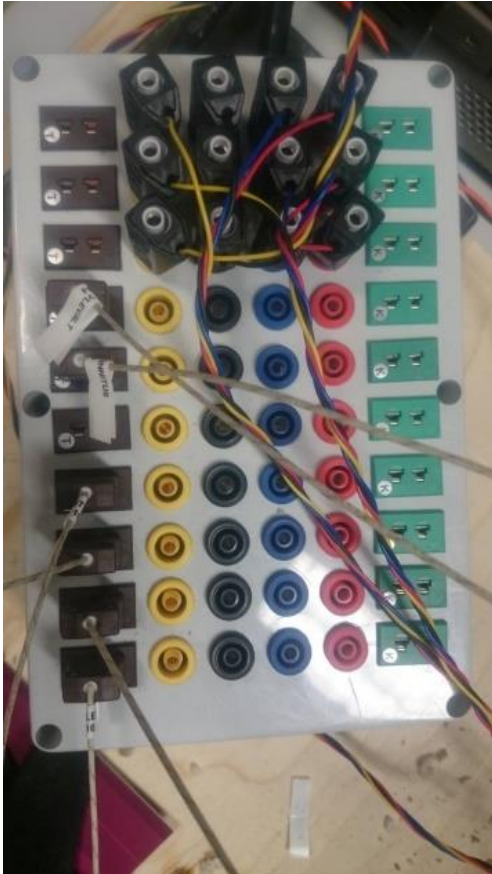


Sele 3.5 Mõõtevahend temperatuuri mõõtmiseks. [9]

3.3.1 Keysight 34972A sisendid

Sisenditena kasutatakse 34901A 20-kanaliga multiplexori moodulit, millele saab ühendada 20 sisendit. Multiplexor võimaldab mõõta 60 kanalit sekundis ja teha kahe ja nelja juhtmega mõõtmisi. Samuti on multiplexoril sisse ehitatud termopaaride võrdlusjootekoha temperatuuriparand, mis võimaldab mõõta termopaaridega täpseid tulemusi. Täpsemat multiplexori elektriskeemi saab näha LISA 2. [9]

Probleemiks selle multiplexori juures on ühenduste kinnitamine, mis käib poldiga. Selleks et saaks kasutada termopaaride ja banana ühendusi, siis valmistati selle jaoks eraldi pistiku pesadega karp, mis võimaldab ühendada multiplexoriga 10 T - termopaari, 10 K - termopaari ja 20 banana pistikut. Ühendused tehti nii, T - termopaarid on ühendatud 10 banana ühendusega rööbiti ja K - termopaarid on ühendatud rööbiti 10 ülejäänud 10 banana ühendusega. [Sele 3.5]



Sele 3.5 Sisendite plokk

3.3.2 Keysight 34972A andmetöötlus ja programmeerimine

Seadmele on sisse ehitatud 2.0 USB mälu port, mis võimaldab andmeid mida seade on salvestanud kergesti kätte saada, ilma et peaks arvutiga seadme ühendama. Arvutiga ühendamiseks on seadmel LAN ja USB pordid, mis võimaldavad seadme lihtsalt ühendada iga tänapäevase arvutiga, ilma et peaks ostma GPIB kaarte, eriotstarbelisi kaableid või konvertereid. Programmid on tasuta alla laaditavad internetist, mis võimaldavad seadme tuvastamist arvutis ja seadmega erinevaid operatsioone teha. [9]

Seadet on võimalik programmeerida mõõtmisi tegema vastavalt oma soovile mitut moodi. Seadme tarkvara toetab programme, nagu *C*, *C++*, *Visual Basic*, *Visual Studio*, *LabView*, *Python* ja *Matlab*. Antud mõõtmiste puhul kasutati seadme programmeerimiseks *Pythonit*, sest see programm tundus autori jaoks kõige kergemini kasutatav. Andmed salvestati programmis *Excel*, sest see võimaldab andmeid mugavalt edasi töödelda. [9]

3.4 Temperatuuri mõõtevahendid

Temperatuuri mõõtevahenditena kasutatakse kahte tüüpi mõõtevahendeid. Kuumutava lati temperatuuri mõõdetakse kolmest punktist RTD temperatuuri anduriga PT1000, mis annab täpse tulemuse, kuna sisaldab plaatinat. Samuti kasutatakse mõõtmiseks 4 juhtmega lahendust, et välistada kaablite takistused. Raami erinevatest punktides mõõdetakse temperatuure T-termopaaridega, sest neid on lihtne ühendada raami erinevatesse punktidesse ja need taluvad 300 °C keskkonda.

3.4.1 Üldiselt termopaaridest

Termoelektrilisi termomeetreid ehk termopaare kasutatakse väga laialdaselt temperatuuri mõõtmisel kui ka reguleerimisel. Termopaaridega mõõdetakse temperatuure koos vastava mõõteriistaga. Termopaaride töö põhineb Seebecki efektil. [11, lk 33]

Seebecki efekt seisneb selles, et kui võtta kaks erinevast materjalist elektrijuhti ja need kokku ühendada, siis kuumutamisel tekib ühendus kohas elektromotoorjõud ehk termoelektromotoorjõud. Termoelektromotoorjõud sõltub kasutatavatest materjalidest ja ka ühendus koha temperatuurist. [11, lk 33]

Termopaaril on kaks ühendus kohta, tööjootekoht ehk kuumjootekoht paigutatakse keskkonda, mille temperatuuri mõõdetakse, teine võrdlusjootekoht ehk külmjootekoht on vaja hoida stabiilse temperatuuriga keskkonnas.. [11, lk 33]

3.4.2 Parand termopaari võrdlusjootekoha temperatuuri arvutamiseks

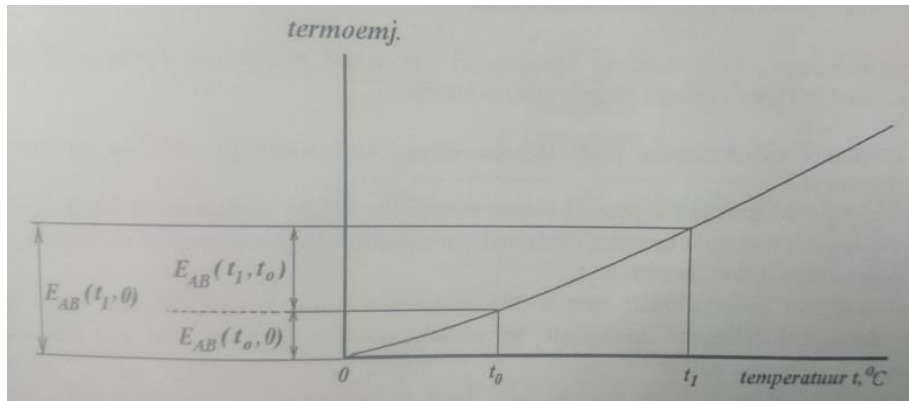
Tõepärase tulemuse saamiseks tuleb kasutada termopaaride puhul võrdlusjootekohta, kuid sellisel juhul tuleb arvestada ka võrdlusjootekoha temperatuuriparandi sisseviimisega. Järgnevalt seletatu on näidatud seel 3.5. Kui mõõdetav temperatuur on t_1 ja võrdlusjootekoha temperatuur on t_0 , siis nende temperatuuride vahele vastav termoelektromotoorjõud on $E_{AB}(t_1, t_0)$. Termoelektromotoorjõud on mõõdetav millivoltmeetriga, kuid kui ei arvestata võrdlusjootekoha temperatuuri t_0 , saame mõõtmisel tulemuse, mis vastab konkreetsetele temperatuuride vahele $t_0 \dots t_1$. Mõõtmisel huvitab meid temperatuur t_1 , selle temperatuuri määramiseks on aga vaja teada termoelektromotoorjõud $E_{AB}(t_1, 0)$. Selest 3.5 nähtub, et selleks on vaja teada $E_{AB}(t_0, 0)$ võrdlusjootekoha temperatuuriparand, mis tuleb liita termoelektromotoorjõule, mis vastab temperatuuride vahele $t_0 \dots t_1$. [11, lk 38]

$$E_{AB}(t_1, 0) = E_{AB}(t_1, t_0) + E_{AB}(t_0, 0), \quad (3.4)$$

kus $E_{AB}(t_1, 0)$ – temperatuuri t_1 termoelektromotoorjõud,

$E_{AB}(t_1, t_0)$ – temperatuuri t_1 ja t_0 termoelektromotoorjõudude vahe,

$E_{AB}(t_0, 0)$ - temperatuuri t_0 termoelektromotoorjõud.



Sele 3.5 Termopaari võrdlusjootekoha temperatuuriparandi selgitamise skeem [11, lk 39]

Tabel 3.1 Tänapäeval enim kasutatud termopaaride põhiandmed [11, lk 41]

Materjalid	Tüübi tähis	Võimalik mõõdetav temperatuuri-vahe	Maksimaalne temperatuur °C	Omadused
Cu-CuNi	T	-250...400	600	Hea madalatel temperatuuridel, ei allu korrosioonile
Fe-CuNi	J	-200...700	900	Üle 540 °C peab kindlasti olema kaitsekestas
NiCr-NiAl	K	-200...1000	1300	Hea kui on monteeritud kaitsetorusse
PtRh13-Pt	R	0...1300	1600	Väga kõrgete temperatuuride mõõtmiseks

3.5 Takistustermomeetrid

Takistustermomeeter ehk RTD tähistab temperatuuriandurit, milles kasutatakse kindlast materjalist valmistatud elektrilist takistuskeha, mille materjali elektriline takistuse sõltuvus temperatuurist on teada. Metallist takistustermomeetrite takistuse muutus temperatuuri muutudes peab olema võimalikult suur ja takistus peab olema lineaarselt sõltuv temperatuurist. [11, lk 56]

3.5.1 Pt1000 takistustermomeeter

Plaatina takistustermomeeter võimaldab täpseid mõõtetulemusi suures temperatuuri vahemikus -200-850. Erinevalt termopaaridest ei vaja PT1000 ühendamiseks erikaableid. Plaatina tekistustermomeetri takistus 0 °C juures on 1000Ω ja 1000 °C juures 138.4 Ω, teades et takistus ja temperatuur sõltuvad üksteisest lineaarselt, siis PT1000 sensoris tekitab 1 °C temperatuuri muutus 0,385 Ω suuruse muutuse takistuses. Seega isegi väike takistuse mõõtmisviga, näiteks sensori juhtmete takistus võib tekitada temperatuuri mõõtmisel ebatäpseid tulemusi. Sellepärast kasutatakse PT1000 ühendamiseks nelja juhet. Kaks juhet juhivad voolu ja kaks mõõdavad pinget sensori klemmide pealt. [13]

Katse seadme puhul kasutatakse 1 m pikkuseid alumiiniumjuhtmeid, mille eritakistuseks on 0,0265 Ω * $\frac{mm^2}{m}$ ja juhtme ristlõikepindalaks 0,2 mm². Arvutades tuleb juhtme takistuseks 0,1325 Ω, mis RTD mõõtes tekitab mõõtevea 0,4 °C. Selle vea vältimiseks kasutatakse 4 juhtmega ühendust. [2]

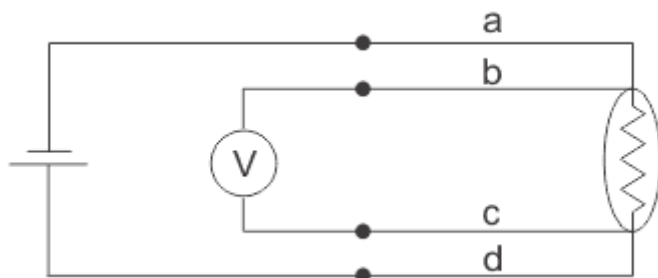
$$R = \rho_0 * \frac{l}{A}, \quad (3.5)$$

kus R – juhtme takistus,

ρ_0 – materjali eritakistus,

l – juhi pikkus,

A – juhi ristlõikepind.



Sele 3.6 Nelja juhtmega RTD ühendus [14]

4. TEMPERATUURI MÕÕTMINE JA PROGRAMMEERIMINE

4.1 Temperatuuri mõõtmiste katsed

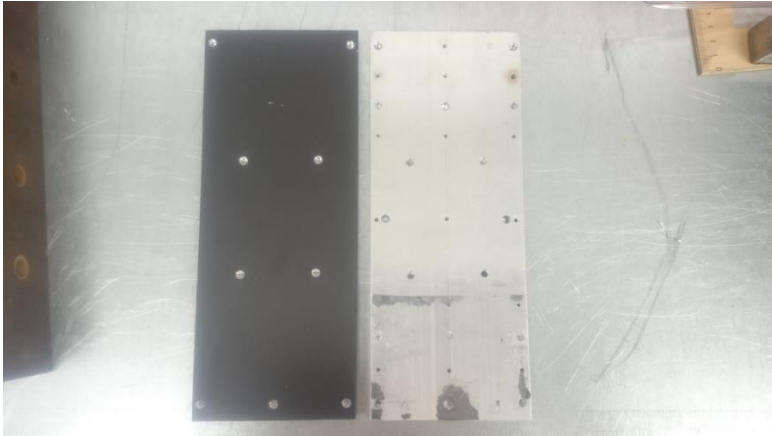
Temperatuur mõõdetakse lati pealt RTD takistitega ja raami erinevatest punktides mõõdetakse T-termopaaridega. Katse eesmärk on mõõta kindla võimsuse juures alumiiniumlati lõplik temperatuur. Katsete tegemisel muudetakse erinevaid parameetrid, et analüüsida soojuskadusid. Muudetakse korpuse paiknemisasendeid ja katsetatakse korpust 0°, 45° ja 90° nurga all. Samuti tehakse katseid muutes kuumutatavat alumiiniumlatti. Esimesel juhul kasutatakse tavalist läikiva pinnaga alumiiniumlatti, teisel juhul värvitakse alumiiniumlatti mustaks. Kuumutamisi tehakse 30 W, 50 W ja 70 W võimsustega.

Korpuse asendite muutmiseks on ehitatud raamistik, mille vahel on võimalik korpust pöörata soovitud nurgaga asendisse. Raamistik on ehitatud, kasutades kolme L-profiili, mis on omavahel ühendatud poltliitidega. Raamistik on kinnitatud puitalusel kruvidega. Korpus on raami vahele kinnitatud kahe M8 keermelatiga, mis on kinnitatud raami külge mutriga. Pärast mutri vabastamist on võimalik korpuse asendit muuta. Puitaluse peale on lisatud raskusi, mis takistavad konstruktsiooni ümber vajumise. Selel 4.1 on näidatud korpuse katsetamine .



Sele 4.1 Korpus raamistiku vahel 90° nurga all

Katsed tehti iga võimsuse juures kolmes erinevas asendis. Pärast katsete lõppu vahetati algselt sees olev alumiiniumlatti mustaks värvitud alumiiniumlati vastu. Musta latiga korrati kõiki katseid nagu esimese lati puhul. Oluline oli jälgida, et lati vahetusel andurid saaksid paigutatud samasse kohta, kuhu esimese katse puhulgi.



Sele 4.2 Kaks erinevat alumiiniumlatti



Sele 4.3 Musta lati paigaldamine korpusesse

4.2 Mõõteseadme programmeerimine

Programmeerimiseks tuli esiteks alla laadida *Keysight IO Libraries*, mis võimaldab suhtluse arvuti ja mõõteseadme vahel. Järgmisena laaditi alla *Command Expert*, mis võimaldas uurida erinevate käskluste programmeerimist. Edasi tuli alla laadida programm *Anaconda*, mis koosneb mitmest *Pythoni* programmist ning need on suunatud just teaduslike andmete programmeerimisele. *Anaconda* programmiga on võimalik alla laadida 720 paketti, mis võimaldavad programmeerida erinevaid seadmeid. Selleks, et saada vajalikud paketid, tuli minna *Pythoni Command Prompti* ja installida seal *PyVISA* ja *pythonnet* moodulid. Programmeerimiskeskonnana kasutati programmi *Spyder*. LISA 3 ja LISA 4 näitavad täpsemalt programmi koodi ja algoritmi.

```

Anaconda Prompt
pygments 2.1.3 py27_0
pylint 1.6.4 py27_1
pyopenssl 16.2.0 py27_0
pyparsing 2.1.4 py27_0
pyqt 5.6.0 py27_2
pytables 3.2.2 np111py27_4
pytest 3.0.5 py27_0
python 2.7.13 0
python-dateutil 2.5.0 py27_0
pythonnet 2.3.0 <pip>
pytz 2016.10 py27_0
PyVISA 1.8 <pip>
pywin32 220 py27_2
pyyaml 3.12 py27_0
pyzmq 16.0.2 py27_0
qt 5.6.2 vc9 [vc9]
qtawesome 0.4.3 py27_0
qtconsole 4.2.1 py27_2
qtpy 1.2.1 py27_0
requests 2.12.4 py27_0
rope 0.9.4 py27_1
ruamel_yaml 0.11.14 py27_1
scandir 1.4 py27_0
scikit-image 0.12.3 np111py27_1
scikit-learn 0.18.1 np111py27_1
scipy 0.18.1 np111py27_1
seaborn 0.7.1 py27_0
setuptools 27.2.0 py27_1
simplegeneric 0.8.1 py27_1
singledispatch 3.4.0.3 py27_0

```

Sele 4.4 PyVISA ja pythonnet moodulid

Iga kanali jaoks tuli defineerida 3 muutujat. Probe_type muutuja defineerib ära temperatuuri mõõteseadme, type muutuja defineerib ära mõõteseadme tüübi ja scan_list defineerib kanalid, millest vastavat temperatuuri mõõdetakse. Samuti tuleb defineerida muutuja reference, mis muudab FRTD takistused 1000 Ω , sest algsetl töötavad need programmis 100 Ω peal.

```

1 import visa
2 import time
3 # start of Untitled
4
5 op_complete=False
6 Time='RELative' # ajatüübi defineerimine, hakkab lugema sekundeid kui käivitatakse
7 reference=1000 # Referentsi väärtuseks määratakse 1000 oomi
8 ch_list2='@101:@103' # Muutujale ch_list2 määratakse kanalid 1-3
9 type='T' # Type muutujale defineeritakse termopaari tüüp
10 ch_list='@114:@120' # Muutujale ch_list määratakse kanalid 14-20
11 mode=False # Muutuja defineeritakse 0
12 state=False # Muutuja defineeritakse 0
13 mode2=False # Muutuja defineeritakse 0
14 probe_type4='TCouple' # Defineerib muutuja tüübi termopaariks
15 type5='T' # Defineerib muutuja termopaari tüübiks
16 scan_list4='@114' #Defineerib muutujaks kanali, millest mõõdetakse
17 probe_type5='TCouple'
18 type6='T'
19 scan_list5='@115'
20 probe_type6='TCouple'
21 type7='T'
22 scan_list6='@117'
23 probe_type7='TCouple'
24 type8='T'
25 scan_list7='@118'
26 probe_type8='TCouple'
27 type9='T'
28 scan_list8='@119'
29 probe_type9='TCouple'
30 type10='T'
31 scan_list9='@120'
32 probe_type='FRTD' # Defineerib muutuja FRTD-ks
33 type2=85 # Defineerib muutuja RTD tüübiks 85
34 scan_list='@101' #Defineerib muutuja RTD kanali jaoks
35 probe_type2='FRTD'
36 type3=85
37 scan_list2='@102'
38 probe_type3='FRTD'
39 type4=85
40 scan_list3='@103'
41 seconds=1 # Muutujale defineeritakse väärtus 1s
42 ch_list3='@101:120' # ch_list3 muutujale defineeritakse kõik kanalid
43

```

Sele 4.5 Muutujate määramine koodis

Kõigepealt kontrollitakse ühendust seadmega, selleks kasutatakse *IDN?* Käsklust, mis küsib mõõteseadmelt tema andmeid ja siis tagastab need andmed arvutile. Edasi kirjutatakse *reference* takistus ja termopaari tüüp neile vastavatesse listidesse. Enne mõõtmistulemuste kirjutamist on vahele pandud veel 1 sekundiline viivitus, et mõõtmistulemused tuleksid õiged.

```

rm = visa.ResourceManager()
v34972A = rm.open_resource('%USB0::0x0957::0x2007::MY49030055::0::INSTR')
idn_string = v34972A.query('*IDN?') # Tuvastatakse seade, seade saadab ise oma andmed
v34972A.write(':SYSTem:PRESet') # Uue väärtuse kirjutamiseks süsteem seatakse
v34972A.write(':SENSe:TEMPerature:TRANsducer:FRTD:RESistance:REFerence %d,(%)' % (reference, ch_list2)) # Kirjutatakse väärtused ch_list2/1000 oomi
v34972A.write(':SENSe:TEMPerature:TRANsducer:TCouple:TYPE %s,(%)' % (type, ch_list)) # Kirjutatakse väärtused ch_list/ T-termopaar
v34972A.write(':FORMat:READing:CHANnel %d' % (mode)) # Kirjutatakse kanal nr
v34972A.write(':FORMat:READing:ALARm %d' % (state)) # Kirjutatakse alarmi olek
v34972A.write(':FORMat:READing:UNIT %d' % (mode2)) # Kirjutatakse mõõdetud väärtus
v34972A.write(':FORMat:READing:TIME:TYPE %s' % (Time)) # Kirjutatakse aeg
v34972A.write(':ROUTe:CHANnel:DElay %G,(%)' % (seconds, ch_list3)) # Kirjutatakse mõõtmistele delay, et jõuaks õigeid tulemusi genereerida

```

Sele 4.6 Mõõteseadmete väärtuste sisse kirjutamine

Mõõtetulemuste saamiseks kasutatakse *queryt*, mis võimaldab lugeda mõõdetud väärtust ja siis tagastab selle väärtuse arvutile. Sama funktsiooni kasutatakse kõigi 9 mõõteseadme juures. Pärast mõõtmisi tehakse 2 minutiline viivitus ning siis kasutatakse *OPC* funktsiooni, mis taastab algoleku ja mõõtmine hakkab algusest peale.

```

57
58 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%d,(%)' % (probe_type2, type3, scan_list2))
59 readings1 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 2 ja tulemus tagastatakse arvutile
60
61 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%d,(%)' % (probe_type3, type4, scan_list3))
62 readings2 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 3 ja tulemus tagastatakse arvutile
63
64 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type4, type5, scan_list4))
65 readings3 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 14 ja tulemus tagastatakse arvutile
66
67 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type5, type6, scan_list5))
68 readings4 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 15 ja tulemus tagastatakse arvutile
69
70 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type6, type7, scan_list6))
71 readings5 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur Kanal 17 ja tulemus tagastatakse arvutile
72
73 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type7, type8, scan_list7))
74 readings6 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 18 ja tulemus tagastatakse arvutile
75
76 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type8, type9, scan_list8))
77 readings7 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 19 ja tulemus tagastatakse arvutile
78
79 temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%)' % (probe_type9, type10, scan_list9))
80 readings8 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanal 20 ja tulemus tagastatakse arvutile
81 time.sleep(120) # Delay 120 sekundit ehk 2min
82 temp_values = v34972A.query_ascii_values('*OPC?') # Kõik eelmised tulemused reseatatakse ja programm hakkab otsast peale
83 op_complete = int(temp_values[0])
84
85 v34972A.close()
86 rm.close()
87

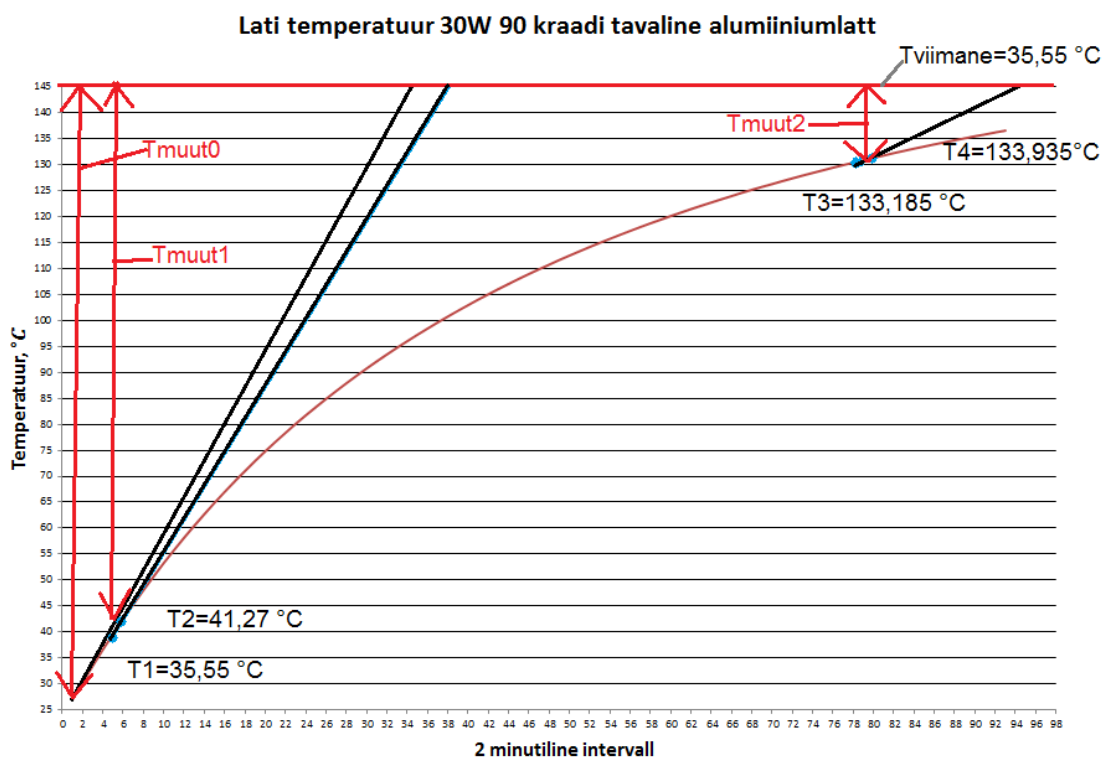
```

Sele 4.7 Mõõtmistulemuste salvestamine arvutisse

5. ANDMETE ANALÜÜS JA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE

5.1 Andmete täpsuse tõstmine eksponendi arvutamisega

Mõõtmisi tehti kaheminutiliste intervallidega ja kaheksast erinevast punktist. Andmed mõõtmiste kohta on näha LISA 5. Ühte katset mõõdeti keskmiselt 3 tundi, sest kindla võimsuse juures saavutas seade küllaltki aeglaselt lõpliku temperatuuri. Temperatuuri mõõtmine lõpetati katse puhul, kui kahe minuti jooksul temperatuuri kasv jäi alla 0,3. See tähendas seda, et katse käigus saadud lõplik temperatuur ei olnud reaalne lõplik temperatuur, kuid tänu mitmete mõõtmistulemustele saab tekitada temperatuuri kasvust eksponentse graafiku, tänu millele on võimalik eksponendi lõppväärtus välja arvutada.



Sele 5.1 Eksponentne lati temperatuuri graafik arvutuste tegemiseks

Eksponent funktsiooni lõppväärtuse arvutamiseks on vaja kolme puutuja. Arvutused on tehtud katsega, 90W 0 kraadi ja tavaline alumiiniumlatt. Esimene puutuja on punktis, mis on katseseadme algtemperatuuriks $T_{ALGO} = 26,5$ °C. Teine ja kolmas puutuja puutuvad funktsiooni mõlemad kahest punktis. Teise puutuja puhul punktides $T_1 = 35,55$ °C ja $T_2 = 41,27$ °C. Kolmanda puutuja puhul punktides $T_3 = 133,185$ °C ja $T_4 = 133,935$ °C. Mõlemal juhul on punktide vaheline aeg $\Delta t = 240$ s.

$$\Delta T_{21} = T_2 - T_1 \quad (5.1)$$

Kus, T_1 - Punktis olev temperatuur, °C
 T_2 - Punktis olev temperatuur, °C
 ΔT_1 - Kahe punkti temperatuuri vahe, °C

$$\Delta T_{21} = 41,27 - 35,55 = 5,718 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{43} = T_4 - T_3 \tag{5.2}$$

$$\Delta T_{43} = 133,185 - 133,935 = 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_{t\delta us1} = \frac{\Delta T_{21}}{\Delta t} \tag{5.3}$$

Kus, $K_{t\delta us1}$ - Puutuja tõus
 ΔT_{21} - Kahe punkti temperatuuri vahe, °C
 Δt - Kahe punkti aja vahe, s

$$K_{t\delta us1} = \frac{5,718}{240} = 0,0238$$

$$\Delta T_{31} = T_3 - T_1 \tag{5.4}$$

$$\Delta T_{31} = 133,185 - 35,552 = 97,633 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_{t\delta us2} = \frac{\Delta T_{43}}{\Delta t}$$

$$K_{t\delta us2} = \frac{0,75}{240} = 0,0031$$

Nüüd on võimalik koostada võrrandisüsteem:

$$\begin{cases} K_{t\delta us1} * \tau = T_{muut1} \\ K_{t\delta us2} * \tau + \Delta T_{31} = T_{muut1} \end{cases} \tag{5.5}$$

Kus, $K_{t\delta us1}$ - esimese puutuja tõus
 $K_{t\delta us2}$ - teise puutuja tõus
 ΔT_{31} - Kahe punkti temperatuuri vahe, °C
 τ - ajakonstant, s
 T_{muut1} - temperatuuri muut, °C

Avaldame aja konstandi τ :

$$0,0133\tau = 25,4 + 0,00375 \tau$$

$$\tau = 4716 \text{ s}$$

$$\begin{cases} T_{ALG0} + K_{t\ddot{o}us0} * \tau = T_{l\ddot{o}pp} \\ T_1 + K_{t\ddot{o}us1} * \tau = T_{l\ddot{o}pp} \\ T_3 + K_{t\ddot{o}us2} * \tau = T_{l\ddot{o}pp} \end{cases} \quad (5.6)$$

Kuna teame $K_{t\ddot{o}us1}$ ja $K_{t\ddot{o}us2}$, siis kasutame kahe viimase puhul asendusvõtet, et saada võrrand:

$$T_1 + K_{t\ddot{o}us1} * \tau = T_3 + K_{t\ddot{o}us2} * \tau$$

T_3 saab võrrandis asendada $T_1 + (T_3 - T_1)$, tänu millele taanduvad T_1 välja

$$T_1 + K_{t\ddot{o}us1} * \tau = T_1 + (T_3 - T_1) + K_{t\ddot{o}us2} * \tau$$

Valemitest 5.5 saame välja arvutada T_{muut1}

$$T_{muut1} = 0,0238 * 4716 = 112,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kasutades võrrandisüsteemist 5.6 kahte esimest rida saab avaldada $T_{muut0} = K_{t\ddot{o}us0} * \tau$ ja $T_1 = T_{ALG0} + (T_1 - T_{ALG0})$

$$T_{ALG0} + T_{muut0} = T_{ALG0} + (T_1 - T_{ALG0}) + T_{muut1} \quad (5.7)$$

$$T_{muut0} = 112,12 + (35,552 - 26,5) = 121,172$$

$T_{L\ddot{O}PP}$ ehk lõpp temperatuur avaldatakse võrrandisüsteemist 5.6 esimese valemi järgi, sest T_{ALG0} on algandmetes antud

$$T_{L\ddot{o}pp} = T_{muut0} + T_{ALG0}$$

$$T_{L\ddot{o}pp} = 121,424 + 26,5 = 147,924$$

Teades, et mõõtmiste kogu aeg on 184 min ja valem (5.9) järgi saab arvutada teise ajakonstandi:

$$T_{muut} = K_{t\ddot{o}us} * \tau \quad (5.8)$$

$$\tau = \frac{T_{muut1}}{K_{tõus1}} = \frac{112,37}{0,0238} = 4721 \text{ s} = 78,6 \text{ min}$$

$$\Delta t_{kogu} = 184 \text{ min} = 2,34 \tau$$

$$T_{viimane} = T_{ALG0} + T_{muut0} * (1 - e^{-\frac{2,34\tau}{\tau}}) \quad (5.9)$$

$$T_{viimane} = 26,5 + 121,172 * (1 - e^{-2,34}) = 136,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabelitest võib näha, et mõõdetud tulemuste ja arvatud tulemuste vahe on kuskil 1-3 °C.

Tabel 5.1 Mõõdetud alumiiniumlatti maksimaalsed temperatuurid [Lisa1-8]

Asend	Alumiiniumlatt klaasiga			Must alumiiniumlatt klaasiga		
	30W	50W	70W	30W	50W	70W
0	144,28 °C	227,26 °C	287,01 °C	136,04 °C	215,13 °C	262,90 °C
45	147,00 °C	218,35 °C	277,42 °C	139,89 °C	207,14 °C	261,75 °C
90	135,30 °C	210,93 °C	262,60 °C	130,41 °C	169,88 °C	254,77 °C

Tabel 5.2 Arvatud alumiiniumlatti maksimaalsed temperatuurid

Asend	Alumiiniumlatt klaasiga			Must alumiiniumlatt klaasiga		
	30W	50W	70W	30W	50W	70W
0	146,63 °C	229,42 °C	288,53 °C	142,32 °C	216,49 °C	264,2 °C
45	149,78 °C	218,97 °C	279,62 °C	140,25 °C	209,32 °C	262,98 °C
90	136,23 °C	212,87 °C	265,23 °C	131,4 °C	171,3 °C	255,8 °C

5.2 Soojuskadude arvutamine

Soojusülekanne saab toimuda kolmel viisil: soojusjuhtivusega, konveksiooniga ja soojuskiirgusega. Selleks, et neid antud mudeli puhul arvutada, kasutame 0° asendit, kus määrame konvektiivse soojuskao nulliks. Edasi saame välja arvutada soojuskao kiirguse kaudu, kuna soojuskadu konveksiooni kaudu on 0, siis kogu ülejäänud võimsus läheb raami. See võimaldab avaldada soojusjuhtivus teguri K_{RAAM} , mis saadakse kolme katse keskmisega. Arvutus tehakse katsega, kus võimsuseks on 30W. $T_{NEELAJA}$ temperatuurid võetakse tabelist (5.2). Stefani-Boltzmanni konstant on $\delta_{SB} = 5,67 * 10^{-8}$ ja alumiiniumi kiirgustegur on $\varepsilon = 0,3$. Pilu pindalaks katsete käigus oli $A_{NEELAJA} = 0,00632 \text{ m}^2$. Samuti tuleb kõik temperatuurid teisendada kelvinitesse.

$$P_{KIIRGUS} = \delta_{SB} * \varepsilon * A_{NEELAJA} * (T_{NEELAJA}^4 - T_{\text{õHK}}^4) \quad (5.10)$$

Kus, $P_{KIIRGUS}$ – Võimsus, mis läheb kaduma kiirguse kaudu, W

δ_{SB} - Stefani-Boltzmanni konstant, $\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

ε – Alumiiniumi kiirgamistegur

$A_{NEELAJA}$ - Raami pilu pindala, m^2

$T_{NEELAJA}$ – Alumiiniumlati temperatuur, °C

$T_{\text{ÖHK}}$ – Öhu temperatuur, °C

$$P_{KIIRGUS} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3 \cdot 0,00632 \cdot (419,78^4 - 24^4) = 3,3 \text{ W}$$

$$P_{KONVEKTSIOON} = K_{\text{ÖHK}} \cdot A_{NEELAJA} \cdot (T_{NEELAJA} - T_{\text{ÖHK}}) \quad (5.11)$$

Kus, $P_{KONVEKTSIOON}$ – Võimsus, mis läheb kaduma konvektsiooni kaudu, W

$K_{\text{ÖHK}}$ – Öhu liikumist iseloomustav tegur, $\frac{m}{s}$

$$P_{KONVEKTSIOON} = 0$$

$$P_{RAAM} = K_{RAAM} \cdot (T_{NEELAJA} - T_{RAAM}) \quad (5.12)$$

Kus, P_{RAAM} – Võimsus, mis läheb kaduma raami kaudu, W

K_{RAAM} – soojusjuhtivus läbi raami, $\frac{W}{C}$

T_{RAAM} – Raami algtemperatuur, °C

Kuna kogu ülejäänud võimsus läheb raami, siis

$$P_{RAAM} = 30 - 3,3 = 26,7 \text{ W}$$

$$\Delta T = T_{L\text{öpp}} - T_{ALG} \quad (5.13)$$

Kus, ΔT - Temperatuuride vahe

$T_{L\text{öpp}}$ – Lõpp temperatuur, °C

T_{ALG} – Algtemperatuur, °C

$$\Delta T = 146,6 - 24 = 122,6$$

Valemist (5.12) saame avaldada K_{RAAM}

$$K_{RAAM} = \frac{P_{RAAM}}{\Delta T} = \frac{26,7}{122,6} = 0,217 \text{ W/C}$$

Tabel 5.3 Raami soojusjuhtivustegurid 0° nurga juures

Soojusjuhtivus tegur	Võimsused alumiiniumlatiga		
	30 W	50 W	70 W
K_{RAAM}	0,217 W/C	0,212 W/C	0,224 W/C
Keskmine	0,218 W/C		

Tabel 5.4 Soojuskaod alumiiniumlatiga ja klaasiga

Alumiiniumlatt klaasiga									
Asend	Kadu kiirguse kaudu			Kadu konvektsiooni kaudu			Kadu raami kaudu		
	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W
0	3,3 W	6,9 W	10,7 W	0 W	0 W	0 W	26,7 W	43,1 W	59,3 W
45	3,4 W	6,3 W	10,0 W	0,3 W	1,4 W	4,5 W	26,3 W	42,3 W	55,5 W
90	3,0 W	4,7 W	9,0 W	2,6	10,4 W	8,7 W	24,4 W	34,9 W	52,3 W

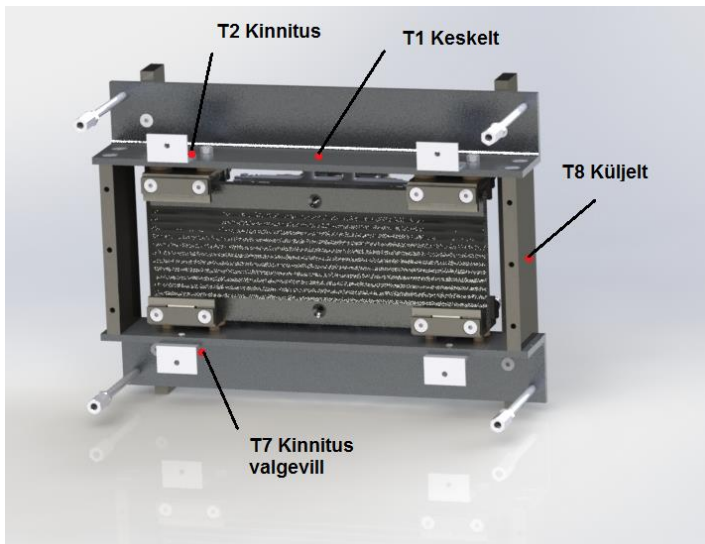
Mustaks värvitud alumiiniumlatiga valiti materjali kiirgusteguriks $\varepsilon = 0,9$, sest tegemist oli küllaltki musta pinnaga, mille kiirgustegur oli lähedal absoluutselt mustale kehale. Samuti arvatati välja uus $K_{RAAM} = 0,169$ W/C. Arvutustulemused saadakse sarnaselt eespool tehtule.

Tabel 5.5 Soojuskaod musta alumiiniumlati ja klaasiga

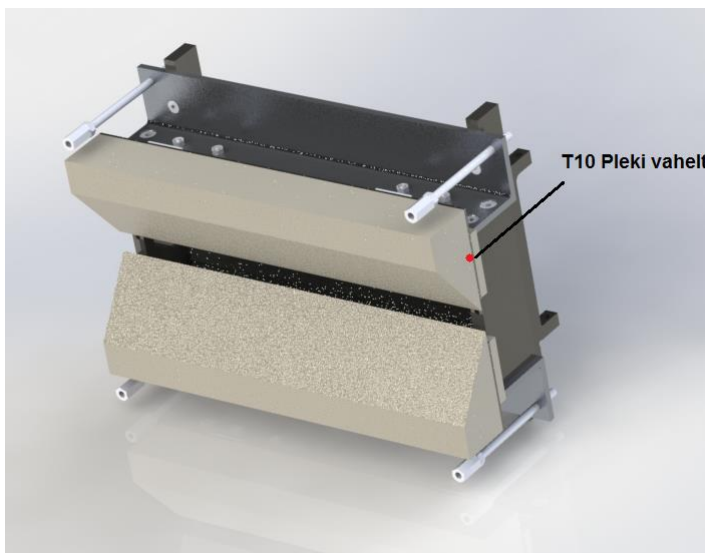
Must alumiiniumlatt klaasiga									
Asend	Kadu kiirguse kaudu			Kadu konvektsiooni kaudu			Kadu raami kaudu		
	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W
0	9,9 W	18,5 W	26,8 W	0 W	0 W	0 W	20,1 W	31,5 W	43,2 W
45	9,4 W	17,5 W	26,6 W	1 W	1,2 W	3 W	19,6 W	31,3 W	40,4 W
90	8,1 W	13,5 W	24,1 W	4,8 W	10,3 W	7,7 W	17,1 W	26,2 W	38,2 W

5.3 Raami temperatuurid erinevates punktides

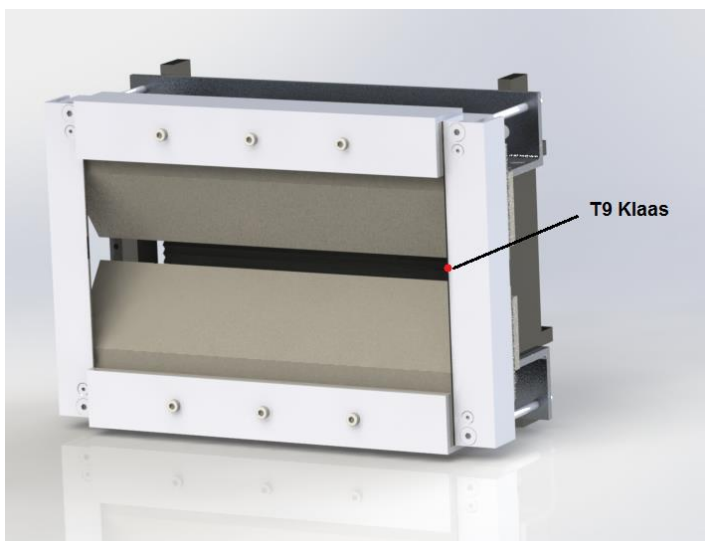
Katsete käigus mõõdeti T-termopaariga temperatuure ka korpuse erinevate detailide juurest. Eesmärgiks oli tuvastada suuremad soojuslekked ja samuti tulemuste erinevuse võrdlemine sõltuvalt asendist ja alumiiniumlati tüübist. Temperatuure mõõdeti raamilt kuuest erinevast punktist ja alumiiniumlatilt kolmest erinevast punktist. Raami punktid, kust temperatuure mõõdeti on toodud seledes 5.2, 5.3 ja 5.4.



Sele 5.2 Raami punktid, kust temperatuuri mõõdeti



Sele 5.3 Mõõtmise asukoht



Sele 5.4 Temperatuuri mõõtmispunkt

Mõõtmistulemused tuuakse välja tabelites 5.6 ja 5.7, kus üks tabel on tavalise alumiiniumlatiga ja teine on musta alumiiniumlatiga. Tabelis olevate termopaaride asukohad mudelil saab leida kasutades selesid 5.2, 5.3, 5.4.

Tabel 5.6 Raami temperatuurid erinevates punktides alumiiniumlatiga

Alumiiniumlatt klaasiga									
Asend	0° nurk			45° nurk			90° nurk		
Termopaar/ Võimsus	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W
T1/Keskelt	41,5 °C	60,3 °C	75,3 °C	52,5 °C	73,1 °C	88,7 °C	63,1 °C	94,6 °C	115,2 °C
T2/Kinnitus	58,6 °C	92,5 °C	117,4 °C	62,6 °C	88,0 °C	111,7 °C	57,8 °C	90,5 °C	110,5 °C
T7/Kinnitus valgevill	60,0 °C	95,5 °C	120,9 °C	63,5 °C	90,3 °C	115,8 °C	58,1 °C	90,9 °C	111,6 °C
T8/Küljelt	56,5 °C	89,5 °C	113,3 °C	60,3 °C	84,7 °C	107,3 °C	54,7 °C	84,9 °C	103,2 °C
T9/ Klaas	50,5 °C	78,7 °C	99,0 °C	53,2 °C	73,6 °C	93,2 °C	48,9 °C	75,2 °C	91,2 °C
T10/Pleki vahelt	51,0 °C	79,7 °C	100,6 °C	55,9 °C	77,8 °C	98,4 °C	53,6 °C	82,9 °C	101,1 °C

Tabel 5.7 Raami temperatuurid erinevatest punktides musta alumiiniumlatiga

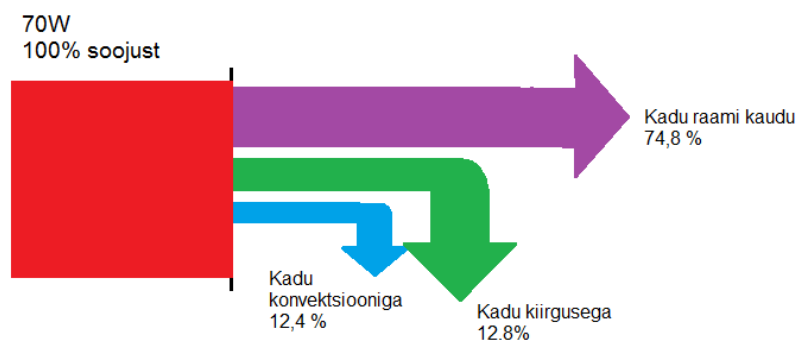
Must alumiiniumlatt klaasiga									
Asend	0° nurk			45° nurk			90° nurk		
Termopaar/ Võimsus	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W	30 W	50 W	70 W
T1/Keskelt	50,5 °C	98,7 °C	120,0 °C	64,6 °C	95,1 °C	120,4 °C	59,7 °C	84,0 °C	115,0 °C
T2/Kinnitus	46,1 °C	90,5 °C	109,7 °C	59,8 °C	87,4 °C	110,1 °C	55,1 °C	77,6 °C	105,2 °C
T7/Kinnitus valgevill	45,3 °C	89,7 °C	108,7 °C	58,8 °C	85,7 °C	107,8 °C	53,8 °C	75,9 °C	102,1 °C
T8/Küljelt	45,2 °C	89,3 °C	108,6 °C	51,7 °C	74,1 °C	91,8 °C	50,2 °C	69,9 °C	94,1 °C
T9/ Klaas	32,8 °C	54,5 °C	65,0 °C	40,7 °C	55,4 °C	68,9 °C	36,0 °C	48,4 °C	62,9 °C
T10/Pleki vahelt	44,2 °C	86,0 °C	105,5 °C	57,7 °C	85,0 °C	108,3 °C	54,7 °C	77,0 °C	105,8 °C

5.4 Andmete analüüs

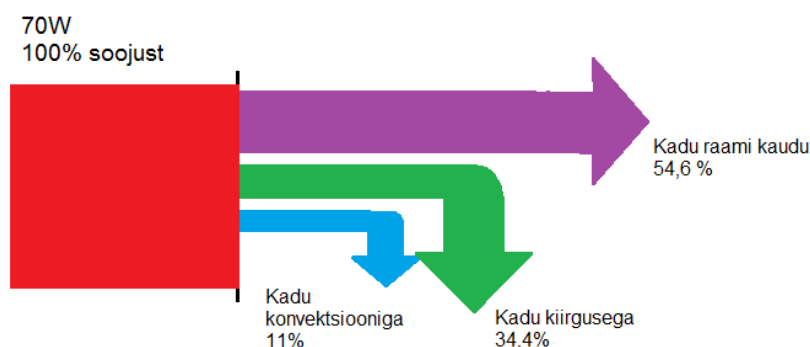
Mõõdetud andmeid võib lõppkokkuvõttes lugeda küllaltki täpseteks, sest eksponendiga veel täpsusarvutusi tehes tulevad arvatatud andmed 1-3 °C suuremad mõõdetud andmetest. Lõplikeks alumiiniumlati temperatuurideks võtan arvatatud tulemused, sest need on täpsemad

Tabelite 5.1 (lk 36) ja 5.2 (lk 36) järgi võib selgelt järeldada, et tavaline alumiiniumlatt saavutab tunduvalt kõrgemad temperatuurid kui must latt. See on arvatavasti tingitud sellest, et must latt kiirgab intensiivsemalt soojust, mille tõttu on soojuskaod läbi kiirguse suuremad. Korpuse kaldenurka suuremaks muutes muutuvad suuremaks ka soojuskaod ehk mõlemal juhul lati temperatuurid langevad. Kaldenurga suurenedes suureneb ka kahe lati temperatuuride vahe, mis tõestabki seda, et must latt kiirgab soojust rohkem välja.

Tabelite 5.4 (lk 38) ja 5.5 (lk 38) andmed on kujutatud alljärgnevate seledena 5.5 ja 5.6. Joonised on tehtud katse kohta, kus võimsus on 70 W ja korpuse kaldenurk on 90°, sest siis on kaod kõige suuremad. Seled näitavad, et läikiva alumiiniumlati puhul on kiirguseline kadu 12,8 %, aga musta lati puhul on see 34,4 %. Kadu raami kaudu on esimesel juhul 74,8 %, teisel juhul 54,6 %. Kadu konveksiooniga on mõlemal juhul küllaltki sarnane.



Sele 5.5 Tavalise alumiiniumlati 70W ja 90° kaldenurgaga soojuskaod



Sele 5.6 Musta alumiiniumlatiga 70W ja 90° kaldenurgaga soojuskaod

Oluline on ka ära märkida, et tabelites 5.4 (lk 38) ja 5.5 (lk 38) tekib 90° kaldenurgaga 50 W juures oluliselt suurem soojuskadu konveksiooniga kui 70 W sama nurga all.

Tabelitest 5.6 (lk 40) ja 5.7 (lk 40) on näha korpuse temperatuurid erinevatest punktidest. Tabelitest on selgelt näha, et mõlemal juhul lähevad 70 W juures korpuse matallist detailid üle 100 °C, mis on suur soojuskadu läbi raami. Ära märkimist vajaksid temperatuurid, mis on mõõdetud karastatud klaasi juures. Kõik temperatuurid musta latiga on väiksemad kui läikiva alumiiniumlatiga, kuid musta latiga on korpuse pealmise L-profiili temperatuurid oluliselt kõrgema temperatuuriga kui läikiva latiga.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö teema arenes välja professor Lauri Kütti teaduslikust projektist parabool-pegeliga päikesekollektorist, mis toodab energiat termoelektriliste elementidega. Töö valmis professor Lauri Kütti juhendamisel.

Töö eesmärgiks oli ehitada vähendatud mudel päikesekollektori kiirguse vastuvõtjast nii, et mudel oleks võimalikult sarnane juba olemasolevaga ja seda oleks võimalik päikesekollektori külge kinnitada. Edasi tuli valmistada küttekeha, millega oleks võimalik mudeli keskel paiknevat alumiiniumlati kuumutada konstantse võimsusega. Samuti tuli luua automaatne temperatuuri mõõtmisüsteem, mis võimaldaks mitmest erinevast punktist korraga temperatuuri mõõta ja andmeid koguda nii, et hiljem saaks saadud tulemustega mudeli soojuskadusid määrata.

Töö esimeses etapis toimus mudeli projekteerimine *Solidworks* programmis. Projekteerimisel arvestati erinevate materjalide soojusjuhtivusega, temperatuuri taluvusega ja töötlemise võimalustega. Pärast projekteerimist ehitati mudel valmis, kasutades selleks Tallinna Tehnikaülikooli töökojas U05-107 olevaid seadmeid.

Töö teises etapis tuli valmistada kütteseade, mis võimaldaks erinevaid alumiiniumlatte ühtlaselt kuumutada. Selleks valiti üks 3 mm paksune vasklatt, millele pandi 6 keraamilist takistit, mida sai kuumutada. Keeruliseks tegi nende ühendamine see, et takistid pidid töötama 300 °C keskkonnas, mis välistas nende omavahelise ühenduse jootetina. Nende ühendamiseks tuli kasutada mehaanilist ühendust, kus kontaktid on omavahel kokku surutud.

Töö kolmandas etapis valiti temperatuuri mõõtmiseks mõõteseade, milleks osutus *Keysight 34972A*, ja toiteplokk *Hewlett Packard 6030* - katsetes vajaliku võimsuse tagamiseks. Mõõteseade tuli programmeerida, et see mõõdaks automaatselt mitmest punktist temperatuuri. Programmeeriti mõõteseade *Python 2.7* tarkvaras ning arvutiga suhtlemiseks kasutati programmi *Keysight IO Libraries*.

Viimases etapis tuli saadud mõõtetulemustega teha erinevaid arvutusi. Kõigepealt kasutati mõõtetulemuste täpsuse suurendamiseks eksponendi piirväärtuse arvutamist. Soojuskadude arvutamisel arvutati palju sissetulevast võimsusest lahkub konvektsiooni kiirguse ja soojusülekanne kaudu. Arvutused tehti juhendaja juhendamisel. Pärast arvutusi tuli andmeid analüüsida.

Valmis esialgne mudel ja automaatne temperatuuri mõõteseade. Antud mudel oleks päikesekollektori jaoks töötav lahendus, kuid tema soojuskaod raami ja kiirgusega on liiga suured, mis tähendab väikest kasutegurit energia tootmisel, sest suur osa energiast kaob ümbritseva õhu soojendamiseks.

SUMMARY

This bachelor thesis developed from professor Lauri Kütt's scientific project of solar collector with parabolic mirror, which produces energy with thermo-electric elements. The work was completed under the guidance of professor Lauri Kütt.

The aim of this bachelor work was to build a reduced model of the solar radiation receiver, so that the model would be similar to the existing one and it can also be attached to the solar collector. The next step was to build a heater, which provides constant heating power to the aluminium bar in the middle of the model. Also was created an automatic temperature measuring system, which allows to measure temperature at different points in time and collects data, so later it is possible to calculate the heat losses of the model.

The first stage was to design a model in *Solidworks* program. In designing of model was taken into consideration the materials's thermal conductivity, temperature tolerances and processing capabilities. After the design, the model was built in Tallinn's University of Technology workshop U05-107.

The next stage was to make a heating device, which allows to heat up the variety of aluminium bars. To achieve that one 3 mm thick copper bar was chosen and six ceramic resistors were placed on that. It was difficult to connect the resistors with each other, because the working environment was at 300 °C, so the resistors must not be soldered together. The resistors had to be connected mechanically, which means that the contacts are clamped together.

The third stage of the work, was to choose the temperature measuring device, which turned out to be *Keysight 34972A* and the power supply to ensure the necessary power – *Hewlett Packard 6030A*. For temperature automatic measurements in multiple points the *Keysight 34972A* device needed to be programmed. The program was done in *Python 2.7* software and *Keysight IO Libraries* were used to communicate with the computer.

In the final stage was to make calculations with measurements. To increase the accuracy of measurements the maximum value of the exponent was calculated. Heat loss calculations show how much input power leaves the model with convection, radiation and heat transfer. Calculations were made under the guidance of the instructor. After the calculations were done, the data needed to be analyzed.

The result of this work is a first model of solar radiation receiver and a automatic temperature measurement device. This model is a working solution for the solar collector, but it has still massive heat losses in the frame and the radiation is too large, which means small efficiency of energy production, because a large amount of the energy is lost to heat the surrounding air.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Thermoelectrics: a review of present and potential applications [WWW]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431103000127>
(15.05.2017)
2. Mehaanikainseneri käsiraamat / Üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
3. Vikipeedia, Peltier`element [WWW]
https://et.wikipedia.org/wiki/Peltier%27_element(16.03.2017)
(01.05.2017)
4. Luksepatööd, Puurimine [WWW]
http://www2.hariduskeskus.ee/opiobjektid/lukksepatood/?KURSUSE_TEEMAD:PUURIMINE
(15.05.2017)
5. Luksepatööd, Keermestamine [WWW]
http://www2.hariduskeskus.ee/opiobjektid/lukksepatood/?KURSUSE_TEEMAD:KEERMETAMINE
(15.05.2017)
6. Keermed [WWW]
http://opiobjektid.tptlive.ee/Liited/24_keerme_mtmete_mramine.html
(15.05.2017)
7. FPB 10 isolatsioon ja PAROC SSB [WWW]
<http://www.paroc.ee/lahendused-ja-tooted/tooted/pages/tuletokke-isolatsioon-/paroc-fpb-10>
(18.05.2017)
8. Karastatud klaas [WWW]
<http://www.klaasimeister.ee/index.php?page=128&>
(18.05.2017)
9. Keysight 34972A [WWW]
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-5290EN.pdf?id=1000031228:epsg:dow>
(20.05.2017)
10. Hewlett Packard 6030A [WWW]
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-9297EN.pdf?id=2142687>
(20.05.2017)

11. Temperatuuri mõõtmine/ Autoriõigus K. Ingermann. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2009.

12. RTD pt1000 andmeleht [WWW]

http://www.farnell.com/datasheets/1918818.pdf?_ga=2.239336643.1595452670.1495103930-155419896.1492436521

(20.05.2017)

13. PT1000 [WWW]

<http://www.thermometricscorp.com/pt1000>

(20.05.2017)

14. Nelja juhtmega RTD ühendus [WWW]

<https://www.electrical4u.com/resistance-temperature-detector-or-rtd-construction-and-working-principle/>

(20.05.2017)

15. Keraamiline kuumuskindel kiudvill [WWW]

<http://www.kodukeskus.ee/et/a/keramiline-kiudmatt-vill-paksus-13mm-laius-610mm-128kg-m%C2%B3>

(20.05.2017)

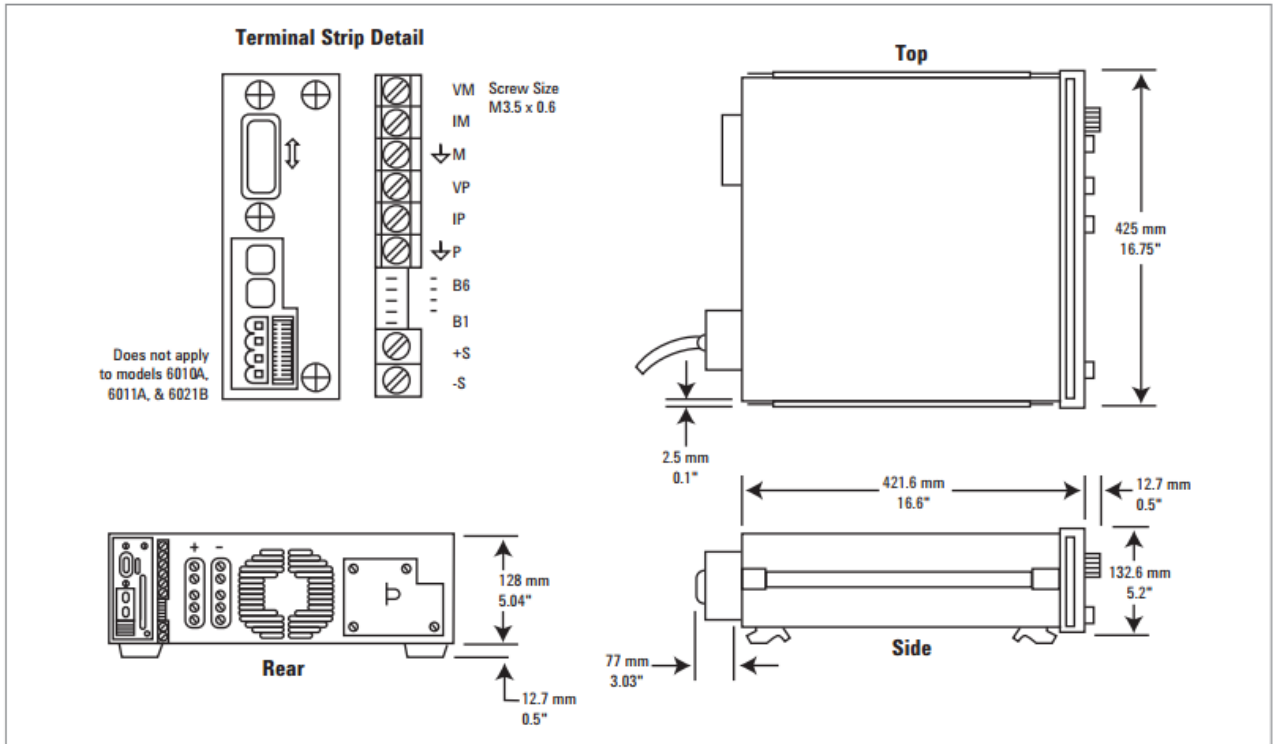
16. Valguse murdumine läbi klaasi [WWW]

<https://opik.kirsman.ee/pohikool/8klass/murdumine/>

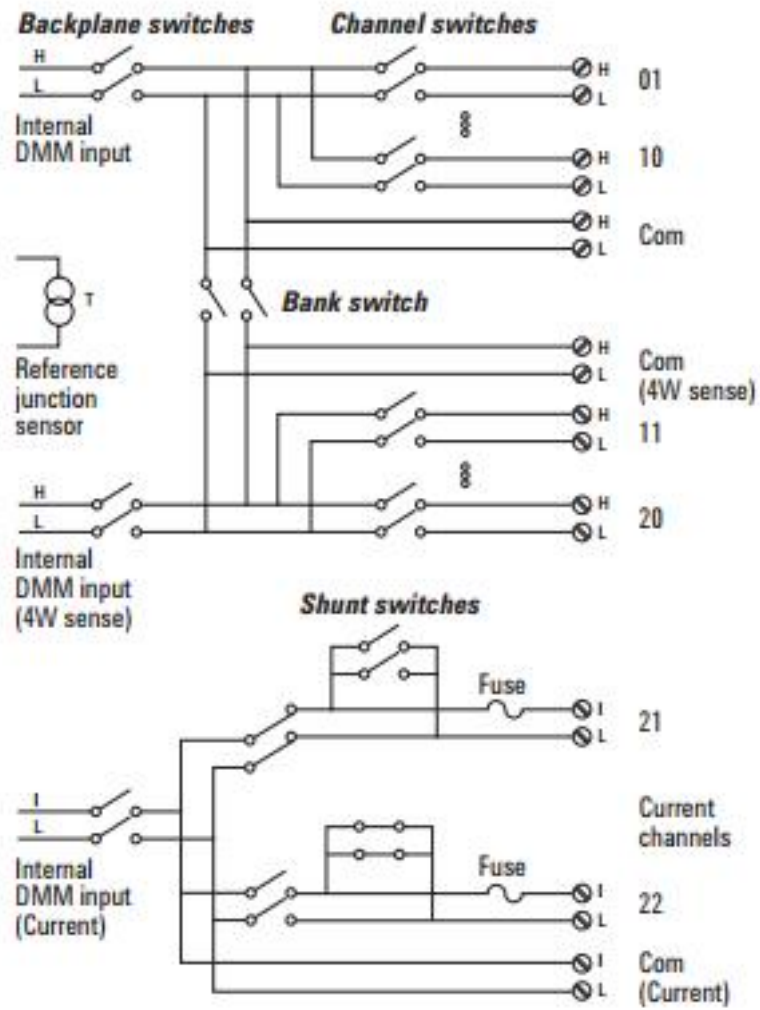
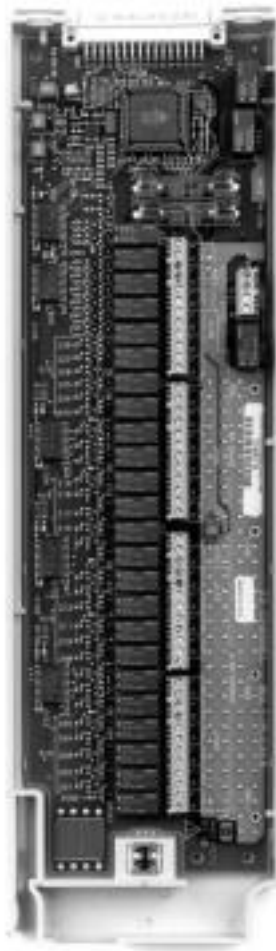
(18.05.2017)

LISA 1. TOITEPLOKI JOONIS

Keysight Models: 6030A, 6031A, 6032A, 6035A



LISA 2. 34901A 20 – KANALIGA MULTIPLEKSORI SKEEM



LISA 3. PYTHONI PROGRAMMEERIMISKOOD

```
import visa
import time
# start of Untitled

op_complete=False
Time='RELative' # ajatüübi defineerimine, hakkab lugema sekundeid kui käivitatakse
reference=1000 # Referentsi väärtuseks määratakse 1000 oomi
ch_list2='(@101:@103)' # Muutujale ch_list2 määratakse kanalid 1-3
type='T' # Type muutujale defineeritakse termopaari tüüp
ch_list='(@114:@120)' # Muutujale ch_list määratakse kanalid 14-20
mode=False # Muutuja defineeritakse 0
state=False # Muutuja defineeritakse 0
mode2=False # Muutuja defineeritakse 0
probe_type4='TCouple' # Defineerib muutuja tüübi termopaariks
type5='T' # Defineerib muutuja termopaari tüübiks
scan_list4='@114' #Defineerib muutujaks kanali, millest mõõdetakse
probe_type5='TCouple'
type6='T'
scan_list5='@115'
probe_type6='TCouple'
type7='T'
scan_list6='@117'
probe_type7='TCouple'
type8='T'
scan_list7='@118'
probe_type8='TCouple'
type9='T'
scan_list8='@119'
probe_type9='TCouple'
type10='T'
scan_list9='@120'
probe_type='FRTD' # Defineerib muutuja FRTD-ks
type2=85 # Defineerib muutuja RTD tüübiks 85
scan_list='@101' #Defineerib muutuja RTD kanali jaoks
probe_type2='FRTD'
type3=85
scan_list2='@102'
probe_type3='FRTD'
type4=85
scan_list3='@103'
seconds=1 # Muutujale defineeritakse väärtus 1s
ch_list3='(@101:120)' # ch_list3 muutujale defineeritakse kõik kanalid

rm = visa.ResourceManager()
v34972A = rm.open_resource('%USB0::0x0957::0x2007::MY49030055::0::INSTR')
idn_string = v34972A.query('*IDN?') # Tuvastatakse seade, seade saadab ise oma andmed
v34972A.write(':SYSTem:PRESet') # Uue väärtuse kirjutamiseks süsteem seatakse
```



```

v34972A.write(':SENSe:TEMPerature:TRANsducer:FRTD:RESistance:REFerence %d,(%s)' % (reference, ch_list2)) #
Kirjutatakse väärtused ch_list2/1000 oomi
v34972A.write(':SENSe:TEMPerature:TRANsducer:TCouple:TYPE %s,(%s)' % (type, ch_list)) # Kirjutatakse väärtused
ch_list/ T-termopaar
v34972A.write(':FORMat:READing:CHANnel %d' % (mode)) # Kirjutatakse kanali nr
v34972A.write(':FORMat:READing:ALARm %d' % (state)) # Kirjutatakse alarmi olek
v34972A.write(':FORMat:READing:UNIT %d' % (mode2)) # Kirjutatakse mõõdetud väärtus
v34972A.write(':FORMat:READing:TIME:TYPE %s' % (Time)) # Kirjutatakse aeg
v34972A.write(':ROUTe:CHANnel:DELay %G,(%s)' % (seconds, ch_list3)) # Kirjutatakse mõõtmistele delay, et jõuaks
õigeid tulemusi genereerida
temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%d,(%s)' % (probe_type, type2, scan_list))#
Mõõdetakse temperatuur kanalis 1 ja tulemus tagastatakse arvutile
readings = temp_values[0]

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%d,(%s)' % (probe_type2, type3, scan_list2))
readings1 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 2 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%d,(%s)' % (probe_type3, type4, scan_list3))
readings2 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 3 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type4, type5, scan_list4))
readings3 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 14 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type5, type6, scan_list5))
readings4 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 15 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type6, type7, scan_list6))
readings5 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur Kanalis 17 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type7, type8, scan_list7))
readings6 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 18 ja tulemus tagastatakse arvutile

temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type8, type9, scan_list8))
readings7 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 19 ja tulemus tagastatakse arvutile

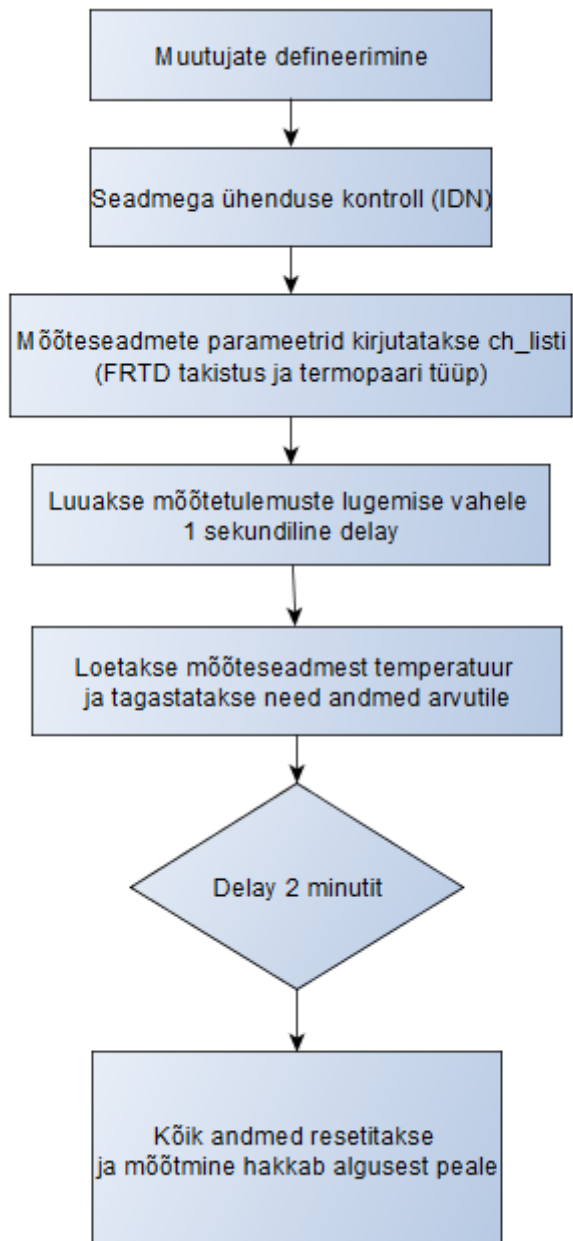
temp_values = v34972A.query_ascii_values(':MEASure:TEMPerature? %s,%s,(%s)' % (probe_type9, type10, scan_list9))
readings8 = temp_values[0] # Mõõdetakse temperatuur kanalis 20 ja tulemus tagastatakse arvutile
time.sleep(120) # Delay 120 sekundit ehk 2min
temp_values = v34972A.query_ascii_values('*OPC?') # Kõik eelmised tulemused rešetitakse ja programm hakkab otsast
peale
op_complete = int(temp_values[0])

v34972A.close()
rm.close()

# end of Untitled

```

LISA 4. PYTHON 2.7 PROGRAMMEERIMISE ALGORITM



LISA 5. 30 W 90 KRAADI TAVALINE

Scan	Time	101 <Keskelt > (C)	102 <Paremalt > (C)	103 <Vasakult > (C)	114 <T1 Keskelt> (C)	115 <T2 Kinnitus> (C)	117 <Kinnitus valge> (C)	118 <Küljelt> (C)	119 <Keskelt valge> (C)	120 <Plekk> (C)
1	5.05.2017 15:58:44:354	26,016	26,248	27,007	23,103	22,962	23,008	22,859	22,589	22,884
2	5.05.2017 16:00:44:250	29,588	29,34	30,302	23,299	22,907	22,971	22,875	22,612	22,883
3	5.05.2017 16:02:44:250	32,588	32,423	33,522	23,757	22,914	22,946	22,851	22,622	22,928
4	5.05.2017 16:04:44:250	35,552	35,443	36,642	24,22	22,944	23,008	22,878	22,626	22,987
5	5.05.2017 16:06:44:250	38,447	38,376	39,654	24,943	23,075	23,086	22,976	22,701	23,137
6	5.05.2017 16:08:44:250	41,27	41,22	42,561	25,546	23,126	23,188	23,048	22,692	23,223
7	5.05.2017 16:10:44:250	44,004	43,973	45,368	26,287	23,3	23,373	23,188	22,771	23,402
8	5.05.2017 16:12:44:250	46,677	46,644	48,089	27,069	23,54	23,592	23,385	22,897	23,618
9	5.05.2017 16:14:44:250	49,269	49,234	50,719	28,03	23,774	23,815	23,572	22,992	23,832
10	5.05.2017 16:16:44:338	51,78	51,743	53,318	28,717	24,044	24,077	23,807	23,119	24,091
11	5.05.2017 16:18:44:250	53,562	54,17	55,776	29,531	24,354	24,399	24,08	23,308	24,388
12	5.05.2017 16:20:44:250	55,916	56,522	58,158	30,135	24,708	24,745	24,418	23,498	24,736
13	5.05.2017 16:22:44:250	58,223	58,811	60,471	30,966	25,055	25,064	24,685	23,676	25,02
14	5.05.2017 16:24:44:250	60,462	61,033	62,711	31,817	25,462	25,483	25,038	23,953	25,369
15	5.05.2017 16:26:44:250	62,621	63,186	64,889	32,438	25,868	25,888	25,419	24,179	25,737
16	5.05.2017 16:28:44:250	64,731	65,272	66,994	33,114	26,294	26,308	25,781	24,401	26,075
17	5.05.2017 16:30:44:250	66,777	67,301	69,037	33,954	26,76	26,771	26,204	24,695	26,514
18	5.05.2017 16:32:44:250	68,761	69,268	71,018	35,079	27,178	27,174	26,536	24,94	26,854
19	5.05.2017 16:34:44:250	70,68	71,179	72,932	35,405	27,658	27,697	26,986	25,271	27,304
20	5.05.2017 16:36:44:250	72,552	73,031	74,8	36,117	28,096	28,121	27,36	25,55	27,665
21	5.05.2017 16:38:44:250	74,374	74,837	76,615	36,314	28,605	28,641	27,842	25,916	28,139
22	5.05.2017 16:40:44:250	76,157	76,583	78,367	37,623	29,066	29,101	28,231	26,238	28,547
23	5.05.2017 16:42:44:250	77,835	78,282	80,073	38,075	29,583	29,623	28,716	26,628	29,027
24	5.05.2017 16:44:44:250	79,525	79,938	81,735	38,39	30,043	30,096	29,124	26,923	29,42
25	5.05.2017 16:46:44:250	81,153	81,54	83,337	39,269	30,599	30,639	29,617	27,297	29,894
26	5.05.2017 16:48:44:250	82,699	83,103	84,903	39,917	31,059	31,122	30,072	27,643	30,309
27	5.05.2017 16:50:44:250	84,227	84,612	86,42	40,511	31,615	31,671	30,56	28,055	30,816
28	5.05.2017 16:52:44:250	85,728	86,093	87,904	40,894	32,109	32,165	30,989	28,379	31,248
29	5.05.2017 16:54:44:250	87,178	87,527	89,351	41,963	32,642	32,721	31,519	28,806	31,712
30	5.05.2017 16:56:44:250	88,574	88,931	90,756	41,647	33,188	33,251	32,011	29,202	32,181
31	5.05.2017 16:58:44:250	89,97	90,299	92,124	42,591	33,702	33,756	32,485	29,577	32,62
32	5.05.2017 17:00:44:250	91,29	91,622	93,455	43,097	34,222	34,323	32,952	29,983	33,118
33	5.05.2017 17:02:44:250	92,595	92,913	94,76	43,861	34,725	34,823	33,402	30,364	33,536
34	5.05.2017 17:04:44:250	93,875	94,17	96,009	44,404	35,231	35,341	33,868	30,755	33,996
35	5.05.2017 17:06:44:250	95,115	95,405	97,241	44,268	35,778	35,89	34,388	31,175	34,472
36	5.05.2017 17:08:44:250	96,33	96,594	98,438	45,055	36,263	36,376	34,797	31,494	34,885
37	5.05.2017 17:10:44:250	97,487	97,766	99,613	45,778	36,791	36,913	35,298	31,927	35,378

38	5.05.2017 17:12:44:250	98,634	98,906	100,744	45,66	37,239	37,365	35,722	32,274	35,758
39	5.05.2017 17:14:44:250	99,752	100,016	101,858	46,316	37,771	37,906	36,216	32,674	36,231
40	5.05.2017 17:16:44:250	100,841	101,098	102,944	46,915	38,3	38,428	36,721	33,088	36,679
41	5.05.2017 17:18:44:250	101,907	102,161	104,013	47,407	38,754	38,883	37,12	33,443	37,088
42	5.05.2017 17:20:44:250	102,944	103,198	105,044	47,882	39,27	39,406	37,596	33,848	37,539
43	5.05.2017 17:22:44:250	103,959	104,207	106,059	48,207	39,726	39,86	38,015	34,225	37,919
44	5.05.2017 17:24:44:250	104,965	105,193	107,039	49,15	40,199	40,33	38,462	34,605	38,338
45	5.05.2017 17:26:44:250	105,939	106,156	108,003	49,154	40,695	40,849	38,919	35,028	38,789
46	5.05.2017 17:28:44:250	106,874	107,091	108,946	49,214	41,174	41,358	39,351	35,405	39,208
47	5.05.2017 17:30:44:250	107,82	108,005	109,866	49,862	41,612	41,76	39,751	35,737	39,56
48	5.05.2017 17:32:44:250	108,729	108,906	110,758	50,19	42,085	42,225	40,188	36,135	39,981
49	5.05.2017 17:34:44:250	109,601	109,787	111,645	50,902	42,565	42,724	40,608	36,492	40,379
50	5.05.2017 17:36:44:250	110,445	110,639	112,497	51,1	43,018	43,168	41,043	36,877	40,777
51	5.05.2017 17:38:44:250	111,291	111,479	113,334	51,253	43,47	43,647	41,467	37,217	41,168
52	5.05.2017 17:40:44:250	112,109	112,291	114,147	51,886	43,93	44,107	41,881	37,577	41,548
53	5.05.2017 17:42:44:250	112,918	113,092	114,959	52,029	44,372	44,537	42,299	37,94	41,909
54	5.05.2017 17:44:44:250	113,728	113,873	115,735	52,689	44,83	44,987	42,704	38,318	42,323
55	5.05.2017 17:46:44:250	114,49	114,647	116,513	52,977	45,289	45,463	43,129	38,704	42,755
56	5.05.2017 17:48:44:250	115,245	115,4	117,26	53,271	45,723	45,892	43,517	39,051	43,087
57	5.05.2017 17:50:44:250	115,995	116,132	117,995	53,529	46,155	46,322	43,924	39,37	43,455
58	5.05.2017 17:52:44:250	116,708	116,862	118,717	53,632	46,569	46,715	44,283	39,72	43,807
59	5.05.2017 17:54:44:250	117,426	117,558	119,418	54,389	46,968	47,129	44,642	40,045	44,142
60	5.05.2017 17:56:44:250	118,113	118,256	120,11	55,067	47,406	47,593	45,079	40,41	44,559
61	5.05.2017 17:58:44:250	118,797	118,928	120,791	55,18	47,818	47,997	45,426	40,721	44,87
62	5.05.2017 18:00:44:250	119,463	119,581	121,452	55,554	48,183	48,385	45,781	41,022	45,22
63	5.05.2017 18:02:44:250	120,099	120,236	122,093	55,214	48,581	48,752	46,129	41,339	45,552
64	5.05.2017 18:04:44:250	120,743	120,871	122,729	55,357	48,973	49,201	46,544	41,692	45,918
65	5.05.2017 18:06:44:250	121,369	121,492	123,347	56,022	49,34	49,565	46,898	41,982	46,239
66	5.05.2017 18:08:44:250	121,967	122,102	123,959	56,783	49,702	49,912	47,24	42,268	46,53
67	5.05.2017 18:10:44:250	122,577	122,709	124,583	57,339	50,124	50,322	47,598	42,625	46,905
68	5.05.2017 18:12:44:250	123,175	123,287	125,164	57,437	50,471	50,668	47,937	42,877	47,18
69	5.05.2017 18:14:44:250	123,753	123,865	125,731	57,662	50,886	51,054	48,292	43,2	47,521
70	5.05.2017 18:16:44:250	124,331	124,408	126,28	57,562	51,235	51,406	48,608	43,455	47,794
71	5.05.2017 18:18:44:250	124,881	124,972	126,847	58,308	51,603	51,784	48,958	43,764	48,141
72	5.05.2017 18:20:44:250	125,419	125,516	127,379	58,276	51,969	52,149	49,325	44,036	48,439
73	5.05.2017 18:22:44:250	125,939	126,045	127,914	58,119	52,327	52,484	49,661	44,326	48,778
74	5.05.2017 18:24:44:250	126,477	126,549	128,419	59,003	52,644	52,787	49,979	44,594	49,049
75	5.05.2017 18:26:44:250	126,995	127,064	128,925	58,913	52,96	53,132	50,242	44,874	49,344
76	5.05.2017 18:28:44:250	127,499	127,553	129,437	58,825	53,281	53,426	50,484	45,153	49,633
77	5.05.2017 18:30:44:250	127,991	128,063	129,922	59,977	53,544	53,767	50,769	45,416	49,901
78	5.05.2017 18:32:44:250	128,462	128,549	130,397	60,009	53,86	54,069	51,08	45,683	50,186

79	5.05.2017 18:34:44:250	128,948	129,014	130,862	60,042	54,131	54,358	51,346	45,951	50,455
80	5.05.2017 18:36:44:250	129,411	129,474	131,331	60,11	54,415	54,637	51,578	46,169	50,699
81	5.05.2017 18:38:44:250	129,848	129,922	131,779	60,742	54,659	54,935	51,823	46,429	50,957
82	5.05.2017 18:40:44:250	130,282	130,371	132,236	61,747	54,927	55,221	52,079	46,665	51,198
83	5.05.2017 18:42:44:250	130,75	130,785	132,667	60,619	55,183	55,472	52,317	46,876	51,442
84	5.05.2017 18:44:44:250	131,161	131,216	133,101	61,24	55,464	55,756	52,57	47,099	51,656
85	5.05.2017 18:46:44:250	131,589	131,612	133,501	61,122	55,733	56,017	52,8	47,296	51,877
86	5.05.2017 18:48:44:250	131,98	132,049	133,92	61,18	55,996	56,255	53,049	47,497	52,073
87	5.05.2017 18:50:44:250	132,386	132,437	134,308	61,33	56,292	56,55	53,303	47,739	52,342
88	5.05.2017 18:52:44:250	132,785	132,834	134,711	62,125	56,56	56,832	53,564	47,968	52,555
89	5.05.2017 18:54:44:250	133,185	133,213	135,09	61,703	56,796	57,075	53,758	48,155	52,753
90	5.05.2017 18:56:44:250	133,553	133,604	135,487	62,606	57,062	57,316	53,989	48,369	52,962
91	5.05.2017 18:58:44:250	133,935	133,958	135,838	63,201	57,313	57,568	54,214	48,563	53,161
92	5.05.2017 19:00:44:250	134,308	134,32	136,214	63,262	57,558	57,818	54,43	48,758	53,365
93	5.05.2017 19:02:44:250	134,659	134,685	136,57	63,075	57,804	58,067	54,651	48,941	53,553