

**EESTI MAAÜLIKOOL**  
**Tehnikainstituut**



**Maido Märss**

**KATELSEADMETE ÕPPELABORI SISUSTUS**

Equipment for boiler technology laboratory

Magistritöö  
energiakasutuse erialal

**Tartu 2011**

Olen koostanud magistritöö iseseisvalt. Kõik minu töös kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad ning kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Magistritöö koostaja: **Maido Märss**

.....  
(kuupäev)

.....  
(allkiri)

Juhendaja: **lektor Mart Hovi**

.....  
(kuupäev)

.....  
(allkiri)

Retsensent: **dots. Tõnis Peets**

.....  
(kuupäev)

.....  
(allkiri)

Töö vastab kehtivatele nõuetele. Kaitsmisele lubatud.

Energeetika osakonna juhataja:

**prof. Andres Annuk**

.....  
(kuupäev)

.....  
(allkiri)

## **ABSTRACT**

Märss, M. Equipment for boiler technology laboratory. Master's thesis. – Tartu: 2011. 84 pages, 20 figures, 22 tables, format A3, A4. In Estonian language.

Because of the boiler technology development the demand for heat engineers is growing. Training programs usually prepare students for jobs that require more theoretical and scientific knowledge rather than practical design and production. Therefore educational institutions must have laboratories where students can focus on current issues in the application of engineering principles.

Institute of Technology in Estonian University of Life Sciences is building new laboratories, including boiler technology laboratory. The purpose of this paper is to provide a technical solution for testing different types of boilers in the laboratory.

Design and selection of equipment consists of different calculations. The main topics are: water circulation, air and gas duct and electrical installation design. Different topics are described in separate chapters.

The heating energy that is produced in the laboratory is transferred to the building heating system. Therefore a theoretical analysis of the building energy demand is carried out. In addition to design calculation material specifications and drawings of different fittings are given.

**Keywords:** heat engineering, thermal design, fuels, boiler, heat-exchanger, water circulation, draft system.

## SISUKORD

<b>TÄHISED JA LÜHENDID</b> .....	7
<b>SISSEJUHATUS</b> .....	11
<b>1. OLUKORRA KIRJELDUS</b> .....	12
1.1. Töö sisu.....	12
1.2. Hetkeolukord .....	12
1.3. Planeeritav katelseadmete õppelabor.....	13
<b>2. LABORI RUUM</b> .....	14
2.1. Ruumi põhiandmed.....	14
2.2. Ruumi konstruktsioonid.....	15
2.2.1. Aknad .....	15
2.2.2. Uksed.....	15
2.2.3. Suitsukorsten .....	15
2.3. Tehnosüsteemid .....	16
2.3.1. Veevarustus ja kanalisatsioon .....	16
2.3.2. Elekter .....	16
2.3.3. Küttesüsteem .....	17
2.4. Stendide kirjeldus .....	19
2.5. Kütuste käitlemine .....	20
2.5.1. Kütuse ettevalmistus .....	20
2.5.2. Kütusekulu arvutus.....	21
2.5.3. Teoreetiline ja tegelik põlemisõhu hulk.....	22
2.5.4. Põlemisel tekkivate suitsugaaside kogused.....	23
2.6. Tuleohutus .....	24
<b>3. KÜTTEVEE SÜSTEEM</b> .....	26
3.1. Süsteemi osade kirjeldus.....	26
3.2. Akumulatsioonimahuti .....	27
3.3. Soojussõlm.....	29
3.4. Paisupaak .....	30
3.5. Torustik.....	30
3.5.1. Lähteandmed arvutusteks.....	30
3.5.2. Tsirkulatsiooniringide vooluhulgad .....	32

3.5.3. Torustiku läbimõõdud .....	32
3.5.4. Torustiku valik .....	33
3.6. Süsteemi rõhukaod.....	34
3.6.1. Hõõderõhukadu.....	35
3.6.2. Kohtrõhukadu.....	36
3.6.3. Kontuuride rõhukaod.....	37
3.7. Tsirkulatsioonipumbad .....	37
3.8. Toitevee süsteem .....	38
3.9. Seadmete paigaldus .....	38
<b>4. ÕHU- JA GAASITRAKT .....</b>	<b>40</b>
4.1. Õhutrakti kirjeldus .....	40
4.2. Gaasitrakti kirjeldus.....	41
4.3. Gaasitrakti aerodünaamiline arvutus .....	42
4.3.1. Lähteandmed arvutusteks .....	42
4.3.2. Gaasi arvutuslik kiirus ja tihedus kanalis.....	43
4.3.3. Ühenduslõõri rõhukadu .....	44
4.3.4. Korstna rõhukadu .....	45
4.3.5. Korstna omatõmme .....	45
4.3.6. Gaasitrakti kogu rõhukadu .....	46
4.4. Suitsuventilaator .....	46
4.5. Torustiku paigaldus .....	48
<b>5. ELEKTRIVARUSTUS .....</b>	<b>49</b>
5.1. Elektrivarustuse kirjeldus .....	49
5.2. Tehnoloogilised seadmed .....	49
5.2.1. Põletid ja transportöörid .....	49
5.2.2. Ventilaatorid.....	49
5.2.2. Pumbad.....	50
5.3. Arvutused.....	51
5.3.1. Installeeritud ja arvutusliku võimsuse määramine .....	51
5.3.2. Peakaitsme ja sisestuskaabli arvutus .....	52
5.3.3. Kaitseseadmete valik.....	53
5.3.4. Pingekadude arvutus .....	55
5.4. Elektriseadmete paigaldus .....	57
5.4.1. Labori jaotuskeskus.....	57

5.4.2. Toite- ja juhtimisliinid.....	58
5.4.3. Maandamine ja potentsiaaliühtlustus .....	58
5.5. Juhtimis- ja mõõtesüsteem.....	59
5.5.1. Tehnoloogilise protsessi lühikirjeldus.....	59
5.5.2. Programmeeritav kontrolleri .....	60
5.5.3. Visualiseerimiskeskus .....	61
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>62</b>
<b>KIRJANDUS.....</b>	<b>63</b>
<b>LISAD.....</b>	<b>65</b>
Lisa A. Ruumi joonised .....	66
Lisa B. Küttevee süsteem .....	68
Lisa C. Õhu- ja gaasitrakt .....	75
Lisa D. Elektrivarustus ja automaatika.....	77

## TÄHISED JA LÜHENDID

$a$	– tegur, mis arvestab faasidevahelist asümmeetriat
AI	– analoog sisend (ingl <i>analog input</i> )
AO	– analoog väljund (ingl <i>analog output</i> )
$B_A$	– arvutuslik katla kütusekulu kg/s
$\cos\varphi$	– võimsustegur
$c_p$	– soojuskandja erisoojus kJ/(kg·K)
CPU	– protsessor (ingl <i>central processing unit</i> )
DALI	– digitaalselt adresseeritav valgustus andmevõrk (ingl <i>Digital Addressable Light Interface</i> )
DI	– digitaal sisend (ingl <i>digital input</i> )
$d_{min}$	– torustiku minimaalne siseläbimõõt m
DO	– digitaal väljund (ingl <i>digital output</i> )
$d_s$	– torustiku siseläbimõõt m
$e$	– paisumistegur
$G_{g,max}$	– suitsugaaside maksimaalne vooluhulk m <sup>3</sup> /s
$G_s$	– soojuskandja vooluhulk m <sup>3</sup> /s
$G_{s,max}$	– soojuskandja maksimaalne tunnivooluhulk m <sup>3</sup> /h
$G_{\bar{o}}$	– katla põlemisõhu vooluhulk m <sup>3</sup> /s
$H$	– korstna kõrgus m
$I_2$	– kaitselüliti suurim teimivool A
$I_b$	– vooluahela maksimaalne vool A
$I_f$	– faasivool A
$I_n$	– nimivool A
IP	– rahvusvaheline kaitseaste (ingl <i>International Protection</i> )
$I_z$	– kaabli (juhi) lubatav kestevvool A
$k_k$	– koormustegur
$k_n$	– nõudetegur
$k_{\bar{u}}$	– üheaegsustegur
$l$	– toitekaabli pikkus m
$l_g$	– gaasikäigu pikkus m
$l_s$	– soojuskandja arvutuslõigu pikkus m
$m_s$	– soojuskandja mass kg

$n$	– ümberarvutustegur kütuse koostise arvutamiseks kuivainelt tarbimisainele
$n_2$	– ventilaatori pöörlemiskiirus $\text{min}^{-1}$
$N_H$	– hoone vajalik küttevõimsus kW
$N_k$	– kuu keskmine küttevõimsus kW
$N_{kas}$	– katlas kasutatav kasulik soojushulk kW
$N_{min}$	– minimaalne katla soojusvõimsus kW
$N_N$	– katla nimisoojusvõimsus kW
$N_s$	– arvutuslõigu soojuskoormus kW
$N_{SI}, N_{SI}$	– stendide nimisoojusvõimsused kW
$P_1$	– mootori tarbitav võimsus W
$P_2$	– ventilaatori tarbitav võimsus W
$P_a$	– arvutuslik võimsus W
$P_{a,gr}$	– tarbijagrupi arvutuslik võimsus W
$p_f$	– kaitseklapi maksimaalne töö rõhk Pa
$p_g$	– gaasitrakti aerodünaamiline takistus Pa
$P_i$	– installeeritud võimsus W
$p_i$	– paisupaagi eel rõhk Pa
$P_{i,gr}$	– tarbijagrupi installeeritud võimsus W
$p_k$	– rõhukadu kohttakistuses Pa
$p_l$	– hõõrderõhukadu Pa
PLC	– programmeeritav loogikakontroller (ingl <i>Programmable Logic Controller</i> )
$p_{ot}$	– korstna omatõmme Pa
$p_r$	– kontuuri kogurõhukadu Pa
$p_{siib}$	– gaasisiibri takistus Pa
$p_{tp}$	– tuhapüüdu takistus Pa
$p_v$	– ventilaatori poolt arendatav rõhk Pa
PVC	– polüvinüülkloriid (ingl <i>Polyvinyl chloride</i> )
$p_{\delta}$	– rõhukadu õhutraktis Pa
$p_{ök}$	– ökonomaiseri takistus Pa
$Q_k$	– tarbitud soojusenergia kW·h
$Q_s$	– salvestatav soojushulk kJ
$Q'_a$	– kütuse tarbimisaine alumine kütteväärtus kJ/kg



$Re$	– Reynoldsi arv
$s$	– juhtme ristlõige $mm^2$
$S_g$	– gaasikäigu vaba ristlõikepind $m^2$
$t_a$	– soojuskandja algtemperatuur K
$t_g$	– gaaside keskmine temperatuur suitsukäigus $^{\circ}C$
$t_l$	– soojuskandja lõpptemperatuur K
$t_p$	– arvutuslõigu pealevoolu temperatuur K
$t_t$	– arvutuslõigu tagasivoolu temperatuur K
$t_v$	– arvutuslõigu keskmine soojuskandja temperatuur K
$U$	– liinipinge V
$U_f$	– faasipinge V
$V^0$	– teoreetiline põlemisõhu kogus ühe kg kütuse põletamiseks $m^3/kg$
$V_E$	– paisupaagi maht $m^3$
$v_g$	– gaaside liikumiskiirus gaasitraktis m/s
$V_g$	– põlemisgaaside maht ühe kg kütuse põletamisel $m^3/kg$
$V_{H_2O}$	– veeauru maht põlemisgaasis $m^3/kg$
$v_{max}$	– maksimaalne voolamiskiirus torustikus m/s
$V_{N_2}$	– lämmastiku maht põlemisgaasis ühe kg kütuse põletamisel $m^3/kg$
$V_{O_2}$	– hapniku maht põlemisgaasis ühe kg kütuse põletamisel $m^3/kg$
$V_{RO_2}$	– kolmeatomiliste gaaside maht põlemisgaasis ühe kg kütuse põletamisel $m^3/kg$
$v_s$	– soojuskandja voolamiskiirus m/s
$V_S$	– süsteemi soojuskandja maht $m^3$
$V_{sp}$	– Akumulatsioonimahuti maht $m^3$
$V_{\bar{o}}$	– tegelik põlemisõhu kogus ühe kg kütuse põletamiseks $m^3/kg$
$\alpha_k$	– liigõhutegur
$\Delta_e$	– torustiku ekvivalentkaredus mm
$\Delta U_{\%}$	– pingekadu %
$\zeta$	– kohttakistustegur
$\eta_k$	– katla kasutegur
$\eta_m$	– mootori kasutegur
$\eta_v$	– ventilaatori kasutegur
$\eta_{\bar{u}}$	– ülekande kasutegur
$\lambda$	– hõõrdetakistustegur

$\rho_{Cu}$	– vaskjuhi eritakistus $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
$\rho_g^0$	– põlemisgaaside tihedus normaalingimustel $\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_g$	– põlemisgaaside tihedus gaaside arvutuslikul temperatuuril $\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_s$	– soojuskandja tihedus $\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_{\tilde{o}}$	– välisõhu tihedus $\text{kg}/\text{m}^3$
$\tau_B$	– kütmise kestvus h
$\tau_k$	– kütteperioodi kestvus h
$\nu_s$	– soojuskandja kinemaatiline viskoossustegur $\text{m}^2/\text{s}$

## SISSEJUHATUS

Soojusenergia tootmisel ja käitlemisel on suur nõudlus kvalifikatsiooniga spetsialistide järele. Katlatehnika koosseisu kuuluva seadmetiku regulaarseks hoolduseks ning remondiks vajatakse inimesi, kes seda valdkonda hästi tunnevad. Spetsialistide koolitamisel on lisaks teooriale oluline roll praktilisel baasil, eriti elektri ja soojustehnika aladel. Praktilise õppe läbiviimiseks on koolides vajalikud õppelaborid, mis on varustatud reaalse seadmete ja mõõtetehnikaga.

Seoses 1968. aastal kasutusele võetud Kreutzwaldi 56 õppehoone 1. korpuse rekonstrueerimisega korrastatakse hoone õpperuumid. Amortiseerunud ning kasutusest jäänud ruumidesse rajatakse uued laboratooriumid, sealhulgas katelseadmete õppelabor.

Nimetatud labori rajamine ja sisustamine loob Tehnikainstituudis uusi võimalusi ja rakendusi nii õppetöös kui ka teadus- ja arendustegevuses. Näiteks on võimalik teha koostööd erinevate kütteseadmeid tootvate ja paigaldavate ettevõtetega. Lisaväärtuseks on Tehnikainstituudi atraktiivsuse kasv õppima tulla soovivate tudengite silmis.

Töös pakutakse välja tehniline lahendus, kuid ei käsitleta labori maksumust. Välja on toodud vajalike komponentide loetelud, mille alusel saab teha hilisemaid hinnakalkulatsioone. Töö tulemusi saab rakendada analoogsete laboratooriumite sisustamisel.

Käesoleva töö käigus on tehtud koostööd hoone rekonstrueerimise projekti koostajatega, et tagada ruumile vajalikud tehnilised tingimused. Tekstilise osa selgitusteks ning lihtsamaks mõistmiseks on töö lisades esitatud joonised.

## **1. OLUKORRA KIRJELDUS**

### **1.1. Töö sisu**

Käesolev töö käsitleb katelseadmete õppelabori sisustamist. Labori sisustuse moodustavad seadmed, mis on vajalikud katelde funktsioneerimise tagamiseks ning soojustehniliseks katsetamiseks. Labori sisustamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- seadmete maksimaalse soojusvoo määramine;
- küttevee süsteemi seadmete arvutus ja valik;
- põlemisõhu ja suitsugaaside kanalite arvutus ja valik;
- tehnoloogiliste seadmete elektrivarustuse tagamine;
- katelseadmete soojustehnilise katsetamise mõõtepunktide määramine ning mõõteseadmete valik.

Töö eesmärgiks on laboris planeeritavate soojustehniliste katsetuste läbi viimiseks vajamineva tehnoloogia välja töötamine ning vajalike seadmete arvutus ja valik.

### **1.2. Hetkeolukord**

Soojustehnika õppe- ja teadustöö toimub Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis energeetika struktuuriüksuses. Tehnikainstituudi energeetika osakonna peamised uurimissuunad on [1]:

- integreeritud taastuvenergeetika lahendused: tuul, päike, biokütused ja energiasalvestuseadmed;
- energeetiliste protsesside modelleerimine;
- elektrivõrkude optimeerimine;
- energiaseadmete käit ja kasutamine;
- automaat- ja protsessorjuhtimine energeetikas.

Erialade lõpetajaid võib leida mitmete energeetikaettevõtete spetsialistide ning projekteerijate ametikohtadelt. Koostöös energeetikaettevõtetega toimuvad ekskursioonid soojus- ning koostootmisjaamadesse, kus tutvutakse olemasolevate tehnoloogiatega ning omandatakse praktilisi teadmisi.

Põhilised soojustehnika alased õpetatavad ained bakalaureuse- ja magistriõppes on soojusõpetuse põhikursus, katelseadmed, katel ja koostootmisseadmed, kuivatamine ning

elektersoojendus. Üliõpilased omandavad teoreetilisi teadmisi katlatehnika ja kütuste vallas, kuid teadmiste praktiliseks kinnistamiseks puudub vajalik õppelabor koos inventariga.

Katelseadmete katsetused viiakse üldjuhul läbi valmistaja tehases või installeeritud paigaldises, mille alusel seadistatakse katla töörežiim vastavalt süsteemile. Lisaks ettevõtetele, tegeleb katelde soojustehnilise katsetamisega Tallina Tehnikaülikooli Soojustehnika Instituut, kus on olemas seadmestik väikekatelde katsetamiseks.

### **1.3. Planeeritav katelseadmete õppelabor**

Planeeritav õppelabor rajatakse Kreutzwaldi 56 õppehoone keldrikorrusele. Katelseadmete õppelabori vahetus läheduses asuvad soojustehnika õppelabor, kilbiruum, veevarustuse labor ja soojasõlm. Labor seotakse hoone kütte-, veevarustus- ja elektrisüsteemiga.

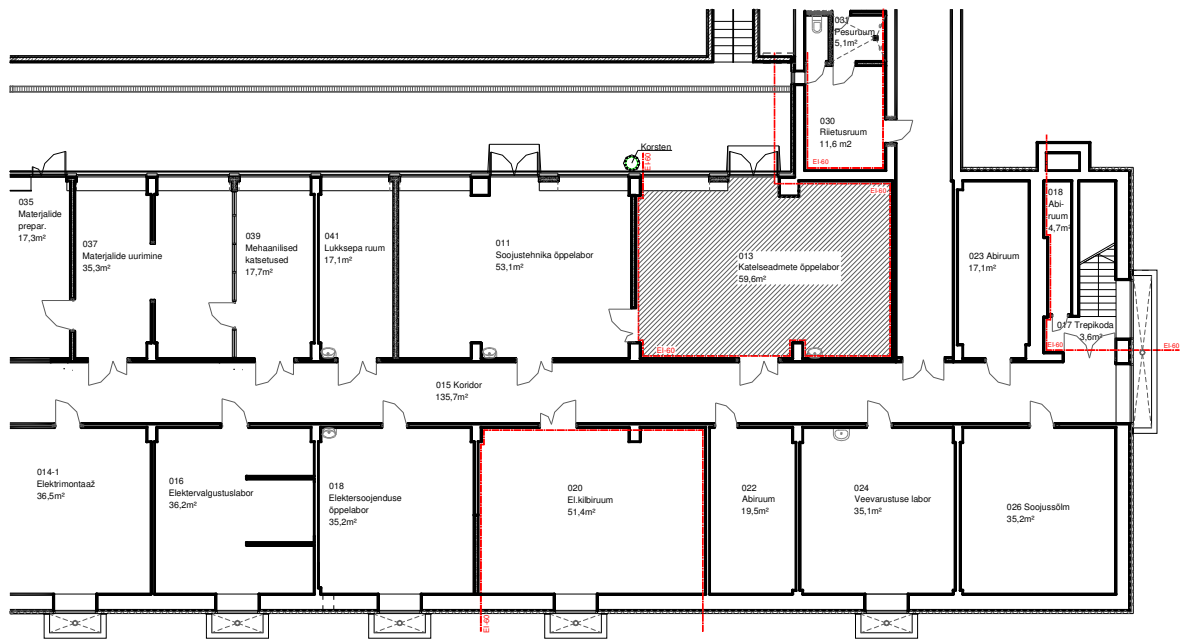
Õppeklassi on planeeritud kaks katelstendi, mis on varustatud mõõteaparatuuriga. Katsetel tekkiv soojusenergia juhitakse läbi soojusvaheti hoone küttesüsteemi. Mõõtetulemused väljastatakse numbriliselt ja graafiliselt labori automaatikakeskuse operaatorpaneelil ning arvutiliidese vahendusel soojustehnika õppelabori keskarvutis. Lisaks katelseadmetele seotakse soojustehnika õppelabori keskarvutiga hoone automaatikasüsteem.

Katelseadmete laboris on võimalik hinnata katelde, kütuste ja teiste soojustehniliste seadmete parameetreid ning nende alusel arendada seadmete efektiivsust. Labori eesmärk on õppe- ja teadustöö arendamine Eesti Maaülikoolis. Pikemas perspektiivis on eesmärgiks omandada akrediteeritud katsetustegevus soojustehnilistes mõõtmistes, et arendada ülikooli ja ettevõtjate vahelist koostööd.

## 2. LABORI RUUM

### 2.1. Ruumi põhiandmed

Katelseadmete õppelabor rajatakse Kreutzwaldi 56 õppehoone keldrikorrusele ruumi 013, mis asub hoone tagaküljel (joonis 2.1). Hoone tagaküljele rajatakse kaldtee, mida mööda pääseb keldrikorruse laboritesse. Sama kaldteed pidi saab transportida katelseadmeid ja kütuseid õppelaborisse.



**Joonis 2.1.** Katelseadmete õppelabori paiknemine Kreutzwaldi 56 keldrikorrusel

Labori ruumi põhinäitajad:

- põrandapind 59,6 m<sup>2</sup>;
- ruumi kõrgus 2,5 m;
- ruumi kubatuur 149 m<sup>3</sup>;
- ruumi VI kasutusviis tuleohutusest tulenevalt;
- ruumi tulepüsivusklass TP-1.

Ruumi seadmete paigutuse plaan on esitatud lisas A.

## 2.2. Ruumi konstruktsioonid

### 2.2.1. Aknad

Plahvatusohtlik ruum tuleb varustada kergete paiskpindadega, mis väldivad plahvatuse korral ülerõhu tekke ruumis üle 1 kPa. Paiskpindade hulka loetakse aknad, ukсед ja kergpaneelid (paiskpaneelid), mis avanevad või purunevad eelpool mainitud ülerõhu korral. Vajalik paiskpind leitakse ruumi kubatuuri alusel. Ruumi iga m<sup>3</sup> kohta tuleb ette näha 0,05 m<sup>2</sup> paiskpinda. [2]

Vastavalt ruumi kubatuurile on nõutud paiskpinna pindala 7,45 m<sup>2</sup>. Katelseadmete ruumi aken on paiskpind. Projekteeritud aken on alumiinium raamiga ning klaaspaketiga. Akna klaasi pindala on 4,4 m<sup>2</sup>. Lisa paiskpind saavutatakse ukse arvelt.

### 2.2.2. Uksed

Laboratooriumil on kahepoolsest väljapoole avanev välisuks. Ukse materjal on alumiinium, mis on kahelt poolt värviga viimistletud. Katelseadmetele põlemisõhu tagamiseks, tuleb uksele lisada reguleeritav õhuvõtturest. Õhuvõtturesti mõõdud on: kõrgus 300 mm, laius 400 mm. Ülejääv uksepind tuleks varustada paiskpinnaga, et tagada ruumi ettenähtud nõuded.

### 2.2.3. Suitsukorsten

Suitsugaaside ärastuseks katelseadmetest ning katla tõmbe tagamiseks on vajalik tõmbekorsten. Labori kahe katsestendi peale on üks suitsukorsten. Projekteeritud on teraskorsten (tabel 2.1) kõrgusega 21 m.

**Tabel 2.1.** Korstna andmed [3]

Kirjeldus	Materjal	Mõõt, mm
Torumaterjal	Teras	355,6 x 8
Soojustus	Kivivill	50
Väliskest	Tsingitud plekk	1
Korstna ots	Roostevaba plekk	1,2
Kinnitustoe	Tsingitud toed seinapostile	-
Vundament	Raud-betoon, poltkinnitusega korstna alus	-

Korsten on isoleeritud kivivill koorikutega, mis on kaetud tsingitud plekiga. Korsten töötab ülerõhul. Sujuva hõrenduse reguleerimiseks katla koldes on ette nähtud tõmbeventilaator ehk suitsuimur.

## **2.3. Tehnosüsteemid**

### **2.3.1. Veevarustus ja kanalisatsioon**

Labori seadmete puhastamiseks on vajalik tarbevee olemasolu ruumis. Labori koridori poolsele seinale paigaldatakse tehniline valamü, mis on valmistatud roostevabast materjalist ning varustatud sooja ja külma tarbeveega. Soe tarbevesi ( $t = 55\text{ °C}$ ) saadakse soojussõlme ruumi paigaldatud soojusvahetist. Valamü kõrvale paigaldatakse kuulkraaniga (DN15) kiirliitmik vooliku ühendamiseks.

Lisaks tarbeveele on katelseadmete laboris vajalik tehnoloogilise vee olemasolu, mille näitajad peavad olema sellised, et need ei mõjuks katla tööle, vastupidavusele ning katlas toodetava soojuskandja kvaliteedile halvasti. Vee kvaliteet peab olema vastavuses tehnoloogiliste seadmetega.

Põrandatele sattunud olmevee ärajuhtimiseks on põrandas kaks äravoolutrappi T75/150, mille kaudu juhitakse vesi edasi hoone olmekanalisatsioonisüsteemi.

### **2.3.2. Elekter**

Tehnikainstituudi õppehoone rekonstrueerimisprojekti on laborisse projekteeritud üldvalgus ja pistikupesade väljavõtted, kuid spetsiifilisi labori kilpe ja seadmeid projekt ei kajasta. Katelseadmete labori 013 üledelektivarustuse joonised on esitatud lisa A.

Õppeklassi nõutud valgustihedus on 500 lx. Ruumi valgustus on lahendatud luminofoorlampidega. Lisaks üldvalgusele on ruumi iga väljapääsu kohal turvavalgusti, mis on varustatud ühe tunnise toimeajaga akuseadmega. Ruumi valgustus seotakse hoone üldautomaatikasüsteemiga. Valgustite juhtimine toimub DALI võrgu kaudu laboris asuvast juhtnupust või eemalt üldautomaatikasüsteemist. Laboris on üks kolmefaasiline ja seitse ühefaasilist pistikupesa väljavõtet.



Soojussõlme ja katelseadmete labori töö sidumiseks on ruumi projekteeritud automaatikakeskus SAK 0-2, kus paiknevad soojussõlme juhtkontrolleri laiendusmoodulid. Keskusesse ühendatakse katelseadmete labori jaoks projekteeritud soojusvaheti tsirkulatsioonipump, soojuskandja tagasivoolu temperatuuriandur ning labori akumulatsioonipaagi temperatuuriandurid. Automaatikakeskuse tarnimine ja paigaldamine kuulub tehnikainstituudi õppehoone rekonstrueerimisprojekti mahtu.

Katelseadmete õppelabori seadmete jaoks on vajalik eraldi toide. Labori tehnoloogiliste seadmete elektrivarustust käsitleb peatükk 5.

### 2.3.3. Küttesüsteem

Katelde ja kütuste soojustehnilisel katsetamisel tekib soojusenergiat, mida on tarvis seadmetest ära juhtida. Tekkiva soojusenergia otstarbekaks kasutamiseks seotakse katelseadmete õppelabor hoone radiaatorküttesüsteemiga. Küttesüsteemide sidumiseks on hoone olemasolevale soojussõlmele juurde projekteeritud eraldiseisva soojusvahetiga soojussõlm katelseadmete labori tarbeks. Projekteeritud soojusvaheti ehitatakse olemasoleva soojussõlmega samasse ruumi.

Katelseadmete maksimaalse soojusvõimsuse määramisel on aluseks võetud Kreutzwaldi 56 õppehoone soojussõlme soojusarvesti näidud kütteperioodil 2009-2010. Näidud on võetud ühe kuuliste intervallidega ning nende alusel on arvutatud kuu keskmised küttevõimsused valemiga

$$N_k = \frac{Q_k}{\tau_k}, \quad (2.1)$$

kus  $Q_k$  on tarbitud soojusenergia kW·h;

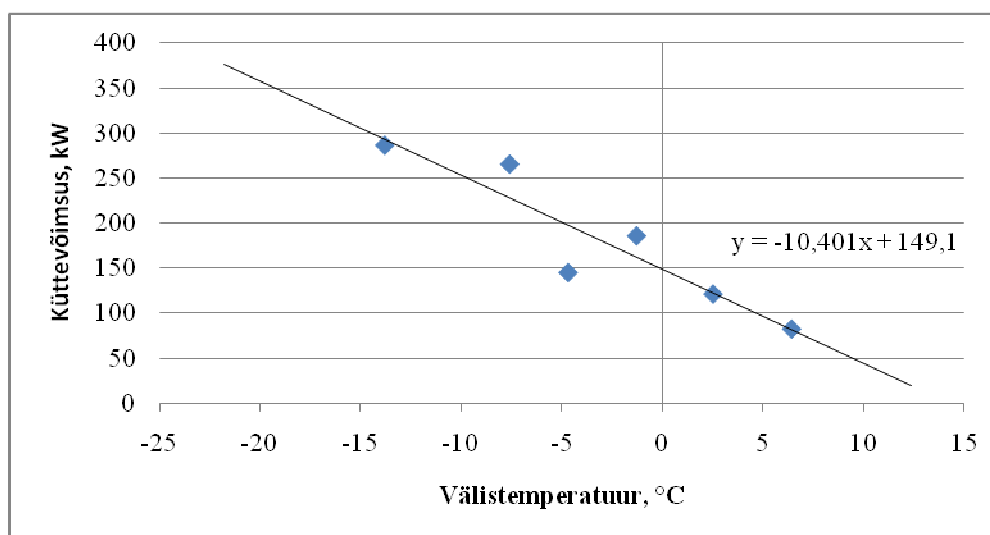
$\tau_k$  – kütteperioodi kestvus h.

Põhiosa soojusenergia tarbest kulub hoone kütteks. Arvesti näidud ja arvutustulemused on esitatud tabelis 2.2.

**Tabel 2.2.** Kreutzwaldi 56 õppehoone soojusenergia arvestus [4]

Periood	Näit perioodi alguses, MW·h	Näit perioodi lõpus, MW·h	Tarbitud soojusenergia, MW·h	Arvutatud perioodi keskmine võimsus, kW	Perioodi keskmine välitemperatuur, °C
November	9711	9801	90	121	2,5
Detsember	9801	9905	105	145	-4,7
Jaauar	9905	112	207	287	-13,8
Veebruar	112	291	179	266	-7,6
Märts	291	416	125	186	-1,3
Aprill	416	483	67	82	6,4

Vajaliku küttevõimsus sõltub hoone konstruktiivsest lahendusest, piirdetarindite pindalast ja nende soojuslähikandeteguritest ning siseõhu ja välisõhu temperatuurist. Küttevõimsuse sõltuvus välisõhu temperatuurist on esitatud joonisel 2.2.



**Joonis 2.2.** Välistemperatuuri ja küttevõimsuse vaheline sõltuvus

Mõõtepunktidele vastavat tunnusjoont iseloomustab funktsioon

$$y = -10,401x + 149,1, \quad (2.2)$$

kus  $x$  on välitemperatuur °C;

$y$  – hoone küttevõimsus kW.

Võttes aluseks kütteperioodi keskmise välisõhu temperatuuri, saab leida hoone keskmise küttevõimsuse. Tartu keskmine välisõhu temperatuur kütteperioodi vältel on  $-1,5$  °C ning vastav küttevõimsus [5]

$$y = -10,401x + 149,1 = -10,401 \cdot (-1,5) + 149,1 = 164,7 \text{ kW}.$$

Seadmete valikul tuleb arvestada, et hoonele paigaldatakse uus välispiirete soojustus, mis tähendab et soojuskaod läbi piirdetarindite vähenevad. Lisaks katelseadmete õppelaborile seotakse hoone küttesüsteemiga ka ventilatsioonisüsteem. Soojussõlme on ette nähtud soojusvaheti ventilatsiooniküttele. Seetõttu tuleb arvestada ventilatsioonikütte osatähtsuse suurenemisega ning radiaatorkütte osatähtsuse vähenemisega hoone kütmisel. Arvestades kütteperioodi välistemperatuuri kõikumist ning küttesüsteemi inertsit on nominaalseks seadmete soojusväljastusvõimsuseks valitud 200 kW.

#### 2.4. Stendide kirjeldus

Katelseadmete laborisse on ette nähtud kaks sõltumatu torustiku, õhuvarustuse ja suitsuärastusega katla katsetus stendi. Süsteemi osade kavandatavad võimsused, mille alusel toimub pumpade, torustiku ja mõõteseadmete valik, on esitatud tabelis 2.3.

**Tabel 2.3.** Küttesüsteemi osade lähteandmed

Küttesüsteemi osa	Soojusvõimsus, kW	Soojuskandja	Soojuskandja temperatuurid, °C
Stend 1	200	vesi	90/70
Stend 2	100	vesi	90/70
Tarbimisringlus	200	vesi	80/50

Katla paigaldamisel stendi tuleb arvestada, et tuleohutuse tagamiseks peab seadme ümber jääma vaba ruum. Kütteseadme ruumitarve määramisel tuleb lähtuda kütteseadme mõõtmetest, nõutavatest ohutuskaugetest ning arvestada kasutamise ja hooldamise võimalustega. Kütteseadme ees peab olema vähemalt 1 m ja tahmaluukide ees 0,6 m vaba ruumi [6].

Stendidel on võimalik läbi viia katla soojustehnilisi katsetusi, mille eesmärk on katla töörežiimi seadistamine ning režiimigraafikute väljatöötamine koos katla soojusbilansi koostamisega.

Katelde katsetamine toimub erinevate etappidena [7]:

1. Eelkatsetel toimub katla tehnilise seisukorra kontroll ning stendi ja katla kalibreerimine. Eelkatsetamise käigus määratakse vajalikud mõõtepunktid katla soojusbilansi koostamiseks.
2. Režiimikatsete ülesanne on katla optimaalse töörežiimi seadistamine. Leitakse erinevate muutujate optimaalsed väärtused: liigõhutegur, kütuse peensus, koldegaasi temperatuur jne.
3. Bilansskatsed viiakse läbi katla erinevatel koormustel, mis valitakse vastavalt: nimi-, stabiilsetel minimaal- ja vahekoormustel.

Katla soojusbilansi alusel saab määrata katla kasuteguri ja soojuskaod. Katseid saab läbi viia madalsurve gaasi-, vedelkütuse-, tahkekütuse- ja universaalkateldega. Lisaks katla soojustehnilistele katsetustele on võimalik katsetada erinevate kütuste põlemis omadusi, põletamismooduseid ning energeetilisi näitajaid.

## **2.5. Kütuste käitlemine**

### **2.5.1. Kütuse ettevalmistus**

Katsetustegevus laboris algab kütuste analüüsist. Kütus on aine, mille keemilisel ühinemisel hapnikuga eraldub suurel hulgal soojust. Kütuste põlemisomadustest sõltub otseselt katla töörežiim ja kasutegur. Kütuste analüüsimisel määratakse järgmised parameetrid:

- tarbimisaine põlev- ja mineraalosad;
- tarbimisaine niiskusesisaldus;
- kütuse kütteväärtus.

Kütuse tarbimisaine põlev- ja mineraalosad määratakse teoreetiliselt põlevaine keemilise koostise alusel. Kütuse keemiline koostis peab olema eelnevalt määratud.

Tahkekütuste puhul, tuleb mõõta kütuse niiskusesisaldus. Niiskus on kütuse kahjulik komponent, mis põhjustab kütteväärtuse vähenemist. Tingitud on see nii põlevaine vähenemisest kui ka niiskuse aurustumiseks kuluvast lisaenergiast [8]. Labor tuleb varustada mõõteseadmega tahkekütuse niiskusesisalduse mõõtmiseks.

Mõõdetud ja arvutatud tarbimisaine koostisosade järgi saab määrata kütuse teoreetilise kütteväärtuse. Kütteväärtuse saab laboratoorselt määrata kalorimeetrilises pommis, kus mõõdetakse soojushulk, mis vabaneb kütuse põletamisel püsimahulises ruumis [8]. Kütuse kütteväärtuse järgi saab määrata vajaliku kütusekulu katse läbiviimiseks.

Kütuse reaalse kulu leidmiseks, tuleb kütust pidevalt kaaluda. Kütuse käsitsi katlasse sisestamisel, tuleb eraldi kaaluda kõik kasutatud kütusekogused. Automaatsete etteandemehhanismide kasutamisel, tuleb kogu kütuse punker asetada kaalule. Mõlemal juhul leitakse kütusekulu ajaühiku kohta. Laborisse on ette nähtud kaal kütusekulu määramiseks. Kaalul peab olema väljund mõõtesüsteemiga ühendamiseks.

### 2.5.2. Kütusekulu arvutus

Teoreetiline kütusekulu arvutus toimub kütuse koostise alusel. Kütuse koostis esitatakse tabelina tarbimisaine või kuivaine komponentidena. Näitena on tehtud kütusekulu, põlemisõhu ja suitsugaaside arvutus puitkütuse alusel (tabel 2.4). Laboris võib lisaks puitkütustele kasutada sõltuvalt katla tüübist ka teisi kütuseliike, kasutades sama arvutusmetoodikat.

**Tabel 2.4.** Katsetatava kütuse koostis [8]

Kütus	Kütuse tarbimisaine koostis						Niiskus
	Süsinik	Vesinik	Väävel	Lämmastik	Hapnik	Tuhk	$W^t$
	$C^k$ , %	$H^k$ , %	$S^k$ , %	$N^k$ , %	$O^k$ , %	$A^k$ , %	%
Puit	50,4	6,2	0,05	0,5	42,5	0,4	25

Kuna kütust kaalutakse koos kütuses sisalduva niiskusega, tuleb kütteväärtus leida tarbimisaine kohta. Kütuse koostise ümberarvutamiseks kuivainelt tarbimisainele on kasutatud ümberarvutustegurit [7]

$$n = \frac{100 - W^t}{100} = \frac{100 - 25}{100} = 0,75, \quad (2.3)$$

kus  $W^t$  on kütuse tarbimisaine niiskusesisaldus %.

Vastavalt arvatud tarbimisaine koostis on:

- $C^t = C^k \cdot n = 50,4 \cdot 0,75 = 37,8 \%$ ;
- $H^t = H^k \cdot n = 6,2 \cdot 0,75 = 4,6 \%$ ;
- $S^t = S^k \cdot n = 0,05 \cdot 0,75 = 0,04 \%$ ;
- $N^t = N^k \cdot n = 0,5 \cdot 0,75 = 0,4 \%$ ;
- $O^t = O^k \cdot n = 42,5 \cdot 0,75 = 31,9 \%$ ;
- $A^t = A^k \cdot n = 0,4 \cdot 0,75 = 0,3 \%$ .

Kütuse alumine kütteväärtus lähtudes kütuse koostisest on arvatud valemiga [9]

$$Q_a^t \approx 339C^t + 1030H^t - 109(O^t - S^t) - 25W^t. \quad (2.4)$$

$$Q_a^t \approx 339 \cdot 37,8 + 1030 \cdot 4,6 - 109(31,9 - 0,04) - 25 \cdot 25 = 13454 \text{ kJ/kg} = 3,74 \text{ kW} \cdot \text{h/kg}$$

Kütuse kütteväärtuse ja stendis oleva katla parameetrite alusel saab arvutada teoreetilise kütusekulu. Arvutuslik katla kütusekulu on arvatud valemiga [8]

$$B_A = \frac{N_{kas}}{\eta_k \cdot Q_a^t} = \frac{200}{0,75 \cdot 13454} = 0,0198 \text{ kg/s}, \quad (2.5)$$

kus  $N_{kas}$  on katlas kasutatav kasulik soojushulk (stend 1,  $N_{kas} = 200 \text{ kW}$ );

$\eta_k$  – katla kasutegur (tahkekütuse katlad võimsusvahemikus 50...500 kW  $\eta_k = 70...75 \%$  [8]).

Arvutuslik kütusekulu ei pruugi alati vastata tegelikule nõudlusele, kuna kütuse koostis võib olla muutlik.

### 2.5.3. Teoreetiline ja tegelik põlemisõhu hulk

Katelseadme õhutrakti koormuse määramiseks on arvatud kütuse põlemiseks vajaminev õhuhulk. Lähteandmeteks on tabelis 2.4 esitatud kütuse koostis. Kütuse teoreetiline vajalik õhuhulk ühe kilogrammi kütuse tarbimisaine kohta on leitud valemiga [7]

$$V^0 = 0,0889(C^t + 0,375S^t) + 0,265H^t - 0,0333O^t. \quad (2.6)$$

$$V^0 = 0,0889(37,8 + 0,375 \cdot 0,04) + 0,265 \cdot 4,6 - 0,0333 \cdot 31,9 = 3,52 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Kütuse täieliku põlemise tagamiseks tuleb koldesse anda teoreetiliselt vajaminevast õhukogusest rohkem õhku, kuna kogu hapnik ei osale põlemisprotsessis. Tegeliku ja

teoreetilise õhuhulga suhet iseloomustab liigõhutegur. Tegelik koldesse antav õhuhulk on arvutatav valemiga [7]

$$V_{\bar{o}} = \alpha_k \cdot V^0 = 1,5 \cdot 3,52 = 5,28 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad (2.7)$$

kus  $\alpha_k$  on liigõhutegur (1,1...1,9 [9]).

Vastavalt arvutatud kütusekulule on vajalik põlemisõhu vooluhulk

$$G_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot B_A = 5,28 \cdot 0,0198 = 0,105 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (2.8)$$

Stendi nr. 1 vajalik põlemisõhu vooluhulk nimivõimsusel valitud kütuse puhul on 0,105 m<sup>3</sup>/s.

#### 2.5.4. Põlemisel tekkivate suitsugaaside kogused

Kütuse põlemisel tekkivate gaaside hulgad on leitud ühe kg kütuse põletamisel. Põlemisgaaside mahud on määratud järgnevatest seostest [7]:

- Kuivade kolmeaatomiliste gaaside maht

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^t + 0,375S^t) = 0,706 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (2.9)$$

- Veeauru maht

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 0,111H^t + 0,0124W^t + 0,0161 \cdot V^0 \cdot \alpha_k = \\ &= 0,111 \cdot 4,6 + 0,0124 \cdot 25 + 0,0161 \cdot 3,52 \cdot 1,5 = 0,906 \text{ m}^3/\text{kg}; \end{aligned} \quad (2.10)$$

- Lämmastiku maht

$$V_{N_2} = 0,79V^0 \cdot \alpha_k + 0,008N^t = 0,79 \cdot 3,52 \cdot 1,5 + 0,008 \cdot 0,4 = 4,174 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad (2.11)$$

- Hapniku maht põlemisgaasis

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha_k - 1)V^0 = 0,21 \cdot (1,5 - 1) \cdot 3,52 = 0,370 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (2.12)$$

Põlemisgaaside maht ühe kg kütuse põletamisel tegeliku liigõhuteguri juures on arvutatud gaaside komponentide liitmisel

$$V_g = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} = 0,706 + 0,906 + 4,174 + 0,37 = 6,156 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (2.13)$$

Vastava koostisega põlemisgaaside tihedus normaaltingimustel on leitud valemiga [10]

$$\rho_g^0 = \frac{1 - 0,01A' + 1,302\alpha_k V^0}{V_g} = \frac{1 - 0,01 \cdot 0,3 + 1,302 \cdot 1,5 \cdot 3,52}{6,156} = 1,279 \text{ kg/m}^3. \quad (2.14)$$

Arvutatud põlemisgaaside maht ja tihedus on leitud liigõhutehuri 1,5 juures.

## 2.6. Tuleohutus

Õppelaborile kehtivad tuleohutusseisukohalt võrdväärsed nõuded katlaruumidega, kuna tegemist on katelseadmete laboriga. Ruum peab moodustama omaette tuletõkkeseptsiooni nii, et ruumi piiravad tuletõkketarandid vastavad tulepüsivusklassi nõuetele EI-60 [2]. Kütte, elektri ja muude tehnosüsteemide paigaldamisel, mis läbivad tuletõkketarandeid tuleb tagada läbiviikude tulepüsivus.

Ehitise tuleohutuse tagamiseks on kehtestatud nõuded kütusekogustele, mida võib katlaruumis varuda. Omaette tuletõkkeseptsiooniks eraldatud katlaruumis võib hoida [6]:

- 1) kuni 3 m<sup>3</sup> kütteõli mittepõlevas mahutis, mille alla on paigaldatud vähemalt 50 % mahuti mahtuvusega vann;
- 2) kuni 3 m<sup>3</sup> kütteõli põlevast materjalist tehtud mahutis, mis on paigaldatud mittepõlevasse, mahuti ülaservani ulatuvasse kaitsevanni;
- 3) kuni 0,5 m<sup>3</sup> puuhalge;
- 4) kuni 0,5 m<sup>3</sup> muud tahket kütust tihedalt sulguva kaanega mittepõlevas konteineris.

Laboris varutakse kütusekoguseid vastavalt teostavate katsete iseloomule. Hoone kütmine ei ole eesmärgiks ning seetõttu ei ole vaja varuda pidevat kütusevaru. Tuleohutusnõuetele vastavate kütusekoguste energeetilised näitajad on esitatud tabelis 2.5. Antud kütusekogustest saadava energiahulga alusel võib väita, et vajalik ressurs katelde katsetusteks on tagatud.



**Tabel 2.5.** Erinevate kütuste kütteväärtused [9]

Nimetus	Tihedus $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Ruumala $V$ , m <sup>3</sup>	Mass $m$ , kg	Kütteväärtus $Q'_a$ , MJ/kg	Saadav energiahulk $Q$	
					MJ	kW·h
Põlevkiviõli	920	3	2760	36,7	101292	28362
Halupuit	525	0,5	262,5	13	3413	956
Hakkpuit (W = 25%)	300	0,5	150	10,5	1575	441
Pilliroopellet	600	0,5	300	13,5	4050	1134
Freesturvas	350	0,5	175	11,1	1943	544
Turbapelletid	650	0,5	325	16	5200	1456

Esmase tulekahjukolde kustutamiseks tuleb paigaldada üks vähemalt kuue kg tulekustutusaine massiga tulekustuti iga 50 m<sup>2</sup> kohta [11]. Laboratooriumis on põrandapinda 59,6 m<sup>2</sup>, seega tuleb paigaldada vähemalt seitse kg tulekustutusainet sisaldav tulekustuti. Tulekustuti paigaldatakse välisukse kõrvale seinale. Tulekustuti peab olema võimaliku puhkenud tulekahju korral kergesti kätte saadav.

### 3. KÜTTEVEE SÜSTEEM

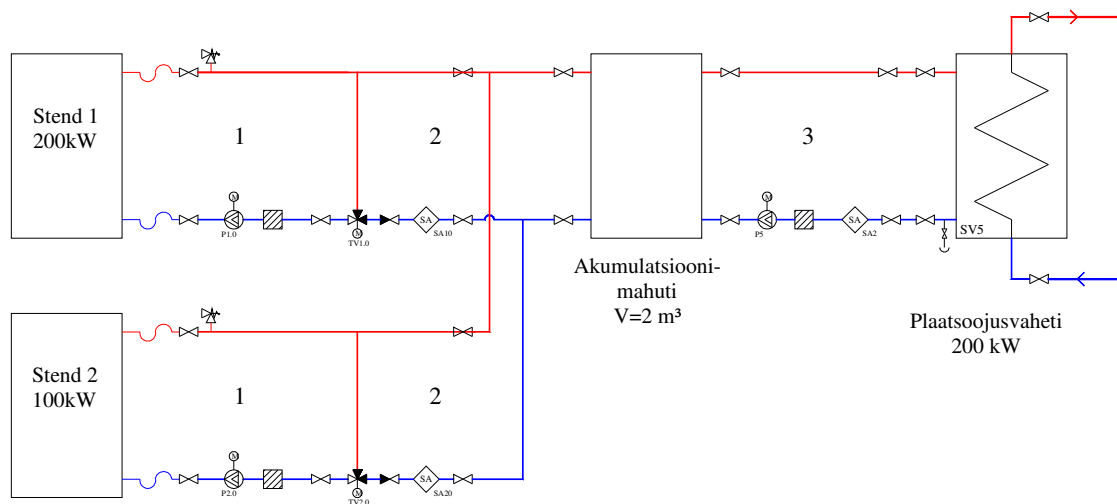
#### 3.1. Süsteemi osade kirjeldus

Küttevee süsteemi saab oma otstarbelt ja töötamise eesmärgilt jagada kaheks iseseisvaks osaks, mis on omavahel seotud soojaakumulatsioonipaagiga:

1. Kütmise osa, mis koosneb katla ühendustorustikust, segamissõlmest, klappidest, ventiilidest ja akumulatsioonipaaki ning katla segamissõlme ühendavast torustikust;
2. Tarbimise osa, mis koosneb küttetorustikust, küttesüsteemi ringlussõlmedest, soojusvahetist ning selle tööd reguleerivatest klappidest ja ventiilidest.

Kütmise osa eesmärgiks on katlast soojusenergia transportimine akumulatsioonipaaki ning akumulatsioonipaagis ühtlase veetemperatuuri hoidmine sõltumata tarbimisest. Tarbimise osa eesmärgiks on soojusenergia transportimine hoone küttesüsteemi ning seeläbi ruumide soojavajaduse tagamine.

Süsteemil on kolm tsirkulatsiooniringi (joonis 3.1):



**Joonis 3.1.** Küttevee süsteemi lihtsustatud struktuurskeem: 1 – katla tsirkulatsioon;  
2 – akumuleerimise tsirkulatsioon; 3 – küttevee tsirkulatsioon.

Katla tsirkulatsiooniring koosneb katlast, süsteemi kaitseklapist, mõõteseadmetest, katla ja akumulatsioonipaagi vahelisest segamissõlmest, pumbast, filtrist ja neid ühendavatest torudest. Katla tsirkulatsiooniringi ülesandeks on võimalikult ruttu saavutada katla töötemperatuur, et vältida katlapindade liigset tahumist ja pikendada katelde tööiga.

Tsirkulatsiooniringi tööd juhitakse kolme otsaga ventiili ehk kolmteeventiili ja pumba tootlikkuse abil. Katla üleskütmisel juhitakse kolmteeventiili abil katlast tulev soe vesi tagasi katlasse. Vesi liigub katla väikeses ringis seni, kuni saavutatakse katla töötemperatuur.

Akumuleerimise tsirkulatsiooniring on jätkuks katla tsirkulatsioonile. Süsteemi lisandub akumulatsioonipaak koos segamissõlmesid ühendava torustiku ja mõõteseadmetega. Katla töötemperatuuri saavutamisel avatakse kolmteeventiili abil akumuleerimise tsirkulatsioon, juhtides soojendatud küttevesi akumulatsioonipaaki. Segamissõlmes segatakse akumulatsiooni mahutist tagastuvat ja katlast tulevat vett sellises vahekorras, et tagada katlale ettenähtud veetemperatuur.

Küttevee tsirkulatsiooniring koosneb tsirkulatsioonipumbast, filtrist, soojusvahetist, ventiilidest, mõõteseadmetest ning soojusvahetit ja akumulatsioonimahutit ühendavast torustikust. Küttevee tsirkulatsiooni juhib hoone soojussõlme automaatikaplokk. Akumulatsioonipaagi temperatuuri seadeväärtuse saavutamisel lülitub tööle pump ning avatakse kahe otsaga ventiili ehk kaksteeventiili abil tsirkulatsiooniring.

### **3.2. Akumulatsioonimahuti**

Küttesüsteemides ei pruugi alati kütmisel tekkiv ja tarbitav soojusenergia olla võrdsed. Küttesüsteemide stabiliseerimiseks kasutatakse akumulatsioonimahuteid, kuhu salvestatakse üleliigne soojusenergia. Akumulatsioonimahutisse salvestunud soojusenergiat saab kasutada perioodil, mil katel ei tööta.

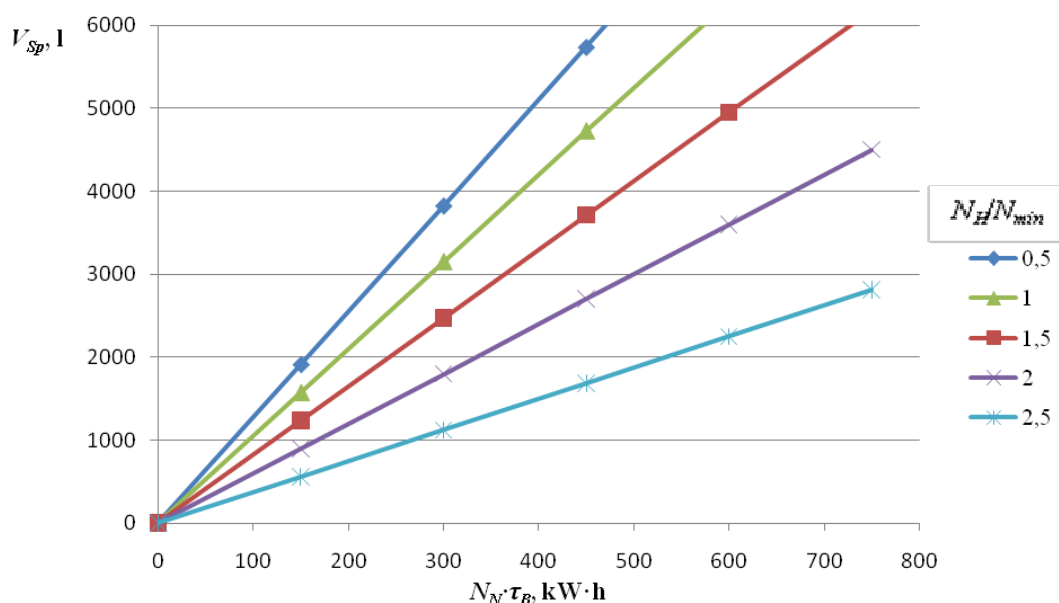
Akumulaatori kasutamine ei ole alati vajalik. Pelleti ja puiduhakke katelde võimsust saab vajadusel reguleerida kütuse etteande koguse muutmisega. Põleti tööea ja katla keskmise kasuteguri tõstmiseks on akumulatsioonimahuti kasutamine soovituslik. Akumulatsioonimahuti valik sõltub katlast, kasutatavast kütusest ning hoone eripäradest.

Paagi maht arvutatakse valemiga [12]

$$V_{sp} = 15 \cdot \tau_B \cdot N_N \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{N_H}{N_{min}} \right), \quad (3.1)$$

kus  $\tau_B$  on kütmise kestvus h;  
 $N_N$  – katla nimivõimsus kW;  
 $N_H$  – hoone vajalik küttevõimsus kW;  
 $N_{min}$  – minimaalne katla võimsus kW.

Antud süsteemi eripära arvestades, ei saa täpselt määratleda akumulatsioonimahuti kubatuuri, kuna stendides katsetavad katlad on erinevate soojusväljastus võimsustega. Kütmisel tekkiva soojusenergia ja akumulatsioonimahuti kubatuuri suhet sõltuvalt katla soojusvõimsusest ning hoone soojuskoormusest kirjeldab joonis 3.2.



**Joonis 3.2.** Soojusenergia ja akumulatsioonipaagi mahu sõltuvus

Hoone küttevajaduse puudumisel, toimub kateldes tekkiva soojusenergia salvestamine akumulatsioonimahutisse. Valitud akumulatsioonipaagi andmed:

- kõrgus 2200 mm;
- välisdiameeter 1200 mm;
- mahuti maht 2 m<sup>3</sup>.

Erinevate laboritööde läbiviimiseks peab akumulatsioonimahutil olema valmidus lisaküttekehade ühendamiseks.

Akumulatsioonipaaki salvestatav energiahulk on leitud valemiga [13]

$$Q_s = m_s \cdot c_p \cdot (t_l - t_a) = 2000 \cdot 4,183 \cdot (363 - 294) = 577254 \text{ kJ} = 160 \text{ kW}\cdot\text{h}, \quad (3.2)$$

kus  $m_s$  on soojuskandja mass akumulatsioonimahutis kg;

$c_p$  – soojuskandja erisoojus ( $c_p = 4,183 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  [13]);

$t_l$  – soojuskandja lõpptemperatuur K;

$t_a$  – soojuskandja algtemperatuur K.

Katseid, kus soojusenergia salvestamine toimub ainult akumulatsioonimahutisse, saab läbi viia väikeste võimsuste juures, et vältida süsteemi inertsist tulenevat ülekütmist. Akumulatsioonimahuti peab olema soojustatud. Soojusisolatsioon peab võimaldama täiendavate seadmete lisamist, isolatsiooni vigastamata.

### 3.3. Soojussõlm

Katelseadmete labori ruumist (013) ehitatakse torustik hoone soojussõlme ruumi (026). Torustik algab katelseadmete labori akumulatsioonimahutist ja lõppeb soojusvahetiga soojussõlmes. Projekteeritud soojusvaheti andmed on esitatud tabelis 3.1.

**Tabel 3.1.** Katelseadmete õppelabori soojusvaheti [3]

Tootja	Mudel	Võimsus, kW	Vooluhulk, dm <sup>3</sup> /h		Temperatuur, °C		Rõhukadu, kPa	
			prim.	sekun.	prim.	sekun.	prim.	sekun.
Danfoss	XB 51-104H	200	1,6	4,4	80/50	49/60	2	10

Soojussõlmede tööd hakkab juhtima hoone küttesüsteemi automaatikablokk. Katlalaori soojusvaheti reguleerimiskeskus asub katelseadmete laboris.

### 3.4. Paisupaak

Küttesüsteemi temperatuuri kõikumistest tingitud vedeliku mahu muutuse kompenseerimiseks tuleb süsteemi paigaldada paisupaak. Vajalik paisupaagi suurus on arvutatav valemiga [14]

$$V_E = \frac{e \cdot V_S}{1 - \frac{p_i}{p_f}}, \quad (3.3)$$

kus  $e$  on paisumistegur, mis vastab temperatuuride vahele süsteemis (kui  $t_{max} = 99$  °C,  $t_{min} = 10$  °C, siis  $e = 0,04318$  [14]);

$V_S$  – süsteemi veemaht ( $V_S = 2,78 \text{ m}^3$ );

$p_i$  – paagi eelrõhk ( $p_i = 100 \text{ kPa}$ );

$p_f$  – kaitseklapi maksimaalne töö rõhk ( $p_f = 350 \text{ kPa}$ ).

$$V_E = \frac{0,04318 \cdot 2,611}{1 - \frac{100000}{350000}} = 0,158 \text{ m}^3 = 168 \text{ l}$$

Valitud on terasest membraanpaisupaak. Küttesüsteemide paisupaake toodetakse standard suurustes ning seetõttu on valitud paak mahtuvusega 200 l. Paisupaagi efektiivse töö tagamiseks on soovitatav süsteemi rõhk hoida 1,1 korda suurem paagi eelrõhust [14].

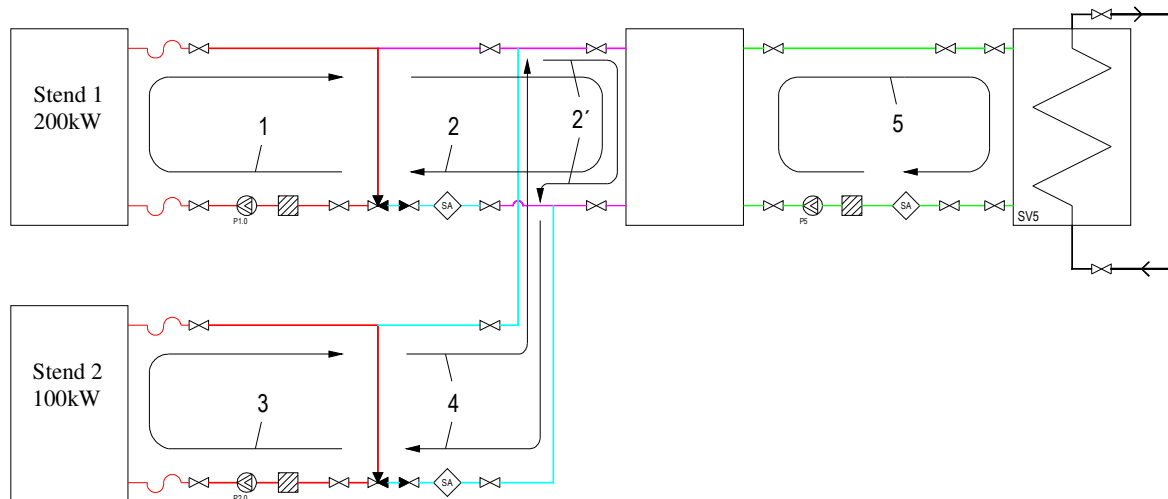
### 3.5. Torustik

#### 3.5.1. Lähteandmed arvutusteks

Küttetorustik jagatakse sobivateks osadeks, ning leitakse eri osade rõhukaod. Torustiku läbimõõt valitakse selliselt, et rõhukaod ja voolamiskiirused oleks võimalikult väikesed, mis vähendab müra tekke ohtu trassis. Küttetorustiku dimensioneerimise aluseks on kütteringides tsirkuleeriva soojuskandja vooluhulk ning temperatuur. Soojuskandja vooluhulkade arvutuste aluseks on stendide nimisoojusvõimsused (tabel 2.3):

- stend 1  $N_{S1} = 200 \text{ kW}$ ;
- stend 1  $N_{S2} = 100 \text{ kW}$ .

Küttesüsteemi torustiku arvutamiseks on torustik jaotatud eri arvutuslõikudeks (joonis 3.3)



**Joonis 3.3.** Kütetorustiku arvutuslõigud

Arvutuslõiguks nimetatakse tsirkulatsioonikontuuri seda osa, kus soojuskandja vooluhulk on muutumatu suurusega [15]. Akumulatsioonimahuti pealevoolu arvutuslõik kuulub üheaegselt mitmele tsirkulatsiooniringile.

Soojuskandja temperatuurid tsirkulatsiooniringides on erinevad. Peale- ja tagasivoolu temperatuurid on valitud järgnevalt:

1. Katla tsirkulatsiooniringi soojuskandja temperatuuride valikul on lähtutud puidukatelde töötemperatuuridest, mis on vahemikus 65...90 °C [8].
2. Akumuleerimise tsirkulatsiooni pealevoolu temperatuur on valitud vastavalt katelde töörežiimi temperatuuridele. Kontuuri tagasivoolutemperatuur on valitud olukorras, kus akumulatsioonimahuti on maksimaalselt üles soojendatud. Sellisel juhul on tagasivoolutemperatuur võrdne soojusvahetist tagastuva soojuskandja temperatuuriga ning kontuuri vooluhulk maksimaalne.
3. Kütteevee tsirkulatsiooniringi temperatuurid on valitud vastavalt katelseadmete õppelabori soojusvaheti nimiaandmetele, mis on vastavalt 80 ja 50 °C (tabel 3.1).

Soojuskandja parameetrid erinevates arvutuslõikudes on esitatud tabelis 3.2.

**Tabel 3.2.** Lähteandmed torustiku arvutamiseks [13]

Arvutus- lõigu nr.	Soojus- voog $N_s$ , kW	Peale- voolu temp. $t_p$ , °C	Tagasi- voolu temp. $t_t$ , °C	Keskmine soojus- kandja temp. $t_v$ , °C	Soojus- kandja erisoojus $c_p$ , kJ/(kg·K)	Soojus- kandja tihedus $\rho_s$ , kg/m <sup>3</sup>	Soojuskandja kinemaatiline viskoossus $\nu_s \cdot 10^6$ , m <sup>2</sup> /s
1	200	90	70	80	4,195	971,8	0,365
2	200	90	50	70	4,187	977,5	0,422
2'	100	90	50	70	4,187	977,5	0,422
3	100	90	70	80	4,195	971,8	0,365
4	100	90	50	70	4,187	977,5	0,422
5	200	80	50	65	4,182	980,4	0,450

Arvutusnäited on tehtud arvutuslõigu nr. 1 kohta. Arvustulemused on esitatud lisas B.

### 3.5.2. Tsirkulatsiooniringide vooluhulgad

Vastavalt stendide ja soojusvaheti nimivõimsustele on määratud arvutuslõikude soojusvood. Soojuskandja vooluhulk arvutuslõigis on leitud valemiga [15]

$$G_s = \frac{N_s}{c_p (t_p - t_t) \cdot \rho_s}, \quad (3.4)$$

kus  $N_s$  on arvutuslõigu soojusvoog kW;

$c_p$  – soojuskandja erisoojus kJ/(kg·K);

$t_p$  – pealevoolu temperatuur K;

$t_t$  – tagasivoolutemperatuur K;

$\rho_s$  – soojuskandja tihedus kg/m<sup>3</sup>.

$$G_{s,1} = \frac{200}{4,195 \cdot (363 - 343) \cdot 971,8} = 0,00245 \text{ m}^3/\text{s}$$

Arvutuslõigu nr. 1 soojuskandja vooluhulk on 0,00245 m<sup>3</sup>/s.

### 3.5.3. Torustiku läbimõõdud

Sundtsirkulatsiooniga torustike läbimõõtude valikul on väga oluline, et oleks tagatud küttesüsteemi müratu töö. Müra peamiseks tekke põhjuseks on suur voolukiirus torustikus. Hoonete küttesüsteeme käsitlevates ehitusnormides on seatud piirangud soojuskandja voolamiskiirustele torustikus.



Torustiku minimaalne siseläbimõõt on arvutatud valemiga

$$d_{\min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{G_s}{v_{\max} \cdot \pi}}, \quad (3.5)$$

kus  $v_{\max}$  on maksimaalne voolamiskiirus torustikus (terastorustik  $v_{\max}=0,8\text{m/s}$  [16]).

$$d_{\min,1} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,00245}{0,8 \cdot \pi}} = 0,062 \text{ m}$$

Arvutuslõigu nr. 1 minimaalne torustiku siseläbimõõt on 0,062 m.

### 3.5.4. Torustiku valik

Küttesüsteemi torustiku valik on tehtud vastavalt arvutustulemustele (valem 3.5). Kütteveesüsteem on projekteeritud terastorustikuga. Torustiku mõõtmed on valitud vastavalt standarditele DIN 2440 ja DIN 1626 [16]. Kuna torusid toodetakse kindlate suurusetega, on siseläbimõõdud valitud standardsuurustest (tabel 3.3).

**Tabel 3.3.** Kütteveesüsteemi torustik

Arvutus- lõigu nr.	Nimiläbimõõt (DN), mm	Liidete tüüp	Vooluhulk $G_s$ , m <sup>3</sup> /h	Lõigu pikkus $l_s$ , m
Stend 1 tsirkulatsioonikontuur				
1	65	äärrik	8,83	3,5
2	65	äärrik	4,40	13,2
Stend 2 tsirkulatsioonikontuur				
2'	65	äärrik	2,20	11,8
3	50	keere	4,42	3,4
4	50	keere	2,20	6,7
Tarbimise tsirkulatsioon				
5	65	äärrik	5,85	50

Kõik terastorud nimiläbimõõduga  $DN > 50 \text{ mm}$  tuleb ühendada keevituse või äärrikliite abil, torud nimiläbimõõduga  $DN \leq 50 \text{ mm}$  võivad olla ühendatud keereühenduse abil [16].

### 3.6. Süsteemi rõhukaod

Vedeliku voolamisel torustikes tekkivad voolutakistused ja neist põhjustatud rõhukaod. Rõhukaod on seda suuremad, mida peenem on torustik ning seda väiksem, mida aeglasem on voolamiskiirus torustikus. Rõhukadusid on kahte liiki [17]:

1. Soojuskandja liikumist sirges torus takistab hõõrdumine vastu toru seina. Viskoossuse tõttu hõõrduvad omavahel ka voolu sees olevad vedelikukihid. Neid takistusvorme nimetatakse hõõrdetakistusteks ning sellest põhjustatud energiakulu hõõrderõhukaoks.
2. Lisaks hõõrdetakistustele, kulutatakse küttesüsteemis energiat kohttakistuste läbimiseks. Kohttakistused on torukäänakud, hargnemised, katlad, ventiilid jne. Kohttakistuste ületamiseks kuluvat energiat nimetatakse kohtrõhukaoks.

Hüdraulilised takistused ja vastavad rõhukaod on leitud arvutuslõikude kaupa. Tsirkulatsiooniringide rõhukaod sõltuvad soojuskandja voolamiskiirusest torustikus. Vastavalt valitud torustiku siseläbimõõtudele arvutuslõikudes on arvatud soojuskandja voolamiskiirused valemiga

$$v_s = \frac{G_s}{\left(\frac{d_s}{2}\right)^2 \cdot \pi}, \quad (3.6)$$

kus  $d_s$  on arvutuslõigu valitud torustiku siseläbimõõt m.

$$v_{s,1} = \frac{0,00245}{\left(\frac{0,065}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,74 \text{ m/s}$$

Arvutuslõigus nr. 1 on soojuskandja voolamiskiiruseks 0,74 m/s.

Arvatud lõikude voolamiskiirused vastavad stendide nimivõimsustele. Madalamate koormuste puhul on soojuskandja vooluhulgad ja vastavad voolamiskiirused väiksemad. Seetõttu on nimivõimsustel arvatud süsteemi rõhukaod suurimad.

### 3.6.1. Hõõrderõhukadu

Hõõrdetakistuse määramiseks on leitud arvutuskontuuride vedeliku voolamist iseloomustav Reynoldsi arv [17]

$$\text{Re} = \frac{v_s \cdot d_s}{\nu_s}, \quad (3.7)$$

kus  $\nu_s$  on soojuskandja kinemaatiline viskoossustegur  $\text{m}^2/\text{s}$ .

$$\text{Re}_1 = \frac{0,74 \cdot 0,065}{0,365} = 131780$$

Vedeliku liikumist nimetatakse laminaarseks, kui  $\text{Re} < 2320$  ning turbulentseks kui  $\text{Re} > 4000$ . Vahepealsete  $\text{Re}$  väärtuste juures on vedeliku liikumine üleminev laminaarselt turbulentsele. [15]

Küttesüsteemides liigub soojuskandja enamasti turbulentses piirkonnas. Vastavalt turbulentse voolamise seaduspärasustele on leitud arvutuslõikude hõõrdetakistustegurid valemiga [17]

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d_s} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (3.8)$$

kus  $\Delta_e$  on torustiku ekvivalentkaredus (keevisõmblusega terastorud  $\Delta_e = 0,15 \text{ mm}$ ).

$$\lambda_1 = 0,11 \left( \frac{0,15}{65} + \frac{68}{131780} \right)^{0,25} = 0,0254$$

Arvutuslõikude hõõrderõhukaod on arvutatud valemiga [15]

$$p_l = \frac{\lambda}{d_s} \cdot \frac{v_s^2}{2} \cdot \rho_s \cdot l_s, \quad (3.9)$$

kus  $l_s$  on soojuskandja arvutuslõigu pikkus m.

$$p_{l,1} = \frac{0,0254}{0,065} \cdot \frac{0,74^2}{2} \cdot 971,8 \cdot 3,5 = 363 \text{ Pa}$$

Arvutuslõiguga nr. 1 hõõrderõhukadu on 363 Pa.

Küttesüsteemi eksplutatsiooni käigus hõõrdetakistused torustikes suurenevad, kuna torustiku sisepindadele koguneb katlakivi ja korrosiooni, mille tulemusena väheneb torustiku ristlõike pindala ning suureneb torustiku karedus.

### 3.6.2. Kohtrõhukadu

Kohtrõhukadude arvutuste aluseks on süsteemi erinevate elementide kohttakistusteguri väärtused. Kohttakistustegureid määratakse katseliselt, kuna enamikel juhtudel arvutusseosed puuduvad. Seetõttu on kohttakistustegurid valitud käsiraamatutest ja tootekataloogidest (tabel 3.4).

**Tabel 3.4.** Kohttakistusteguri  $\zeta$  väärtused vesikütte arvutamiseks [15, 18]

Kohttakistuse nimetus	$\zeta$ väärtus sõltuvalt toru siseläbimõõdust		
	20 mm	50 mm	80 mm
Täiesti avatud ventiil	8	4,5	4
Täiesti avatud siiber	0,5	0,3	0,29
Põlv	1,5	0,8	0,6
Tagasilöögiklapp	1	1,3	1,4
Kõikidel läbimõõtetel			
Kolmik hargnemisel	1,5		
Kolmik läbivoolul	1		
Ahenev üleminek	0,5		
Laienev üleminek	1		
Filter (puhas)	4		
Malmkatel	2,5		
Teraskatel	2		

Arvutuslõigu kõik kohttakistused summeeritakse ning leitakse vastav rõhukadu. Rõhukadu kohttakistustele on arvutatud valemist [15]

$$\sum p_k = \sum \zeta \cdot \frac{v_s^2}{2} \cdot \rho_s, \quad (3.10)$$

kus  $\zeta$  on kohttakistustegur.

$$\sum p_{k,1} = 46,2 \frac{0,74^2}{2} \cdot 971,8 = 12293 \text{ Pa}$$

Arvutuslõigus nr. 1 rõhukadu kohttakistustes on 12293 Pa.

### 3.6.3. Kontuuride rõhukaod

Tsirkulatsioonikontuuri kogu rõhukao saab arvutada üksikute arvutuslõikude rõhukadude summeerimisel [15]

$$p_r = \sum (p_l + \sum p_k). \quad (3.11)$$

Kontuuride arvutustulemused on esitatud tabelis 3.5.

**Tabel 3.5.** Tsirkulatsiooniringide rõhukaod

Tsirkulatsiooni-kontuuri nimetus	Hõõrderõhukadu $\sum p_b$ , Pa	Kohttakistus-rõhukadu $\sum p_k$ , Pa	Kogu-rõhukadu $p_r$ , Pa
Stend 1	723	16307	17030
Stend 2	623	14385	15007
Tarbimisringlus	2381	15678	18059

Rõhukaod küttesüsteemis suurenevad torustiku vananedes, filtrite ummistumisel, ventiilide piiramisel jne. Seetõttu tuleb tsirkulatsioonipumbad valida varuga.

### 3.7. Tsirkulatsioonipumbad

Katelseadmete õppelabori kütteevee süsteemis on kolm ringluskontuuri. Kõigile kontuuridele on ette nähtud eraldiseisev tsirkulatsioonipump koos filtrite, sulgarmatuuri ja manomeetritega. Pumpade valik on tehtud hüdrauliliste arvutuste alusel (tabel 3.6).

**Tabel 3.6.** Kütteevee kontuuride tsirkulatsioonipumbad

Küttetorustik			Tsirkulatsioonipump			
Tsirkulatsiooni-kontuuri nimetus	Maks. tunnivoolum, $G_{s,max}$ , m <sup>3</sup> /h	Süsteemi rõhukadu, kPa	Tootja	Mudel	Vooluhulk, m <sup>3</sup> /h	Pumba lõppsurve, kPa
Stend 1	8,8	17	Grundfos	MAGNA 32-100	8,8	22
Stend 2	4,4	15	Grundfos	MAGNA 32-60	4,4	20
Tarbimisringlus	5,9	18	Grundfos	MAGNA 32-80	5,9	23

Kontuuride tsirkulatsioonipumbad peavad olema varustatud sagedusmuunduritega, kuna erinevate võimsustega katelde puhul, tuleb muuta soojuskandja vooluhulkasid torustikus. Pumbad on valitud maksimaalse vooluhulga alusel. Valitud pumbad on varustatud integreeritud sagedusmuunduritega. Pumpade tunnusjooned on esitatud lisas B. Pumpade kiirust juhib automaatikasüsteem.

### **3.8. Toitevee süsteem**

Toitevee süsteemi kuuluvad torustikud, filtrid, mõõteseadmed ja sulgarmatuur, millega tagatakse tehnoloogiline vesi küttevee süsteemi täitmiseks. Tehnoloogiline vesi saadakse kaugküttetrassist läbi täiteveearvesti. Katelseadmete õppelabori täitetorustikust (DN15) on ühendatud vahetult peale täiteveearvestit. Küttesüsteemi täitmine toimub käsitsi manomeetri näidu alusel. Küttesüsteemis ringlevat soojuskandjat ei tohi kaugküttetrassi tagasi juhtida, seetõttu on vahetult peale katelseadmete labori süsteemi täitekraani ette nähtud tagasivooluklapp.

### **3.9. Seadmete paigaldus**

Stendide segamissõlmede torustik paigaldatakse stendide taga paiknevale kinnitusraamile. Segamissõlmi ja akumulatsioonimahutit ühendava torustiku vertikaalne osa paigaldatakse lae alla ning horisontaalne osa seinale, kasutades kandureid. Kõik torud peavad olema toestatud ja kinnitatud. Torustiku toestamisel tuleb arvestada toru soojenemisel ja jahtumisel tekkivaid pingeid. Torustiku kinnitamiseks kasutatakse elastiktihendiga tsiingitud terasest kandureid.

Kütteveesüsteemi torustik tuleb soojuslikult isoleerida. Torustiku isoleerimiseks kasutatakse alumiiniumfooliumiga kaetud kivivillkoorikuid vastavalt torude ja kanalite isolatsioonitootja soovitustele. Isoleerimata tuleb jätta järgnevad seadmed:

- kaitseventiili väljalöögitorud;
- andurite ühendustaskud;
- tühjendus-, õhutus-, manomeetrite ühendustorud ning paisupaagi torud;
- reservuaaride ja seadmete tehnilist informatsiooni sisaldavad sildid;
- pumbad.

Vajalikud mõõtepunktid torustikus varustatakse paigaldusliitmikega temperatuuriandurite ühendamiseks. Toru tinglähimõõduga kuni DN50 paigaldatakse temperatuuriandurid nurga all 90° toru telgjoone suhtes. Suurema läbimõõduga torude puhul tuleb andur paigaldada nurga all 45° toru telgjoone suhtes, kaldega vee liikumise suunas. Andureid võib paigaldada toru põlve.

Testitavad katlad ja akumulatsioonimahuti paigaldatakse tugevdatud metallraamile, mida saab kahvelkäru või tõstukiga teisaldada. Katelde kütteevee torustikuga ühendamiseks kasutatakse kuumuskindlaid voolikliitmikke.

Kütteevee süsteemi seadmete spetsifikatsioon ja põhimõtteskeem on esitatud lisa B.

## **4. ÕHU- JA GAASITRAKT**

Õhu- ja gaasitrakti kuuluvad kõik katla- ja abiseadmete õhu- ja gaasikäigud koos neid ühendatavate kanalitega [18]. Põlemisõhk ja -gaasid liiguvad traktis rõhkude erinevuse alusel.

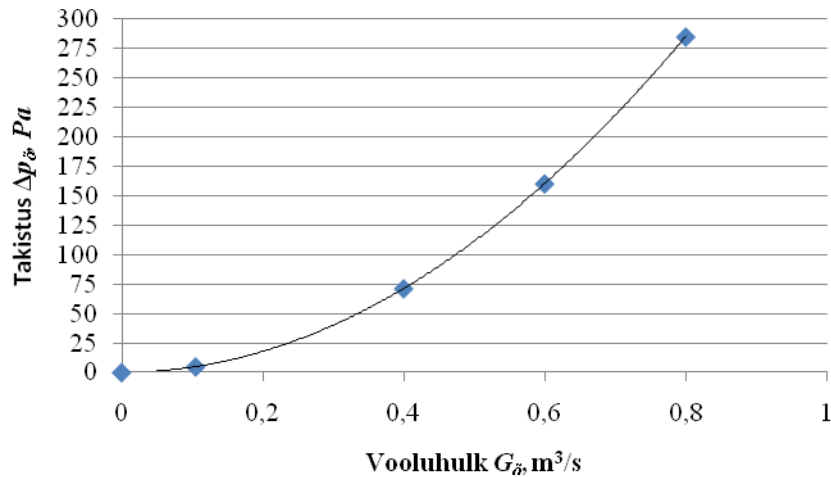
Loomulik tõmme õhu- ja gaasitraktis tekkib korstna abil. Sujuva hõrenduse reguleerimiseks ja sundtõmbe tekitamiseks on ette nähtud tõmbe- ehk suitsuventilaator. Tõmbeventilaatori kasutamisel on gaasikäigud hõrenduse all. Lisaks tõmbeventilaatoritele, võivad katsetatavate katelde komplekti kuuluda õhuventilaatorid. Ainult õhuventilaatorite kasutamisel on gaasikäigud ülerõhu all. Mõlemal juhul peavad gaasikäikude välisseinad olema gaasitihedad, et vältida välisõhu imemist suitsukäiku või põlemisgaaside sattumist katlamajja. Kui kasutusel on mõlemad ventilaatorid, toimub õhu-gaasitraktis rõhu märgi muutus. Enamasti toimub rõhu märgi muutus põletis või kütusekihis, kusjuures koldekamber ja gaasikäigud on hõrenduse all [18].

### **4.1. Õhutrakti kirjeldus**

Katelseadmetele vajalik põlemisõhk saadakse välisuksel paiknevast õhuvõtturestist. Põlemisõhu eelsoojendamine toimub välisõhu ja ruumi siseõhu segunemisel. Õhuvõtturestid peavad olema suletavad, et vähendada ruumi soojuskadusid, juhul kui katlad ei tööta. Õhuvõtuava tuleb katta väljast lumerestiga, et vältida lume ja vee sattumist ruumi.

Õhu- ja gaasitrakti arvutustel tuleb arvestada, et õhu liikumisel läbi õhuvõtturesti tekib takistus. Õhuvõtturesti takistusgraafikud sõltuvalt vooluhulkadest on määratud katseliselt restide tootjate poolt. Valitud õhuvõtturesti takistusgraafik on esitatud joonisel 4.1.





**Joonis 4.1.** Välisresti NORD RVE 300x400 takistusgraafik [19]

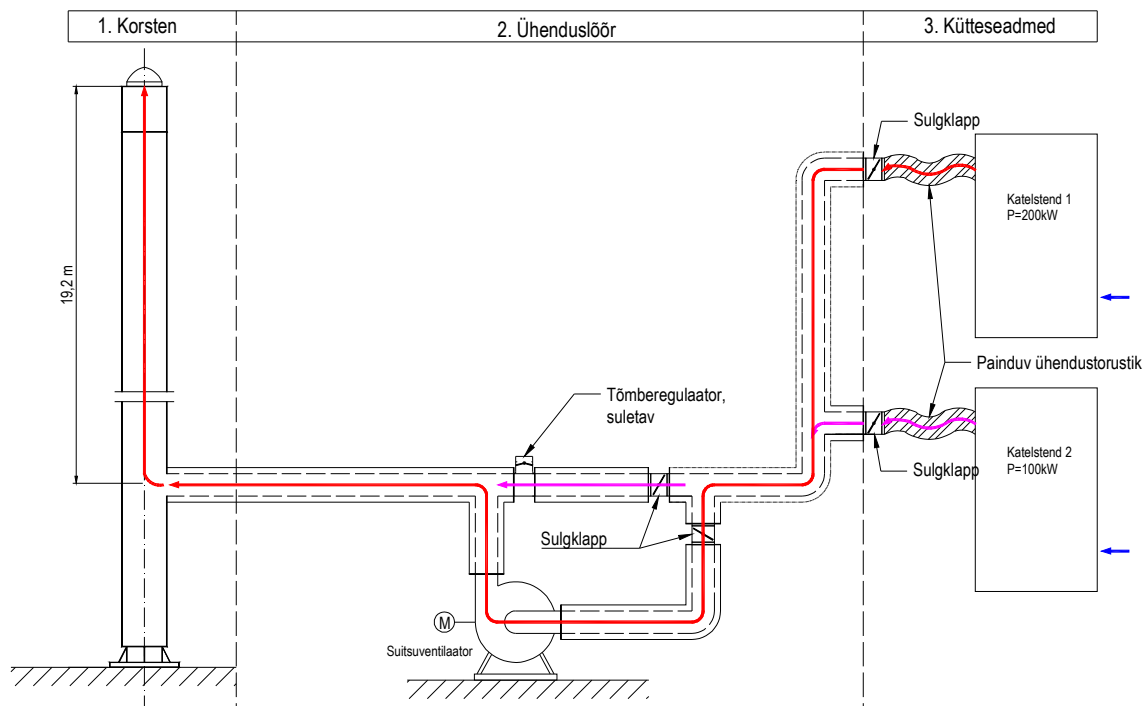
Rõhukadu õhuvõturestis vajaliku põlemisõhu tagamiseks saab määrata graafiliselt jooniselt 4.1:

- vajalik põlemisõhu hulk  $G_{\delta} = 0,105 \text{ m}^3/\text{s}$  (valem 2.8);
- õhuvõturestis tekkiv rõhukadu  $p_{\delta} = 5 \text{ Pa}$ .

Lisaks õhuvõturestile, tuleb arvestada õhutrakti rõhukadudega põleti õhukanalites ja kütusekihtides, mis sõltuvad otseselt kasutatavast põletist ja katlast.

## 4.2. Gaasitrakti kirjeldus

Gaasitrakti ülesanne on põlemisel tekkivate suitsugaaside juhtimine väliskeskkonda. Suitsukäik koosneb kütteseadmest, korstnast ja neid ühendavast lõõrist. Ühenduslõõr sisaldab sulgarmatuuri, tõmberegulaatorit ja -ventilaatorit. Stende ja korstnat ühendab ühine suitsulõõr. Kummaldi katlastendil on eraldi väljavõte lõõriga ühendamiseks. Stendid on varustatud eraldi sulgklappidega, et oleks võimalik katlaid ükshaaval testida (joonis 4.2).



**Joonis 4.2.** Gaasitrakti struktuurskeem

Kütteseadmetest saab suitsugaase ära juhtida kahel viisil:

1. Suitsugaasid juhitakse otse korstnasse. Katla vajaliku tõmbe tekitab korsten, ning reguleerimine toimub tõmberegulaatoriga.
2. Suitsugaasid juhitakse läbi tõmbeventilaatori korstnasse. Hõrendust katlas tekitatakse ventilaatoriga ning reguleeritakse ventilaatori pöörete muutmisega.

Tõmberegulaator on vabalt liikuv klapp, mis paigaldatakse korstna ühendustorule. Klapi avamiseks vajaminevat tõmmet reguleeritakse klapi küljes oleva vastukaaluga. Korstna tõmbe suurenedes üle reguleeritud väärtuse, klapp avaneb ja laseb korstnasse lisaõhku ning tõmme koldes jääb ühtlaseks.

### 4.3. Gaasitrakti aerodünaamiline arvutus

#### 4.3.1. Lähteandmed arvutusteks

Õhu- ja gaasitrakti arvutus sarnaneb oma olemuselt torustiku hüdraulilise arvutusega. Vastavalt küttesüsteemis tekkivale põlemisgaasi mahule leitakse gaasi liikumiskiirused torustikus ning vastavad aerodünaamilised takistused.

Suitsukäigu rõhukadu koosneb kahest komponendist:

- rõhukadu, mis on põhjustatud gaaside hõõrdumisel vastu kanali sisepinda (hõõrderõhukadu);
- rõhukadu gaaside liikumisel läbi kohttakistuste (kohttakistus rõhukadu).

Kanalite takistused on leitavad hõõrde- ja kohttakistuste summana.

Gaasitrakti arvutus sõltub suitsugaasi koostisest ja hulgast suitsukäigus. Öhu- ja gaasitrakti arvutused on tehtud stendi nr. 1 alusel, kuna selle põlemisõhu vajadus ning suitsugaaside kogused tulenevalt soojusvõimsusest on suuremad kui stendil nr. 2. Samuti on suitsukäik pikem. Gaasitrakt jaguneb sõltuvalt kanali läbimõõdust ja käigu ekvivalentkaredusest kolmeks osaks: korsten, ühenduslõõr ja painduv ühendustoru katla ühendamiseks. Ühendustoru suhteline karedus on võetud võrdseks ühenduslõõri suhtelise karedusega ning seetõttu käsitletakse neid arvutustes koos.

Gaasitrakti torustiku sisediameetrid on järgmised:

- korsten  $d_{s, kor} = 0,339$  m;
- ühenduslõõr  $d_{s, lõõr} = 0,292$  m.

Katlastendi nr. 2 suitsulõõri torustiku väljavõtte läbimõõt on 0,25 m.

#### 4.3.2. Gaasi arvutuslik kiirus ja tihedus kanalis

Gaasikanali takistuste arvutamiseks on leitud gaasi arvutuslikud kiirused kanali erinevate ristlõigete korral. Algandmed on valitud punkti 2.5 arvutustulemustest. Gaasi arvutuslik kiirus on leitud valemiga [18]

$$v_g = \frac{V_g B_A (273 + t_g)}{273 \cdot S_g}, \quad (4.1)$$

kus  $V_g$  on gaaside maht ühe kg kütuse kohta tegeliku liigõhuteguri juures normaalingimustel ( $V_g = 6,156$  m<sup>3</sup>/kg);

$B_A$  – arvutuslik kütuse kulu ( $B_A = 0,0198$  kg/s);

$t_g$  – gaaside keskmine temperatuur suitsukäigus ( $t_g = 200$  °C);

$S_g$  – gaasikäigu vaba ristlõikepind ( $S_{g, kor} = 0,09$  m<sup>2</sup>,  $S_{g, lõõr} = 0,067$  m<sup>2</sup>).

Gaaside liikumiskiirused kanalites on:

$$v_{g,lõõr} = \frac{6,156 \cdot 0,0198 \cdot (273 + 200)}{273 \cdot 0,067} = 3,15 \text{ m/s};$$

$$v_{g,kor} = \frac{6,156 \cdot 0,0198 \cdot (273 + 200)}{273 \cdot 0,09} = 2,35 \text{ m/s}.$$

Gaasitrakti rõhukadude määramiseks on lisaks suitsugaaside liikumiskiirusele vaja teada gaaside tihedust. Vastavalt valemiga 2.14 leitud suitsugaaside tihedus arvutuslikul põlemisgaaside temperatuuril on [10]

$$\rho_g = \rho_g^0 \frac{273}{273 + t_g} = 1,279 \cdot \frac{273}{273 + 200} = 0,738 \text{ kg/m}^3, \quad (4.2)$$

kus  $\rho_g^0$  on põlemisgaaside tihedus normaaltingimustel ( $\rho_g^0 = 1,279 \text{ kg/m}^3$ ).

Arvutuskäikudes on valitud suitsugaasi temperatuuriks 200 °C. Suuremate temperatuuride puhul on tegemist madala kasuteguriga kateldega, kuna soojuskaod lahkuvate gaasidega on suured.

#### 4.3.3. Ühenduslõõri rõhukadu

Ühenduslõõri põhiline rõhukadu tekib gaasikäigu kohttakistustes. Kohttakistused on enamasti tingitud gaasi vooluse pöördest, gaasikäigu kitsenemisest ja laienemisest või voolamisel risti kanalitega. Kuna stendi ja korstna vaheline torustik on terves ulatuses ühe ristlõikega, saab kogu torustiku kohttakistustegurid summeerida. Ühenduslõõri kogu rõhukadu on arvutatud hõõrdetakistuse ja kohttakistuste summana. Rõhukadu ühenduslõõris on arvutatud valemiga [10]

$$p_r = \left( \frac{\lambda \cdot l_g}{d_s} + \sum \zeta \right) \frac{\rho_g \cdot v_g^2}{2} = \left( \frac{0,03 \cdot 11,9}{0,292} + 5,78 \right) \frac{0,738 \cdot 3,15^2}{2} = 25,6 \text{ Pa}, \quad (4.3)$$

kus  $\lambda$  on hõõrdetakistustegur [10];

$l_g$  – gaasikäigu pikkus;

$d_s$  – toru siseläbimõõt;

$\zeta$  – kohttakistustegur;

Korstnat ja kütteseadet ühendava suitsulõõri arvutatud rõhukadu on 25,6 Pa.

#### 4.3.4. Korstna rõhukadu

Lisaks ühenduslõõrile tekkib rõhukadu suitsugaaside liikumisel korstnas. Lähteandmed on valitud järgnevalt:

- korstna sisepinna hõõrdetakistustegur  $\lambda = 0,03$  [10];
- suitsulõõri ja korstna tipu vaheline kõrgus  $l_{g,kor} = 19,2$  m;
- korstna siseläbimõõt  $d_{s,kor} = 0,339$  m;
- kohttakistustegur suitsugaaside väljumisel korstnast  $\zeta = 1,1$ .

Korstna rõhukadu on arvutatud valemiga 4.3.

$$p_{r,kor} = \left( \frac{\lambda \cdot l_g}{d_s} + \zeta \right) \frac{\rho_g \cdot v^2}{2} = \left( \frac{0,03 \cdot 19,2}{0,339} + 1,1 \right) \frac{0,738 \cdot 2,35^2}{2} = 5,7 \text{ Pa}$$

Arvutatud korstna rõhukadu on 5,7 Pa.

#### 4.3.5. Korstna omatõmme

Gaasitrakti arvutustel tuleb arvestada korstnas tekkiva omatõmbega. Korstna omatõmme on arvutatud valemiga [10]

$$p_{ot} = (\rho_{\bar{o}} - \rho_g) g H = (1,2 - 0,738) \cdot 9,81 \cdot 20,5 = 92,9 \text{ Pa}, \quad (4.4)$$

kus  $\rho_{\bar{o}}$  on välisõhu erikaal ( $\rho_{\bar{o}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$  [10]);

$g$  – raskuskiirendus  $\text{m/s}^2$ ;

$H$  – korstna kõrgus (kolde ja korstna tipu vahe  $H = 20,5$  m).

Arvutatud korstna omatõmme on 92,9 Pa. Korstna tõmbe leidmisel pole arvestatud suitsugaaside jahtumisega korstnas.

#### 4.3.6. Gaasitrakti kogu rõhukadu

Vajalik rõhutõus, mis tuleb ületada suitsugaaside liigutamiseks gaasitraktis, väljendub süsteemi erinevate osade rõhukadude summana [18]

$$p_g = p_k + p_{r,lõõr} + p_{r,kor} + p_{ök} + p_{tp} + p_{siib}, \quad (4.5)$$

kus  $p_k$  on hõrendus kolde lõpus (sõltuvalt katlast 20...40 Pa);

$p_{ök}$  – ökonomaiserit takistus Pa;

$p_{tp}$  – tuhapüüdurit takistus Pa;

$p_{siib}$  – gaasisiibri takistus Pa.

Käesolevas töös ei ole suitsukäiku ette nähtud ökonomaiserit ja tuhapüüdurit, mis suurendavad kanali aerodünaamilist takistust. Arvestades, et ökonomaiserit ja tuhapüüdurit esialgu süsteemi ei tule ning siibrid on täielikult avatud, on vajalik süsteemi rõhutõus

$$p_g = p_k + p_{r,lõõr} + p_{r,kor} = 30 + 25,6 + 5,7 = 61,3 \text{ Pa.}$$

Arvutustulemustest selgub, et gaasitrakti aerodünaamilise takistuse ületamiseks piisab korstna omatõmbest, kuna

$$p_g \leq p_{ot} \\ 62,4 \leq 92,9.$$

Liiga suure tõmbe korral imetakse koldesse lisaõhku ja põlemisprotsess muutub intensiivsemaks. Katel ei suuda gaasides olevat temperatuuri salvestada ning suitsugaaside hulk ja temperatuur suureneb. Katla kasutegur väheneb ja kütusekulu suureneb. Seetõttu tuleb tõmberegulaatori abil gaasikäiku imeda lisaõhku, mille tulemusena tõmme koldes püsib ühtlasena. Kui gaasikanali takistus ületab korstna loomuliku tõmbe tuleb kasutada suitsutõmburit.

#### 4.4. Suitsuventilaator

Katelseadmete labori suitsukorstna parameetrid tagavad suitsugaaside eemaldamise katlast korstna loomuliku tõmbe teel. Seetõttu puudub praktiline vajadus suitsuventilaatorit gaasikäigus kasutada. Õppe- ja teadustöö eesmärgil on suitsuventilaator laborisse siiski ette nähtud.

Kuna tegemist on katselaboriga ning katsetatavad seadmed on erinevad, ei saa suitsuventilaatori algandmeid kindlate seadmete järgi arvutada. Valitud on gaasitrakti reguleerimisvahemikud:

- maksimaalne ventilaatori poolt arendatav rõhk  $p_v = 500$  Pa;
- maksimaalne suitsugaasi vooluhulk  $G_{g,max} = 0,4$  m<sup>3</sup>/s.

Ventilaatori poolt tarbitav võimsus on arvutatud valemiga [20]

$$P_2 = \frac{G_{g,max} \cdot p_v}{\eta_v \cdot \eta_{ii}} = \frac{0,4 \cdot 500}{0,7 \cdot 0,9} = 317 \text{ W}, \quad (4.6)$$

kus  $\eta_v$  on ventilaatori kasutegur ( $\eta_v = 0,7$  [10]);

$\eta_{ii}$  – ülekande kasutegur ( $\eta_{ii} = 0,9$ ).

Ventilaatori mootori poolt tarbitav võimsus on arvutatud valemiga

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m} = \frac{317}{0,7} = 453 \text{ W}, \quad (4.7)$$

kus  $\eta_m$  on mootori kasutegur ( $\eta_m = 0,6$ ).

Kuumad suitsugaasid sisaldavad lendtuhka, mis põhjustab ventilaatori labade kulumist ning vibratsiooni. Ventilaator tuleks valida madala pöörlemissagedusega, et vähendada labade kulumist ja pikendada ventilaatori tööiga. Arvutatud ventilaatori ajamiks sobib näiteks kolmefaasiline asünkroonmootor ABB M3BP 71 B [21]:

- $P_1 = 0,52$  kW;
- $P_2 = 0,37$  kW;
- $I_n = 1,1$  A;
- $\eta_m = 0,71$ ;
- $\cos\varphi = 0,69$ ;
- $n_2 = 915$  min<sup>-1</sup>.

Ventilaatori pöörlemiskiiruse reguleerimiseks on ette nähtud sagedusmuundur.

Juhul kui katsetatava katla põleti või restidel paikneva kütusekihi õhupoole aerodünaamiline takistus on üle 80 Pa, tuleb lisaks kasutada õhuventilaatorit [18].

#### 4.5. Torustiku paigaldus

Laboris olevad stendid ühendatakse korstnaga üheseinalise roostevabast metallist suitsutoruga. Torustik tuleb katta soojusisolatsiooniga, et suitsugaasid käigus ei jahtuks. Suitsugaaside liigsel jahtumisel tekitab agressiivsete ühendite kondenseerumise oht. Soojusisolatsiooniks kasutatakse kivivillast terastraatkontuuriga võrkmatte, mis on kaetud alumiiniumfooliumkattega. Siibrid ja muud suitsukäigu reguleerimisseadmed tuleb jätta isoleerimata. Katlad ühendatakse suitsulõõriga painduvate isoleerimata suitsutorudega.

Toru paigaldamisel tuleb jälgida ohutuid kaugusi põlevmaterjalidest:

1. Isoleerimata toru suitsugaaside temperatuuril kuni 350 °C:
  - külgsuunas 500 mm;
  - ülespoole 600 mm;
  - allapoole 250 mm.
2. Isoleeritud toru suitsugaaside temperatuuril kuni 350 °C:
  - vähemalt 100 mm kaugusele.

Mõlemal juhul ei tohi põlevmaterjalist ehitusosa temperatuur tõusta üle 80 °C. [22]

Erinevate torulõikude liitmiseks kasutatakse roostevabast metallist ühendusdetalle ja toruklambreid. Ühendustoru paigaldatakse lae ja seinakanduritele. Torustik peab olema tõusev ning horisontaalsena ei tohi selle pikkus ületada 2 m [6]. Stendide suitsulõõri väljavõtete juures peavad lisaks statsionaarsetele mõõteseadmetele olema ühenduspunktid käsimõõteriistade kasutamiseks.

Suitsutorustiku seadmete spetsifikatsioon ja põhimõtteskeem on esitatud lisas C.



## **5. ELEKTRIVARUSTUS**

### **5.1. Elektrivarustuse kirjeldus**

Käesolev töö käsitleb labori elektrivarustust alates kohalikust jaotuskeskusest. Tehnoloogiliste seadmete elektrivarustus on lahendatud eraldiseisva katelseadmete õppelabori jaotuskeskuse (KJK-1) baasil. Keskusega ühendatakse kõik seadmed ja mõõteriistad, mis on seotud katelde ja kütuste soojustehnilise katsetamisega. Ruumi valgustust ja üdelektrivarustust käsitleb hoone rekonstrueerimise ehitusprojekt. Töö koostamisel on aluseks võetud Eestis kehtivad eeskirjad ja normid.

### **5.2. Tehnoloogilised seadmed**

#### **5.2.1. Põletid ja transportöörid**

Katla komplekti võivad kuuluda erinevad elektriseadmed. Põhilised tarbijad on põletid. Sõltuvalt põleti liigist, võivad seadme koosseisu kuuluda õhuventilaatorid, süüetrafod, kütusepumbad, klappide ajamid jne. Põleti tööd juhib katla automaatikaplokk, kuhu on kokku koondatud kõigi seadmete toited ja signaalid. Põletite toiteks on kummalegi stendile ette nähtud eraldi toitefiider labori jaotuskeskuses. Põleti erinevate elementide kaitsmed peavad kuuluma seadme komplekti. Jaotuskeskuses on kaitseaparatuur liinikaitseks.

Tahkekütuste kasutamisel võib kütuse doseerimine katlasse toimuda erinevate transportööride abil. Transportööride tööd juhib enamasti põleti automaatikaplokk. Labori jaotuskeskuses on toitekoht transportööride ühendamiseks.

#### **5.2.2. Ventilaatorid**

Katelseadmetes toimuvate põlemisprotsesside käigus on oht suitsugaasidel ruumi sattuda. Suitsugaaside eemaldamiseks ruumist on välisseinas väljatõmbeventilaator. Ventilaator on valitud nii, et oleks tagatud 20 kordne õhuvahetuskordsus [23]. Ventilaatori juhtimine toimub käsitsi ukse kõrval asuva lüliti abil.

Õppelabori gaasitrakti on ette nähtud suitsuventilaator. Ventilaatori ajamina on kasutatud kolmefaasilist asünkroonmootorit. Mootori pöörlemiskiiruse reguleerimine toimub

sagedusmuunduriga käsitsi või automaatselt gaasitrakti hõrenduse alusel. Ventilaatori režiimi valik toimub jaotuskeskuse uksele paikneva ümberlülitiga. Sagedusmuundur peab olema valitud vastavalt mootori püsimumendile ning võimaldama järgnevaid toiminguid:

- mootori juhtimine rõhu järgi;
- parameetrite seadistamine;
- režiimivalik automaat- ja kohtjuhtimise vahel;
- häirete salvestamine.

Sagedusmuunduri vajalikud välisühendused on järgnevad:

- digitaalsisend (käivitamiseks ja seiskamiseks);
- analoogsisend 4...20 mA või 0...10 V (kiiruse reguleerimiseks);
- kaks releeväljundit (töö ja rike);
- reguleerimispotentsiomeetri ühenduskoht (kiiruse reguleerimine kohtjuhtimisel);
- analoogväljund 4...20 mA (mootori töövool).

Suitsuventilaatori sagedusmuundur asub labori jaotuskeskuses.

### **5.2.2. Pumbad**

Küttevee süsteemi soojuskandja ringlus on tagatud tsirkulatsioonipumpadega. Valitud on ühefaasilised tsentrifugaalpumbad. Sõltuvalt katla tüübist on vaja muuta kontuuride vooluhulkasid. Sujuva tootlikkuse reguleerimiseks on pumbad varustatud integreeritud sagedusmuunduritega. Pumpadel on järgnevad elektrilised välisühendused:

- digitaalsisend (käivitamiseks ja seiskamiseks);
- analoogsisend 0...10 V (kiiruse reguleerimiseks);
- releeväljund (olek).

Soojusvaheti tsirkulatsioonipumba juhtimine toimub hoone küttesüsteemi automaatika alusel. Stendide tsirkulatsioonipumpade juhtimine toimub kohalikust jaotuskeskusest.

### 5.3. Arvutused

#### 5.3.1. Installeeritud ja arvutusliku võimsuse määramine

Katelseadmete õppelabori jaotuskeskuse installeeritud võimsus on leitud kõigi valitud elektritarvitite paigaldusvõimsuste summeerimisel [24]

$$P_i = \sum P_{i,gr} = 17,6 \text{ kW}, \quad (5.1)$$

kus  $P_{i,gr}$  on grupi installeeritud võimsus kW.

Labori jaotuskeskuse toitekaabli ja peakaitsme valik toimub keskuse arvutusliku võimsuse alusel. Arvutusliku võimsuse määramisel on arvestatud, et kõik tarbijad pole korraga sisse lülitatud ning maksimaalselt koormatud. Seadmete üheaegset kasutust ning koormust iseloomustab nõudetegur. Nõudetegur on arvutatud valemiga [24]

$$k_n = k_{\bar{u}} \cdot k_k, \quad (5.2)$$

kus  $k_{\bar{u}}$  on seadme või grupi üheaegsustegur;

$k_k$  – seadme või grupi koormustegur.

Tsirkulatsioonipumpade koormustegur on valitud vastavalt arvutatut tööpunktidele. Teiste ajamite puhul on koormustegur valitud 0,6.

Vastavalt arvutatud üheaegsusteguritele on leitud gruppide arvutuslikud võimsused valemiga [24]

$$P_{a,gr} = P_{i,gr} \cdot k_n, \quad (5.3)$$

kus  $P_{a,gr}$  on grupi arvutuslik võimsus kW.

Elektritarvitite toiteliinid on jagatud faaside vahel nii, et oleks tagatud faaside koormuste võrdsus. Arvutustulemused ning gruppide faasidevahelised jagunemised on esitatud tabelis 5.1.

**Tabel 5.1.** Seadmete elektrivõimsused

Gr. nr.	Seadme nimi	Install. võimsus $P_b$ , kW	Nõude- tegur $k_N$	Arvutuslik					
				Võimsus $P_a$ , kW			Vool $I_a$ , A		
				L1	L2	L3	L1	L2	L3
1	Võrguanalüsaator	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Pingepiirik	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Transportöörid	1,50	0,6	0,30	0,30	0,30	1,9	1,9	1,9
4	Stend 1	1,50	1	0,50	0,50	0,50	3,2	3,2	3,2
5	Stend 2	1,10	1	0,37	0,37	0,37	2,3	2,3	2,3
6	Suitsuimeja	0,52	0,6	0,10	0,10	0,10	0,7	0,7	0,7
7	Reserv (elektrikatel)	12,00	1	4,00	4,00	4,00	17,4	17,4	17,4
8	Pump P1.0 (stend 1)	0,18	0,8	0,14	-	-	0,9	-	-
9	Pump P2.0 (stend 2)	0,09	0,6	-	0,05	-	-	0,3	-
10	Pump P0.1	0,14	0,85	-	-	0,12	-	-	0,7
11	Väljatõmbeventilaator	0,28	1	0,28	-	-	1,8	-	-
12	Reserv	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Reserv	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Reserv	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Automaatika	0,30	1	-	0,30	-	-	1,4	-
Arvutuslik koguvõimsus $P_a$				16,7			28,1	27,2	26,1

Jaotuskeskuse arvutuslik võimsus on leitud gruppide arvutuslike võimsuste summeerimisel [24]

$$P_a = \sum P_{a,gr} = 16,7 \text{ kW}. \quad (5.4)$$

Installeeritud ja arvutusliku võimsuse määramisel on lisaks välja valitud seadmetele arvestatud perspektiivis ühendatavate elektritarvititega. Eraldi toitekoht on ette nähtud elektrikatelde katsetamiseks. Põletuskatelde katsetamisel on jaotuskeskuse koormus tunduvalt väiksem kui leitud arvutuslik võimsus.

### 5.3.2. Peakaitsme ja sisestuskaabli arvutus

Jaotuskeskuse sisestuskaabli ja peakaitsme määramine sõltub elektrivarustuse liitumispunkti kaugusest. Hoone rekonstrueerimise projektis pole arvestatud labori jaotuskeskusele ühenduspunkti hoone elektrivarustussüsteemiga liitumiseks. Lähim võimalik liitumispunkt asub koridoris paiknevas jaotuskeskuses VK-002.

Labori peakaitsme arvutus on tehtud arvutusliku võimsuse alusel. Peakaitsme suuruse määramiseks on arvatud keskuse faasivool valemiga [25]

$$I_f = \frac{P_a}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot a} = \frac{16700}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 28,2 \text{ A}, \quad (5.5)$$

kus  $U$  on liinipinge V;

$\cos \varphi$  – keskuse võimsustegur ( $\cos \varphi \approx 0,9$ );

$a$  – tegur, mis arvestab faasidevahelise koormuse erinevust.

Arvatud faasivool on 28,2 A. Lähim standardsuurusega automaatkaitselüliti on nimivooluga 32 A (3 x C32).

Sisestuskaabli minimaalse ristlõike arvutus on tehtud vastavalt peajuhistiku lubatud pingekaole. Vajalik juhtme ristlõige etteantud pingekao juures on [25]

$$s = \frac{100\rho}{\Delta U_{\%} \cdot U} \cdot I_f \cdot l = \frac{100 \cdot 0,0172}{1 \cdot 400} \cdot 28,2 \cdot 15 = 1,8 \text{ mm}^2, \quad (5.6)$$

kus  $\rho$  on juhi materjali eritakistus ( $\rho_{Cu} = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  [26]);

$l$  – toitekaabli pikkus m;

$\Delta U_{\%}$  – lubatud pingekadu ( $\Delta U_{\%} = 1,0$  [24]).

Keskuse laienemisvõimalusi ning kaitserakendumist silmas pidades on toitekaabliks valitud PVC isolatsiooniga paigalduskaabel PPJ 5G6, juhtme ristlõikega  $6 \text{ mm}^2$ .

### 5.3.3. Kaitseseadmete valik

Grupiliinide kaitselülitite valikul on lähtutud standardis IEC 60898 tingimusest [24]

$$I_b \leq I_n \leq I_z, \quad (5.7)$$

kus  $I_b$  on vooluahela maksimaalne vool A;

$I_n$  – kaitselüliti nimivool A;

$I_z$  – kaabli (juhi) lubatav kestevvool A.

Liinikaitselüliti suurim teimivool  $I_2$ , mille puhul kaitselüliti peab rakenduma ühe tunni vältel, peab rahuldama tingimust [24]

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z. \quad (5.8)$$

Seda nõuet rahuldavad kaitselülidid, mis on B ja C koormuskarakteristikuga [27]. Elektrimootorite grupiliinide kaitselülidid on valitud C rakendustunnusjoonega. Vastavalt seostele 5.7 ja 5.8 on valitud grupiliinide kaitselülidid (tabel 5.2).

**Tabel 5.2.** Gruppide kaitselülitite ja kaablite valik [24]

Grupi nr	Seadme nimetus	Vooluahela maks. vool $I_b$ , A	Valitud kaitselüliti		Valitud kaabel	
			Kaitse sättevool $I_n$ , A	Kaitse karakteristik	Juhi ristlõige $s$ , mm <sup>2</sup>	Juhi kestvalt lubatud vool <sup>a</sup> $I_z$ , A
3	Reserv (transportöörid)	3,2	10	C	1,5	18,5
4	Stend 1	3,2	13	C	1,5	18,5
5	Stend 2	2,3	10	C	1,5	18,5
6	Suitsuimeja	1,1	10	C	1,5	18,5
7	Reserv (elektrikatel)	17,4	20	C	4	34
8	Pump P1.0 (stend 1)	1,1	6	C	1	13,5
9	Pump P2.0 (stend 2)	0,5	6	C	1	13,5
10	Pump P0.1	0,9	6	C	1,5	18,5
11	Väljatõmbeventilaator	1,8	6	C	1,5	18,5
12	Reserv	-	10	C	-	-
13	Reserv	-	10	C	-	-
14	Reserv	-	10	C	-	-
15	Automaatika	1,4	6	B	1	13,5

<sup>a</sup> kehtib vasksoontega kaabli korral tüüppaigaldusviisiga E

Lisakaitkena on gruppide ahelatesse ette nähtud rikkevoolukaitselülidid, mille rakendumisvool on 30 mA ja maksimaalne rakendumisaeg 30 ms. Rikkevoolukaitselüliteid ei ole soovitatav kasutada pumpade toiteahelas, kuna pumpade seiskumisel tekib katelde ülekuumenemise oht.

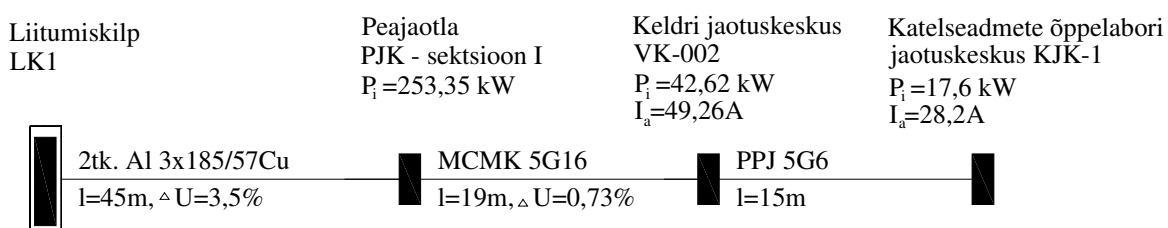
Jaotuskeskus sisaldab mitmesuguseid juhtimis-, automaatika- ja mõõteseadmeid, mis on tundlikud liigpingetele. Seadmete kaitse on tagatud kolmeastmelise liigpingekaitsega:

- olemasolev I klassi liigpingepiirik hoone peajaotlas (tippväärtuse piiramine väärtuseni 2,5 kV);
- olemasolev II klassi liigpingepiirik jaotuskeskuses VK-002 (tippväärtuse piiramine väärtuseni 1...1,5 kV);
- planeeritav III klassi liigpingepiirik õppelabori jaotuskeskuses KJK-1 nõrkvooluahelate kaitseks.

Labori keskusesse paigaldatav piirik peab olema varustatud optilise signaaliga, mis teavitab piiriku korrasolekut ja riknemist. Piiriku toiteahel tuleb kaitsta sulavkaitsmega, mis katkestab vooluringi piiriku läbipõlemisel. Sulavkaitsme rakendusvool ja karakteristik tuleb valida vastavalt tootja ettekirjutisele.

#### 5.3.4. Pingekadude arvutus

Standardis IEC 60364-5-52 on esitatud soovitus, et pingekadu tarbija liitumispunktist kuni elektritarvitini ei oleks suurem kui 4 % [24]. Antud süsteemi puhul on pingekadud nimivõimsuste juures suuremad kui 4 %, kuna lisaks labori jaotuskeskusele tuleb arvestada pingekadusid hoone peajuhistikus (joonis 5.1). Peajuhistiku pingekadude väärtused on valitud vastavalt hoone elektriprojektile.



**Joonis 5.1.** Jaotuskeskuste struktuurskeem

Labori grupiliinide pingekadude leidmiseks on arvutatud pingekadud seadmete toitekaablites. Pingekadude arvutamisel on lähtutud paigaldatud liigkoormuskaitse nimirakendumisvoolust.

Pingekadu kolmefaasilise tarbija liinilõpus on arvatatud valemiga [25]

$$\Delta U_{\%} = \frac{100\rho}{s \cdot U} \cdot I_n l, \quad (5.9)$$

kus  $\rho$  on juhi materjali eritakistus ( $\rho_{Cu} = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  [26]);

$U$  – liinipinge V;

$I_n$  – kaitselüliti nimivool A;

$l$  – liini pikkus.

Pingekadu ühefaasiliste grupiliinide lõpus on leitud valemiga [25]

$$\Delta U_{\%} = \frac{200\rho}{s \cdot U_f} \cdot I_n l, \quad (5.10)$$

kus  $U_f$  on faasipinge V.

Pingekaod liinide lõpus on leitud peajuhistiku ja grupiliinide pingekadude liitmisel. Arvutustulemused on esitatud tabelis 5.3.

**Tabel 5.3.** Gruppide pingekaod

Gr. nr.	Seadme nimetus	$I_n$ , A	Lõigu pikkus $l$ , m	Kaabli ristlõike-pindala $s$ , mm <sup>2</sup>	Liini pingekadu $\Delta U_{\%}$	Vooluringi pingekadu $\Delta U_{\%}$
-	Keskus VK002	-	-	-	-	4,23
-	Jaotuskeskuse sisestus	32	15	6	0,34	4,57
3	Reserv (transportöörid)	10	9,1	1,5	0,26	4,49
4	Stend 1	13	8,3	1,5	0,31	4,54
5	Stend 2	10	6,7	1,5	0,19	4,42
6	Suitsuimeja	10	9,9	1,5	0,28	4,51
8	Pump P1.0 (stend 1)	6	4,9	1	0,44	4,67
9	Pump P2.0 (stend 2)	6	4,5	1	0,40	4,63
10	Pump P0.1	6	12,9	1,5	0,77	5,00
11	Väljatõmbeventilaator	6	10	1,5	0,60	4,83

Liinilõikude arvutuslikud koormusvoolud on väiksemad kui liigkoormuskaitse nimirakendumisvoolud. Seetõttu on tegelikud pingekaod liini lõppudes väiksemad, kui arvatatud tulemused.



## 5.4. Elektriseadmete paigaldus

### 5.4.1. Labori jaotuskeskus

Labori jaotuskeskus paigaldatakse katelstendide taha koridori poolsele seinale. Jaotuskeskusesse KJK-1 monteeritakse kogu laboratooriumi tehnoloogiliste seadmete ja automaatika juhtimis- ning kaitseaparatuur. Keskus jagatakse eraldi tugevvoolu- ja nõrkvooluosaks. Jaotuskeskuseksena kasutatakse metallkilpi, kaitseastmega vähemalt IP34 [28]. Kilbi ustele paigaldatakse vajalikud lülitid ja signaallambid ning automaatika juhtpaneel.

Keskuse elektrilised näitajad:

- pingesüsteem 230/400 V, 50Hz;
- pealüliti 3x63 A;
- juhistikusüsteem TN-S;
- installeeritud võimsus  $P_i = 17,6$  kW;
- arvutuslik võimsus  $P_a = 16,7$  kW.

Kilp tuleb valmistada TN-S juhistikusüsteemiga, kuna eespool keskustes on kaitse- ja neutraaljuht lahku viidud.

Kilbi sisendil on kolmepooluseline pealüliti, mille abil saab terve kilbi pingetuks teha. Väljuvate rühmaliinide kaitseaparatuuriks on kilbis elektromagnetilise ja soojusliku vabastiga kombineeritud ühe ja kolmefaasilised kaitselülitid. Toite- ja mõõteskeemide väljuvad ahelad ühendatakse klemmliistule, et seadmete ühendamise keskusega oleks võimalikult lihtne. Keskusesse tuleb jätta vähemalt 20% laiendamisvaru.

Katelseadmete kasuteguri määramisel on üks oluline komponent tarbitava elektrienergia mõõtmine. Jaotuskeskuse sisestusele paigaldatakse elektrienergiaarvesti, mis omab väljundit mõõtesüsteemiga ühendamiseks. Elektrienergia mõõtmine on vajalik katla omatarbe määramiseks ning seetõttu võib arvestina kasutada kilbi kattele paigaldatavat võrguanalüsaatorit. Kilbi kattele paigaldatava mõõteriista kasutamisel tuleb voolude mõõteahelad peajuhistikust voolutrafodega eraldada.

Labori jaotuskeskuse KJK-1 skeem on esitatud joonisel D.1 (lisa D).

#### 5.4.2. Toite- ja juhtimisliinid

Seadmete elektrivarustuse rühmaliinid rajatakse PVC isolatsiooniga vaskkaablitega. Sagedusmuunduri ja mõõteseadmete ahelate kaabelduseks tuleb häärekindluse tagamiseks kasutada varjestatud kaableid. Kaablid paigaldatakse lae alla kaabliredelile. Nõrk- ja tugevvoolukaablid paigaldatakse kaabliredeli vastaskülgedele.

Statsionaarsed seadmed ühendatakse otse kaablitega (pumbad, ventilaatorid jne). Seadmete tarbeks, mis ei ole statsionaarselt paigaldatud (transportöörid, stendide toited jne), kinnitatakse kaabliredelile spetsiaalsed pistikupesad, mis peavad olema sellised, et sinna poleks võimalik muid elektritarviteid ühendada. Katelde katsetustegevusel tuleb jälgida, et kaablid ei puutuks kokku erinevate seadmete kuumade pindadega.

Labori tehnoloogiliste seadmete elektrivarustusplaan on esitatud joonisel D.2 (lisa D).

#### 5.4.3. Maandamine ja potentsiaaliühtlustus

Maandussüsteem peab vastama TN-S juhistikusüsteemi nõuetele. Laborisse on ette nähtud kohalik potentsiaaliühtlustussüsteem, mis ühendatakse peajaotlas (tehnilineruum 020) paikneva peapotentsiaaliühtlustuslatiga. Maanduslatt paigaldatakse labori jaotuskeskuse kõrvale seinale. Potentsiaalide ühtlustamiseks ühendatakse maanduslatiga kõik pingealdis olevad metallkonstruktsioonid, torud, ja gaasikanalid. Seadmete ühendamiseks tuleb kasutada kollarohelise tunnusvärviga isoleeritud vaskjuhti. Kaitsejuhtide ristlõige valitakse vastavalt faasijuhtidele (tabel 5.4).

**Tabel 5.4.** Kaitsejuhtide nõutav ristlõige [29]

Faasijuhi ristlõige mm <sup>2</sup>	Kaitsejuhi vähimalt nõutav ristlõige mm <sup>2</sup>
kuni 16	nagu faasijuhil, kuid mitte alla 6 mm <sup>2</sup> vase puhul
16 kuni 35	16
35 kuni 400	pool faasijuhi ristlõikest

Kaitsejuhtide ahelad ei tohi sisaldada seadmeid, mis on ette nähtud elektriahela katkestamiseks või ahela elektrilise takistuse oluliseks suurendamiseks [24].

Labori potentsiaaliühtlustusskeem on esitatud joonisel D.3 (lisa D).

## **5.5. Juhtimis- ja mõõtesüsteem**

### **5.5.1. Tehnoloogilise protsessi lühikirjeldus**

Katelseadmete laboratooriumi tehnoloogiliste seadmete mõõtetulemused ja signaalid kogutakse kokku ühtsesse juhtimis- ja mõõtesüsteemi. Juhtimissüsteemi kuulub katelde testimisega seotud üksuste juhtimisaparatuur: režiimi lülitid, kontaktorid, sagedusmuundurid, abireleed jms. Mõõtesüsteemiga seotakse vajalikud mõõtepunktid katelde soojustehniliste katsetuste läbiviimiseks. Juhtimis- ja mõõtesüsteemi funktsionaalskeem on esitatud joonisel D.4 (lisa D).

Küttevee süsteemi juhtimise aluseks on torustikus voolava soojuskandja temperatuur ja vooluhulk. Reguleerimine toimub elektriajamiga ventiilidega ning pumpade tootlikkuse muutmisega. Pumpade juhtimiseks on jaotuskeskuse uksel režiimilüliti. Automaatrežiimis juhib pumba tööd automaatika, käsirežiimis töötab pump maksimaalpöõretel. Juhtimis- ja mõõtesüsteemile edastatakse küttevee süsteemi järgnevad signaalid:

- pumpade oleku signaalid;
- soojuskandja temperatuurid torustiku eri lõikudes;
- süsteemi rõhk;
- stendide soojusvõimsused;
- hoone tarbimise soojusvõimsus;
- segamissõlmede ajamite asendid.

Automaatne alarõhu reguleerimine katla koldes toimub suitsuventilaatori pöörlemiskiiruse muutmisega hõrendusanduri alusel suitsukäigus. Gaasitrakti edastatavad signaalid:

- stendide suitsugaasi temperatuurid;
- suitsugaasi koostisosade sisaldus (hapnik ja vingugaas);
- gaasitrakti hõrendus;
- ventilaatori oleku signaalid;
- ventilaatori töövool.

Juhtimis- ja mõõtesüsteemi edastatakse lisaks eelpool mainitud signaalidele ka andmed kütusekulu ja välistemperatuuri kohta. Andurite ja seadmete signaalide koondtabelid on esitatud lisas D.

### 5.5.2. Programmeeritav kontrolleri

Automaatne juhtimis- ja mõõtesüsteem on lahendatud programmeeritava kontrolleri (PLC – *Programmable Logic Controller*) abil. Kontrolleri asub labori jaotuskeskuses eraldi moodulis. Kontrollerrisse koondatakse kõik juhtimis-, jälgimis- ja mõõtesignaali. PLC peab olema varustatud kõigi vajalike laiendusmoodulitega ning omama varumahtu andmetele ja programmile perspektiivsete seadmete ühendamiseks. Antud töös on tehtud näitena seadmete valik Siemens Simatic S7-200 seeria moodulkontrolleri baasil (tabel 5.5).

**Tabel 5.5.** Juhtkontroller ja laiendusmoodulid

Pos.	Nimetus	Kogus	Sisendid ja väljundid			
			DI	DO	AI	AO
1	Programmeeritav kontrolleri Simatic S7-200, CPU 224XP, 14DI, 10DO, 2AI, 1AO	1	14	10	2	1
2	Laiendusmoodul S7-200 EM231, 8AI	3	-	-	24	-
3	Laiendusmoodul S7-200 EM232, 4AO	1	-	-	-	4
Paigaldatud seadmete ühenduste arv			<b>14</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>5</b>
Vajalik ühenduste arv			12	3	23	5

Juhtimissüsteemi signaalid edastatakse kontrollerrisse elektriskeemi potentsiaalivabade releeväljundite abil. Andurite mõõtesuurused edastatakse kontrolleri analoogsisenditele. Temperatuuriandurite takistussensorite signaali konverteerimiseks pingesignaaliks 0...10 V kasutatakse mõõtemuundureid.

Mõõdetud info kuvamiseks ning süsteemi töö seadistamiseks on keskuse uksele valitud puutetundlik operaatorpaneel TP 177micro. Kontrolleri ja visualiseerimiskeskuse vaheliseks suhtluseks on kontrollerrile valitud laiendusmoodul CP 243-1, mis võimaldab andmete ülekandmist mööda hoone lokaalvõrku.

### **5.5.3. Visualiseerimiskeskus**

Labori katsetustegevuse mõõtetulemuste töötlemiseks ning analüüsiks peab mõõtesüsteemil olema arvutiliides. Arvutiliidese vahendusel peab olema võimalik andurite poolt väljastatud mõõtetulemusi esitada numbriliselt ja graafiliselt. Mõõtetulemuste esitamine on planeeritud soojustehnika õppelabori keskarvutis vastava visualiseerimise ning arhiveerimise tarkvaraga.

Vastavalt valitud kontrolleriile on võimalik süsteemi modelleerimiseks kasutada Siemens Simatic WinCC tarkvara. Info edastamine kontrolleriist visualiseerimiskeskusesse toimub läbi serveri, kuhu kõik muutujad salvestatakse (SINAUT MICRO SC).

Antud töös ei käsitleta visualiseerimis- ning arhiveerimiskeskuse tarkvaralist lahendust, kuid seadmete spetsifikatsioonis on esitatud vajalikud tarkvarapaketid keskuse loomiseks.

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös on valitud seadmed katelde soojustehniliste katsetuste läbiviimiseks katelseadmete õppelaboris. Seadmete valikul on aluseks võetud Eestis kehtivad küttesüsteemidele esitatavad eeskirjad ja normid.

Labori maksimaalse soojusväljastusvõimsuse välja selgitamiseks on uuritud hoone soojusenergia tarbimist eelnevatel kütteperioodidel. Vastavalt keskmisele välisõhu temperatuurile kütteperioodi vältel on arvutatud hoone keskmiseks küttevõimsuseks 165 kW. Laboris tekkiva soojusenergia juhtimiseks hoone küttekontuuri on soojussõlme ette nähtud eraldiseisev soojusvaheti.

Antud töös on katelde katsetamiseks välja pakutud järgmine lahendus:

1. Katsete läbiviimiseks on ette nähtud kaks erineva maksimaalse soojusvõimsusega stendi: kuni 100 kW ja kuni 200 kW.
2. Mõlemal stendil on eraldi väljavõtted katla sidumiseks küttesüsteemiga ja gaasitraktiga vastavalt soojusväljastusvõimsustele.
3. Küttevee süsteemil on kolm tsirkulatsioonikontuuri: stend 1, stend 2 ja tarbimisring. Igal kontuuril on oma ringluspump, mõõteseadmed ja sulgarmatuur. Stendide kontuurid on varustatud segamissõlmedega.
4. Tekkivaid suitsugaase saab koldest ära juhtida kahel viisil: korstna loomuliku tõmbega või suitsuventilaatori poolt tekitatud sundtõmbega.
5. Labori elektrivarustus on lahendatud kohaliku jaotuskeskuse baasil, kuhu on koondatud kõik juhtimis- ja mõõtesignaalid.
6. Mõõtetulemuste kuvamine ning süsteemi seadistamine toimub keskuse uksele paikneva operaatorpaneeli või arvutiliidese vahendusel.

Antud töö saab aluseks võtta labori kütte ja elektri põhiprojekti koostamiseks.

## KIRJANDUS

1. Eesti Maaülikool. Energeetika osakond. Kättesaadav: <http://te.emu.ee/struktuur/energeetika-osakond-ek/> (11.05.2011).
2. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. 01.10.2007. Elektrooniline Riigi Teataja. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12866223> (11.05.2011).
3. Vivaprojekt OÜ. Õppehoone Kreutzwaldi 56-1, Tartu renoveerimine. Põhiprojekt. Küte. – Tartu: 2010.
4. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut. Kättesaadav: <http://www.emhi.ee/> (11.05.2011).
5. Ingermann, K. Soojusvarustussüsteemid. – Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2003. – 71 lk.
6. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS 812-3:2007. Ehitiste tuleohutus. Osa 3: Küttesüsteemid. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2007. – 33 lk.
7. Mikk, I. Soojustehnika käsiraamat. – Tallinn: Valgus, 1977. – 620 lk.
8. Paist, A., Poobus, A. Soojusgeneraatorid. – Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2009. – 147 lk.
9. Lepa, J., Jürjenson, K., Hovi, M. Alternatiiv- ja väikeenergeetika. – Tartu: Eesti Põllumajandusülikool, 1997. – 67 lk.
10. Basu, P., Kefa, C., Jestin, L. Boilers and burners: design and Theory. – New York: Springer, 2000. – 563 lk.
11. Nõuded tulekustutitele ja voolikusüsteemidele, nende valikule, paigaldamisele, tähistamisele ja korrashoiule. 01.01.2011. Elektrooniline Riigi Teataja. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122010163> (11.05.2011).
12. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS-EN 303-5:2001. Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, hand and automatically stocked, nominal heat output of up to 300 kW - Terminology, requirements, testing and marking. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2001. – 51 lk.
13. Treier, V. Soojusülekanne alused. – Tartu: Eesti Põllumajanduse Akadeemia, 1969. – 80 lk.
14. Zilmet. Küttesüsteemide paisupaagid. Kättesaadav: [http://juhendid.sks.ee/zilmet\\_paisupaagid\\_calpro\\_est.pdf](http://juhendid.sks.ee/zilmet_paisupaagid_calpro_est.pdf) (11.05.2011).

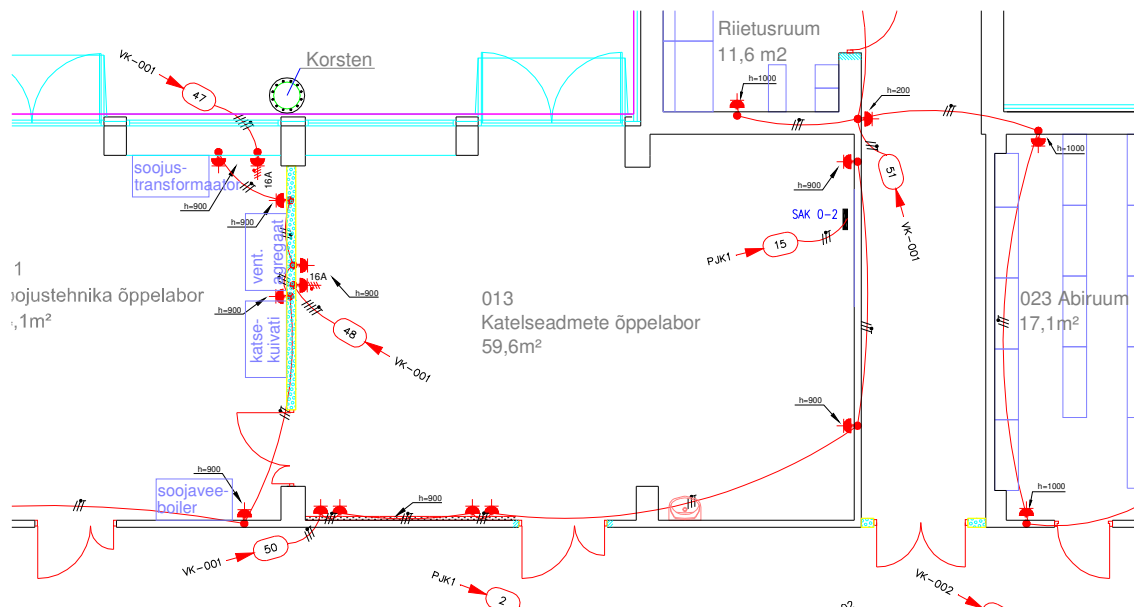
15. Tenisberg, V. Küte ja ventilatsioon. – Tallinn: Valgus, 1979. – 360 lk.
16. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS 844:2003. Hoonete kütte projekteerimine. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2003. – 36 lk.
17. Maastik, A., Haldre, H., Koppel, T., Paal, P. Hüdraulika ja pumbad. – Tallinn: Greif, 1995. – 467 lk.
18. Veski, A. Katelseadmed. – Tallinn: Valgus, 1991. – 191 lk.
19. Est Nord AS. RVE välisrestid. Kättesaadav: <http://www.etsnord.com/tooted> (11.05.2011).
20. Liiske, M. Tehnoloogiaseadmete elektriajamid. I osa. – Tartu: Eesti Põllumajandus-ülikooli kirjastus, 1998. – 98 lk.
21. ABB. General Performance Motors. Kättesaadav: <http://www.abb.co.uk/product/us/9AAC100523.aspx?country=GB> (11.05.2011).
22. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS 860-3:2006. Tehniliste paigaldiste termiline isoleerimine. Osa 3: Katelde, kanalite ja elektrifiltrite isolatsioon. Soojusisolatsiooni teostus. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2006. – 30 lk.
23. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS 812-2:2005. Ehitiste tuleohutus. Osa 2: Ventilatsioonisüsteemid. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2005. – 24 lk.
24. EETEL. Elamute elektripaigaldised. – Tallinn: EETEL-Ekspert, 2005. – 244 lk.
25. Lepa, J., Jürjenson, K., Annuk, A. Energiavarustus. – Tartu: EPMÜ, 2000. – 176 lk.
26. Lepa, J., Jürjenson, K., Peets, T. Elektrimaterjalid. – Tartu: EPMÜ, 1996. – 56 lk.
27. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS-EN 60947-2:2006. Madalpingelised lülitusaparaadid. Osa 2: Kaitselülitid. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2006. – 150 lk.
28. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS-EN 60529:2001. Ümbristega tagatavad kaitseadmed. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2001. – 52 lk.
29. Eesti Standardikeskus. Eesti Standard EVS-EN 61439-1:2009. Madalpingelised aparaadikoosted. Osa 1: Üldreeglid. – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2009. – 128 lk.
30. Projekt Kuubis OÜ. Fr. R. Kreutzwaldi 56 õppe-töökodade rekonstrueerimise ehitusprojekt, tugevvoolu osa. – Tallinn: 2010.
31. SIA Grundfos Pumps Baltic Eesti filiaal. Tootekataloog WebCAPS. Kättesaadav: <http://www.grundfos.ee/> (11.05.2011).



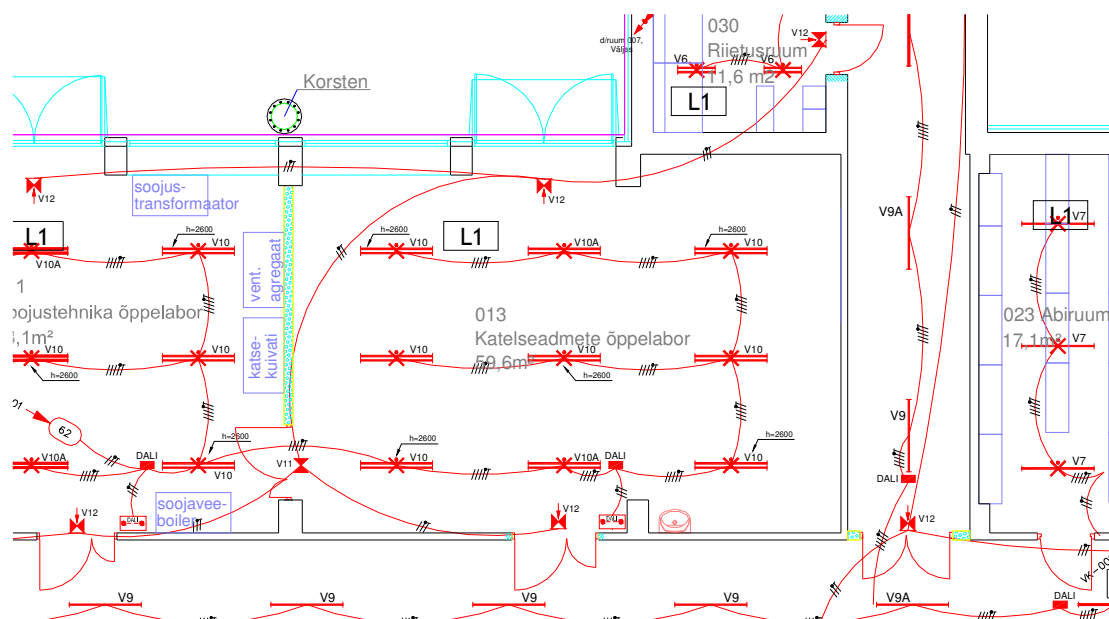
**LISAD**

## **Lisa A. Ruumi joonised**

### **Joonis A.1. Seadmete paigutuse plaan**



**Joonis A.2. Keldrikorruse jõuseade [30]**

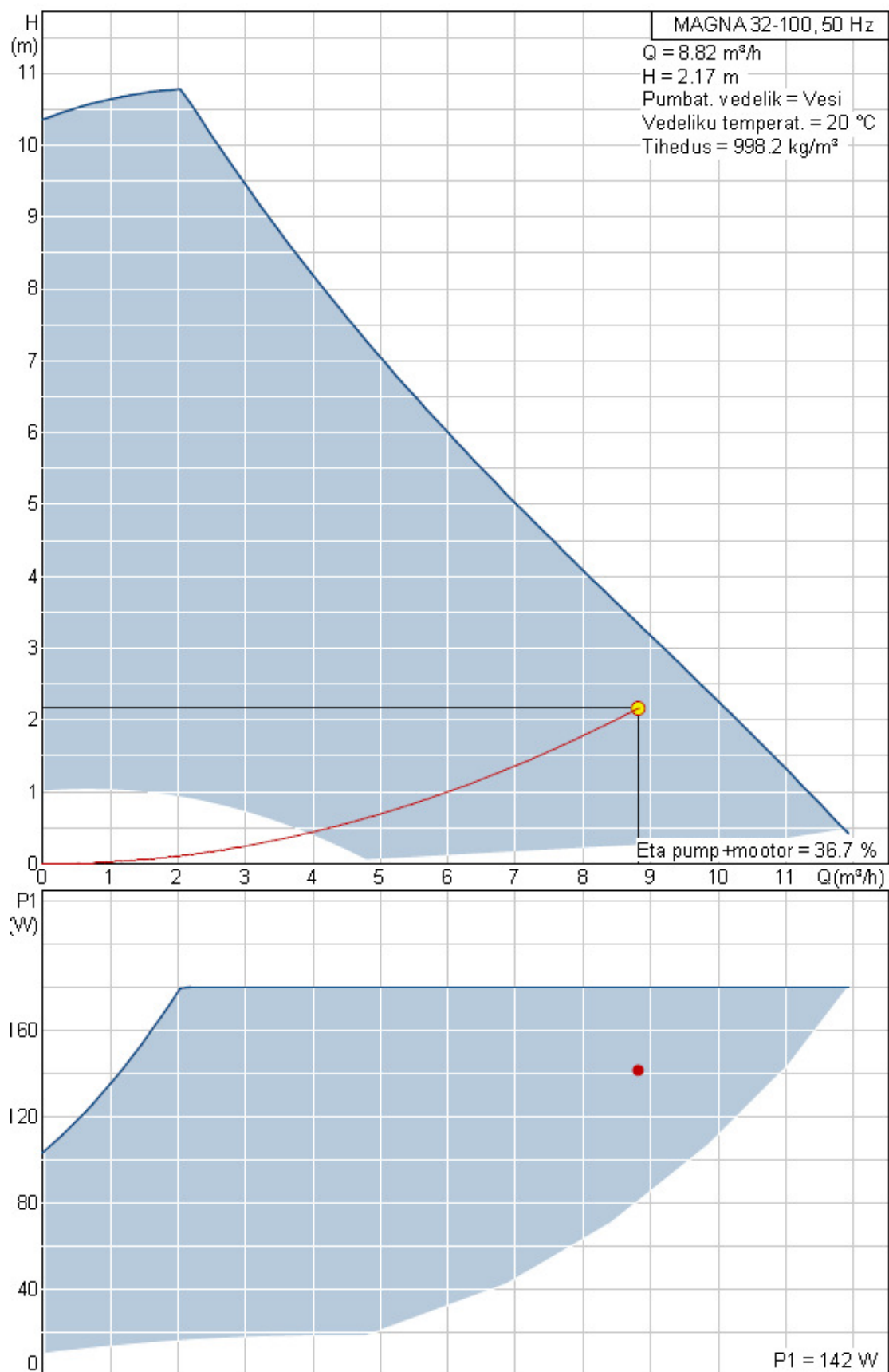


**Joonis A.3. Keldrikorruse valgustus [30]**

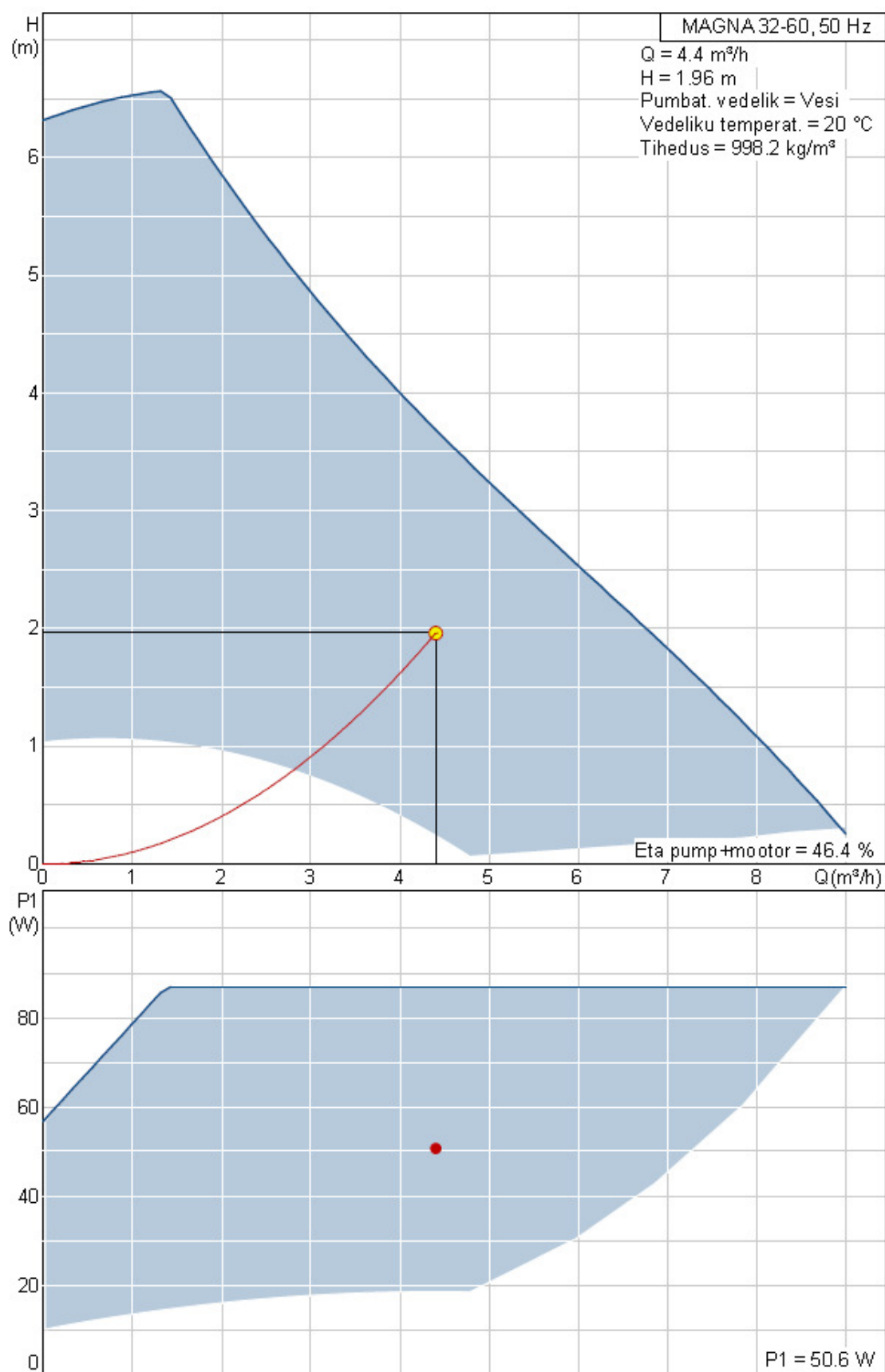
## Lisa B. Kütteeve süsteem

**Tabel B.1.** Kütteeve süsteemi arvutuslõigud

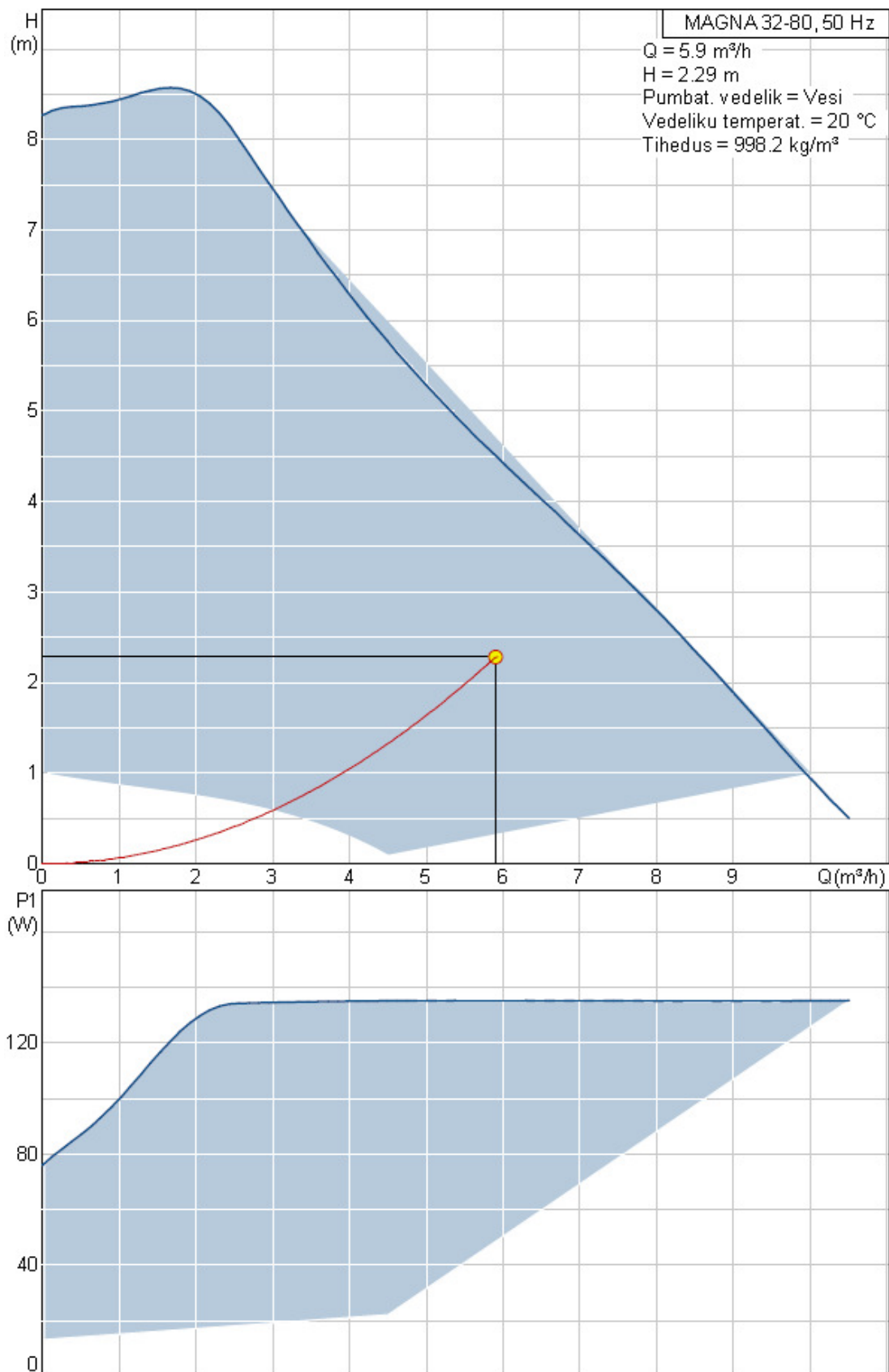
Arvutus- lõigu nr.	Soojus- koormus $N_S$ , kW	Vooluhulk $G_S$ , m <sup>3</sup> /h	Lõigu pikkus $l_s$ , m	Toru siseläbimõõt $d_S$ , mm		Voolamis- kiirus $v_s$ , m/s	Reynoldsi arv Re	Hõõrde- takistus- tegur $\lambda$	Hõõrde- rõhukadu $p_l$ , Pa	Koht- takistus- tegurite summa $\sum \zeta$	Rõhukadu koht- takistustes $\sum p_k$ , Pa	Kogu rõhukadu $p_r$ , Pa
				Arvutatud	Valitud							
Stend 1 tsirkulatsioonikontuur												
1	200	8,831	3,5	62,5	65	0,74	131642	0,025	363	46,2	12293	12655
2	200	4,398	13,2	44,1	65	0,37	56707	0,027	360	60,6	4014	4375
$\sum l_s$			16,7	$\sum(p_l + p_k)$								17030
Stend 2 tsirkulatsioonikontuur												
2'	100	2,199	11,8	31,2	65	0,18	28353	0,029	87	36	596	683
3	100	4,415	3,4	44,2	50	0,62	85567	0,027	352	62,7	11887	12239
4	100	2,199	6,7	31,2	50	0,31	36859	0,029	184	40,2	1901	2085
$\sum l_s$			21,9	$\sum(p_l + p_k)$								15007
Tarbimise tsirkulatsioon												
5	200	5,854	50	50,9	65	0,49	70779	0,026	2381	133,2	15678	18059
$\sum l_s$			50	$\sum(p_l + p_k)$								18059



**Joonis B.1.** Stendi 1 tsirkulatsioonipumba tunnusjooned ja tööpunkt [31]



**Joonis B.2.** Stendi 2 tsirkulatsioonipumba tunnusjooned ja tööpunkt [31]



**Joonis B.3.** Tarbimisringi tsirkulatsioonipumba tunnusjooned ja tööpunkt [31]

**Tabel B.2.** Küttevõe süsteemi materjalide spetsifikatsioon

Tähis	Nimetus	Kogus	Ühik	Märkus
1	2	3	4	5
SA1.0	Soojusarvesti PN25, $G_N = 6,0 \text{ m}^3/\text{h}$	1	tk	Siemens Ultraheat 2WR5-52
SA2.0	Soojusarvesti PN25, $G_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$	1	tk	Siemens Ultraheat 2WR5-39
SA0.1	Soojusarvesti PN25, $G_N = 6,0 \text{ m}^3/\text{h}$	1	tk	Siemens Ultraheat 2WR5-52
TV1.0	Kolmetee mootorventiil DN 65 koos täiturajamiga	1	tk	Belimo R750R
TV2.0	Kolmetee mootorventiil DN 50 koos täiturajamiga	1	tk	Belimo R550
P1.0	Tsirkulatsioonipump $G = 8,8 \text{ m}^3/\text{h}$ , $p = 22 \text{ dm}$	1	tk	Grundfos MAGNA 32-100
P2.0	Tsirkulatsioonipump $G = 4,4 \text{ m}^3/\text{h}$ , $p = 20 \text{ dm}$	1	tk	Grundfos MAGNA 32-60
P0.1	Tsirkulatsioonipump $G = 5,9 \text{ m}^3/\text{h}$ , $p = 23 \text{ dm}$	1	tk	Grundfos MAGNA 32-80
AP1	Akumulatsioonimahuti, $V = 2 \text{ m}^3$ , töö rõhk 2 bar	1	tk	Gebwell G-Energy 2000L
PP5	Paisupaak $V = 0,2 \text{ m}^3$ , $p_{\max} = 6 \text{ bar}$	1	tk	ZILMET 200L
1.1	Kaitseklapp DN 65, $p_{\text{rak}} = 3,5 \text{ bar}$	1	tk	-
1.2	Kaitseklapp DN 50, $p_{\text{rak}} = 3,5 \text{ bar}$	1	tk	-
1.3	Kaitseklapp DN 25, $p_{\text{rak}} = 4 \text{ bar}$	1	tk	-
2.1	Sulgventiil DN15	1	tk	-
2.2	Sulgventiil DN25	1	tk	-
2.3	Sulgventiil DN50	5	tk	-
2.4	Sulgventiil DN65	12	tk	-
3.1	Tagasivooluklapp DN15	1	tk	-
3.2	Tagasivooluklapp DN50	1	tk	-
3.3	Tagasivooluklapp DN65	1	tk	-
4.1	Sõelfilter DN50	1	tk	-
4.2	Sõelfilter DN65	2	tk	-
5.1	Automaatne õhueraldi	3	tk	-
6.1	Üleminek DN65-DN50	2	tk	-
6.2	Üleminek DN65-DN25	1	tk	-
6.3	Üleminek DN25-DN15	1	tk	-



**Tabel B.2. järg**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
PI	Manomeeter 0...4 bar	3	tk	-
PI±	Kontaktmanomeeter 0...10 bar	1	tk	-
TE	Termomeeter 0...120 °C	11	tk	-
-	Must veetoru DN15	4	m	-
-	Must veetoru DN25	4	m	-
-	Must veetoru DN50	11	m	-
-	Must veetoru DN65	27	m	-
-	Isolatsioon torule DN50 Ac23	10	m	-
-	Isolatsioon torule DN65 Ac23	20	m	-

**Joonis B.4.** Küttevee süsteemi põhimõtteskeem

## Lisa C. Õhu- ja gaasitrakt

**Tabel C.1.** Õhu- ja gaasitrakti materjalide spetsifikatsioon

Pos.	Nimetus	Kogus	Ühik	Märkus
1	Tõmberegulaator 10...35 Pa	1	tk	300 mm torule
2	Suitsutoru põlv, 300 mm, puhastusluugiga	1	tk	
3	Suitsutoru põlv 90°, 300 mm	2	tk	
4	Suitsutoru siiber 90°, 300 mm	3	tk	
5	Suitsutoru siiber, 250 mm	2	tk	
6	Suitsutoru kolmik 45°, 300 mm	3	tk	
7	Üleminek 300 - 250 mm			
8	Suitsugaaside termomeeter 0...500 °C,	3	tk	bi-metall, Ø 80, L= 300 mm
9	Läbiviigu kattekräe 300 mm	2	tk	
10	Suitsuventilaator $P = 0,37$ kW, $H = 500$ Pa, $G = 0,4$ m <sup>3</sup> /s	1	tk	
11	Painduv suitsutoru 300 mm	1,7	m	roostevabast metallist
12	Painduv suitsutoru 250 mm	1,7	m	roostevabast metallist
13	Suitsutoru 300 mm	11	m	
14	Suitsutoru 250 mm	4	m	

**Joonis C.1.** Gaasitrakti põhimõtteskeem

## Lisa D. Elektrivarustus ja automaatika

**Tabel D.1.** Tehnoloogiliste seadmete spetsifikatsioon

Pos.	Nimetus	Kogus	Ühik	Märkus
1	Labori jaotuskeskus KJK-1 (vt. Joonis D.1)	1	kompl.	
2	Sagedusmuundur 0,55 kW	1	tk	ABB
3	Programmeeritav kontrolleri Simatic S7-200, CPU 224XP	1	tk	Siemens
4	Laiendusmoodul S7-200 EM231, 8AI	3	tk	Siemens
5	Laiendusmoodul S7-200 EM232, 4AO	1	tk	Siemens
6	Laiendusmoodul CP 243-1, Ethernet	1	tk	Siemens
7	Operaatorpaneel TP 177micro	1	tk	Siemens
8	Kontrolleri programmeerimise tarkvara	1	tk	Siemens
9	Seirekeskuse OPC-server SINAUT MICRO SC	1	tk	Siemens
10	Visualiseerimise ja arhiveerimise tarkvara WinCC flexible	1	tk	Siemens
11	Temperatuuriandur pt100, -50...200 °C	10	tk	
12	Temperatuuriandur pt100, 0...400 °C	2	tk	
13	Mõõtemuundur: sisend pt100, väljund 0...10 V	12	tk	
14	Rõhuandur 0...4 bar	1	tk	
15	Rõhuandur 0...1000 Pa, 4...20 mA (kolde hõrendus)	1	tk	
16	Suitugaasianalüsaator (CO ja hapniku mõõtmine)	1	kompl.	SKIL Model 2950
17	Põrandakaal 0...500 kg, 4...20 mA	1	tk	
18	Segamissõlme elektriajam 24 V DC	2	tk	Belimo NR24A-SR
19	Väljatõmbeventilaator	1	tk	Ventur CTHB/4-250
20	Lüliti 10A, IP44	1	tk	
21	Pistikupesa , 3-faasi, PE-kontaktiga, 16A	3	tk	
22	Potentsiaaliühtlustus latt 40x4 mm, Cu	1	tk	

**Joonis D.1.** Jaotuskeskuse KJK-1 skeem leht 1

**Joonis D.1.** Jaotuskeskuse KJK-1 skeem leht 2

**Joonis D.2.** Tehnoloogiliste seadmete elektrivarustus



**Joonis D.3.** Potentsiaaliühtlustuse skeem

**Joonis D.4.** Juhtimis- ja mõõtesüsteemi funktsionaalskeem

**Tabel D.2.** Andurite ja mõõteseadmete signaalide koondtabel

Tähis	Nimetus	Ühik	Mõõtesuurus		PLC signaalid	
			min	max	DI	AI
EQ1	Keskuse elektrienergiaarvesti	kW·h	1		1	-
WT0.1	Kütusekulu kaalumine	kg	0	500	-	1
SA1.0	Stend 1 soojusenergiaarvesti	kW	0	200	-	1
TE1.1	Stend 1 tagasivoolu temperatuur	°C	-50	200	-	1
TE1.2	Stend 1 pealevoolu temperatuur	°C	-50	200	-	1
SA2.0	Stend 2 soojusenergiaarvesti	kW	0	100	-	1
TE2.1	Stend 2 tagasivoolu temperatuur	°C	-50	200	-	1
TE2.2	Stend 2 pealevoolu temperatuur	°C	-50	200	-	1
SA0.1	Tarbering soojusenergiaarvesti	kW	0	200	-	1
TE3.1	Akumulatsioonimahuti pealevoolu temperatuur (primaar)	°C	-50	200	-	1
TE3.2	Akumulatsioonimahuti tagasivoolu temperatuur (primaar)	°C	-50	200	-	1
TE3.3	Akumulatsioonimahuti temperatuur	°C	-50	200	-	1
TE3.4	Akumulatsioonimahuti tagasivoolu temperatuur (sekundaar)	°C	-50	200	-	1
TE3.5	Akumulatsioonimahuti pealevoolu temperatuur (sekundaar)	°C	-50	200	-	1
TE1	Välistemperatuur	°C	-50	200	-	1
PA1	Küttevee rõhk	bar	0	4	-	1
PA2	Gaasitrakti rõhendus	Pa	0	1000	-	1
TE1.3	Stend 1 suitsugaasi temperatuur	°C	0	400	-	1
TE2.3	Stend 2 suitsugaasi temperatuur	°C	0	400	-	1
SG-AN	Suitsugaasi hapniku sisaldus	%	0,1	25	-	1
SG-AN	Suitsugaasi CO sisaldus	ppm	0	100	-	1
					<b>1</b>	<b>20</b>

**Tabel D.3.** Täiturmehhanismide signaalide koondtabel

Tähis	Nimetus	PLC sisend- ja väljundsignaalid							Ühendusi kokku			
		K-0-A režiim	Juhtimine			Sagedusmuundur						
		DI	DO	AI	AO	DI	DO	AI	DI	DO	AI	AO
M1	Suitsuimeja	2	-	-	1	2	1	1	4	1	1	1
P1.0	Stend 1 pump	2	-	-	1	1	1	-	3	1	-	1
P2.0	Stend 2 pump	2	-	-	1	1	1	-	3	1	-	1
P0.1	Tarberingi pump	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
TV1.0	Stend 1 segamissõlmeajam	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	1
TV2.0	Stend 2 segamissõlmeajam	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	1
									11	3	3	5