



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Auvere elektrijaama katla hüdrokatsete rakendamine töökindluse parendamiseks

Improving Auvere Power Plant Reliability by Implementing Boiler Hydraulic Testing

MASINAEHITUS- JA ENERGIATEHNOLOOGIA PROTSESSIDE JUHTIMINE
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Aleksandr Jefremov

Üliõpilaskood: 207578EDJR

Juhendaja: Veronika Shirokova,
vanemlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS¹

Mina Aleksandr Jefremov (sünnikuupäev: 02.08.1979)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Auvere elektrijaama katla hüdrokatsete rakendamise töökindluse parendamiseks, mille juhendaja on Veroonika Shirokova,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹ *Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautori(d) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KATLA AURUVEETRAKTI JA KÜTTEPINDADE KIRJELDUS.....	7
1.1 Katla üldine kirjeldus	7
1.2 Katla auruveetrakti kirjeldus.....	9
1.3 Katla küttepindade kirjeldus	11
2. KATLA TÖÖKINDLUST MÄÄRAVAD TEGEURID	13
2.1 Katla defektide mõju energiaploki töökindlusele	13
2.2 Katla defektide liigid ja nende põhjused	14
3. KATLA HÜDROKATSETE RAKENDAMINE TÖÖKINDLUSE PARENDAMISEKS	17
3.1 Katla survekatsete nõuded	17
3.2 Katla hüdrauliliste katsete skeem	17
3.3 Katla hüdrauliliste katsete võimaluste võrdlus ja valik.....	19
KOKKUVÕTE	24
SUMMARY.....	25
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	26
LISAD	28
LISA 1 AUVERE KATLA LÕIGE.....	29
LISA 2 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU ISOMEETRILINE VAADE.....	30
LISA 3 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU SKEEM – SULGEMISKLAPP PAREMAL JA VASAKUL POOLEL	31
LISA 4 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU ISOMEETRILINE VAADE.....	32
LISA 5 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU SKEEM – SULGEMISKLAPP ÜHISEL TORUSTIKUL.....	33
LISA 6 TURBIINI KÕRGRÕHU KAITSEKLAPI JOONIS.....	34
LISA 7 TURBIINI KESKRÕHU KAITSEKLAPI JOONIS	35

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

LTS	madaltemperatuuriline kõrgrõhu ülekuumendi - Low Temperature Superheater
LTR	madaltemperatuuriline madalrõhu ülekuumendi - Low Temperature Reheater
ITS	vaheülekuumendi - Intermediate Temperature Superheater
HTS	kõrgetemperatuuriline kõrgrõhu ülekuumendi - High Temperature Superheater
BMCR	Katla maksimaalne võimsus - Boiler Maximum Continuous Rating

SISSEJUHATUS

Lõputöö teema valiku põhjuseks on Auvere elektrijaama töökindluse tähtsus Eestis elektrienergia varustuse tagamisel. Viimased kolm aastat on vaatamata taastuvenergiaallikate tootmise osa suurendamisele näidanud elektrituru hinnakõikumisi, mille tulemusel püstitati 5. jaanuaril 2024. aastal Eesti päeva keskmise elektrihinna rekord 890,54 eurot/MWh. Stabiilse ja mõistliku elektrihinna säilitamisel on juhitavatel võimsustel oluline roll. Kõige võimsamaks juhitava elektri genereerimise üksuseks Eestis on Auvere elektrijaam, mis suudab katta kuni 25% Eesti sisetarbimisest.

Auvere elektrijaama töökindlus ei ole viimastel aastatel vastanud ootustele. Käesoleva lõputöö eesmärgiks on leida lahendus elektrijaama töökindluse parendamiseks.

Auvere elektrijaama töökindluse määravaks kõige kriitilisemaks komponendiks on katel, kuna see töötab seadmete materjalide piirilähedastel parameetritel kõrge temperatuuri, rõhu ja põlevkivi tuha katla torudele mehaanilise mõju poole pealt ning seega kaasneb materjalide loomulik kulumine. Seetõttu uurib autor töös katla töökindluse parendamise meetmeid, millest üheks on küttepindade defektide varasem tuvastamine ning nende kõrvaldamine ja energiaploki avariiseisumiste ennetamine. Katla torude lekked on kõige levinum defekt, mis põhjustab katla ja seega ka energiaploki seiskumist. Auvere katla lekete tõttu ulatub avariide protsent kuni 60-73 % kogu avariijuhtumitest. Katla torude hüdraulilised survekatsed aitavad tuvastada defekte ja lekkeid varases staadiumis enne, kui leke pärast katla käivitamist areneb ning põhjustab katla avariiseisumist.

Seni on Auvere katla survekatseid tehtud vaid korra, katla paigaldamise kohustusliku kontrolli raames, ja pärast seda neid ei ole korratud, kuna puudub valmis tehniline lahendus nende läbiviimiseks. Selle töö eesmärgiks on läbi viia katla lekkeanalüüs, uurida auruvee trakti ning välja töötada katla hüdraulilise katsetamise skeem, mis võiks aidata parandada töökindlust.

Esimeses peatükis kirjeldab autor Auvere katla ja selle auruveetorustiku tööd, rõhutades nende olulisust töökindluse seisukohast. Teises peatükis analüüsib autor energiaploki töökindlusele mõjuvaid katla rikkeid ja nende põhjuseid. Kolmandas peatükis pakub autor välja mitmeid katla hüdrauliliste katsete tegemise skeeme töökindluse parandamiseks ning võrdleb neid, et leida kõige sobilikum variant.

Töös kasutatakse Auvere elektrijaama töö statistilisi andmeid, elektrijaama tehnilist dokumentatsiooni ja muid kättesaadavaid materjale.

Võtmesõnad: Auvere elektrijaama katel, töökindlus, lekked, survekatsed, bakalaureusetöö.

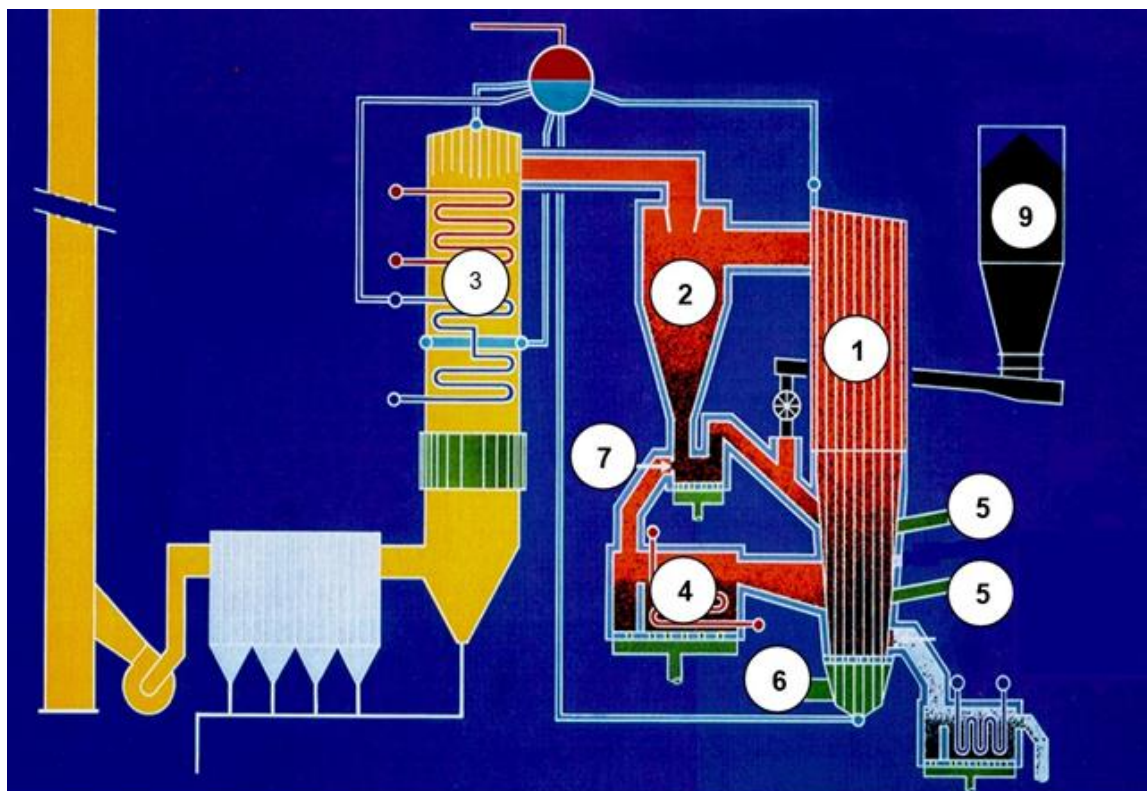
1. KATLA AURUVEE TRAKTI JA KÜTTEPINDADE KIRJELDUS

1.1 Katla üldine kirjeldus

Katla töökindlus sõltub suurel määral auruveetrakti töökindlusest kuna küttepindade lekked, mis põhjustavad katla seiskumist, tekivad auruveetorudel. Auruveetrakti tehniliste protsesside paremaks mõistmiseks on vajalik üldiselt kirjeldada katla seadmeid, millest peamiselt koosneb katel.

Auvere katla tööks kasutatakse kolme tüüpi kütust: põlevkivi, biomass (kuni 40%) ja uttegaas (kuni 35%).

Katla seadmete põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 1.1 ning katla lõige on toodud Lisas 1. [2]



Joonis 1.1 Katla seadmete skeem: 1 – kolle, 2 – tsüklon, 3 – gaasikäik, 4 – välissoojusvaheti, 5 – sekundaarrõhu etteanne, 6 – primaarrõhu etteanne, 7 – koonusklapp, 8 – kütuse punker [1]

Tsirkuleeriva keevkihi katla (CFB) põhikomponendiks on kolle (vt joonis 1.1). Kütuse põletamine ja põlemisjääkide desulfuriseerimine toimub suure hulga intensiivselt segunevate peente tuhaosakeste massis, mida nimetatakse "kihiks", suhteliselt madala temperatuuri juures (umbes 825 °C). Need osakesed hoitakse antava õhu tõttu hõljumas kihis, mis siseneb põlemiskambri alumisse ossa. Suurte koormuste korral (>

50% maksimaalselt lubatud katla pidevast koormusest) täidab kiht täielikult põlemiskambri mahutavuse. Kihi tihedus, mis on põhjas kõrge, väheneb kiiresti kõrguse suurenemisega.

Pärast kollet suunatakse suitsugaasid koos tsirkuleeriva materjaliga kõrge efektiivsusega tsüklonitesse, kus toimub tahkete osakeste eraldamine suitsugaasivoogust. Kuumad tahked osakesed sadestuvad tsüklonseparatsioonide alumises osas ja suunatakse tuhaalusesse (sealpot), mis on varustatud hõljumissüsteemiga. Tuhaalusest läbi tagasivoolutorude suunatakse materjal tagasi katla koldesse, lõpetades seeläbi tsirkulatsioonitsükli. See selgitab ka nimetuse - tsirkuleeriva keevkihi.

Pärast tsüklonites puhastamist suunatakse suitsugaasid allaskegasikäigusse, kus paiknevad konvektsioonilised aurülekuumendid ja veeökonomaiseri soojusvahetid. Seejärel, läbides toruõhuelsoojendi, elektri- ja kottfiltrit, eemaldatakse suitsugaasid korstna kaudu.

Optimaalse hõljumise korral katla tsirkuleeriva keevkihiga kolle moodustab "superreaktori" (keemilise-tehnoloogiliste protsesside mõistes). See režiim iseloomustab kõrget materjali liikumise ja segunemise astet, kõrget tahkete osakeste tsirkulatsioonikiirust nii kambri sees kui ka välises tsirkulatsiooniringis ning kütuse pikaajalist viibimist reaktsioonitsoonis. Seeläbi tagatakse vajalik soojusülekanne ja keemiliste protsesside toimumine, mis omakorda võimaldab efektiivset põletamist CFB katelde puhul madala kvaliteediga kütustel ja vajaliku põlemisjääkide desulfuriseerimist. Lisaks võimaldavad madal kihi temperatuur ja astmeline õhuvoolu juurdeoolu põletustsoonis vähendada NO_x heitkoguseid.

Madal töötemperatuur ja põlemistuuma puudumine ennetavad tuha ummistumist ja tuhastumist katla koldes ja gaasikäikudes.

Katla kolde materjali kihi temperatuuri reguleerimine võimaldab optimeerida põlemisrežiimi ja kütuse efektiivset kasutamist laias koormusgraafikus.

Vajalike aurutemperatuuride tagamiseks enne turbiini (vt tabel 1.1) on katel varustatud keevkihiga välissoojusvahetitega, mis on ühendatud paralleelselt. Sissevoolava soojuskandja koguse reguleerimine toimub automaatrežiimis koonusklappide abil, tagades seeläbi koldes ja vaheülekuumendis aurutemperatuuride täpse reguleerimise.

[1]

Energiaploki käiduks kasutatakse DCS ALSPA juhtimissüsteem.

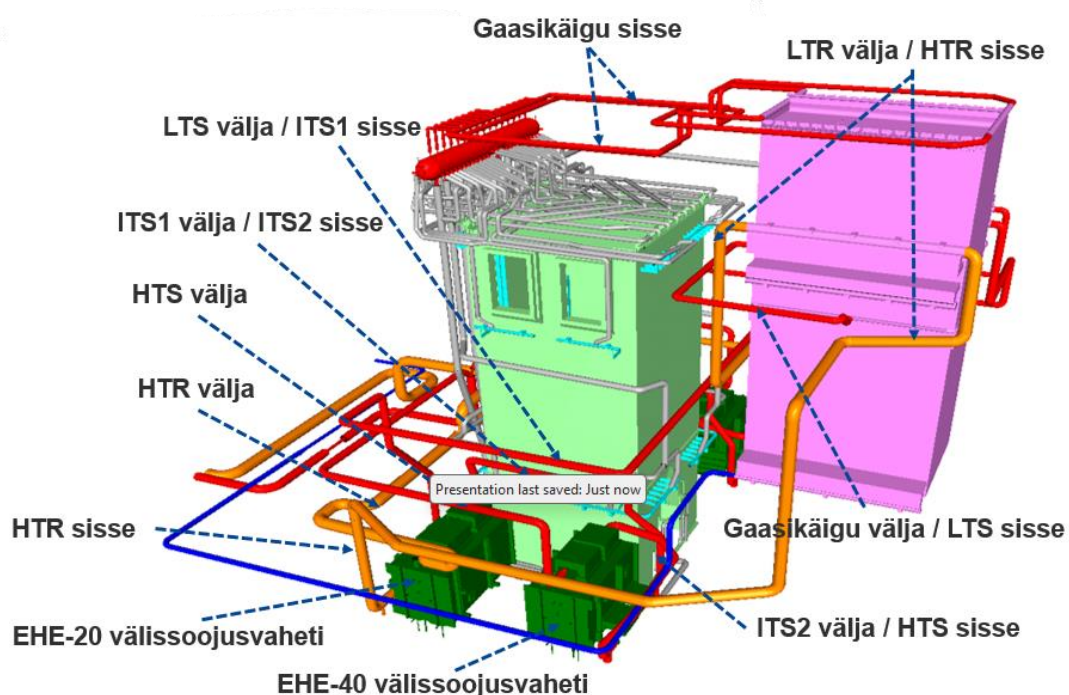
Tabel 1.1 Katla auru parameetrid täiskoormusel (BMCR) [1]

Auru koht	Rõhk, MPa	Temperatuur, °C
LTS sisse	18,76	362
LTS välja	18,76	396
ITS1 sisse	18,76	395
ITS1 välja	18,76	449
ITS2 sisse	18,76	441
ITS2 välja	18,76	490
HTS sisse	18,76	456
HTS välja	17,80	543
Katlast välja	17,2	540
LTR sisse	4,46	341
LTR välja	4,46	449
HTR välja	4,31	568

1.2 Katla auruveetrakti kirjeldus

Katla auruveetraktis toimub auru tootmine, mis suunatakse seejärel turbiinis asuvatele pöörlevate rootori labade, et muundada mehaaniline energia elektrienergiaks generaatoris.

Katla auruveetrakt koosneb kõrg- ja madalrõhu osast (vt joonis 1.2).



Joonis 1.2 Katla auruveetrakti skeem. [3]

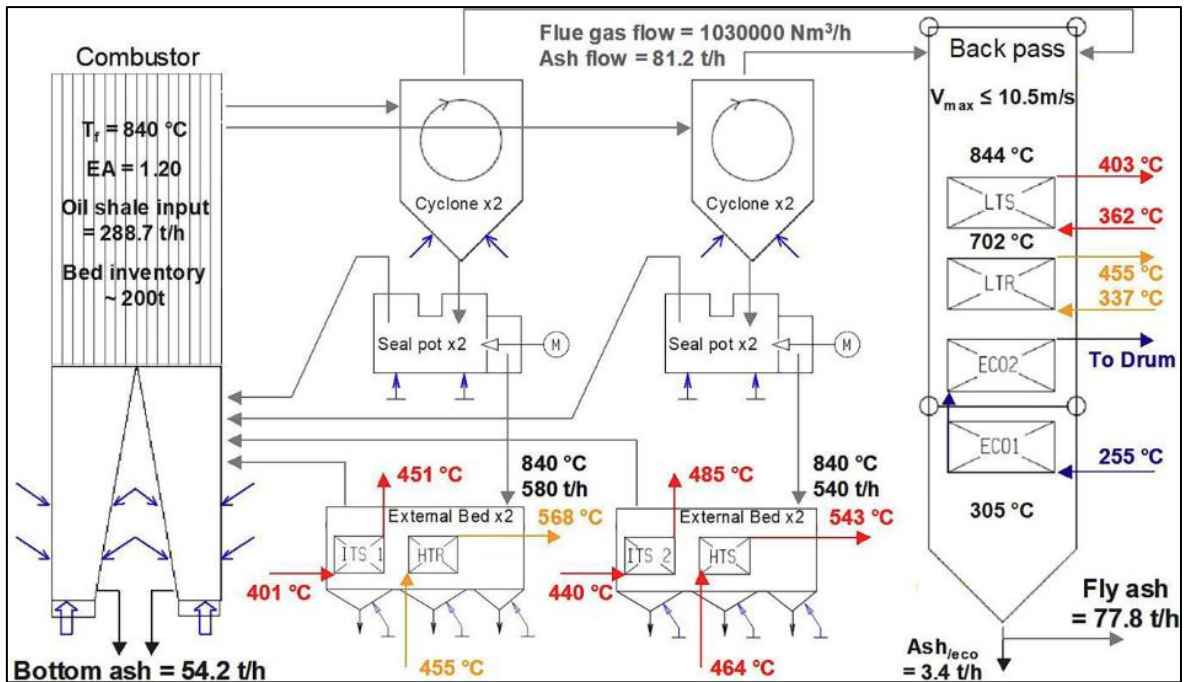
Kõrgrõhu auruveetrakti kuuluvad:

1. allalaskuva gaasikäigus asuv ökonomaiser;
2. kolle ekraanpaneelid (kolle sein ja laepaneelid);
3. trummel;
4. auruülekuumendid:
 - allalaskuva gaasikäigu ekraantorud;
 - ekraantorude väljundkollektoris aur jaotatakse kaheks vooluks. Iga voolu kuuluvad:
 - madaltemperatuuriline kõrgrõhu ülekuumendi LTS (Low Temperature Superheater), mis asub gaasikäigu ülemises osas;
 - kaks vaheülekuumendit ITS1 ja ITS2 (Intermediate Temperature Superheater);
 - ITS1 asub välissoojusvahetites EHE-10 ja EHE-20;
 - ITS2 asub välissoojusvahetites EHE-30 ja EHE-40;
 - kõrgtemperatuuriline kõrgrõhu ülekuumendi HTS (High Temperature Superheater) välissoojusvahetites EHE-30 ja EHE-40.

Madalrõhu auruveetrakti kuulub:

- madaltemperatuuriline vaheülekuumendi LTR (Low Temperature Reheater), mis asub gaasikäigu ülemises osas LTS ja ökonomaiser vahel;
- kaks kõrgtemperatuurilist madalrõhu auruülekuumendit HTR (High Temperature Reheater), mis asuvad välissoojusvahetites EHE-10 ja EHE-20. [1]

Auru soojusvahetite ja ülekuumendite kontseptsioon on esitatud joonisel 1.3.



Joonis 1.3 Auvere katla auru soojusvahetite ja ülekuumendite kontseptsioon. [2]

Kuna katla torudes tekib kõrge rõhk, eksisteerib katla plahvatuse oht. Avariilukorra ennetamiseks on kõrgrõhu auruveetraktil paigaldatud neli vedru tüüpi ohutusklappi. Kolm ohutusklappi asuvad katla trumliil ja üks ohutusklapp asub terava auru väljundtorul pärast auruvoolude ühendamist HTS ülekuumendi väljundis.

Madalrõhu auruveetraktis on paigaldatud neli vedru tüüpi ohutusklappi - üks iga voolu ees LTR auruülekuumendi ees ning kaks ühise auruliini peal pärast auruvoolude ühinemist pärast HTR auruülekuumendi.

1.3 Katla küttepindade kirjeldus

Küttepindade võimalike defektide paremaks mõistmiseks on vajalik neid üle vaadata. Katla küttepinnad koosnevad erineva diameetriga torudest, kus toimub auru tootmisprotsess ning toitevesi muundub ülekuumenenud auruks. Auru liikumine torudes toimub tekitatud rõhu all. Toitevee rõhk tekib esialgu toitepumpades ning seejärel tõstetakse rõhku kõrge temperatuuri abil.

Küttepindade torude andmed, sh pikkus on esitatud tabelis 1.2.

Tabel 1.2 Projekti katla küttepindade torude arvutuslikud andmed. [4]

Soojusvaheti	Rõhk torudes, MPa	Toitevee või auru temperatuur, °C	Toru materjal, diameeter ja seinapaksus, mm	Torude pikkus, jm
Ökonomaiser	20,0	255	48,3x5,08 SA-210M C	120 000
Kolle	20,3	378	57,15x5,59 SA-210M C 57,15x7,11 SA-210M C 63,5x6,60 SA-210M C 76,2x7,11 SA-210M C	23 832 1 456 3 945 7 378
Allalaskuv gaasikäik				
LTS	19,3	362<t<403	48,3x6,10 SA-213M T22	16 380
ITS1	19,11	401<t<451	50,8x7,62 SA-213M T22	5 340
ITS2	19,15	440<t<485	50,8x6,10 SA-213M T22	5 340
HTS	18,9	464<t<543	50,8x5,08 SA-213M TP 347HFG	10 350
LTR	7,11	337<t<455	63,5x4,19 SA-210M	21 840
HTR	4,9	455<t<568	63,5x7,11 SA-213M TP 321H	12 750
Kokku				228 611

2. KATLA TÖÖKINDLUST MÄÄRAVAD TEGEURID

2.1 Katla defektide mõju energiaploki töökindlusele

Energiaploki töökindlus määratakse ploki tegelikult töötatud tundide arvuna suhtena arvutuslikult planeeritud töötundidega. Tegelike töötundide hulka arvatakse aeg, mil plokk oli elektrivõrku ühendatud. Küsimusele, kui palju erineb tegelike töötundide arv arvutuslikult planeeritud töötundidest, võib vastata, et planeeritud töötundidest arvutatakse maha mitteplaanilise hoolduse ja remondi aeg, mil energiaplokk ei ole võrguga ühendatud rikete tõttu. Mitteplaanilise hoolduse ja remondi aega nimetatakse avariiliseks ning avariilisus mõõdetakse protsentides.

Enefit Power AS-is Auvere elektrijaama töökindluse määramiseks kasutatakse mõisted:

- Töökindlus kalendriajast
- Töökindlus kasutusajast, kus kalendriajast on maha lahutatud plaanilise remondi aeg
- Seadme plaanilise remondi kestus – jooksva või kapitaalremondi, moderniseerimise aeg
- Mitteplaanilise remondi kestus, kus toimub põhiseadmete rikke kõrvaldamine (katel, turbiin, generaator või ploki trafo). [5]

Vastavalt Enefit Power-is kehtivale valemile arvutatakse Auvere elektrijaama energiaploki töökindlus ja avariilisus järgmiselt:

Töökindlus kasutusajast (%) = 100 (%) – Avariilisus kasutusajast (%)

$$\text{Avariilisus (\%)} = \frac{\text{katla mitteplaanilise remondi kestus (h)} + \text{turbiini mitteplaanilise remondi kestus (h)} - P \text{ (h)}}{\text{kogu perioodi kestus (h)} - \text{kogu plaaniline remondi kestus (h)}}$$

kus

P on paranduse aeg, kus turbiin ja katel on samaaegselt mitteplaanilises remondis. Ei rakendu kui samaaegselt on remondis vaid katel. [5]

Auvere elektrijaama töökindlus on pälvinud suurt tähelepanu avalikkuse hulgas eriti elektrihindade kõrgema perioodi ajal. Aastatel 2021 ja 2022 oli Auvere elektrijaama avariilisus umbes 23%. [6]

2021 – 2023 a. Auvere energiaploki avariilisusest moodustasid katla lekked keskmiselt 64% ehk üle poole kogu avariilisusest moodustavad katla lekked. Katla lekkete avariilisuse osakaal on esitatud Tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Katla lekkete avariilisuse osakaal. [7]

Aasta	Katla lekkete avariilisuse osakaal, %
2021	58
2022	73
2023	62

2.2 Katla defektide liigid ja nende põhjused

Katla defektide liigid võib jagada kaheks kategooriaks:

- Põhiseadmete defektid
- Abiseadmete defektid

Katla põhiseadmeteks kuuluvad kõik küttepinnad, kus toimub aurutootmine. Kuna Auvere katlas toimuvad erinevate kütuste põletamise oksüdatsiooniprotsessid, tekivad suitsugaasides kütuse lagunemisjääd, näiteks kloor, mis võib põhjustada torude korrosiooni ning selle tulemusena kahjustusi ja lekkeid. CFB katelde torude korrosioon on levinud probleem. Korrosiooniprobleemid võivad suurened, kaustades erinevate kütuste kasutamisel ja viia kloori sisalduse suurenemiseni.

Kloori korrosiooniprotsess toimub põlemiskambris vastavalt mitmeastmelisele aktiivsele oksüdatsioonimehhanismile, mis on kõrgetemperatuurilise korrosiooni kõige aktsepteeritavam mudel. Temperatuuril <math><600\text{ }^\circ\text{C}</math> ja oksüdeeruvates tingimustes oksüdeeritakse HCl setete/gaasi liidesel ning Cl vabaneb vastavalt Deaconi reaktsioonile. Vabanenud Cl difundeerub pooride ja pragude kaudu oksiidikihti metalli liidesesse, kus osaline hapnikurõhk on madal, ning moodustab Fe või Cr'iga metallkloriide. Metallkloriidide aururõhku mõjutab gaasi HCl sisaldus, temperatuur ja oksiidikihi tüüp, mis on tekkinud terase pinnal. Kloori olemasolu tuha setetes soodustab leelismetallide ühendite liikuvust, mis võivad moodustada anorgaanilisi segusid räniga ja vähendada nende voolamistemperatuure ligikaudu $1700\text{ }^\circ\text{C}$ -lt (ränidioksiidi sulamistemperatuur) umbes $750\text{ }^\circ\text{C}$ -ni. [8]

Biomassi ja retortgaasi kaasaskasutamine põlevkivi põletamisel elektrijaamades on täiendav protsessivõimalus, mis suurendab kütuse paindlikkust, kuid samal ajal suurendab ka opereerimise riske, eriti tuha ummistumist ja korrosiooni.

Põlevkivi tsirkuleeriva kihis põlemise käigus võivad küttepinnale otse tekkida korrosiooniaktiivsed kloriidid, kus teatud mineraalid ühinevad otse põlevkivi põlemisel tekkiva vesinikkloriidiga. Siiski, kuna põlemisgaasis on vääveldioksiidi sisaldus äärmiselt madal, puudub kloori intensiivne väljutamine, mis võib põhjustada kloori kontsentratsiooni suurenemise ladestustes ning seeläbi ladestuse korrosioonitegevuse suurenemise.

Põlevkivis on umbes 0,23% kloori, Võrreldes teiste tahkete kütustega, on põlevkivil üks eripära - kõrge kloorisisaldus orgaanilises osas (0,75%). Teisisõnu, enamik põlevkivi kloorist on orgaaniline, See omadus mõjutab oluliselt ladestuste koostist ja korrosioonitegevust küttepinnal, Põlevkivitolmu kloor pärineb peamiselt kaaliumkloriidist, samas kui lendtuha kaltsiumkloriidi sisaldus on madal.

Orgaanilise aine kõrge kloorisisaldus koos suure naatriumi ja kaaliumi sisaldusega liivsavise osa tõttu viib KCl moodustumiseni ladestustes. Kõrgel temperatuuril aurustub KCl suitsugaasis ja kondenseerub seejärel küttepindadele, moodustades torudel klooririkka aluskihi, mis põhjustab kõrgetemperatuurilist korrosiooni. Selle probleemi vältimiseks asuvad lõplik kõrgrõhu ülekuumendi ja vaheülekuumendi välissoojusvahetises, mis väldib igasugust kokkupuudet agressiivse suitsugaasiga. [3]

Katla küttepindade erosioon on teine probleem, mis põhjustab torude kulumist. Erosioon tekib suitsugaaside põlevkivituhas leiduvate tahkete osakeste mehaanilise kokkupuute tagajärjel torudega.

LTR-s on alates Auvere katla käivitamisest 2015. aastal ja esimestel opereerimise aastatel mitmeid torulekkeid, mis oli põhjustatud erosioonist-korrosioonist. Allaskvas gaasikäigus põhjustab erosiooni pneumaatiliste puhurite mõju. Puhuritel on tugev mõju korrosioonile, kuna puhastusõhujuga põhjustab paratamatult oksiidikihi, mis katab ja kaitseb alusmaterjali, kuid vähendab difusiooniresistentsi ning suurendab järsult korrosioonikiirust. [3]

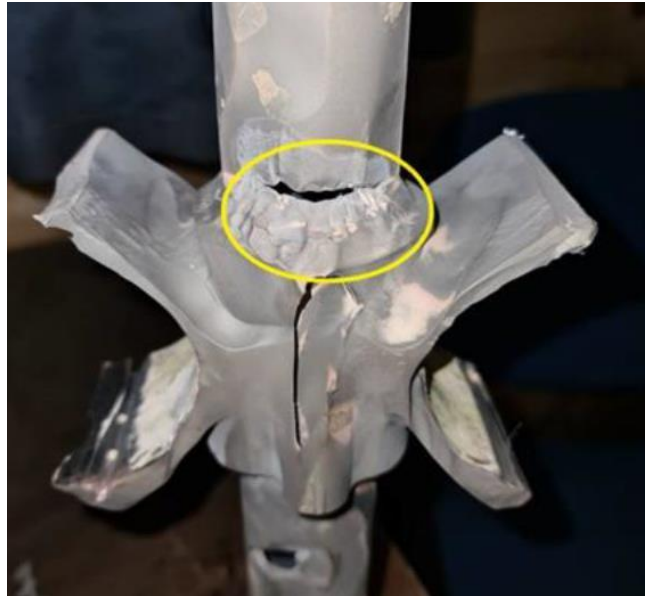
Kolmas probleem seisneb küttepindade torude termilises laienemises välissoojusvahetites, kus toimub auru ülekuumenemine enne selle suunamist turbiini labadesse. Katla ringluses olev tuhk satub välissoojusvahetitesse ja tõstab temperatuuri kuni 880 °C-ni. Alates elektriijaama kasutamise algusest on katla välissoojusvahetites lekkete tekitamine olnud peamine põhjus ootustele mittevastavale töökindlusele. Lekkete tekitamise juurpõhjuste uurimisega tegeles elektriijaama ehitaja General Electric, kes tegi ka torude kinnitamise moderniseerimise, kuid see ei toonud oodatud tulemusi.

Horizontaalsed torud välissoojusvahetites on kinnitatud klambritega ripustustorudele, mille kinnitus toimub keevitamise teel. Kõrge temperatuuri tõttu keevisliideses tekib pinget, mis võib põhjustada torude pragusid ning seejärel kahjustusi ja lekkeid. Lekkekohas tekkinud aurujuga koos tuha mehaanilise mõjuga hakkab kõrge rõhu all lõikama naabertorusid, kiirendades auru lekke protsessi ja lõpuks põhjustades katla avariiseiskumise.

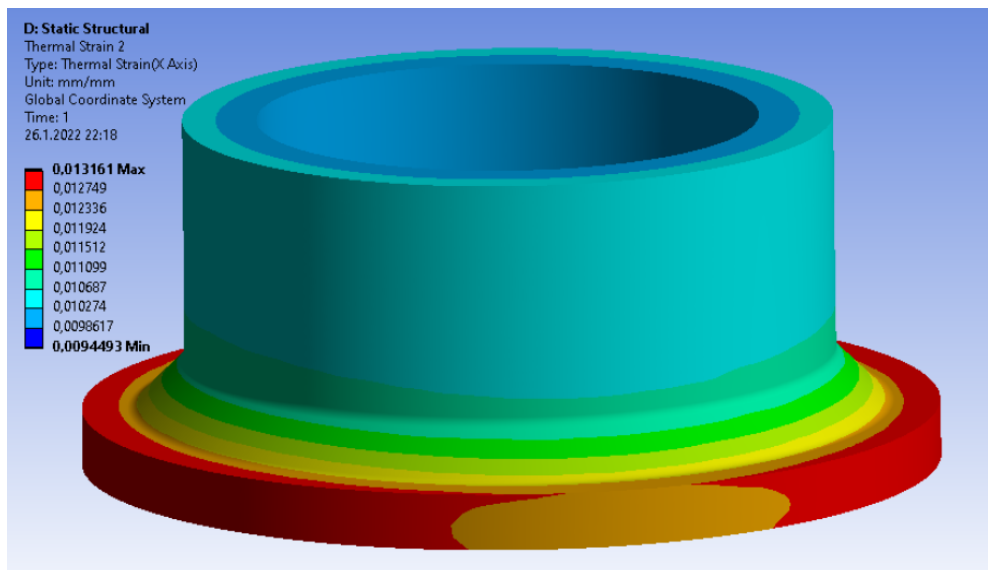
2022. aastal tegi Sumitomo SHI FW Enefit Poweri tellimusel katla välissoojusvahetites tekkinud lekkete juurpõhjuste analüüsi, mis kinnitas, et lekkete tõenäoliseks põhjuseks

võivad olla riputustorude klambrite termiliste pingete tekitamine keevituskohas.

Termilise pinge põhjusel tekkinud toru klambri pragu ja lekke koht on esitatud joonisel 2.1. Klambri termilise laienemise modelleerimine on kujutatud joonisel 2.2.



Joonis 2.1 Katla välissoojusvaheti riputustoru klambri pragu ja lekke koht. [9]



Joonis 2.2 Katla välissoojusvaheti riputustoru klambri termilise laienemise modelleerimine. [9] Välissoojusvahetite küttepindade torude lekkete juurpõhjuste analüüsi tulemusel otsustas Enefit Power lekkete ennetamiseks moderniseerida soojusvaheti torusüsteemi. 2022-2023 aastatel tehtud moderniseerimise eesmärk oli asendada torude riputussüsteem tugisüsteemiga, mis ei kasuta riputustorusid. Uus soojusvaheti torusüsteem aitab vältida riputustorude kasutamist, mis omakorda vähendab lekkete tekke tõenäosust.

3. KATLA HÜDROKATSETE RAKENDAMINE TÖÖKINDLUSE PARENDAMISEKS

3.1 Katla survekatsete nõuded

Surveseadmete, sh katla survekatsete tegemine on reguleeritud Euroopa Liidu direktiiviga 2014/68/EU, 15.05.2014. Vastavalt direktiivi p. 3.2.2. surveseadmete lõpphindamine peab hõlmama survekindluse aspekti katsetamist, mis toimub üldjuhul hüdrostaatilise katse kujul rõhu juures, mis on vähemalt võrdne punktis 7.4 sätestatud väärtusega, kui see on asjakohane.

Punkt 7.4 kohaselt surveanumate puhul peab osutatud hüdrostaatilise katse rõhk olema vähemalt üks järgmistest:

- rõhk, mis vastab maksimaalsele koormusele, millega surveseadme praktikas kokku puutuda võib, võttes arvesse selle maksimaalset lubatud rõhku ja maksimaalset lubatud temperatuuri, korrutatuna teguriga 1,25
- maksimaalne lubatud rõhk korrutatuna teguriga 1,43 vastavalt sellele, kumb väärtus on suurem [10]

Eestis kehtiva Seadme ohutuse seaduse ja „Auditi kohustusega seadmed ja nõuded auditile ning auditi tulemuste esitamisele“ majandus- ja taristuministri määruse nr 95 16.07.2015 § 6 lg 1 p 1 kohaselt klassifitseeritakse Auvere katel auditi kohustusega surveseadmena. [11]

Auvere katla survekatsete tehti enne katla kasutusele võtmist ehitusetapis. Vastavalt määruse nr 95 § 12 aurukatla korraline audit koos survekatsega tuleb teha iga üle 8 aasta.

Auvere katla hüdrauliliste katsete tegemiseks on vaja tõsta kasutatava toitevee rõhku, mis peaks olema lähedane katla töö rõhule. Seadusandlusele vastav katsete rõhk peab olema 25% võrra suurem kui töö rõhk.

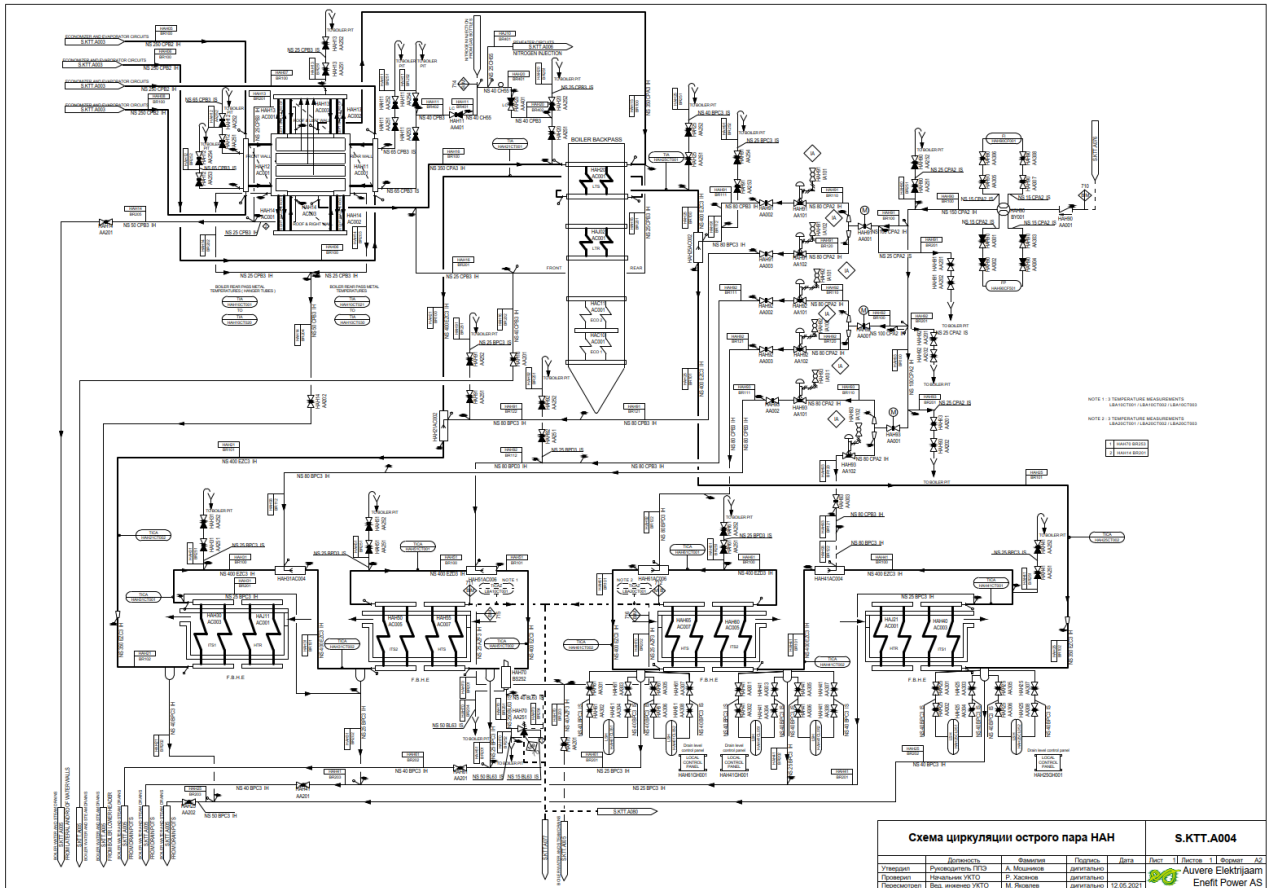
Selle töö eesmärk ei ole pakkuda seadusandlusele vastavate survekatsete tegemist vaid ettevõtte siseste hüdrauliliste katsete tehnilise võimaluse läbiviimist katla küttepindade torude defektide tuvastamiseks varases faasis.

3.2 Katla hüdrauliliste katsete skeem

Hüdrauliliste katsete tegemiseks oleks vaja tõsta katlavee rõhk katla töö rõhuni. Katla auruveetrakt koosneb kõrg- ja madalrõhu osast. Hüdraulilistele katsete tegemiseks oleks vaja katlavee rõhu tõsta katla töö rõhuni, mis on kõrgrõhu puhul 18,76 MPa ja madalrõhu puhul 4,46 MPa. Kõrgrõhu osas on võimalik katlavee rõhku tõsta kuni 19

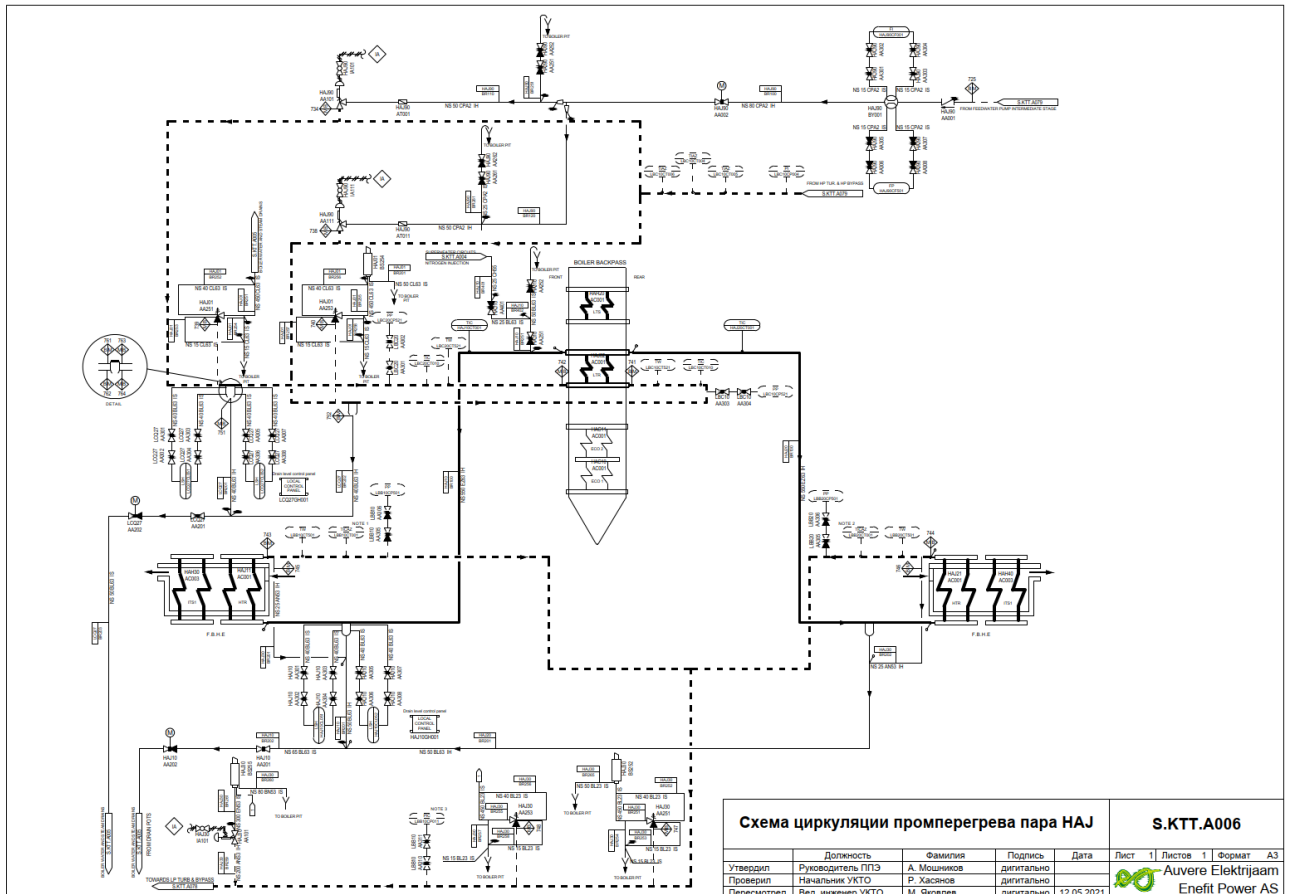
MPa toiteveepumpadega, mis paiknevad turbiini osakonnas ning seejärel suunatakse toitevesi katlasse. Auruveetraktis on vee rõhu hoidmiseks vajalik isoleerimine. Erinevalt teistest Eesti elektrijaama plokkidest puudub Auveres peamine auruklapp, mistõttu hüdrokatsete tegemine on raskendatud ja Auvere jaamas pole neid kunagi varem tehtud.

Kõrgrõhu aurutsirkulatsiooni skeem on kujutatud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Kõrgrõhu aurutsirkulatsiooni skeem. [12]

Madalrõhu aurutsirkulatsiooni skeem on kujutatud joonisel 3.2.



Joonis 3.2 Madalrõhu aurutsirkulatsiooni skeem. [13]

3.3 Katla hüdrauliliste katsete võimaluste võrdlus ja valik

Hüdrauliliste katsete tegemiseks on vaja tõsta rõhku ja katsetatav osa isoleerida. Isoleerimiseks kasutatakse sulgarmatuuri (siiber või klapp), mis peatab voolu ja tekitab suletud kontuuri, milles suurendatakse rõhku. Auvere ploki olemasoleva aurutorustiku kriitiliseks probleemiks on nii kõrg- kui ka madalrõhu liinil sulgemisklapi puudumine, mis tähendab, et tehniliselt pole võimalik turbiini hüdrokatsetes kõrge rõhu all kasutatavat vett isoleerida. Kui kontuur ei ole isoleeritud siis ei ole võimalik rõhku tõsta.

Probleemi lahendamiseks pakub töö autor välja kaks varianti, käsitleb mõlema variandi eelseid ja miinuseid ning võrdleb neid firma Sumitomo SHI FW pakutud variandiga.

Enefit Power tellis 2024. aastal Auvere katla ühekordse survekatse Sumitomo SHI FW (edasi SFW) firmalt, et täita majandus- ja taristuministri määruse nr 95 „Auditi kohustusega seadmed ja nõuded auditile ning auditi tulemuste esitamisele“ nõudeid, mille kohaselt peavad Auvere katla survekatsed olema tehtud iga 8 aasta tagant.

Käesoleva töö eesmärk on pakkuda mitte ainult ühekordseid, vaid ka perioodilisi katla survekatsete lahendusi vastavalt vajadusele, näiteks iga-aastase katsetamise võimalust

katla jooksva remondi käigus.

SFW pakutud survekatse variandi puhul isoleeritakse kõrge- ja madalrõhu traktid, paigaldades aurukollektoritesse pimeklappe. Kõrgrõhu liinil paigaldatakse pimeklapp välissoojusvahetites asuva viimase astme kõrgrõhu ülekuumendi HTS väljavoolu kollektorisse. Madalrõhu liinil paigaldatakse pimeklapp välissoojusvahetites asuva viimase astme madalrõhu ülekuumendi HTR väljavoolu kollektorisse ja allaskvas gaasikäigus asuva madalrõhu ülekuumendi LTR auru sissevoolu kollektorisse.

SFW variandi perioodilise survetesti tegemise peamiseks miinusteks on katsete ettevalmistamise ja läbiviimisele kuluv aeg kuni 10 päeva ning suuremahulised pimeklappide keevitamistööd, millele järgnevad aurutorustiku taastamistööd koos keevisliidete termilise töötusega, ning sellega kaasnevad suured kulud.

Kuna iga-aastase perioodilise katla küttepindade survekatse tegemine ei ole seadusandlusega kohustuslik ning defektide tuvastamiseks piisab katla töö rõhust, võib rõhu väärtust üle vaadata ja langetada kuni katla töö rõhuni ilma 1,25 suurenduskoefitsiendita. Auvere katla kõrgrõhu trakti projekteeritud maksimaalne töö rõhk aurutrumlis on 187,6 baari ja madalrõhu trakti oma 44,6 baari. Ajavahemikus 05.05.24 - 20.05.24 võetud katla rõhutrendidest selgus, et tegelikul stabiilsel töörežiimil on töö rõhk aurutrumlis kuni 180 baari ja madalrõhu traktil keskmiselt kuni 31 baari. [14]. Sisemiste hüdrauliliste katsete tegemiseks piisab, kui madalrõhul on rõhu väärtus 30 baari ja kõrgrõhul 180 baari.

Esimese variandi lahenduseks on sulgemisklapi paigaldamine liinile. Kuna katlal on kaks kontuuri on vaja paigaldada klapi nii kõrgrõhu kui ka madalrõhu kontuuril. Kõrg- ja madalrõhu osa katsetatakse eraldi.

Klapi paigaldamine annab võimaluse tõsta rõhku isoleeritud kontuuril. Töö autor uuris kõrgrõhu ja madalrõhu osad.

Kuna katla ja toitevee rõhk on kõrge, sobivad sulgemisarmatuurina sulgemisklapid, mis keevitatakse aurutorustikule. Tekib küsimus, kuhu paigaldada sulgemisklapid. Mõistlik oleks paigaldada sulgemisklapid aurutorustiku paremale ja vasakule poole, eraldi välissoojusvahetite nr 30 ja nr 40 jaoks. Välissoojusvahetist nr 30 aurutorustikul, mille diameeter on 240 mm ja seinapaksus 20 mm (10LBA20BR100/B1), pakub töö autor sulgemisklappide paigaldamist riputite 10LBA20BQ004/RE ja 10LBA20BQ008/RE vahele ning välissoojusvahetist nr 40 aurutorustikul (10LBA10BR100/B1) riputite 10LBA20BQ003/RE ja 10LBA20BQ008/RE vahele. Kuid sellisel juhul tõusevad kapitaalkulud, kuna paigaldatakse kaks klappi ühe asemel, ning ka hilisemad hoolduskulud suurenevad. Lisaks on vajalik paigaldada sulgemisklapi juurdepääsuplatvorm hoolduseks ja opereerimiseks. Auruvee kõrgrõhu liini koos

parema ja vasaku poole klappide paigaldamise kohaga on esitatud lisas 2 ja 3.

Teiseks võimaluseks on ühe sulgemisklapi paigaldamine ühisele pea aurutorustikule 10LBA10BR105/B1 diameetriga 340 mm ja toru seinapaksusega 29,0 mm riputite 10LBA10BQ019/RE ja 10LBA10BQ010/RE vahel. Auruvee kõrgrõhu liini joonis koos pakutud ühe klapi paigaldamise kohaga ühisel aurutorustikul on esitatud lisas 4 ja 5.

Töö autor tegi kõrgrõhu auru torustiku arvutamise, et veenduda, et sulgemisklapi paigaldamine kõrgrõhu liinil ei takista torustikus survetestiks kasutatava toitevee voolu. Torustiku arvutuseks kasutas autor TalTech Virumaa kolledži aine RAE0900 Hüdro- ja pneumojaam vanemlektori T. Baraškova metoodilised juhendid. [15]

Toitevee temperatuur survetesti tegemisel peab olema +20 °C. Vee kinemaatiline viskoossuse temperatuuril +20 °C ja +4 °C võrdub:

$$\nu_{+20} = 1,0023 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}; [16]$$

$$\nu_{+4} = 1,57 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}.$$

Filonov-Reynoldsi teoreemi kasutatakse viskoossuse-temperatuuri sõltuvuse jaoks.

Dünaamiline viskoossus on leitav valemi 3.1 järgi:

$$R_e = \frac{vd\rho}{\mu} = \frac{vd}{\nu}; \mu - \text{dünaamiline viskoossus, } \rho - \text{vedeliku tihedus} \quad (3.1)$$

$R_e = \frac{vR}{\nu} < \frac{R_e}{4} = 575$ - hüdraulilise vee laminaarvoo jaoks on see ideaalne juhtum, mis vastab Reynoldsi arvule:

$$R_{ekr} = 2300$$

v - hüdraulilise vedeliku keskmine liikumiskiirus

$$R = \frac{d}{4}, \text{ kus } R \text{ on hüdrauliline raadius.} \quad (3.2)$$

$$\frac{vR}{1,57 \cdot 10^{-6}} < 575$$

$$vR < 575 \cdot 1,57 \cdot 10^{-6} = 902,75 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Aurutorustiku läbimõõt on 450 mm.

$$v > \frac{575 \cdot 1,57 \cdot 10^{-6}}{85 \cdot 10^{-3}} > 10,6 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$v > 0,0106 \frac{m}{s}$$

Dünaamiline rõhk on arvutatav valemi 3.3 järgi:

$$P = \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.3)$$

$$v = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^6 \cdot 2}{1 \cdot 10^3}} = 189,7 \frac{m}{s}, \text{ kus } P=180 \text{ bar}$$

$$Q = 189,7 \cdot \frac{3,14 \cdot (340 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 17,21 \frac{m^3}{s}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 \quad (3.4)$$

$$\Delta H = \Sigma h_{0-1}, \text{ kus } \Sigma h_{0-1} = \Sigma h_h + \Sigma h_k, \text{ kus}$$

Σh_h - hõõrdekadu piki toru pikkust. Need kaod tekivad ühtlase voolu tõttu, seega määratakse Darcy-Weisbachi võrrandi 3.5 järgi:

$$h_h = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,01225 \cdot \frac{10}{340 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{189,7^2}{2 \cdot 9,81} = 660,8 \text{ m} \quad (3.5)$$

$$h_h = iL = \frac{v^2 L}{C^2 R} = \frac{189,7^2 \cdot 10 \cdot 4}{68,87^2 \cdot 340 \cdot 10^{-3}} = 892,6 \text{ m} \quad (3.6)$$

Σh_k - kohalikud rõhukaod sõltuvalt klappide ja ühenduste tüübist

Kohalikud rõhukaod (vt valem 3.7):

$$h_k = \xi_k \frac{v^2}{2g}, \xi_k = \frac{c}{500} = \frac{68,87}{500} = 0,14 \quad (3.7)$$

$$h_k = 0,14 \cdot \frac{189,7^2}{2 \cdot 9,81} = 256,8 \text{ m}$$

$$\Sigma h_{0-1} = 892,6 + 256,8 = 1149,4 \text{ m}$$

H_p - pumpadega tekitatud lisarõhk

$$H_p = H + \frac{P_M}{\gamma} + h_{0-1}, \quad (3.8)$$

$$H_p = 2 + \frac{18 \cdot 10^6}{9,81 \cdot 10^3} + 931,2 = 2768,06 \text{ m}$$

Kaod kaetud toitevee lisapumbaga.

Arvutus on tehtud liini ühisele osale pärast välissoojusvahetite kolmikut, et kinnitada, et sulgemisklapi paigaldus ei takista hüdrauliliste katsete läbiviimist.

Kolmandaks tehniliseks võimaluseks on kaaluda survekatsete tegemist olemasoleval skeemil tööõhul ning kasutada kontuuri isoleerimiseks turbiini kaitseklappe. Sellisel juhul on vaja täita veega madal- ja kõrgrõhu aurutorustikud kuni kaitseklappideni.

Töö autor uuris turbiini kõrg- ja madalrõhu kaitseklappide vastupanuvõimet. Selgus, et kasutada kaitseklappe sulgemisklappidena survetestiks kõrgemal kui töö rõhul ei tohi, kuna klappide tihendid ei pea vastu. Suurendatud rõhu kasutamiseks on vaja klappid välja võtta ja paigaldada klapi sisse selleks ettenähtud sulgurid. Klappide sulgurite paigaldamisel oleks võimalik tõsta hüdraulilist rõhku kõrgrõhu aurutorustikul kuni 375 baarini ja madalrõhu kontuuril kuni 67,5 baarini. [17]

Ettevõtte sisemiste katsete jaoks nii kõrge rõhk pole vajalik ning piisab töö rõhust. Kaitseklapid on projekteeritud vastu pidama kõrg- ja madalrõhu kontuurides vastavalt rõhule 180 ja 30 baari. Seega on võimalik neid kasutada katla survekatse tegemiseks. Kaitseklappide joonised on esitatud lisa 6 ja 7.

Parima variandi valimiseks on vaja võrrelda kolme võimalust. Erinevate skeemide võrdlus skaalal 1-5 (1-halvim, 5-parim) on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Erinevate skeemide võrdlus

Võrdluse kriteerium	Variant 1 (sulgemisklapid paremal ja vasakul poolel)	Variant 2 (sulgemisklapp ühisel aurutorustikul)	Variant 2 (olemasolevad turbiini kaitseklapid)
Tehniliselt teostatav	4	4	5
Skeemi muutmise mõju (aurutorustiku terviklikkus, defektide tõenäosus)	2	2	5
Investeeringukulud	1	1	5
Operatsioonikulud	3	3	5
Kokku	10	10	20

Kolme variandi analüüsi tulemusena jõuab lõputöö autor järeldusele, et Auvere katla sisemiste hüdrauliliste katsete tegemiseks piisab katla töö rõhu väärtusest ning selleks sobib kõige paremini skeem, milles kasutatakse küttepindade kontuuri isoleerimiseks olemasolevaid turbiini madal- ja kõrgrõhu kaitseklappe. Selle variandi kasuks räägib investeerimis- ja opereerimiskulude samal tasemel püsimine (ei teki täiendavaid kulusid) ning olemasolevate aurutorustike terviklikkuse säilimine. Iga täiendav sulgemisarmatuuri klapi paigaldamine suurendab defekti tekkimise tõenäosust. Hüdrauliliste katsete tegemiseks on vaja koostada programm, mille alusel ploki operaatorid ja hoolduspersonal valmistavad ja teostavad katseid.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli pakkuda Auvere elektrijaama katla hüdrauliliste katsete läbiviimise võimalust töökindluse parendamiseks, kuna elektrijaama kasutuse algusest ei ole siiani katla survekatseid tehtud. Töö käigus uuris autor katla auruveetrakti skeemi, soojusvahetite ja ülekuumendite kontseptsiooni, toitevee ja auru parameetreid, katla lekete põhjuseid ja nende mõju energiaploki töökindlusele. Viimase kolme aasta energiaploki töökindluse statistika analüüs näitas, et lekkete osakaal ploki avariisuses on märkimisväärne, ulatudes kuni 73%-ni. See tähendab, et lekkete tekkimine on kõrge kriitilisusega defekt, mida tuleb ennetada.

Töö autor tegi katla küttepindade defektide analüüsi. Lekkete analüüsi käigus selgus, et välissoojusvahetites asuvad auru ülekuumendid olid kõige kriitilisemad lekkete tekkimise osas. Küttepindade torude defektide varases staadiumis tuvastamiseks on kõige efektiivsem meetod katla hüdrauliliste katsete läbiviimine, mille abil saaks defekte kõrvaldada ja ennetada energiaploki avariiseiskumist.

Töö autor tegi ülevaate surveseadmete seadusandlusest ja regulatiivsetest nõuetest, millest selgus, et nõuete kohaselt on vaja katserõhku tõsta 25% võrra võrreldes tööõhuga. Auvere katla survekatseid peab olema kohustuslikult läbi viidud iga 8 aasta tagant. Töö eesmärk on pakkuda ettevõttesiseseid survekatseid, kus pole kohustuslik tõsta survekatsete rõhku rohkem kui katla tööõhk.

Töö autor tegi kõrgrõhu auru torustiku arvutusi, et veenduda, et sulgemisklapi paigaldamine kõrgrõhu liinile ei takista torustikus survetestiks kasutatava toitevee voolu. Autor pakkus välja mitu võimalust katla tööõhul survekatsete tegemiseks ja võrdles neid omavahel. Kahel juhul soovitas autor aurutorustikele sulgemisklappide paigaldamist, et isoleerida auruahelad ja suurendada rõhku ning kolmandal juhul kasutada olemasolevaid turbiini kaitseklappe. Turbiini kaitseklapid sobivad selleks otstarbeks, kuna need on projekteeritud katla tööõhule. Plusside ja miinuste võrdlemisel jõudis autor järeldusele, et olemasolevate turbiiniklappide kasutamine on tehniliselt sobivaim ja majanduslikult otstarbekaim variant.

Lõputöö eesmärk sai saavutatud ning töö järeldused parima hüdraulilise skeemi valiku kohta loob eeldused edasiseks survekatsete programmi koostamiseks ja selle rakendamiseks.

SUMMARY

The objective of this degree thesis "Improving Auvere Power Plant Reliability by Implementing Boiler Hydraulic Testing" is to find a solution to improve Auvere power plant reliability. The reason for choosing this topic is the significance of Auvere power plant reliability in ensuring electricity supply in Estonia. The most powerful controllable electricity generation unit in Estonia is the Auvere power plant, capable of covering up to 25% of Estonia internal consumption.

This work contains an introduction, three chapters, a conclusion and a list of references.

In total, there are 35 pages, 4 tables and 14 figures in the degree thesis. In the first chapter, the author describes the operation of the Auvere boiler and its steam pipeline, emphasizing their importance from the perspective of reliability. In the second chapter, the author analyzes boiler malfunctions and their causes affecting the reliability of the power plant. In the third chapter, the author proposes several schemes for conducting boiler hydraulic tests to improve reliability and compares them to find the most suitable option.

It was concluded that leak occurrence is a highly critical defect that needs to be prevented to enhance the power unit reliability.

During the analysis of leaks, it was found that the superheaters in the external bed heat exchangers were the most critical in terms of leak occurrence. The most effective method for detecting defects in the heating surface tubes at an early stage is hydraulic testing of the boiler, which could help eliminate defects and prevent unit unplanned shutdowns.

Provided overview of the legislation and regulatory requirements for pressure equipment, revealing that according to the requirements, the test pressure needs to be increased by 25% compared to the operating pressure. The aim of the thesis is to propose internal pressure tests within the company, where it is not mandatory to increase the pressure beyond the boiler operating pressure.

Several options for conducting boiler pressure tests at operating pressure proposed and compared. In two cases, installing of shut-off valves on the steam lines to increase pressure suggested, and in the third case, using existing turbine safety valves. After comparing the pros and cons, it was concluded that using the existing turbine valves is technically suitable and the most economically feasible option.

The conclusion regarding the hydraulic scheme selection provides the basis for further development of a pressure test program and its implementation.

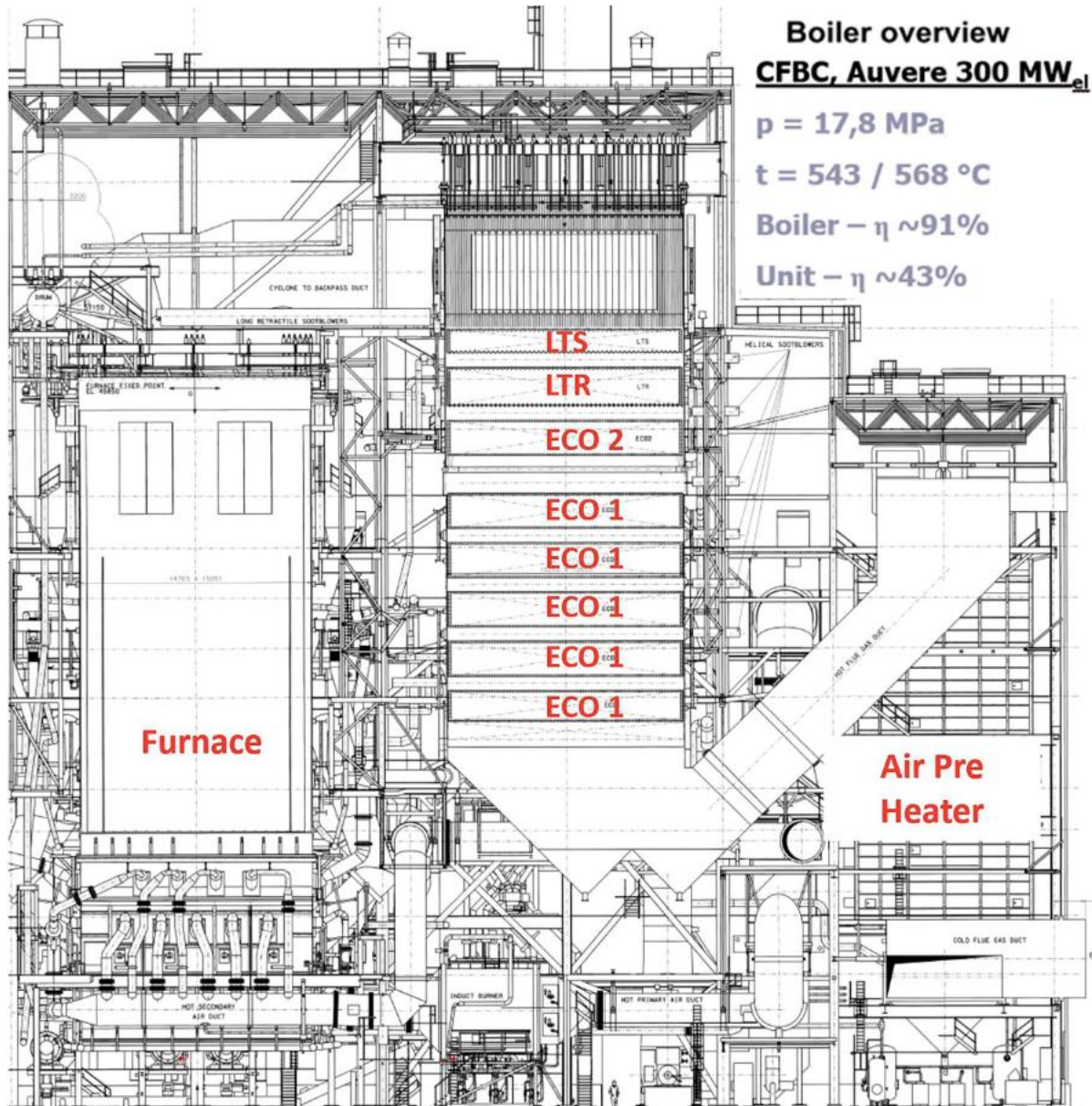
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Инструкция по эксплуатации котла CFB Аувере ТТ,КТТ,А01 01,03,2022,
2. Investigation of fouling and corrosion of low-temperature reheater in a CFBC boiler, Alar Konist, Fuel, Volume 338, 15 April 2023, 127373,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122041977#b0005>
3. Boiler Classroom Training koolituse materjalid 13/10/2013
4. Enefit Power AS-i katelde juhtivspetsialisti vastus päringule. Email 08.05.2024.
5. Metadata Portal by Enefit, Enefit's business glossaries and data catalogs, Enefit Power KPI-d ja mõõdikud (ettevõtte sisene rakendus)
<https://metadaportal.energia.sise/navigator/18646460?tab=additionalInfo>
6. Delfi Ärileht portaal 12.12.2022.
<https://arileht.delfi.ee/artikkel/120112518/pikalt-remondilt-naasnud-auvere-elektrijaam-sai-tootada-vahem-kui-paeva-ning-laks-jalle-katki>
7. Enefit Power AS-i tootmise statistika juhtivinseneri vastus päringule. Email 13.05.2024.
8. High-temperature corrosion in a multifuel circulating fluidized bed (CFB) boiler co-firing refuse derived fuel (RDF) and hard coal, Izabella Maj, Sylwester Kalisz, Robert Wejkowski, Marek Pronobis, Klaudiusz Gołombek, Fuel, Volume 324, Part C, 15 September 2022, 124749.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122015952>
9. Auvere CFB RH Leak Analysis, February 2, 2022.
10. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2014/68/EL, 15. mai 2014, surveseadmete turul kättesaadavaks tegemist käsitlevate liikmesriikide õigusaktide ühtlustamise kohta.
11. Majandus- ja taristuministri määrus nr 95 Auditi kohustusega seadmed ja nõuded auditile ning auditi tulemuste esitamisele, mis oli vastuvõetud 16.07.2015.
12. Схема циркуляции острого пара НАН S.KTT.A004.
13. Схема циркуляции промперегрева пара НАЖ S.KTT.A006.
14. Enefit Power AS-i Auvere elektrijaama jaoskonna juhataja vastus päringule. Email 20.05.2024.

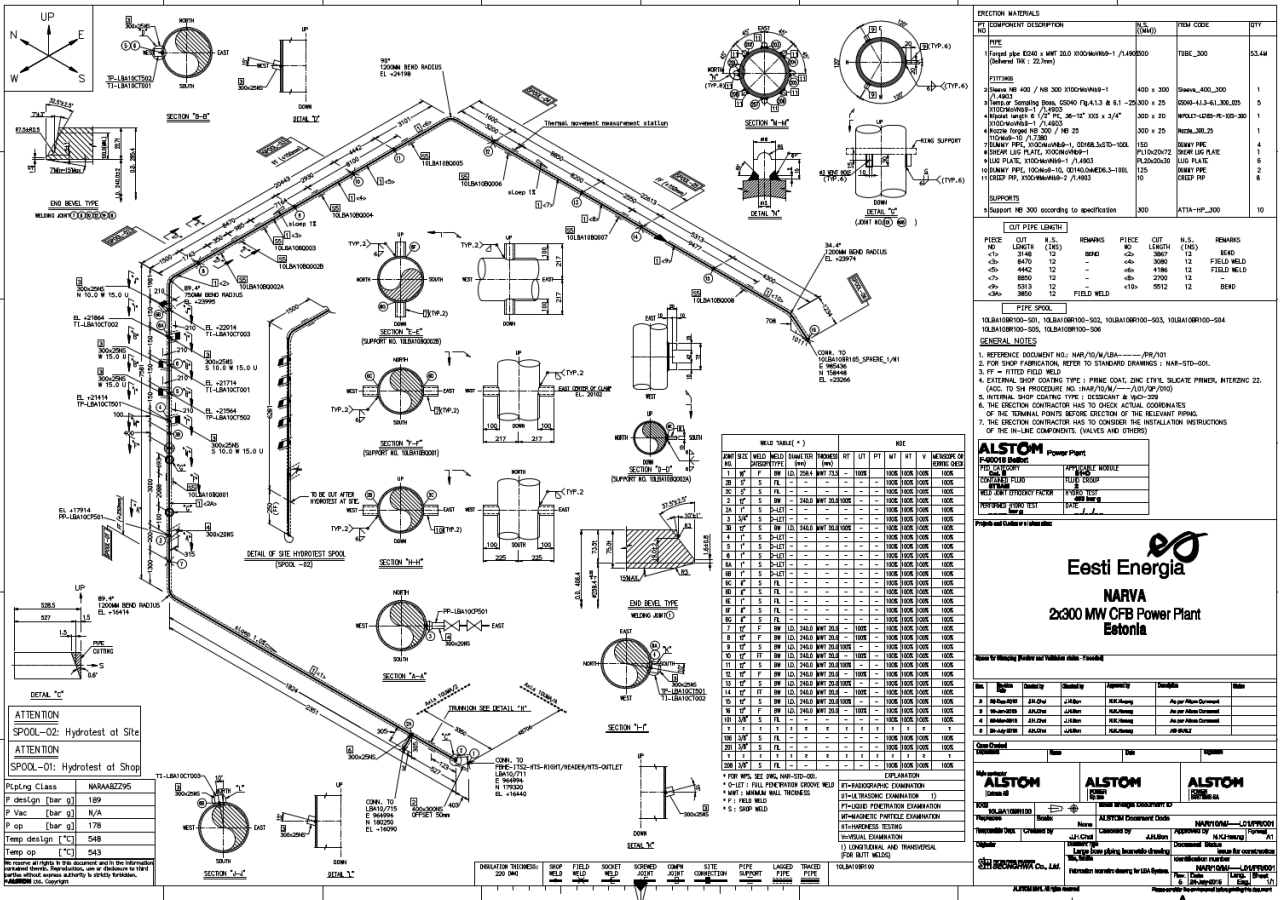
15. TalTech Virumaa kolledži aine RAE0900 Hüdro- ja pneumojaam, õppejud T. Baraškova metoodilised juhendid. [15]
16. The Engineering ToolBox, Online Water Viscosity Calculator
Water - Dynamic (Absolute) and Kinematic Viscosity vs. Temperature and Pressure (engineeringtoolbox.com)
17. Juhend „Hydro-test procedure for HP piping“ 10.06.14.

LISAD

LISA 1 AUVERE KATLA LÖIGE

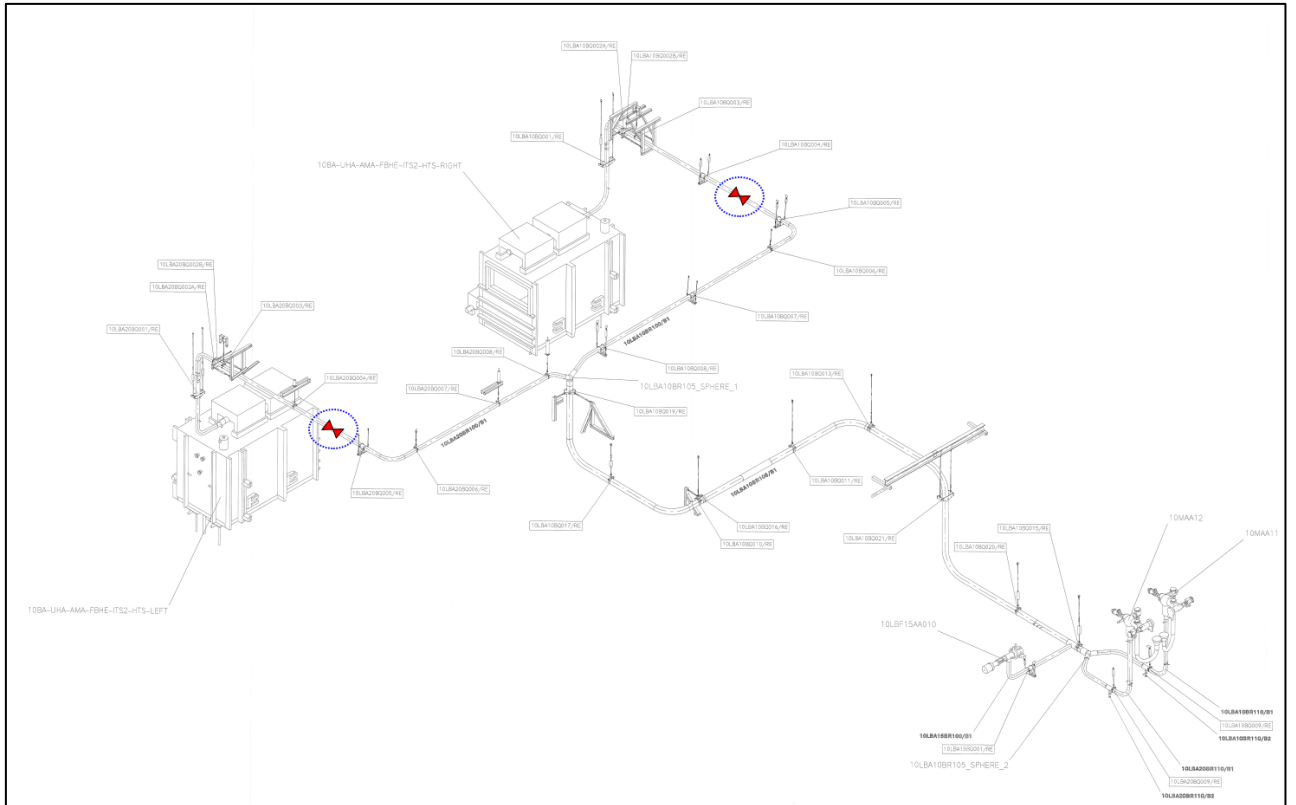


LISA 2 KÖRGRÖHU AURUTORUSTIKU ISOMETRILINE VAADE



COMPONENT DESCRIPTION	QTY	ITEM CODE	BYT
PIPE			
Steel pipe ASTM A 106 GR. B 300 10000000-1 / A 100000		TUBE_000	02.44
FITTINGS			
90° Elbow 300 x 100 10000000-1	400	0000_03_000	1
45° Elbow 300 x 100 10000000-1	200	0000_03_000	5
Flange 300 x 100 10000000-1 / A 100000	300	0000_03_000	1
Reducer 300 x 100 10000000-1	300	0000_03_000	4
TECHNICAL NOTES			
1. REFERENCE DOCUMENT NO.: MNR/01/ALISA.../PR/01			
2. FOR SHOP FABRICATION, REFER TO STANDARD DRAWINGS: MAB-STD-001.			
3. FIT = FITTED FIELD WELD.			
4. EXTERNAL SHOP COATING TYPE: PRIME COAT. ZINC ENRICHED SILICATE PRIMER, INTERCOAT 22 (ACC. TO S30 PROSPEC. NO. HAN9701/04).../Z90/PR/01.			
5. INTERNAL SHOP COATING TYPE: OCCIDENTAL 960-200.			
6. THE DESIGN CONTRACTOR HAS TO CHECK ACTUAL COORDINATES OF THE TERMINAL POINTS BEFORE DETECTION OF THE RELEVANT PIPING.			
7. THE DESIGN CONTRACTOR HAS TO CONSIDER THE INSTALLATION INSTRUCTIONS OF THE IN-LINE COMPONENTS (VALVES AND OTHERS).			

LISA 3 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU SKEEM – SULGEMISKLAPP PAREMAL JA VASAKUL POOLEL



LISA 4 KÖRGRÕHU AURUTORUSTIKU ISOMETRILINE VAADE

WELD TABLE (*)		MSE		SECTION MATERIALS	
NO	WELD TYPE	NO	DESCRIPTION	NO	DESCRIPTION
1	WT 1	1	WT 1	1	WT 1
2	WT 2	2	WT 2	2	WT 2
3	WT 3	3	WT 3	3	WT 3
4	WT 4	4	WT 4	4	WT 4
5	WT 5	5	WT 5	5	WT 5
6	WT 6	6	WT 6	6	WT 6
7	WT 7	7	WT 7	7	WT 7
8	WT 8	8	WT 8	8	WT 8
9	WT 9	9	WT 9	9	WT 9
10	WT 10	10	WT 10	10	WT 10
11	WT 11	11	WT 11	11	WT 11
12	WT 12	12	WT 12	12	WT 12
13	WT 13	13	WT 13	13	WT 13
14	WT 14	14	WT 14	14	WT 14
15	WT 15	15	WT 15	15	WT 15
16	WT 16	16	WT 16	16	WT 16
17	WT 17	17	WT 17	17	WT 17
18	WT 18	18	WT 18	18	WT 18
19	WT 19	19	WT 19	19	WT 19
20	WT 20	20	WT 20	20	WT 20
21	WT 21	21	WT 21	21	WT 21
22	WT 22	22	WT 22	22	WT 22
23	WT 23	23	WT 23	23	WT 23
24	WT 24	24	WT 24	24	WT 24
25	WT 25	25	WT 25	25	WT 25
26	WT 26	26	WT 26	26	WT 26
27	WT 27	27	WT 27	27	WT 27
28	WT 28	28	WT 28	28	WT 28
29	WT 29	29	WT 29	29	WT 29
30	WT 30	30	WT 30	30	WT 30
31	WT 31	31	WT 31	31	WT 31
32	WT 32	32	WT 32	32	WT 32
33	WT 33	33	WT 33	33	WT 33
34	WT 34	34	WT 34	34	WT 34
35	WT 35	35	WT 35	35	WT 35
36	WT 36	36	WT 36	36	WT 36
37	WT 37	37	WT 37	37	WT 37
38	WT 38	38	WT 38	38	WT 38
39	WT 39	39	WT 39	39	WT 39
40	WT 40	40	WT 40	40	WT 40
41	WT 41	41	WT 41	41	WT 41
42	WT 42	42	WT 42	42	WT 42
43	WT 43	43	WT 43	43	WT 43
44	WT 44	44	WT 44	44	WT 44
45	WT 45	45	WT 45	45	WT 45
46	WT 46	46	WT 46	46	WT 46
47	WT 47	47	WT 47	47	WT 47
48	WT 48	48	WT 48	48	WT 48
49	WT 49	49	WT 49	49	WT 49
50	WT 50	50	WT 50	50	WT 50

SPECIAL NOTE

- 1500mm of spool-03 & spool-04 to be cut after site hydro test
- Flow nozzle of 3000mm to be welded after site hydro test

Fluting Class	WIRARZ295
P. design [bar g]	189
P. vac [bar g]	N/A
P. op [bar g]	178
Temp design [°C]	548
Temp op [°C]	543

We warrant that the design of this equipment and the information contained herein, including, but not limited to, the technical specifications, drawings and data sheets, are the property of ALSTOM and shall remain confidential and shall not be disclosed to any third party without express authority by ALSTOM.

GENERAL NOTES

1. REFERENCE DOCUMENT NO. HAR/10/MBA/-----/PR/10
2. FOR SHOP FABRICATION REFER TO STANDARD DRAWINGS HAR-STD-001
3. PT = FITTED FIELD WELD
4. EXTERNAL SHOP COATING TYPE: PRIME COAT, ZINC ENRICH SILICATE PRIMER, INTERZINC 22 (ACC. TO SA PROCEDURE NO. HAR/10/M/---/ALI/OP/010)
5. INTERNAL SHOP COATING TYPE: RESISTANT & 100
6. THE ERECTOR CONTRACTOR HAS TO CHECK ACTUAL COORDINATES OF THE TERMINAL POINTS BEFORE SECTION OF THE RELATED PIPING.
7. THE ERECTOR CONTRACTOR HAS TO CONSIDER THE INSTALLATION INSTRUCTIONS OF THE IN-LINE COMPONENTS (VALVES AND OTHERS)

NO	DATE	ISSUED	REVISION	DESCRIPTION
1	2010-01-15	J.M.	1	ISSUED FOR APPROVAL
2	2010-02-10	J.M.	2	REVISED
3	2010-03-05	J.M.	3	REVISED
4	2010-04-10	J.M.	4	REVISED

ESTI ENERGIA

NARVA

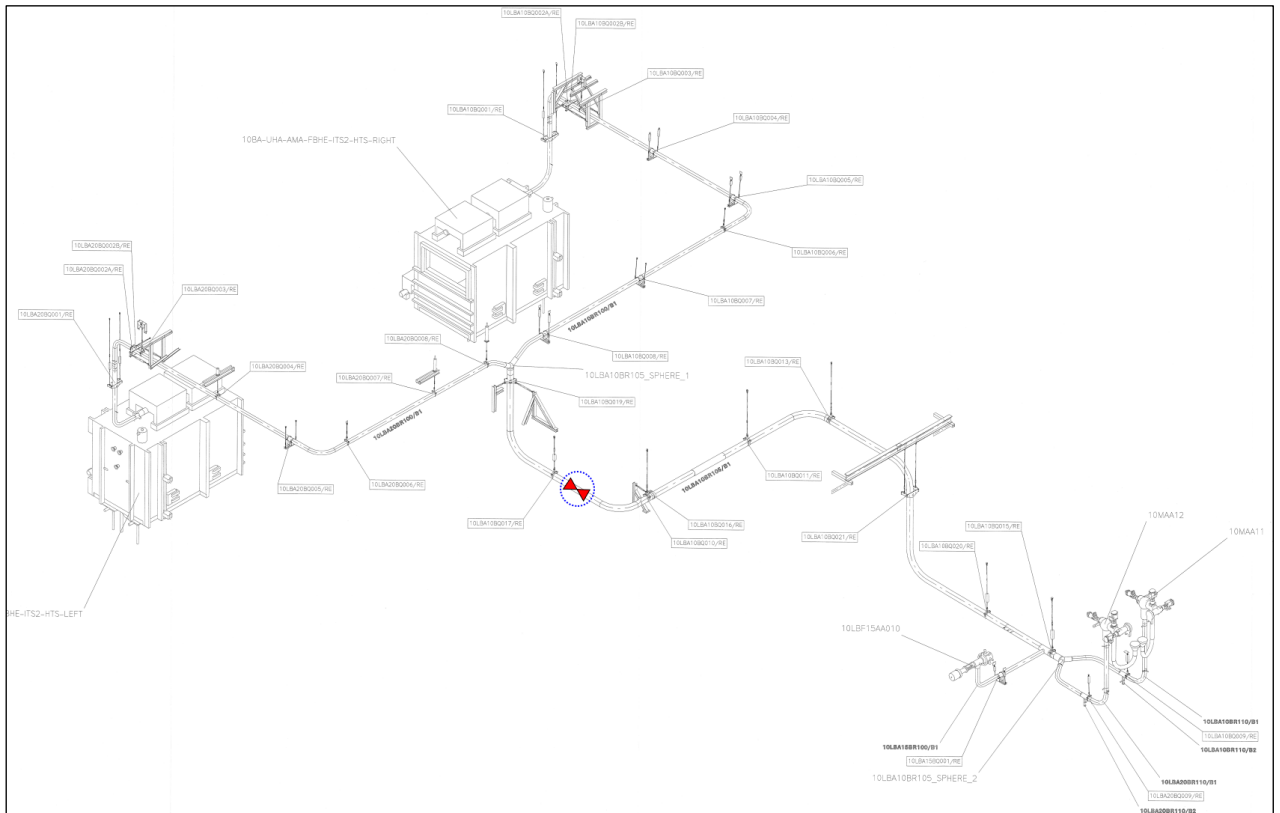
2x300 MW CFB Power Plant

Estonia

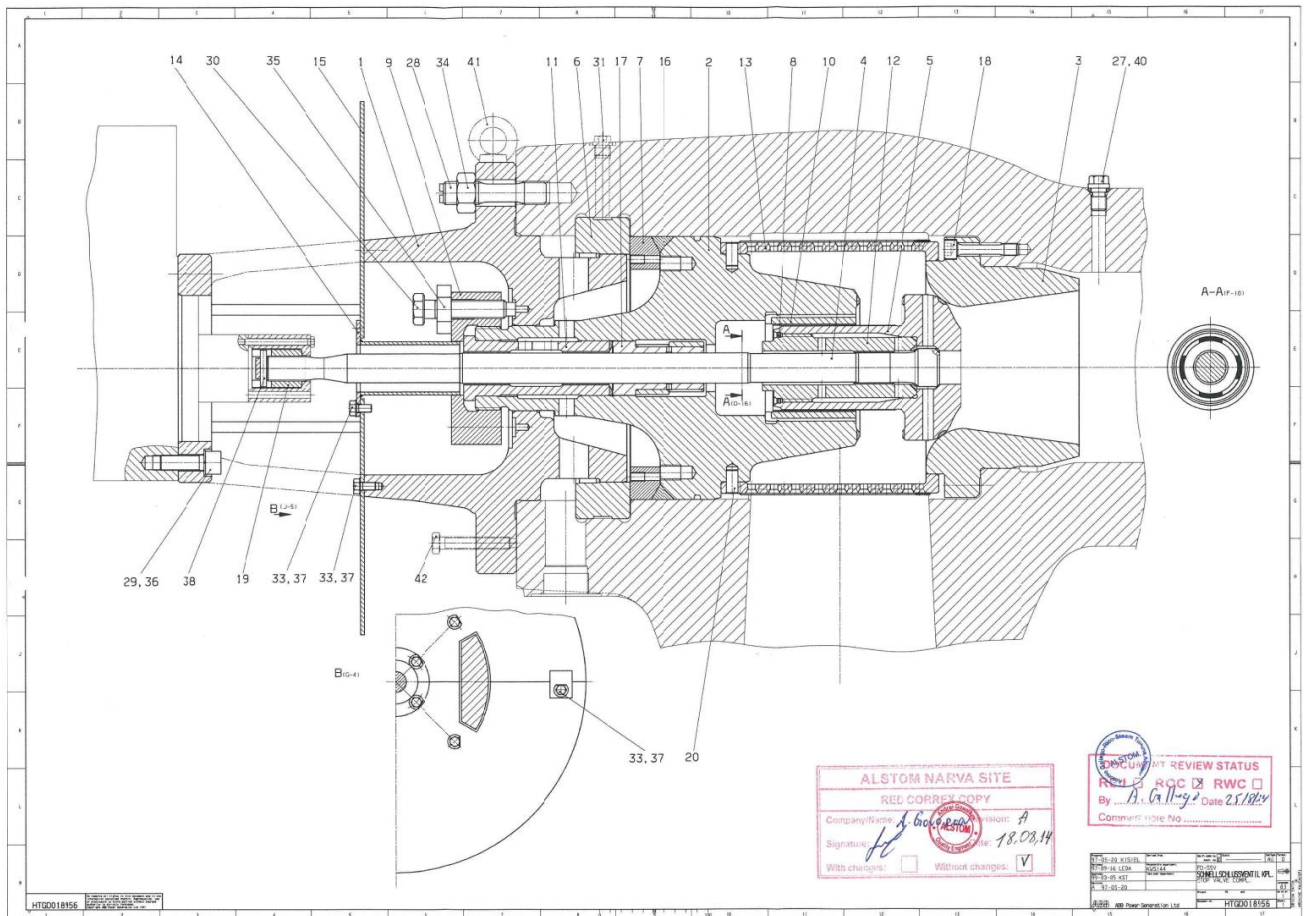
NO	DATE	ISSUED	REVISION	DESCRIPTION
1	2010-01-15	J.M.	1	ISSUED FOR APPROVAL
2	2010-02-10	J.M.	2	REVISED
3	2010-03-05	J.M.	3	REVISED
4	2010-04-10	J.M.	4	REVISED

ALSTOM	ALSTOM	ALSTOM
ALSTOM	ALSTOM	ALSTOM

LISA 5 KÕRGRÕHU AURUTORUSTIKU SKEEM – SULGEMISKLAPP ÜHISEL TORUSTIKUL



LISA 6 TURBIINI KÕRGRÕHU KAITSEKLAPI JOONIS



ALSTOM NARVA SITE
 RED CORRECT COPY
 Company Name: *Alstom* Revision: *A*
 Signature: *[Signature]* Date: *18.08.14*
 With changes: Without changes:

SECURITY REVIEW STATUS
 RQC RWC
 By: *A. Gall* Date: *25/08/14*
 Comment: No

HT0018155	HT0018155	HT0018155	HT0018155
HT0018155	HT0018155	HT0018155	HT0018155

LISA 7 TURBIINI KESKRÖHU KAITSEKLAPI JOONIS

