



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**AUVERE ELEKTRIJAAMA ÜHE
TSIRKULATSIOONIPUMBAGA AURUTURBIINI
ENERGIATÕHUSUSE UURING MADALATE
TEMPERATUURIDE AJAL**

**THE STUDY OF THE ENERGY EFFICACY OF THE STEAM TURBINE
UNIT OF THE AUVERE POWER PLANT WITH ONE CIRCULATION
PUMP DURING LOW TEMPERATURES**

LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Juri Jerkvania

Üliõpilaskood: 178630EDJR

Juhendaja: Jüri Utt, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"...." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Juri Jerkvania (sünnikuupäev: 15.12.1966)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Auvere elektrijaama ühe tsirkulatsioonipumbaga auruturbiini energiatõhususe uuring
madalate temperatuuride ajal, mille juhendaja on Jüri Utt,
 - 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.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Juri Jerkvania, 178630EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR16/17 Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine, peeriala: Energiatehnika

Juhendaja(d): Lektor, Jüri Utt, juri.utt@taltech.ee

Konsultant: Rustam Hasjanov, Jaoskonnajuhataja

Enefit Power, +372 5636 7472, rustam.hasjanov@enefit.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Auvere elektrijaama ühe tsirkulatsioonipumbaga auruturbiini energiatõhususe uuring madalate temperatuuride ajal

(inglise keeles) The study of steam turbine efficiency with one main cooling pump in operation during season of low cooling water temperatures at the Auvere Power Plant

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Auruturbiinjaama režiimi optimeerimine.
2. Enda vajaduste ja pumbade ressursi säästmine.
3. Tsirkulatsioonipumpade kaasajastamise võimalus kõrgepinge sagedusmuundurite paigaldamise abil.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Koostada lõputöö ülesandeleht ning sellega panna paika töö eesmärgid	17.02.2021
2.	Panna paika töö tingimused ja parameetrid	25.02.2021
3.	Koguda andmeid praktilise töö käigus	16.03.2021
4.	Kirjutada valmis lõputöö mustand (sissejuhatus, põhiosa, arvutused, kokkuvõte)	10.05.2021
5.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	15.05.2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "01" 20juuni 2021a

Üliõpilane: Juri Jerkvania

"....."..... 20.....a

/allkiri/

Juhendaja: Jüri Utt "....." 20.....a
/allkiri/

Konsultant: Rustam Hasjanov "....." 20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Veroonika Shirokova "....." 20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1. ÜLDTEAVE	10
1.1 Kondensatsiooniseadme otstarve.....	10
1.2 Kondensatsiooniseadme ülesehitus	10
1.3 Kondensaatori vaakumsüsteem	14
1.4 Peamise jahutusvee süsteemid.....	15
1.5 Peamise jahutusvee süsteem	15
1.6 Peamise jahutusvee filtreerimissüsteem	16
1.7 Pideva puhastuse süsteem.....	16
2. KONDENSAATORIS TOIMUVATE PROTSESSIDE ÜLDPÕHIMÕTTED.....	18
2.1 Õhu partsiaalrõhk kondensaatoris.....	18
2.2 Juhutusvee kogus.....	20
2.3 Juhutusvee temperatuur	20
2.4 Jahutusvee kiirus torudes	21
2.5 Kondensaatoritorude puhtus	21
2.6 Auruturbiini kondensaatori maksimaalse ja majandusliku vaakumi mõisted	21
3. KONDENSAATORI ENERGEETILISTE OMADUSTE VÕRDLUS	23
3.1 Kondensaatori tootlikkuse arvutamine.....	23
3.2 Omatarbe kokkuhoiu arvutamine ühe TP reservi viimisel	30
4. ELEKTRIJAAMA OMATARVE – ENERGIA JA RESSURSI KOKKUHOID	32
4.1 Tsirkulatsioonipumpade täiendamise võimalus kõrgepinge sagedusmuundurite paigaldamisel.....	32
KOKKUVÕTE	35
SUMMARY.....	36
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	38
LISAD	39
Lisa 1 Ringlevate pumpade töögraafik erinevatel koormustel.....	40
Lisa 2 Ühe tsirkulatsioonipumbaga töötamise ajakava	41
Lisa 3 Tsirkulatsioonipumba töötunnid 2020. aastal	42

EESSÕNA

Lõputöö teema pakkus välja jaoskonnajuhataja Auvere elektrijaamas (AEJ) Rustam Hasjanov, kes on ka lõputöö konsultant. Teema on seotud AEJ kondensatsiooniseadme töö, selle optimeerimise, ressursside kokkuhoiu ja tõhusa hooldusega. Kõik põhilised sisendandmed võeti elektrijaama akrediteeris tehnilisest dokumentatsioonist ja haldusjuhistest. Rustam Hasjanov koordineeris dokumentide kasutamist ja aitas orienteeruda.

Autor tänab oma konsultanti Rustam Hasjanovi ning TalTech Ida-Virumaa kolledži lektorit ja lõputöö juhendajat Jüri Utti, kes aitasid lõputööd kirjutada, jagasid oma kogemusi ja andsid häid nõuandeid.

Võtmesõnad: elektrijaam, auruturbiinid, pumbad, kondensatsiooniseade, energiatõhusus, lõputöö.

SISSEJUHATUS

Viimasel ajal on enamikus maailma energiasüsteemides täheldatud elektritarbimise ja tootmise graafikute ebakorrapärasuse suurenemise suundumusi. Taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamine on paljude riikide jaoks üks olulisi väljakutseid. Selliste energiaallikate halvasti prognoositav olemus nõuab sobivate lahenduste otsimist. Taastuvate energiaallikate (peamiselt tuule ja päikeseenergia) ebaühtlase elektritootmise kompenseerimiseks kõige tõhusam viis käesoleval ajal on fossiilkütusel töötavate elektrijaamade kasutamine. [1]

Euroopa Liit tegeleb süstemaatiliselt fossiilkütustest toodetud elektri tootmise vähendamisega. See tähendab, et elektrijaamad, mis töötavad mineraalide, nt põlevkivi või kivisüsi põletamisel, peavad maksma heitmekvoodi süsinikdioksiidi heitmise atmosfääri. [1]

Süsinikdioksiidi heitmekvoodi hind on lühikese aja jooksul kümnekordistunud. Kui veel 2017. aastal maksis Eesti Energia 1 tonni CO₂ eest 5 eurot, siis aprillis 2021 oli see juba 49–52 eurot tonn. Vastavalt sellele on ka Narva elektrijaamade elektritootmise kulud järsult tõusnud. [1]

Kõik see sunnib Eesti Energiat aktiivselt mitmekesistama oma kütuseportfelli ning tootma tuule, päikese ja vee abil rohkem elektrit. See hõlmab puidutööstuse jäätmeid, biomassi, turvast ja kildagaasi. [1]

Tööle on jäänud Balti elektrijaama uuendatud energiablokk nr 11., kaks Eesti elektrijaama energiablokki ja hiljuti ehitatud AEJ, mis võib toormena kasutada biomassi, turvast ja kildagaasi. [1]

Nende eelis on see, et nad on juhitavad. Tuulegeneraatorid, päikesepaneelid ja hüdroelektrijaamad ei saa vajadusel järsult suurendada energiatootmist, näiteks külmal ja pikaajalisel talvel, katelt saab aga igal ajal käivitada kasutades selleks kodumaist tooret. Ja sellele pole veel alternatiivi, vaatamata CO₂ kõrgele kvoodihinnale. [1]

AEJ üks aktuaalsemaid eesmärke on energiabloki energiatõhususe ja ökonoomsuse tõstmine. Auruturbiini kondensaatori tehniline seisukord määrab suuresti auruturbiiniseadme soojustõhususe tervikuna. Kütuse erikulu turbiinigeneraatori elektritootmisel sõltub oluliselt auru rõhust kondensaatoris, seetõttu on turbiiniseadme töö ajal vaja jälgida kondensaatori tehnilist seisukorda. Selle igasugune halvenemine, mis väljendub näiteks torude ummistuses, kondensaatoritorusüsteemi sademekoguse suurenemine või vaakumsüsteemi õhu sissevõtu suurenemine põhjustab lõppkokkuvõttes kondensaatori tööomaduste kõrvalekallet selle standardomadustest. [2]

Lõputöö eesmärk on hinnata AEJ auruturbiiniseadme toimimise tõhustust madalatel temperatuuridel, kui on töös üks tsirkulatsioonipump (TP).

Võib eristada mitu ülesannet, mille lahendamine aitab seatud eesmärki saavutada:

1. Määrata auruturbiini optimaalne režiim ühe tsirkulatsioonipumbaga töötamisel.
2. Hoida kokku omatarvet.
3. Võimaldada kaasajastada tsirkulatsioonipumbad kõrgepinge sagedusmuundurite paigaldamise abil.

Lõputöö esimeses ja teises peatükis antakse ülevaade kondensaatorist ja selle otstarbest, vaadeldakse kondensaatori töösse laskmist jahutusveesüsteemis, kondensaatori konstruktiivset kujundust, selle ja samuti vaakumsüsteemi puhastamist, esitatakse üldised põhimõtted kondensaatoris toimuvate protsesside kohta, loetletakse peamised probleemid, mis tekivad kondensaatori töötamisel auruturbiiniseadme osana.

Kolmandas peatükis esitatakse arvutus ja võrreldakse ühe ja kahe TP tööd, et säilitada turbiini töörežiime kondensaatoris majandusvaakumiga. Nende andmete põhjal on välja pakutud meetmed elektrijaama omatarbe kulude vähendamiseks.

Neljandas peatükis käsitletakse võimalust reguleerida tsirkulatsioonipumpade tööd ja vähendada seeläbi omatarvet, paigaldades elektrimootoritele sagedusmuundurid või hüdraulilised sidurid. Antakse hinnang investeringutasuvusele.

1. ÜLDTEAVE

1.1 Kondensatsiooniseadme otstarve

Auruturbiini kondensatsiooniseadme põhieesmärk on kondenseerida turbiini heitaur ja tagada, et aururõhk allavoolu viimasest etapist nominaaltingimustes ei ületaks tehniliste ja majandusandmete põhjal arvutuslikku rõhku. [2]

Heitauru keskmine rõhk p_2 kondensaatori projekteerimisel nominaaltingimustes (auru vool kondensaatorisse, temperatuur ja jahutusvee vool) on 33 Mbar abs. Erinevalt värske auru parameetrite nimiväärtustest turbiini ees, ei saa eksploatatsioonis heitauru rõhku p_2 teatud tasemel hoida, sest see muutub märkimisväärselt sõltuvalt töötingimustest. Selle väärtused, mis vastavad kondensatsiooniseadme erinevatele töötingimustele selle rahuldavas seisundis, määratakse termiliste omaduste alusel. [2]

Lisaks heitauru rõhu alalhoidmisele turbiiniseadme säästlikuks tööks vajalikul tasemel peab kondensatsiooniseade tagama ka:

- aurukatla elektrisüsteemis kasutatava heitauru kondensaadi säilimise ja selle kvaliteedi, et pärast kondensaatorisse siseneva veega segamist oleks see vastavuses tehnilise eksploatatsiooni nõuetega (hapniku, lahustunud soolade ja korrosioonisaaduste piiramine lubatud piirides);
- kondensaadi ülekuumenemise vältimise kondensaatori väljalaskeavas võrreldes soojuskadu põhjustava heitauru küllastumistemperatuuriga;
- vastuvõtmise tavapärase töötamise ajal, samuti energiaploki käivitamise ja seiskamise ajal aurukatla toiteks kasutatava auru, teiste kuumutite dreanaži ja lisavee juhtimise kondensaatorisse. [2]

1.2 Kondensatsiooniseadme ülesehitus

Veejahutusega kondensatsiooniseadme skeemi osad on kondensaator, tsirkulatsioonipumbad jahutusvee pumpamiseks läbi kondensaatori, kondensaatori jahutustorude puhastussüsteem, kondensaadi ärajuhtimist ja selle etteannet turbiiniseadme madalrõhu regenererimissüsteemi tagavad kondensaadipumbad, veevaakumpump, mis on vajalik kondenseerumata gaaside ärajuhtimiseks kondensaatori aururuumist, ja vastavad torustikud, mis tagavad jahutusvee transportimise. [2]

Kondensaator on projekteeritud ja valmistatud vastavalt materjalide suhtes kohaldatavatele standarditele ja tehnilistele eeskirjadele. Kõik rõhu- või vaakumosad on valmistatud kontrollitud materjalidest, on keevitatud ja kuumtöödeldud vastavalt nende koostisosade suhtes kehtivatele eeskirjadele. [2]

Tabel 1.1 Kondensaator CD 24+103-1-125.03-3x7288/17.0/0.5/SS Alstom [2]

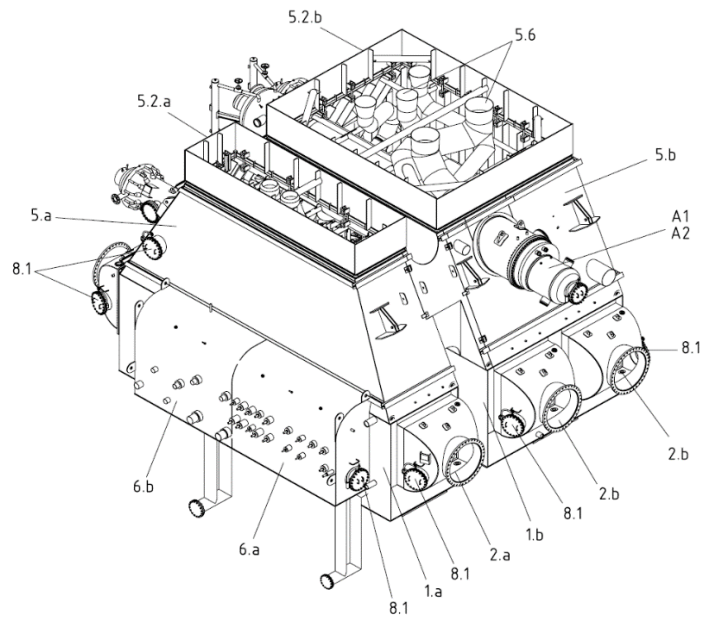
Kondensaatori soojuskoormus	339500 kW
Turbiini heitauru vool	154,59 kg·s
Auru entalpia	2294,4 kJ·kg
Kõigi kaskaadide tarbimine	8,17 kg/s
Keskmine entalpia	286,483 · 1089 kJ·kg
Turbiini/kondensaatori kaela absoluutne rõhk	33 mbar abs.
Vastav küllastustemperatuur kondensaatori sisselaskeava juures	25,7° C
Temperatuuri erinevus õhu jahutamise tsoonis	4,2° C
Jahutuspiind (ilma summutatud torudeta)	14538,9 m ²
Torude üldkogus	21864 tk
Välimine läbimõõt/paksus	17 / 0,5 mm
Torude üldpikkus	12503 m
Torude materjal	1.4307 (X2CrNi18-9)

Suletud auru-vee tsükliga auruseadmes täidab kondensaator järgmisi funktsioone:

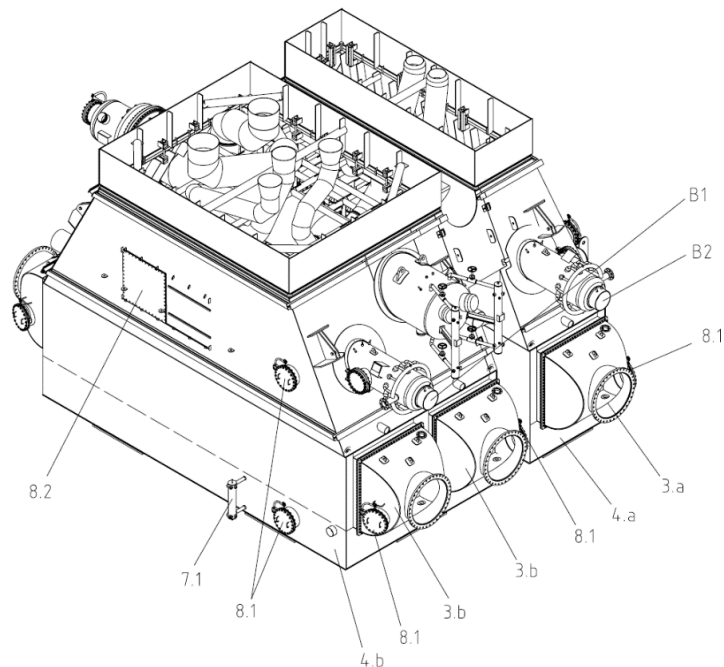
- aurukondensatsioon pärast madalrõhuline silindri (MRS)
- kogub kondensaadivett kondensaadi kollektorisse
- juhib ära kondenseerumata gaasid auru-vee tsüklis
- hoiab vaakumi, suurendamaks protsessi termilist tõhusust
- teostab tavalist ja avariilist etteannet paigaldisse
- taastab dreanaaživoolu, eriti käivitamise ajal
- alandab rõhku, teostab jahutust ja auru kondenseerimist, mis tuleb vahetult aurugeneraatorist ja läbib väljalaske seadet. [2]

Kondensaator on soojusvaheti, mille turbiini madalrõhu silindrist tulev heitaur kondenseerub torude välispinnale ja torude sees ringleb jahutusvesi, mis eemaldab aurukondensaadist soojuse. Kondensaatoril on kolm sektsiooni (vt joonist 1.1; 1.2): üks üksikmoodul (5.a) ja üks kaksikmoodul (5.b). Kondensaatori kael on jagatud kaheks osaks: ühekordne (5.2.a) ja kahekordne (5.2.b). Kondensaatori kaelasse on paigaldatud madalrõhusoojendid Duplex (A.1, A.2) koos vastava väljatõmbetoruga. Lisaks paiknevad kondensaatorite kaeldes kaks auru väljalaskeseadet KRJS-2 (B.1, B.2). [2] Kondensaatori igal osal on jahutusvee sissetõmbe- (2.a, 2.b) ja väljalaskeseade (3.a, 3.b). Iga kondensaatori mooduli saab jahutusveest lahti ühendada, näiteks remondi ajaks. Auru kondenseerumise tagajärjel tekkinud kondensaat juhitakse

kondensaadikogurisse, kust see kondensaadipumba abil välja pumbatakse ja suunatakse regenererimissüsteemi. [2]



Joonis 1.1 Kondensaatori põhikomponendid, eestvaade Alstom: A.1 madalrõhusoojendi 1 (DUPLEX); A.2 madalrõhusoojendi 2 (DUPLEX); 1.a Üksikmoodul; 1.b Kaksikmoodul; 2.a Sisselaske poole veekast (üksikmoodul); 2.b Sisselaske poole veekast (kaksikmoodul); 5.a Üksikkael; 5.b Kaksikkael; 5.2.a Ühenduselement (üksikkael); 5.2.b Ühenduselement (kaksikkael); 5.6 Väljatõmbesüsteem; 6.a Paisumiskamber; 6.b Paisumiskamber; 8.1 Luuk [2]



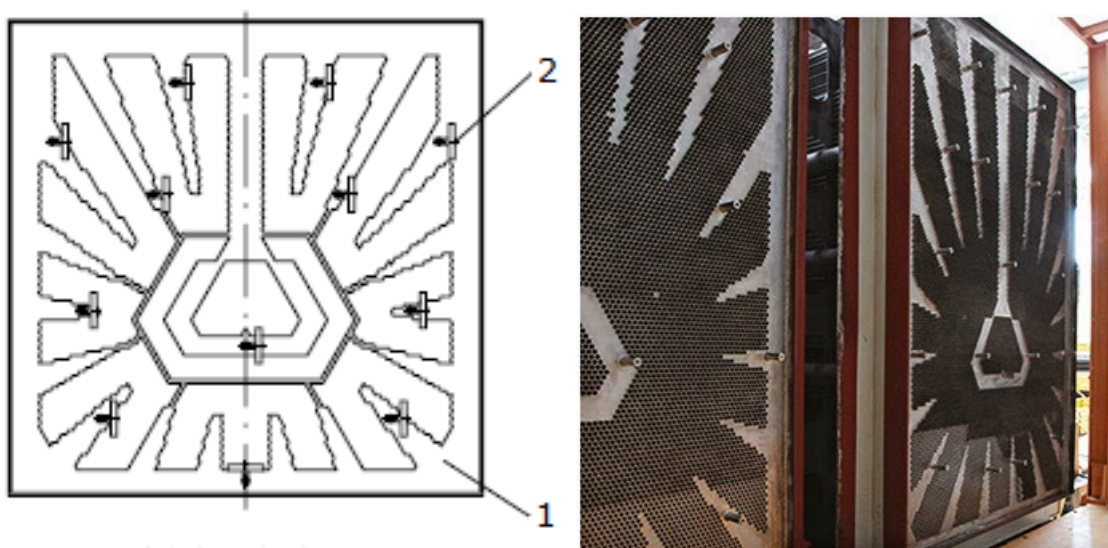
Joonis 1.2 Kondensaatori põhikomponendid, tagantvaade Alstom: B.1 Auru möödaviikseade; B.2 Auru möödaviikseade; 3.a Väljalaske poole veekast (üksikmoodul); 3.b Väljalaske poole veekast (kaksikmoodul); 4.a Kondensaadikogur (üksikmoodul); 4.b Kondensaadikogur (kaksikmoodul); 7.1 Rõhthtoru; 8.1 Luuk; 8.2 Paigaldusava [2]

Aur kondenseeritakse kolme torukimbuga, mille soojusvahetuse pindala on 14 539 m². Jahutustorusid toetavad tugiplaadid. [2]

Tugiplaatide arv ja nende vahelist kaugust arvutatakse nii, et torud ei vibreeriks lubatud tööpiirkonnas. [2] Toru sisemine kalle 5% hõlbustab äravooluseadme väljalülitamise ajal või kui moodul on remondiks isoleeritud. [2]

Torurestidega on ühendatud veekastid (joonis 1.3), mille kaudu antakse ette jahutusvesi. Kõigi kolme osa jaoks on üks sisselaskeava ja üks väljalaskekast. [2]

Veekastide kuju valitakse nii, et seal ei oleks surnud tsoone ega turbulentsialasid. See tagab torukimpudes jahutusvee ühtlase jaotumise. Joonisel 1.3 on kujutatud torukimbu koostis, nn Daisy bundle. Nagu on jooniselt näha, iseloomustab seda paigutust torukimbu kõrgelt arenenud perifeeria ja õhujahuti keskne asukoht. [2]



Joonis 1.3 Toruplaat Daisy bundle: 1 – Toruplaat; 2 - Anood [2]

Veekastide sisepinnad on korrosioonikindlad epoksükattega. Toruplaadile (1) kinnitatud kaitseanoodid (2) hoiavad ära veekambreid elektrokeemilisest korrosioonist. [2]

Turbiinist kondensaatorisse sisenev aur sisaldab alati õhku, mis satub turbiini MRS-otsatihendite kaudu, lekib erinevate auruturbiin elementide äärikuühendusi, kus rõhk on madalam kui atmosfääriline jne. [2]

Kondensaatori aururuumis vaakumi säilitamiseks tuleb kondenseerumata gaase pidevalt eemaldada. Selleks kasutatakse pöörlevaid veerõngaga vaakumpumpasid, mis imavad jääkauruga kondenseerumata gaase kondensaatorist, et tagada kondensatsiooniprotsessi käigus tekkiva vaakumi püsivus ja optimaalsus ning minimeerida hapnikusisaldus kondensaadis. [2]

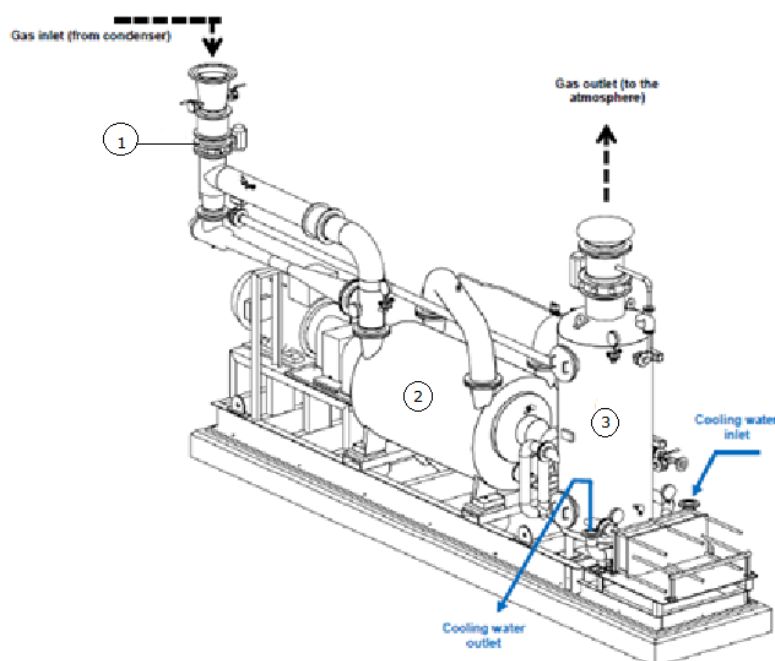
Söödavee kadu kompenseerimiseks pihustatakse kondensaatori kaela sees olevate pihustusdüüside abil lisavett torukimpudele. Seejuures toimub lisavee kuumutamine ja õhutamine. [2]

Lisaks on kondensaator varustatud Flashboxi aurustuskambritega kondensaadi vastuvõtmiseks aurutorustike drenaažikollektoritest, tihenditest, mõnest soojendist ja keemiliselt puhastatud vee lisamisest tsükli kondensaadikadude vähendamiseks. [2]

1.3 Kondensaatori vaakumsüsteem

Süsteemi eesmärgi saab jagada kaheks osaks:

- Käivitamise ajal töötav haardesüsteem võimaldab kondensaatori algvaakumit suurendada umbes 40 minutiga.
- Tavapärase töö ajal aktiveeritav alalhoidmise süsteem, mis võimaldab kondensaatoris vaakumit alal hoida. [2]



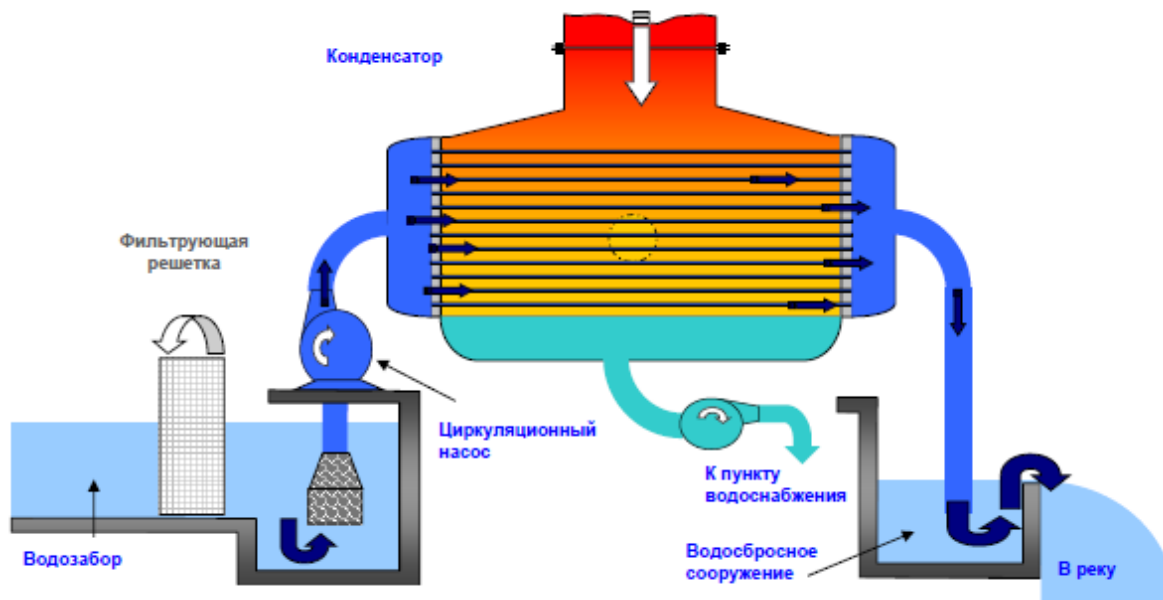
Joonis 1.4 Veeringiga vaakumpump [3]

Vaakumpumba plokk (vt joonist 1.4) on konstrueeritud veerõngaga vaakumpumba ümber. Iga vaakumpump ühendatakse kondensaatoriga imemisõhu pneumaatilise sulgklapi (1) kaudu. Iga pumba tihendusvesi ringleb suletud ahelas, mis koosneb vaakumpumbast (2), separaatorist (3) ja soojusvahetist. [3]

Separatori täiendveena kasutatakse demineraliseeritud vett. Täiendvesi võetakse soojusvaheti kaudu separaatorist läbi vaakumpumba. Soojusvahetit jahutatakse täiendava veejahutussüsteemiga, et hoida tihendi veetemperatuuri vastuvõetaval tasemel. [3]

Vaakumpumbast juhitakse vee ja õhu segu separaatorisse (3), kust õhk pääseb atmosfääri, tihendusvesi vajub põhja ja vaakumpump pumpab selle tagasi vooluringi. [3]

1.4 Peamise jahutusvee süsteemid



Joonis 1.5 Otsevoolu veevarustussüsteem [4]

Kõige tõhusam ja ökonoomsem on otsevoolu veevarustussüsteem (vt joonist 1.5). Otsevoolusüsteemis võetakse jahutusvesi jõest tsirkulatsioonipumpade abil, juhitakse kondensaatoris olevasse torukimpu ja seejärel lastakse jõkke kaugusele, mis välistab kuumutatud vee segamise jõest pumbatava kuumutamata veega. Tänapäevaste keskkonnanõuete kohaselt ei tohi jões lubatud vee kuumenemine ületada suvel 3 °C ja talvel 5 °C. Vastasel juhul väheneb vees lahustunud hapniku sisaldus, suureneb veetaimestiku areng ja mõnel juhul avaldab see kahjulikku mõju külma armastavate kalade väärtuslikele liikidele. [4]

1.5 Peamise jahutusvee süsteem

Peamise jahutusvee süsteem koosneb kahest pumbast (2*50%) ja kondensaatori jahutuspinna. Peamine jahutusveepump SATURNE 125–1200, ALSTOM NUPB. Pumba võlli võimsus – 1007 kW, pöörlemiskiirus – 425 p/min, kasutegur – 84%, pumba maksimaalne pöördkiirus - 709 p/min, manomeetiline rõhk- 16,40 m [4]

Süsteemi eesmärgid:

- jahutusvee etteanne kondensaatorisse,
- jahutusvee sissevõtt kondensaatori väljalaskeavast äravooluringi,
- kondensaatorite abil auruvee tsüklis kaotatud soojuse eemaldamine. [4]

1.6 Peamise jahutusvee filtreerimissüsteem

Peamise jahutusvee filtreerimissüsteem koosneb kahest pumbajaamahoones asuvast filtreerimisliinist (vt joonist 1.5). [4]

Süsteemi eesmärgid:

- peamiste tahkete elementide eemaldamine jõevee etteandel peamise jahutusvee pumpadesse,
- jäätmete ladustamine jäätmemahutis.

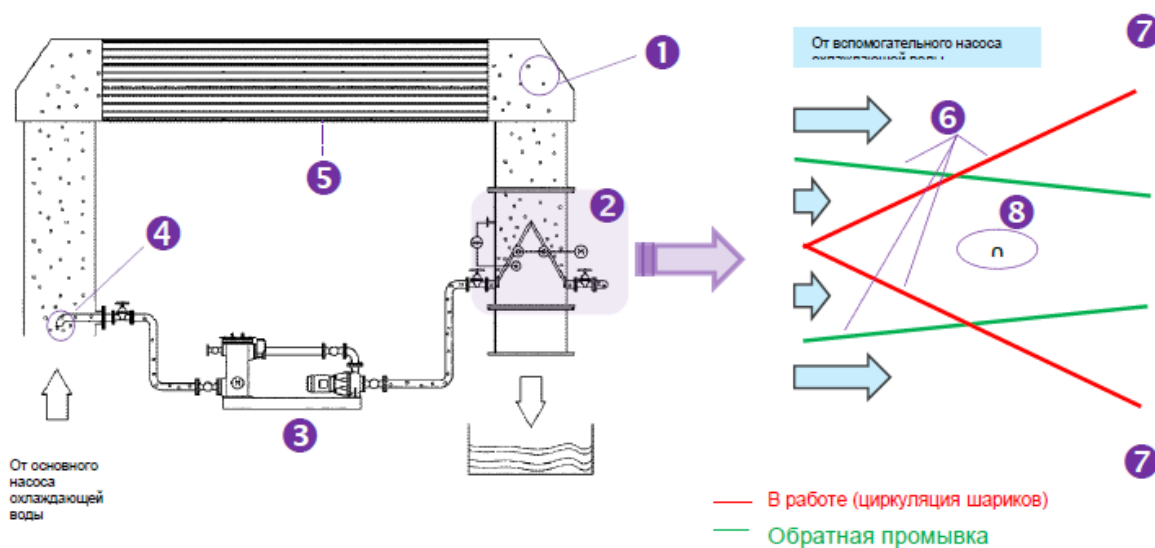
Süsteemi põhivarustus on:

- jäme rest ja kraabitsmehhanism,

pöörlevad ekraanid ja pihustussüsteem [4]

1.7 Pideva puhastuse süsteem

Kondensaatori pideva puhastuse süsteem puhastab kondensaatoritorude sisemust seadme töötamise ajal, säilitamaks maksimaalsed soojusülekanne jahutusvindade kaudu ja seega säilitamaks tsükli tõhustust. [4]



Joonis 1.6 Kondensaatori kuulpuhastussüsteem: 1 - puhastuskuulid; 2- filter; 3 - retsirkulatsioonipump; 4- pallide vabastamine; 5- kondensaator; 6- ekraanid; 7- harutoru kuulide eemaldamiseks 8- diferentsiaalandurid [4]

Kondensaatoritoru puhastussüsteem on pidev interaktiivne süsteem, mis kasutab kondensaatoritorude puhastamiseks käsnummipalle (vt joonist 1.6). See töötab pidevalt, puhastades igat kondensaatorit operaatore määratud aja jooksul. Süsteem töötab kondensaatori ümber suletud ringis. Puhastuskuulid (1) juhatakse kondensaatori (4) sisselaskevasse ja torusid (5) läbides kogutakse need spetsiaalse filtri (2) kaudu väljalaskevasse. Kondensaatoritoru puhastussüsteem töötab automaatrežiimis. Töötamise ajal (palli ringlus) katavad ekraanid kogu toru ristlõike, et puhastuskuulid

jahutusvee voolust eraldada. [4]

Puhastuskuulide ringlusse laskmiseks on paigaldatud pallide ringluspump (3).

Vastupesu ajal loputatakse ekraanid (6) tagant jahutusveega ja ekraanidele kogunenud praht pestakse ära. [4]

Pallifiltrile paigaldatud rõhuerinevuse tuvastamise seade (8) võimaldab järjestada:

- pallide kogumist,
- filtri vastupesu. [4]

2. KONDENSAATORIS TOIMUVATE PROTSESSIDE ÜLDPÕHIMÕTTED

Kondensaatori sõrendamise teke on tingitud asjaolust, et selle aurumahu tekib auru ja kondensaadi vaheline tasakaalurõhk, mis sõltub selle mahu temperatuurist. Auru temperatuuri kondensaatori mahus mõjutavad jahutustingimused. Teoreetiliselt temperatuuri madalaim piirväärtus aururuumis on jahutusvee temperatuur. Kondensaatoris on aga sellist seisundit võimatu saavutada. [5]

Tegelik temperatuur aururuumis ületab temperatuuri piirväärtust. Tegemist on keerulise sõltuvusega kondensaatoritoru seina soojustakistusest, torude sisemise (vee) ja välise (auru) pinna saastumisest, kondensaadi kile soojustakistusest välispinnal, õhu olemasolust hajutatud õhuga ruumis, kondensaatori aurukoormusest, jahutusvee tarbest jne. Kõik need tegurid mõjutavad soojusülekande tegurit k , $\text{kJ}/(\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ kondensatsiooniaurust jahutusveele. Omakorda sõltub keskmine logaritmiline temperatuurirõhk Δt_{cp} , $^\circ\text{C}$ soojusülekande teguri muutusest konkreetsetes töötingimustes. Selle sõltuvuse saab kindlaks teha kondensaatori soojusülekande võrrandist:

$$G_k(h_2 - h_k) = K \cdot F_k \cdot c_w \cdot \Delta t_{kesk}, \quad (2.1)$$

kus

G_k – aurutarve kondensaatoris, $\text{kg}\cdot\text{s}$;

h_2 – auru entalpia kondensaatori sisselaskeava juures, $\text{kJ}\cdot\text{kg}$;

h_k – kondensaatorist juhitava kondensaadi entalpia, $\text{kJ}\cdot\text{kg}$;

F_k – kondensaatori jahutuspind aurupoolel küljel, m^2 ;

c_B – tsirkatsioonivee erisoojusvõimsus, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$. [5]

Soojusseadme kasutustingimustes nimetatakse aururuumi temperatuuri (küllastustemperatuuri) ja jahutusvee temperatuuri erinevust kondensaatori väljalaskeava juures temperatuurirõhuks (jahutussüsteemi alakuumenemiseks vee küllastumistemperatuurini). [5]

Temperatuurirõhk on üks peamisi kondensaatori ja kogu turbiinjaama töö näitajaid. Temperatuurirõhu arvutamisel võetakse arvesse vooluhulka W , jahutusvee temperatuuri sisselaskeava juures t_{B1} ja auru voolukiirust G_k . [5]

2.1 Õhu partsiaalrõhk kondensaatoris

Kondensatsiooniprotsessi käigus eraldub kondenseerunud aurust õhk. See siseneb aurusse koos etteande veega ja seguneb auruga peamiselt turbiini sees, imbudes läbi halvasti tihendatud vaakumäärikute ja turbiini võlli tihendite. On ilmne, et õhu

partsiaalrõhk kondensaatoris on seda suurem, mida suurem kogus kondensaatorisse satub. [5]

Õhu olemasolu aurust muudab auru soojuse ülekandmise jahutusvette väga raskeks, mis põhjustab kondensaatoris rõhutõusu partsiaalrõhu arvelt. Lisaks põhjustab õhu olemasolu kondensaatoris rõhu tõusmise partsiaalrõhu tõttu. Näiteks kui aururõhk kondensaatoris on 0,02 bar ja õhurõhk 0,01 bar, siis on kondensaatori kogurõhk 0,03 bar. [5]

Kui auru ja õhu segu jahutatakse, on saadud kondensaadi temperatuur madalam kui küllastustemperatuur, mis leiti kondensaatori rõhust; kondensaadi temperatuur vastab auru partsiaalrõhule, mis on madalam kui auru ja õhu segu rõhk. [5]

Heitaururõhust leitud küllastustemperatuuri ja kondensaadi temperatuuri vahet nimetatakse kondensaadi alajahutuseks. [5]

Kui kondensaadi temperatuur on 18 °C ja heitauru temperatuur on 25 °C, siis on kondensaadi ülejahutus võrdub $25\text{ °C} - 18\text{ °C} = 7\text{ °C}$. [6]

Praktikas ei sõltu kondensaadi alajahtumine mitte ainult õhu olemasolust kondensaatoris, vaid sageli ka kondensaatori konstruktsioonivigadest, mis ilmnevad eriti madalate jahutusvee temperatuuride juures. [5]

Väikese koormuse või väga külma jahutusvee korral võib suurem osa aurust kondenseeruda ülemiste kondensaatoritorudega kokkupuutumisel. Seejärel jahutatakse kondensaati täiendavalt, voolates mööda alumiste torude. Lisaks võib kondensaatori alumises osas esineda partsiaalrõhu langus, s.o auru-õhu segu jahtumine ja sellest tulenevalt ka kondensaadi jahtumine. [6]

Kui torud asuvad liiga lähedastikku, võib aururõhk kondensaatori sisselaskeava juures olla torusüsteemi kõrge aurutakistuse tõttu oluliselt kõrgem kui rõhk kondensaatori alumises osas. Sellisel juhul toimub ka kondensaadi ülejahutus võrreldes kondensaatori kaelal mõõdetud aurutemperatuuriga. [6]

On ilmne, et kondensaadi jahutamine tsirkulatsiooniveega vähendab seadme kasutegurit, kuna see on seotud katlasse tagastatud soojushulga vähenemisega. Parimates kondensaatorisüsteemides õhupumpade hea tiheduse ja hea töö korral ei tohiks kondensaadi märgatavat alajahutust üldse esineda. [6]

Tsirkuleeriva veega tekkiv soojuskadu ei ole ainus kondensaadi ülejahutuse negatiivne tagajärg. Kondensaadi ülejahutusega kaasneb kondensaadi hapniku imendumine. Hapniku olemasolu aurust ja söödavees (kondensaadis) mõjutab metalli kahjulikult, põhjustades selle intensiivset roostetamist (korrosiooni). Igale konkreetsele

veetemperatuurile antud rohu juures vastab teatud maksimaalne hapnikusisaldus, mille see võib imada. [6]

Vaakumis väheneb hapnikusisaldus vees ja see muutub nulliks, kui kondensaadi temperatuur on võrdne küllastunud auru temperatuuriga, see tähendab, et kondensaadi ülejahutust ei toimu. Kondensaadi iga ülejahutusaste annab ligikaudu hapnikusisalduse suurenemise 0,02–0,14 mg/l. [6]

2.2 Juhutusvee kogus

Vaakumsügavuse saavutamiseks on vaja jahutusvett väga suurtes kogustes. [7]

Tarbitud vee koguse ja kondenseeritud auru koguse suhet nimetatakse jahutuskiiruseks m : kui 1 kg auru kondenseerimiseks kulub 70 kg vett, siis jahutuskiirus on 70. [7]

Pinnapealse kondensaatori puhul on jahutuskiirus turbiini täiskoormusel tavaliselt 50–60 ja harva 75–80; selle edasine suurendamine ei ole tavaliselt õigustatud, kuna sel juhul vaakum süveneb vaid vähesel määral ja samas suureneb oluliselt pumpade vajalik võimsus ja sellest tulenevalt nende tööks vajalik energiakulu. On ilmne, et kui sissetuleva auru koguse vähenemisega jääb tarnitava jahutusvee kogus muutumatuks, siis turbiini mittetäieliku koormuse korral suureneb jahutuskiirus; sellest on peamiselt tingitud paranenud vaakum turbiini koormuse vähenemise korral. [7]

2.3 Juhutusvee temperatuur

On ilmne, et vaakumsügavus sõltub jahutusvee temperatuurist ja selle juures vaakumi vahe suvel ja talvel võib olla väga suur (suvel 90–92% ja talvel 97–98%). Väga külma vee juures võib vaakumsügavus olla nii märkimisväärne, et turbiin, mis on mõeldud auru laiendamiseks ainult teadaolevate piirideni, ei kasuta seda. Talvel on sageli otstarbekas töötada vähendatud jahutusvee tarbimisega, vähendades töötavate tsirkulatsioonipumpade arvu. [7]

Liigne veevool läbi kondensaatori, eriti madalatel veetemperatuuridel, põhjustab kondensaadi ülejahutamise. Kondensaadi ülejahutamine halvendab seadme efektiivsust, kuna koos jahutusveega suureneb soojuskadu ja regeneratiivse ekstraheerimise käigus tekkiva auru tõttu on vaja lisavett soojendada. Lisaks halvendab kondensaadi ülejahutamine kondensaadi deaereerimist kondensaatoris, mis võib põhjustada kondensaadi hapnikusisalduse olulist suurenemist (vt Lisa 1). Seetõttu tuleb jahutusvee vooluhulka läbi kondensaatori reguleerida sõltuvalt kondensaatori aurukoormusest ja jahutusvee temperatuurist. Kondensaatoris jahutusvee voolukiiruse õige reguleerimise korral säilitatakse majanduslikku vaakumit ja kondensaadi alajahtumine ei ületa kondensaatori alamväärtust. [7]

2.4 Jahutusvee kiirus torudes

Auru soojusülekanne vette toimub tavaliselt seda parem, mida suurem on selle voolukiirus torudes; kondensaatori projekteerimisel on kiirusepiirang seatud majanduslikest kaalutlustest lähtuvalt, kuna kiiruse suurendamine nõuab pumba võimsuse kasvu ja üle teadaolevate piiride muutub kahjumlikuks. Lisaks eksisteerib suurel veekiirusel torude purunemise oht nn "joa korrosioonist". Tavaliselt kasutatakse kiirust 1,4–2,2 m·s. [7]

2.5 Kondensaatoritorude puhtus

Aurusoojuse ülekandmine jahutusvette sõltub suuresti kondensaatoritorude puhtusest nii väljast kui ka seestpoolt. Torude välise (auru) külje saastumine auruturbiinide kondensaatorite juures on üsna haruldane nähtus ja selle mõju on suhteliselt väike, kui heitaur ei sisalda õli ega muid lisandeid; torude sisemine külg on pidevalt saastunud setetest, mis langevad ringlevast veest ja kahjustavad tõsiselt soojusülekannet läbi torude. [8]

Vee filtreerimine ei saa tagada usaldusväärset kaitset kondensaatori saastumise eest. Kondensaatori muutumata õhutihenduse ja õhku eemaldatavate seadmete tavatöö juures näitab torude saastatust kondensaatori ees oleva auru temperatuuri ja lahkuva jahutusvee temperatuuride vahe, s.o soojusrõhu suurenemine. [8]

Kui tsirkulatsioonipumbad töötavad ühisel liinil, reguleeritakse veevoolu kiirust töötavate pumpade arvu muutmisega või, mis on vähem ökonoomne, sulgedes tsirkulatsioonimagistralil asuva rõhuliiniklappi. [8]

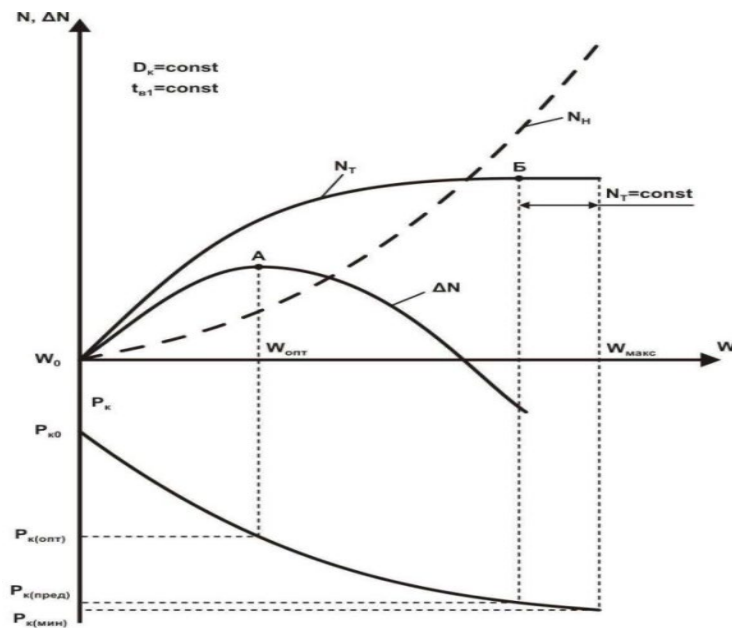
2.6 Auruturbiini kondensaatori maksimaalse ja majandusliku vaakumi mõisted

Kondensaatoris oleva heitauru rõhu langus suurendab turbiiniseadmes toodetud elektrienergia kogust. See suhe on aga mitmetähenduslik. Kondensaatori minimaalset aururõhku (maksimaalset vaakumväärtust) piiravad kaks peamist mõistet – need on maksimaalne ja majanduslik vaakum. [9]

Maksimaalse vaakumi mõiste on seotud MRS läbivooluosa konstruktiivsete ja režiimist sõltuvate omadustega, nimelt selle viimase astmega. Kondensaatori aururõhu langusega saavutatakse teatud ajahetkel MRS viimase astme maksimaalne läbilaskevõime. See väljendub selles, et selle astme väljalaskeava osas lakkab aururõhk muutumast selle paisumisvõime ammendumise tõttu. Selle juures toimub aurupaiskumine viimase astme töörest väljalaskeava kondensaatori rõhuni turbiiniseadme väljalasketorus ja toodetud elektrivõimsus jääb muutumatuks. [9]

Kondensaatori maksimaalne vaakum, mille juures saavutatakse maksimaalne elektrivõimsus, ei ole tavaliselt majanduslikult tasuv. Antud konstruktsiooniga

kondensaatoris on aururõhu langus seotud elektritarbimise suurenemisega täiendava jahutusveekoguse tarnimiseks tsirkulatsioonipumpade ajamile. Käsitleme joonisel 2.1 kujutatud näidet. Laseme turbiiniüksusel töötada pideva auruvooluga kondensaatorisse D_k , samuti ei muutu jahutusvee temperatuur kondensaatori t_{B1} sisselaskeava juures. Kondensaatorist W_0 läbiva jahutusvee voolukiiruse minimaalse väärtuse korral seatakse kondensaatoris P_{k0} teatud absoluutse aururõhu väärtus. Jahutusvee tarbe suurenemine (kuni maksimaalse võimaliku väärtuseni W_{max}) viib heitauru rõhu pideva languseni (võrdne $P_{k\ min}$ jahutusvee tarbe W_{max} juures). Samal ajal suurenevad turbiiniseadme genereeritud elektrivõimsus N_T kui ka tsirkulatsioonipumpade N_H ajami energiatarve. [9]



Joonis 2.1. Maksimaalse ja majandusliku vaakumi määramise graafik: N_T – turbiinigeneraatori elektrivõimsus; N_H – tsirkulatsioonipumpade ajami tööle kuluv elektrienergia; ΔN – efektiivne elektrienergia tarnimine võrku; W – jahutusvee tarve läbi kondensaatori; P_k – absoluutne aururõhk kondensaatoris; D_k on kondensaatori aurutarve; t_{B1} – kondensaatori jahutusvee temperatuur. [9]

Kasuliku elektrivõimsuse võrku andmise maksimum (punkt A), mis arvutatakse valemi $\Delta N = (N_T - N_H)$ põhjal, vastab kondensaatori jahutusvee voolu optimaalsele väärtusele W_{opt} ja absoluutsele aururõhule $P_{k,opt}$. Absoluutsele rõhule $P_{k,opt}$ vastavat vaakumit nimetatakse majanduslikuks (kõige soodsamaks). $P_{k,opt}$ väärtus on suurem kui piirav aururõhk kondensaatoris $P_{k,pred}$ (punkt B joonisel 2.1). [9]

Samuti on olemas kondensaatori auru nimirõhu ja vastava nimivaakumi mõiste. Kondensaatori nimirõhk on rõhk, mis võetakse aluseks auruturbiinijaama projekteerimisel projekti tasuvusuuringu tulemuste põhjal, arvestades kütuse maksumust soojuse ja elektri tootmiseks, samuti arvestades kasutusel oleva tehnilise veevarustussüsteemi omadusi ja iseärasusi. [9]

3. KONDENSAATORI ENERGEETILISTE OMADUSTE VÕRDLU

Kondensaatori töörežiimi tõhususe hindamiseks kasutatakse selle standardseid energeetilisi karakteristikuid, mis koosnevad kondensaatori aururõhu ja kondensaatori lõpliku temperatuurirõhu sõltuvusest selle aurukoormusest ja jahutusvee temperatuurist kondensaatori sisselaskeava juures jahutusvee voolukiiruse erinevatel väärtustel. Täpsemad karakteristikud saab hinnata kõige täpsemalt kondensaatori termiliste katsete käigus. Edasi jälgitakse töötamise ajal kondensaatori tehnilist seisukorda, võrreldes tegelikke näitajaid normatiivse energeetiliste karakteristikutega. [10]

Tingimustes, kus elektri jaam praegu töötab, kondensaatorite soojuskatsete läbiviimine täismahus on seotud raskustega, mis väljenduvad näiteks vajaduses jaotada katseid aastaegade peale, et uurida veejahutuse töötemperatuuri vahemikku kondensaatori sisselaskeava juures, sellega seoses tekivad raskused kondensaatorisse vajaliku aurutarbimise prognoosimisel, kuna toiteplokk töötab vastavalt elektrikoormuse graafikule, mille taseme määrab võrguoperaator elektri hulgemüügiture olukorra põhjal. [10]

3.1 Kondensaatori tootlikkuse arvutamine

AEJ turbogeneraatori kondensatsiooniseadme efektiivsuse määramiseks kasutatakse Alstomi välja töötatud programmi SCE (Smart Calculation Engine). Kondensaatorite tehnoloogiliste protsesside keerukuse ja suure hulga mõjutegurite tõttu põhineb tarkvaramoodulis kasutatav matemaatiline mudel kondensaatorite termilise arvutamise kontrollimeetodil. Tootlikkuse arvutamine on tsükliline ja seda tehakse iga 10 sekundi järel seadme stabiilse töö juures. Arvutusandmed kuvatakse mnemoskeemil (vt joonist 3.1). [10]

Condenser Performance			
Expected Pressure	0.013 bar-A	Heat Duty	259704 kW
Expected Sat Temperature	10.7 °C	Actual Heat Transfer Rate	1330 W/m ² /C
Cooling Water Mass Flow	12273 kg/s	Logarithm Average Temp Diff	13.4 °C
Cooling Water Temp Rise	5.1 °C	Terminal Temperature Diff	11.1 °C
Aux Cooling Water Mass Flow	1002 kg/s	Cleanliness Factor	46.5 %
Operator Inputs - Condenser Parameters			
Number Of Plugged Tubes	4		

Joonis 3.1 Kondensaatori tootlikkus [10]

- $t_{sat\ exp}$ – arvutuslik küllastustemperatuur kondensaatoris. See sõltuvus on põhiline kondensaatori ja kogu kondensatsiooniseadme kui terviku efektiivsuse

analüüsimisel nii turbiini nominaalsel kui ka muutuval töörežiimil, °C: [10]

$$t_{sat\ exp} = t_{w1} + \Delta t, \quad (3.1)$$

kus

t_{w1} – jahutusvee temperatuur sisselaskeava juures, °C;

Δt – vee soojendamine kondensaatoris (Cooling water Temp Rise), °C: [10]

$$\Delta t = t_{w2} - t_{w1}, \quad (3.2)$$

Kus

t_{w2} – jahutusvee temperatuur väljalaskeava juures, °C;

- Kondensaatori arvutuslik soojuskoormus Q_{cond} , kW; [10]

$$Q_{cond} = \Delta t * c * Q_{wm}, \quad (3.3)$$

Kus

c – erisoojus, kJ·kg·°C, const = 4.18. [10]

Q_{wm} - jahutusvee tarbimine.

- Temperatuurirõhk (Terminal Temperature Diff) dt , °C: [10]

$$dt = t_{sat} - t_{w2}, \quad (3.4)$$

kus

t_{sat} – kondensaatori küllastustemperatuur, °C.

- jahutusvee tarbimine (Cooling water mass flow) Q_{wm} , kg·s: [10]

$$Q_{wm} = \frac{Q_{p1} + Q_{p2}}{3600} * \rho_w, \quad (3.5)$$

kus

Q_{p1} , Q_{p2} – graafikult võetud veetarbimine (vt Joonis 3.2), m³·h;

ρ_w – Vee tihedus, kg·m³;

Vee tihedus ρ_w 0° C juures $\leq t_{ave} \leq 15^\circ$ C: [10]

$$\rho_w = 999.87 + 0.00629 * t_{ave} - 0.0076 * t_{ave}^2.$$

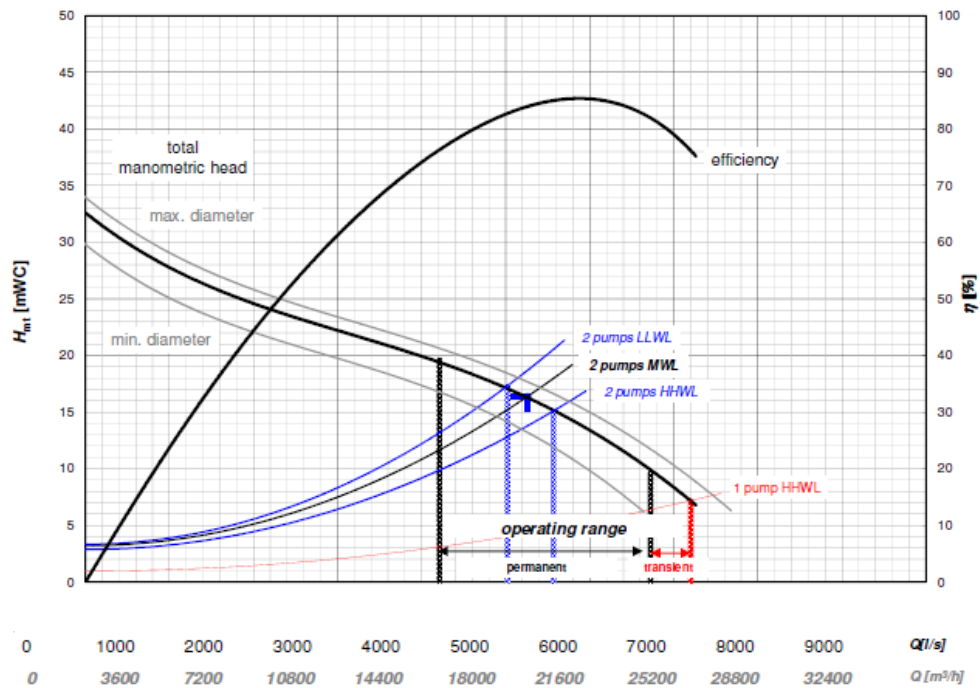
Vee tihedus ρ_w $t_{ave} > 15^\circ$ C juures: [10]

$$\rho_w = 1000.6 - 0.0337 * t_{ave} - 0.0044 * t_{ave}^2.$$

SATURNE 125-1200

project: P1AE
document: P1AEA000GP01

flow rate: 5263,9 L.s⁻¹ total manometric head: 16,4 mWC rotating speed: 425 rpm
18950,0 m³.h⁻¹ density: 1000 kg.m⁻³
hydraulic impeller diameter (min / nom / max) 978,7 / 1023,4 / 1044,2 mm



Joonis 3.2 Pumba karakteristik [11]

- Jahutusvee tarbimist Q_{wp} , kg·s TP-s määrame pumba karakteristiku alusel (vt Joonis 3.2). [10]

$$Q_{wp} = \frac{p_p \cdot 100000}{\rho_w \cdot g} + p_l - L_w, \quad (3.6)$$

kus

p_p – rõhk pärast TP, barg;

g – gravitatsioonikonstant, const = 9,81m·s⁻²;

p_l – jõe projektijärgne veetase, const = 25,6 m;

L_w – jõe mõõdetud veetase, m.

t_{ave} – jahutusvee keskmine temperatuur sisse-/ väljalaskeava juures.

- Soojusülekanalitegur K_{act} : [10]

$$K_{act} = \frac{1000 \cdot C \cdot Q_w \cdot Q_p \cdot \Delta t}{F_{ef} \cdot \Delta t_{log}}, \quad (3.7)$$

kus

F_{ef} – efektiivne soojusvahetusala, m²

Δt_{log} – keskmine logaritmiline temperatuurierinevus kondensaatoris, °C.

- Efektiivne soojusvahetusala: [10]

$$F_{ef} = \frac{F_k \cdot (n - n_{plug})}{n}, \quad (3.8)$$

kus

F_k – kondensaadi jahutusala, m², const = 14538,9;

n_{plug} – suletud torude arv, 4 toru.

- keskmine logaritmiline temperatuurierinevus kondensaatoris: [10]

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{t_s - t_{w1}}{t_s - t_{w2}}\right)}, \quad (3.9)$$

- Kondensaatori puhtustegur $Cond_{clean f}$, %: [10]

$$Cond_{clean f} = \frac{K_{act}}{K_{tub}} * 100, \quad (3.10)$$

kus

K_{tub} – puhta toru soojusülekannekoefitsient, W·m²·°C: [10]

$$K_{tub} = K_{tub 0} * t_{w1cor f} * CWmf, \quad (3.11)$$

kus

$K_{tub 0}$ – põhiline soojusülekannekoefitsient, mis valitakse vastavalt toru läbimõõdule (const = 17 mm) ja jahutusvee kiirusele, W·m²·°C;

$t_{w1cor f}$ – tabelis määratud sisselaskeava jahutusvee temperatuuri parandustegur sõltuvalt jõe vee temperatuurist;

$CWmf$ - torumaterjali parandustegur, roostevaba teras 304L, võttes arvesse toru paksust const = 0,5. [10]

Kanname tabelisse arvutusandmed, mis saadakse jahutusvee erinevate väärtuste juures ja sõltuvalt erinevatest koormustest töötavate TP arvust (vt tabel 3.1)

Käesoleva uurimise käigus tuleb hinnata AEJ auruturbiini seadme tõhusust ühe tsirkulatsioonipumbaga madalatel temperatuuridel töötades.

Kondensatsiooniseadme koosseisus töötab kaks tsirkulatsioonipumpa. Ühe pumba töötamise korral on tsirkuleeriva vee voolukiirus vastavalt projektile $W_1 = 6\,289$ kg/s, selle pumba ajami võimsus – $N_{H1} = 1\,200$ kW, projekteeritud soojuskoormus

$Q = 334\,775$ kW. Kahe pumba töötamise korral on $W_2 = 10\,482$ kg/s ja $N_{H2} = 1\,400$ kW, projekteeritud soojuskoormus $Q_{cond} = 339\,500$ kW.

Tabel 3.1 Mõõtmistulemused erinevatel režiimidel

Parameetrid	N _{el} – 300 MW				N _{el} – 220 MW		N _{el} – 122 MW			
	Tsirkulatsioonipumpade arv				Tsirkulatsioonipumpade arv		Tsirkulatsioonipumpade arv			
	2 tk			1 tk	2 tk	1 tk	2 tk			1 tk
t _{w1} , °C	7	14	21	7	7	7	7	14	21	7
p _{exp} , bar	20	33	45	32	15	23	13	22	33	17
p _{act} , mbar	29	36	50	31	22	25	17	28	40	19
t _{sat exp} , °C	17	26	31	25	13	20	11	19	26	15
t _{sat act} , °C	19	27	34	23	16	19	15	23	29	16
Q _{wm} , kg·s	12 283	12 184	12 213	10 614	12 283	10 614	12 283	12 140	12 191	10 620
Δt, °C	6	6	7	7	4	7	8	3	3	5
Q _{cond e} , kW	310 961	318 788	350 894	478 365	208 194	478 365	345 011	146 069	165 656	218 772
K _{act} , W·m ² ·°C	2 609	3 579	3 794	3 592	1 915	3 592	3 334	2 415	3 579	2 582
Δt _{log} , °C	8	8	7	7	7	7	7	4	3	6
dt, °C	6	5	4	4	6	4	4	3	2	4
Cond _{clean} , %	80	72	92	100	61	100	100	64	87	84

Kasutades AEJ turbiini kondensaatoriseadme monitooringugraafikuid (vt joonist 3.3; 3.4), määrame kondensaatori arvutusliku rõhu sõltuvalt kondensaatori soojuskoormusest sisselaskeava juures oleva jahutusvee erinevatel temperatuuridel ja võrdleme seadmete tegelike näitudega.

Selleks määrame iga töörežiimi jaoks kondensaatori soojuskoormuse Q_{cond} , %: [2]

$$Q_{cond} = \frac{Q_{cond e}}{Q_{design}} * 100, \quad (3.13)$$

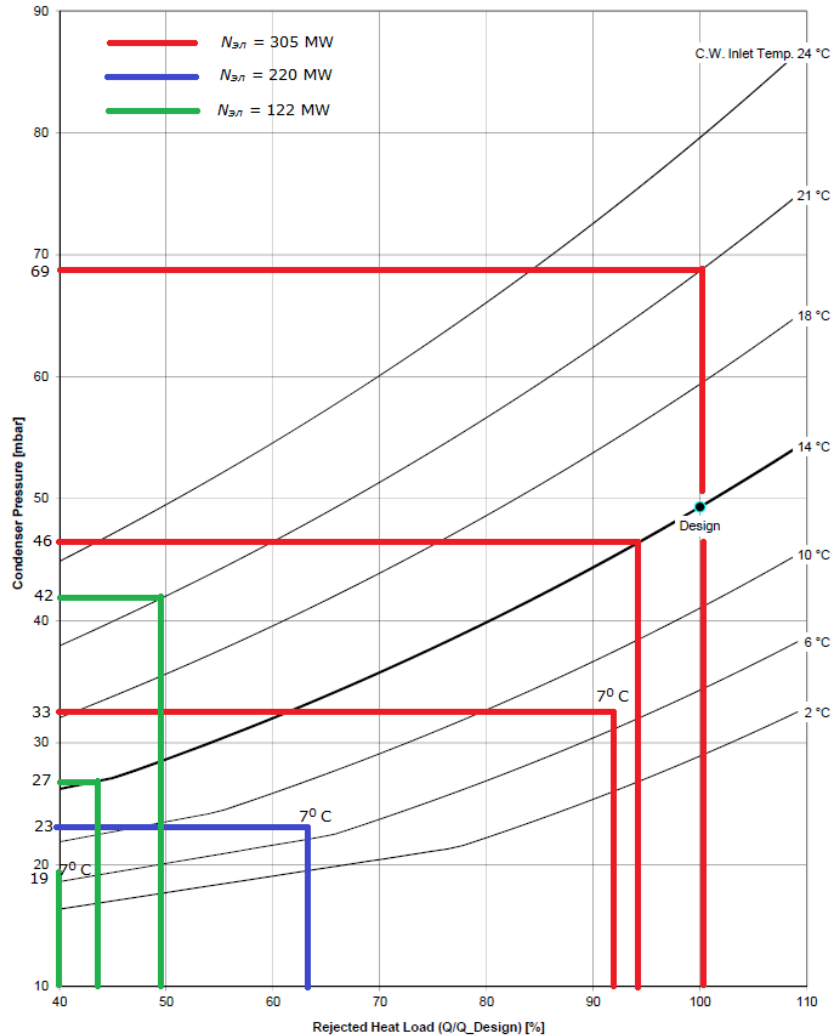
Saadud tulemused kanname tabelisse 3.2.

Tabel 3.2

N _{el} , MW	t _{w1} , °C	2 TP			1TP		
		Q _{cond e}	Q _{design}	Q _{cond}	Q _{cond e}	Q _{design}	Q _{cond}
305	7	310 961	339 517	91,58923	478365	334 775	142,89
	14	318 788	339 517	93,89456		334 775	0
	21	350 894	339 517	103,3509		334 775	0
220	7	208 194	339 517	61,32064	345011	334 775	103,06
122	7	126 734	339 517	37,32773	202387	334 775	60,45
	14	146 069	339 517	43,02259		334 775	0
	21	165 656	339 517	48,79167		334 775	0

Näiteks määrame kondensaatori arvutuslikku rõhku:

- kahe töötava TP korral $N_{\Sigma n} = 122 \text{ MW}$ ja $t_{w1} = 7^\circ \text{ C} \Rightarrow Q_{cond} = \frac{126734}{339\,517} * 100 = 37\%$ (vt joonisel 3.3 rohelist joont);



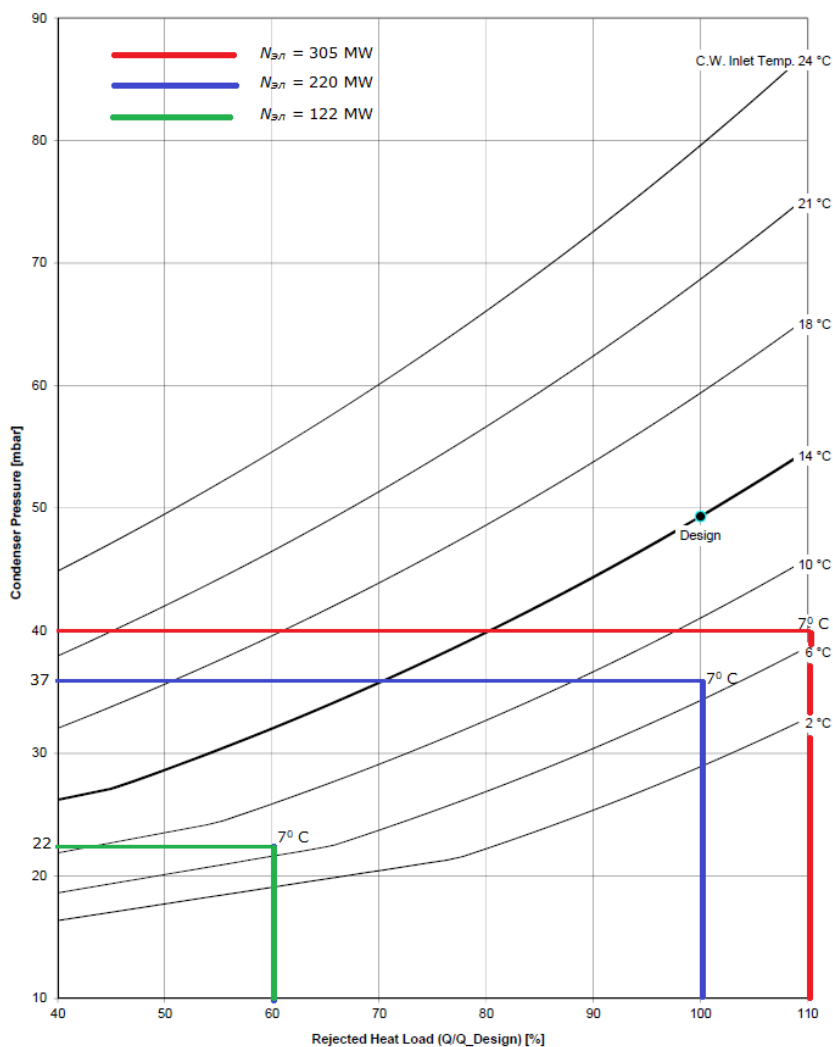
Joonis 3.3 Võimsusköver: Soojuskoormus 339 517 kW; C.W.Massflow 10 482 kg/s; Puhtus 0,95 [2]

- ühe töötava TP korral $N_{\Sigma n} = 122 \text{ MW}$ ja $t_{w1} = 7^\circ \text{ C} \Rightarrow Q_{cond} = \frac{202387}{334775} * 100 = 60\%$ (vt joonisel 3.4 rohelist joont).

Kahe töötava TP korral on kondensaatori soojuskoormus 37% ja jahutusvee temperatuur 7° C , vastavalt graafikule (vt joonist 3.3) peaks vaakum kondensaatoris olema 19 mbar, vastavalt monitooringule tegelik vaakum kondensaatoris 17 mbar (vt tabelit 3.1 *Pact*)

Ühe töötava TP korral $Q_{cond} = 60\%$, $t_{w1} = 7^\circ \text{ C}$, vastavalt graafikule (vt joonist 3.4) peaks vaakum kondensaatoris olema 22 mbar, vastavalt monitooringule tegelik vaakum kondensaatoris 19 mbar (vt tabelit 3.1 *Pact*).

Ülaltoodud arvutuste põhjal (vt tabelit 3.1) ja vastavalt turbogeneraatori kondensatsiooniseadme töögraafikutele (vt lisa 1, 2) võib ploki minimaalsest maksimaalse koormuseni madalal jahutusvee temperatuuril töötada üks TP.



Joonis 3.4 Võimsuskõver: Soojuskoormus 334 775 kW; C.W.Massflow 6 289 kg/s; Puhtus 0,95 [2]

Seetõttu peaks madalal jahutusvee temperatuuril või energiaploki madalatel elektrilistel koormustel kõrgendatud veetemperatuuridel vähendada jahutusvee voolu läbi kondensaatori, et tagada jõuüksuse maksimaalne tõhusus, mis saavutatakse TP reservi viimisega.

Selle juures väheneb aga vee kiirus. Väikese veekiiruse korral ei pruugi pallipuhastussüsteem tõhusalt töötada, mille tagajärjel võib jahutusvee tarbimise vähenemine arvutusliku optimaalse väärtuseni põhjustada vastupidise efekti.

Kuna antud uurimise käigus pole arvutustega võimalik hinnata kondensaatori torukibu puhastamise tõhususe vähenemist, saab jahutusvee tarbimise lubatud alampiiri tuvastada ja korrigeerida eksperimentaalselt lähtudes jahutusvee kvaliteedi muutmisest.

Samuti vähendab ühe TP reservi viimine madalate temperatuuride ajal süsteemi üleliigsust, kuna olemasolev blokeerimissüsteem ei näe ette varupumba töösse viimist hädaseiskamise korral. Seega viib töötava TP väljalülitamine põhjustada täieliku koormuse languse ja energiabloki elektrivõrgust lahtiühendamise. Energiabloki väljalülitamise vältimiseks on vaja jaotuse juhtimissüsteemis (DCS) välja töötada pumba ümberlülitamise loogika ja näha ette reservis oleva TP automaatse töösse viimise võimalus.

Konkreetsete tingimuste ja tsirkulatsiooniveevarustuse skeemide kohta esitatud andmed näitavad märkimisväärseid majanduslikke kahjusid, mis tekivad jahutusvee tarbimise reguleerimise puudumisel.

3.2 Omatarbe kokkuhoiu arvutamine ühe TP reservi viimisel

Hindame majandusliku mõju väärtust ühe TP töötamise korral. Selleks kasutame 2020. aasta andmeid (vt Lisa 3).

Ühe pumba tööaeg aastas oli 5520 tundi. Veetemperatuur oli jões üle seitsme kuu alla 10⁰ C. Tabelist 3.4 näeme, et energiablokk töötas baasilähedase koormusega, veidi üle 36%. Seetõttu oletame, et TP võis olla 60% ajast reservis. 1 MW/h elektrienergia maksumuse aluseks võtame AEJ poolt toodetud elektrienergia maksumuse 2020. aastal - 43 eurot, sest elektrienergia omatarbe 1 MW/h hind on konfidentsiaalne.

Tabel 3.4 Töötundi 2020. aastal

8784	tundi 2020. aastal
2127	töötundide arv koormustel 100–190 MW
1105	töötundide arv koormustel 191–280 MW
5119	töötundide arv koormustel 100–305 MW
1857	töötundide arv koormustel 281–305 MW
36,2766	% baaskoormusel 280–305 MW
3665	tundi energiablokk ei töötanud

Nende andmete põhjal määrame 1,2 MW võimsusega TP elektritarbimise, mis töötas 2020. aastal umbes 230 päeva, W_a , MW/h:

$$W_a = 24 * P_n * n, \quad (3.14)$$

kus

P_n – pumba nimivõimsus, MW;

n – päevade arv aastas, kui pump oli töös, h;

$$W_a = 24 * 1,2 * 230 = 5723136 \text{ MW/h}$$

Aastane energiasääst on:

$$\Delta W_a = \Delta W * W_a, \tag{3.15}$$

kus

ΔW – energiasääst aastas TP reservis oleku ajal, MW/h.

$$\Delta W_a = 0,6 * 5723136 = 31281,6 \text{ MW/h}$$

Järgmisena määrame rahasäästu:

$$E = \Delta W_a * B \tag{3.16}$$

kus

B – 1 MW/h hind, euro.

$$E = 31281,6 * 43 = 141108,8 \text{ eur}$$

Ligikaudsete arvutuste põhjal on näha, et aastaga oleks võinud omatabe pealt kokku hoida umbes 141 109 eurot.

Need arvutused näitavad, et jahutusvee tarbimise reguleerimise ilmne majanduslik otstarbekus kinnitab vajadust optimeerida töörežiimi ja moderniseerida tsirkulatsioonipumbasid.

4. ELEKTRIJAAAMA OMATARVE – ENERGIA JA RESSURSI KOKKUHOID

Omatarbeseadmete töö optimeerimine võimaldab säästa omatarbeks kasutatavat elektrienergiat. Ploki vahelduvad töörežiimid halvendavad selle töökindlust. Nendest režiimidest kannatavad peamised termomehaanilised seadmed, samuti omatarbeseadmed – arvukad pumba- ja ventilaatorplokid ning nende asünkroonmootorid. Energiaploki sagedased käivitamiste ja seiskamistega ning koormusgraafiku muutustega kaasnevad täiendavad kaod omatarbeseadmete mitteoptimaalsete töörežiimide tõttu. [13]

Jõudlust võib muuta tänu nõuetele, mis käsitlevad labade jäiga kinnitusega labamasinate pöörlemiskiiruse juhtimise sujuvust ja reguleerimise piire, tõhusust, juhtimisseadmete töö usaldusväärsust erinevates tingimustes (nii normaaltingimustes kui ka hädaolukorras), võimalust kasutada suhteliselt lihtsaid kaugjuhtimise meetodeid.

Elektrijaamas on reguleerimise tõhususe tingimus üks määravatest, kuna pumba ajamile kulutatud energia vähenemine isegi ühe protsendi murdosa vähenemise poole annab olulise majandusliku efekti. [13]

Labamasina pöörlemiskiiruse muutumisega kaasneb vastav muutus selle peamises töomaduses ja tööpunkt liigub mööda võrgu konstantset omadust. Selle juures puuduvad klapis survekaod. Seega on labamasinate jõudluse reguleerimine nende pöörlemiskiiruse muutmisega võimsuskadude seisukohast palju säästlikum kui seguklapi abil reguleerimine. [13]

4.1 Tsirkulatsioonipumpade täiendamise võimalus kõrgepinge sagedusmuundurite paigaldamisel

Muutuva sagedusega ajam (MSA) on maailmapraktikas tunnustatud kui üks kõige tõhusamaid energiasäästlikke keskkonnasõbralikke tehnoloogiaid. [14]

Vaatleme TP asünkroonse elektriajami sageduse juhtumise süsteemi paigaldamise võimalust ja selle kasutamise tehnilist ja majanduslikku põhjendatust.

Asünkroonse mootori peamine puudus on pöörlemiskiiruse reguleerimise keerukus traditsiooniliste meetoditega. Mootorit saab juhtida sisendpinge sageduse muutmisega. [14]

MSA kasutamine pakub mitmeid eeliseid, näiteks:

- energiasääst kuni 80%;
- hüdrauliste löökide vältimine, mis võimaldab oluliselt suurendada torustike ja ventiilide tööiga;

- suurte käivitusvoolude puudumine, pumbaseadmete elektrimootorite täielik kaitse, elektrimootorite ja vähendatud koormusega käivitusseadmete töö – kõik see võimaldab pikendada seadmete tööiga.
- märkimisväärne jahutusvee kokkuhoid tänu kondensaatori veevoolu optimeerimisele. [14]

ABB Eesti AS-le sai esitatud hinnapäring kõrgepinge sagedusmuunduri paigaldamiseks TP elektriajamile.

Peamine jahutusveepump (TP) SATURNE 125-1200 on varustatud HYOSUNGI toodetud VSTC 900C tüüpi asünkroonse mootoriga, millel on järgmised karakteristikud:

Pinge: 10,5 kV

Nimivool: 85 A

Mootori nimivõimsus: 1200 kW

Mootori kasutegur: 94,2 %

Mootori Cos φ : 83 %

Käivitusvool Id/In: 5,5 In

Mähise ühenduse tüüp: täht [11]

Nende andmete põhjal saadi ABB Eesti AS-lt hinnapakumine kõrgepinge sagedusmuunduri ACS580MV paigaldamiseks.

10,5kV sagedusmuundur 1,2MW, automaatikast juhitud By-pass: umbes 219 000 EUR.

Sagedusmuundurite maksumuses on arvestatud ka sagedusmuunduri programmeerimine ja testimine (ei ole arvestatud montaaži, ühendamise ja ühenduste kontrollimise töid).

Need andmed edastati edasiseks uurimiseks investeeringute ja projektide osakonnale. Reguleeritava elektriajami kulude otstarbekuse kindlaksmääramine on mitmeteguriline ülesanne, mis nõuab märkimisväärset hulka esialgset teavet. Teabe põhineb AEJ töörežiimide võimalike muutuste uuringutel ja prognoosidel, kütuse ja elektrihinna muutuste prognoosidel arvutuslikuks tasuvuse perioodiks (reguleeritava elektriajami lisakapitalikulude maksimaalne tasuvusaeg energeetikas on 3–5 aastat), statistilistel teadmistel kapitaalremondi perioodide kohta enne ja pärast VFD paigaldamist, prognoosimaks nende kestuse kasvu pärast VFD maigaldamist ja määramaks elektriliste ja soojusseadmete seadmete remondikulude muutmist. [14]

Kõigi ülaltoodud tegurite arvessevõtmine tekitab märkimisväärseid raskusi ja nõuab võimaluse korral samaväärsetes tingimustes suurt hulka katseid. Muutused pumba

töörežiimides (vee temperatuuri ja jõetaseme muutuste tõttu), selle kulumine, mis mõjutab omaduste kõrvalekaldumist projekteeritustest, mõjutab ka oluliselt arvutustulemuste õigsust. Selliseid komponente nagu tehnoloogiline tõhusus ja ressursside kokkuhoid ei saa aga üldse otseselt arvutada ja nende hindamist viivad läbi eksperdid peamiselt statistiliste andmete põhjal ja võrreldes välismaiste allikatega. [14]

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida ühe tsirkulatsioonipumbaga auruturbiiniseadme töötamise tõhusust madalatel temperatuuridel. Kõik alameesmärgid on täidetud.

Sai tehtud kondensaatori olemasoleva veejahutussüsteemi analüüs ja tehti kindlaks selle peamised puudused, sealhulgas:

- kondensaatori jahutussüsteemi tsirkulatsioonipumpade ebaratsionaalsed töörežiimid, eriti madalatel välisõhu temperatuuridel;
- võimetus ühte TP-d turvaliselt reservi viia;
- puudub võimalus reguleerida jahutusvee tarbimist TP-s, tagamaks kondensaatorite ökonoomse töörežiimi.

Ilmne majanduslik otstarbekus Jahutusvee voolu reguleerida kinnitab vajadust optimeerida töörežiimi ja moderniseerida tsirkulatsioonipumbasid.

Tehtud analüüsi ja arvutuste põhjal saab teha ettepaneku viia reservi üks TP madalate jahutusvee temperatuuride juures. Selleks on vaja muuta DCS-i juhtimisloogikat nii, et kui RLA lülitab töös oleva pumba välja, viiakse tööse reservis olev TP.

Töös tehakse samuti ettepanek moderniseerida TP, paigaldades TP elektrimootoritele sagedusmuunduri, et reguleerida tsirkuleeriva vee voogu läbi turbogeneraatori kondensaatorite. Selline reguleerimisüsteem võimaldab muuta pumpade koormust sõltuvalt jaama elektri- ja soojuskoormusest tervikus.

Sagedusmuunduri paigaldamine ei ole aga alati õigustatud. Sagedusmuundurid paigaldatakse sageli väikese reguleerimisulatusesega seadmetele. Sellistel seadmetel ei ole sageduse reguleerimise tõhusus tagatud. Samuti ei ühildu sagedusmuundurid alati teiste seadmetega elektromagnetiliselt. Seetõttu on sagedusmuundurite paigaldamise tasuvusuuring mitmeotstarbeline ülesanne.

SUMMARY

Diploma topic: «The study of steam turbine efficiency with one main cooling pump in operation during season of low cooling water temperatures at the Auvere power plant».

Author: Jerkvania, Juri

This dissertation aims to evaluate the efficiency of the steam turbine unit of the Auvere power plant at low temperatures when one circulation pump is in operation.

Several tasks can be distinguished, the solution of which helps to achieve the set goal:

1. Determine the optimal mode of the steam turbine when operating with one circulation pump
2. Save on your own consumption
3. Enable the modernization of circulation pumps by installing high-voltage frequency converters

The first and second chapters give an overview of the condenser and its purpose, examine the commissioning of the condenser in the cooling water system, the design of the condenser, its cleaning as well as the vacuum system, general principles of condenser processes, list the main problems that arise when operating a condenser as part of a steam turbine unit.

The third chapter presents the calculation and compares the performance of one and two TPs to maintain the turbine operating modes in the condenser with the economic vacuum. Based on these data, measures have been proposed to reduce the power plant's own consumption costs.

The fourth chapter deals with the possibility of regulating the operation of circulation pumps and thus reducing self-consumption by installing frequency converters or hydraulic couplings on electric motors. The return on investment is assessed.

The purpose of this dissertation is to study the energy efficiency of a steam turbine plant with one circulation pump during low temperatures.

An analysis of the existing condenser water cooling system was carried out and its main disadvantages were identified, which include:

- irrational operating modes of circulating pumps of the condenser cooling system, especially during low outdoor temperatures;
- inability to safely withdraw one central pump to the reserve;
- the lack of the ability to regulate the flow rate of cooling water at the central heating unit, providing an economical mode of operation of condensers.

The obvious economic feasibility of regulating the flow of cooling water confirms the need to optimize the operating mode and modernize the circulation pumps.

Based on the analysis and calculation performed, it is proposed to switch one central pump to reserve when cooling water is at low temperatures. To do this, it is necessary to change the control logic in the DCS (Distribution Control System) so that when the operating pump is turned off by the automatic switching on of the reserve, the standby circulation pump is turned on.

Another proposition is to upgrade the circulations pumps by installing a frequency converter on the electric motors to control the flow of circulating water through the TG condensers. This control system will allow changing the load of the pumps depending on the electrical and heat load of the station as a whole.

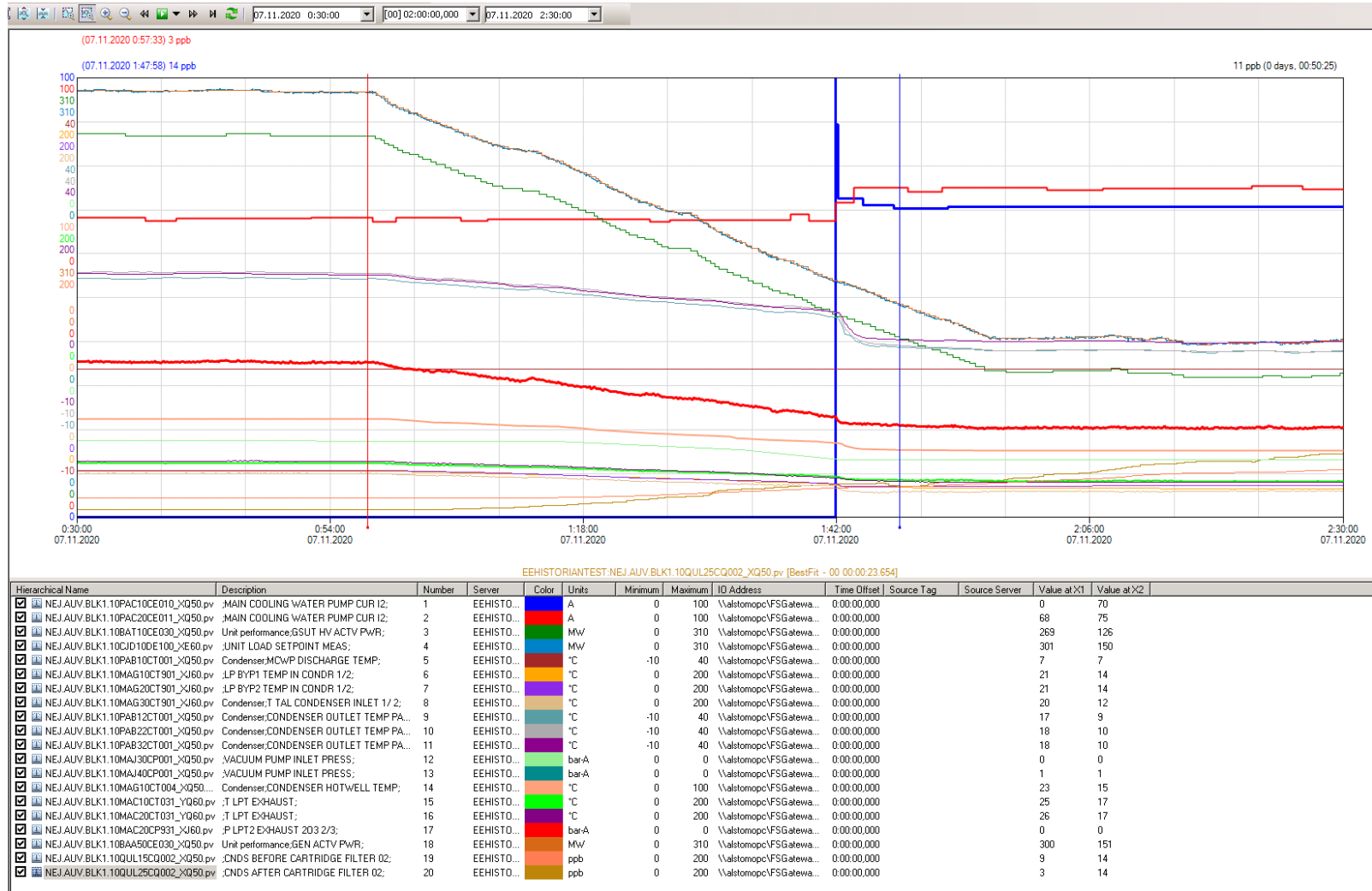
The feasibility study of frequency converters installation is a multipurpose task.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

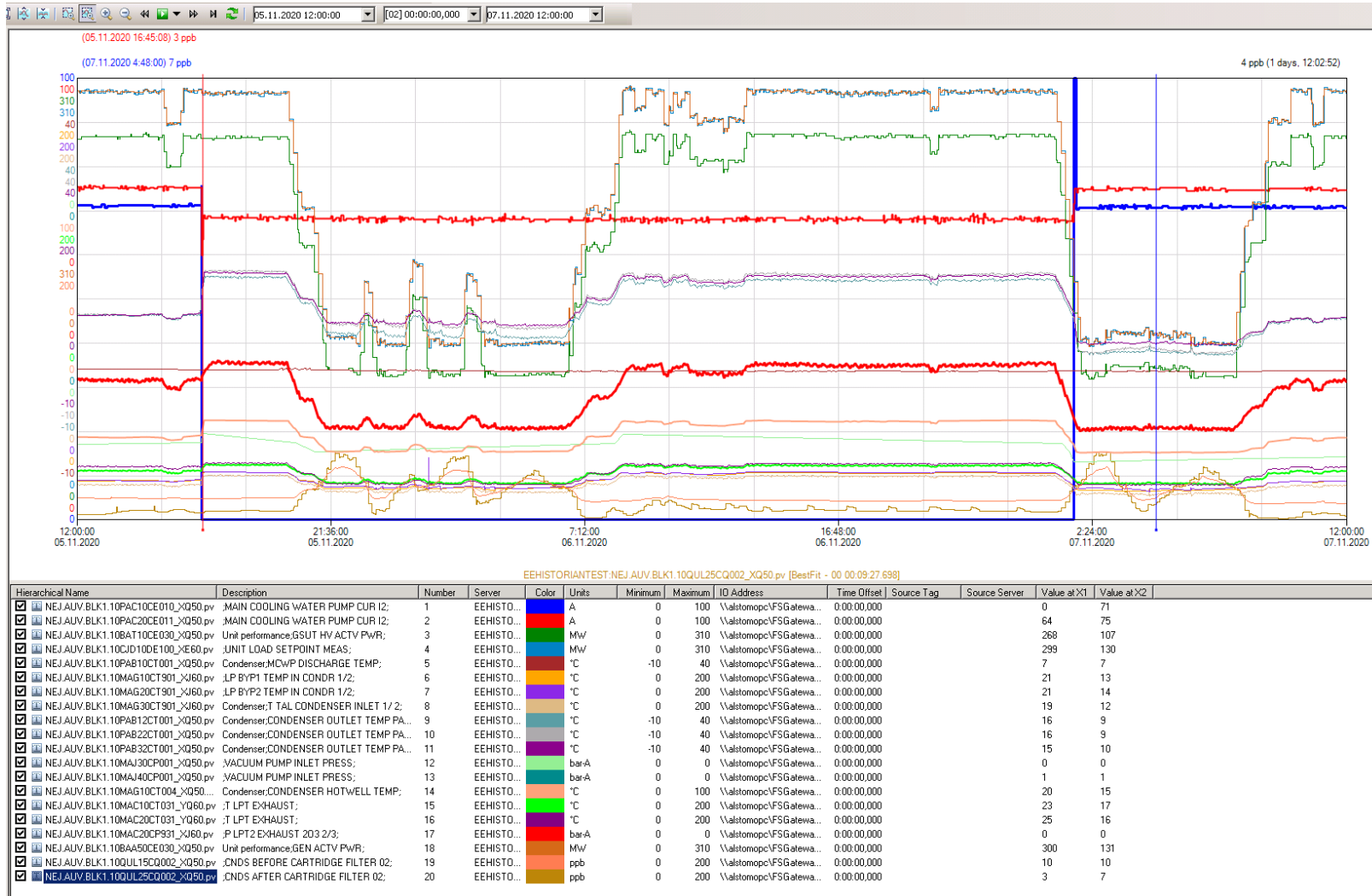
1. "Сланцевый рубеж": какое будущее ждет Нарвские электростанции? [Online] <https://rus.err.ee/1093979/slancevyj-rubezh-kakoe-buduwee-zhdet-narvskie-jelektrostancii> (25.05.2020).
2. Manufacturer Maintenance Manual. B01 – Condenser [töõsisene] (23.10.2018).
3. Основная вакуумная система конденсатора [töõsisene] (22.01.2014).
4. Основная система охлаждающей воды. [töõsisene] (24.01.2014).
5. Конденсационные установки паровых турбин. [Online] <https://openedu.urfu.ru/files/book/Глава%202.html> (05.05.2021).
6. Бродов, Ю.М., Савельев, Р. З. Конденсационные установки паровых турбин: Учебное пособие для вузов. Энергоатомиздат, 1994.
7. Переохлаждение конденсата [Online] [Переохлаждение конденсата \(vdivizhke.ru\)](http://vdivizhke.ru) (08.05.2021).
8. Переохлаждение и кислородосодержание конденсата [Online] <https://msd.com.ua/ekspluataciya-paroturbinyx-ustanovok/pereoxlazhdenie-i-kisloro-dosoderzhanie-kondensata/> (08.05.2021).
9. Ледуховский, Г.В. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование ТЭС, 2014, [E-ajakiri] <https://studfile.net/preview/6812668/> (08.05.2021).
10. Alspa Control Systems Plant performance calculation – specification [töõsisene] (24.01.2014).
11. Manufacturer Maintenance Manual. C10 - Main Cooling Water Pumps SATURNE 125 - 1200 10PAC10/20AP001 [töõsisene] (22.10.2018).
12. Бродов, Ю.М., Савельев, Р. З. Конденсационные установки паровых турбин: Учебное пособие для вузов. Энергоатомиздат, 1994.
13. Черенцова, А.А. Энерго- и ресурсосбережение. Учебное пособие. Хабаровск Издательство ТОГУ 2018.
14. Серебряков, Н. А. Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя. Наука и молодежь – 2014.

LISAD

Lisa 1 Ringlevate pumpade töögraafik erinevatel koormustel



Lisa 2 Ühe tsirkulatsioonipumbaga töötamise ajakava



Lisa 3 Tsirkulatsioonipumba töötunnid 2020. aastal

