

Sanna Käyhkö

Vuosaaren voimalaitoksien
säilöntämahdollisuuksien selvitys
ja suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

27.4.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sanna Käyhkö Vuosaaren voimalaitoksien säilöntämahdollisuuksien selvitys ja suunnittelu 75 sivua + 4 liitettä 27.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Kunnossapidon suunnittelija Jan-Peter Leppälahti Lehtori Tomi Hämäläinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää lämmöntalteenottokattiloiden sekä vesi-höyrykierron säilöntämahdollisuuksia Vuosaaren A- ja B-voimalaitoksille, sekä suunnitella niiden toteutusta. Työn alussa esitellään Vuosaaren voimalaitokset sekä niiden kannalta oleelliset järjestelmät.</p> <p>Insinööriyössä tarkastellaan eri säilöntämenetelmiä, sekä märkä- että kuivasäilönnän eri tyyppisiä, painottuen kuitenkin märkäsäilöntämahdollisuuksiin laitoksien mahdollisesti nopeampia käynnistysaikoja huomioiden. Toteutuksen suunnittelun keskiössä on fyysikaalinen hapeton märkäsäilöntä kaasutyynytekniikalla, joko tyypellä tai omakäyttöhöyryllä sekä märkäsäilöntä kemikaaleja käyttäen. Molemmissa menetelmissä happi pyritään pitämään poissa järjestelmästä, jotta estetään korroosion muodostuminen säilöttäviin osiin.</p> <p>Työssä kartoitetaan potentiaaliset säilöntämahdollisuudet ja niille mahdollisia toteutustapoja taloudellisen hyödyn, käytettävyyden ja käyttöönottoaikojen perusteella. Lisäksi menetelmille laaditaan kustannusarviot sekä kannattavuuslaskelmat.</p>	
Avainsanat	Säilöntä, lämmöntalteenottokattila, voimalaitos, säilöntäkemi-kaali, typpisäilöntä

Author Title	Sanna Käyhkö Research and Planning of Preservation Methods for Heat Recovery Steam Generators in Vuosaari
Number of Pages Date	75 pages + 4 appendices 27 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Jan-Peter Leppälahti, Maintenance Planner Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to explore various methods of preservation for heat recovery steam generators in Vuosaari and to design potential implementation solutions for the power plant. The thesis starts with an introduction of the relevant appliances, systems and power plants in Vuosaari. The main subject of the project, wet preservation with different methods, was chosen for a more in-depth study.</p> <p>Both wet and dry preservation methods were examined. However, this thesis concentrates on the wet preservation method due to faster start-up times. The main subject of research in the implementation process was wet preservation with a nitrogen or steam cap with water filling with alkalizing chemicals in the water steam cycle. This method may require modifications for the dosage of preservation chemicals and a cycling system for the water in the boiler.</p> <p>To sum up, this thesis suggests achievable implementation solutions for different methods and also discusses the benefits and disadvantages of each method. In addition, cost estimates and profitability calculations are also made for each solution.</p>	
Keywords	Preservation, heat recovery steam generator, power plant, preservation chemical, nitrogen preservation

Sisällys

Lyhenteet

Symbolit

Kemialliset merkinnät

1	Johdanto	1
2	Kombivoimalaitokset ja niiden järjestelmät	2
2.1	Vuosaari A:n pakkokierto-kattilat	4
2.2	Vuosaari B:n luonnonkierto-kattilat	4
2.3	Laitosten syöttövesijärjestelmät	6
2.4	Kattiloiden täyttäminen	8
2.5	Laitosten omakäyttöhöyryjärjestelmät	10
3	Voimalaitoksien vedenkäsittely	12
3.1	Vedenkäsittelyn peruseriaatteen	12
3.2	Korroosio	15
3.2.1	Happikorroosio	16
3.2.2	Paikallinen syöpyminen	17
3.2.3	Eroosio- ja kavitaatiokorroosio, ammoniakki-korroosio	19
3.2.4	Jännityskorroosio ja korroosioväsyminen	20
3.3	Magnetiittikalvo	21
3.4	Säätökemikaalit	23
3.5	Korroosioinhibiitit	25
3.6	Hapensidontakemikaalit	27
3.7	Kalvonmuodostajakemikaalit	30

4	Säilöntämenetelmät	32
4.1	Säilönnän periaatteet	32
4.2	Märkäsäilöntä	33
4.2.1	Tavanomainen hapeton märkäsäilöntä	33
4.2.2	Fysikaalinen hapeton säilöntä kaasutyynytekniikalla	35
4.2.3	Märkäsäilöntä neutraali- ja kombiajotavalla	38
4.2.4	Märkäsäilöntä korroosioinhibiiteillä	38
4.3	Kuivasäilöntä	38
4.3.1	Kuivasäilöntä ilmalla	38
4.3.2	Kuivasäilöntä typpikaasulla	40
4.4	Säilöntäesimerkkejä	40
5	Säilöntämahdollisuudet Vuosaaren voimalaitoksilla	41
5.1	Säilönnän teknisiin toteutuksiin vaikuttavia asioita	42
5.2	Säilöntä omakäyttöhöyryllä	44
5.3	Typpisäilöntä	46
5.4	Kattiloiden veden vaihtaminen	51
5.5	Kattilakohtainen veden kierrätysjärjestelmä	52
5.6	Kierrätys lauhdekierron avulla	59
5.7	Kuivasäilöntä	63
5.8	Säilönnän kannattavuus	64
6	Yhteenveto	70
	Lähteet	73
	Liitteet	
	Liite 1. Painehäviöt	
	Liite 2. Kustannusarviot	
	Liite 3. Kierrätyslinjan pumppu ja moottori	
	Liite 4. Kattilakohtaisten kierrätyslinjojen PI-kaaviot	

Lyhenteet

AVT	<i>All volatile treatment</i> , alkalinen vedenkäsittelytapa
CCGT	<i>Combined Cycle Gas Turbine (plant)</i> , kaasukombivoimalaitos
CHP	<i>Combined Heat and Power</i> , sähkön ja lämmön yhteistuotanto
Ekonomaiseri, eko	Syöttöveden esilämmitin
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator</i> , lämmöntalteenottokattila
kl	Kaukolämpö
kp	Korkeapaine
mp	Matalapaine
Nord Pool	Monikansallinen sähköpörssi
Okh, ok-höyry	Omakäyttöhöyry
Ok-sähkö	Omakäyttösähkö
PI-kaavio	Putkitus- ja instrumentointikaavio
Syve, sv	Syöttövesi
VGB	<i>VGB PowerTech e.V.</i> , eurooppalainen sähkön ja lämmöntuotannon yhdistys
VuA	Vuosaaren A-voimalaitos
VuB	Vuosaaren B-voimalaitos

Symbolit

pH	Happamuus	[-]
η	Hyötysuhde	[%]
κ	Konduktiivisuus	[mS/m]
c	Konsentraatio, pitoisuus	[mol/dm ³] tai [mg/l]
T	Lämpötila	[°C]
\dot{m}	Massavirta	[kg/s]
w	Nopeus	[m/s]
p	Paine	[bar]
A	Pinta-ala	[m ²]
m	Pituus	[m]
n	Pyörimisnopeus	[r/s] tai rpm (kierrosta minuutissa)
P	Sähköteho	[W]
V	Tilavuus	[m ³]
\dot{V}	Tilavuusvirta	[m ³ /s]

Kemialliset merkinnät

NH_3	ammoniakki
NH_4Cl	ammoniumkloridi
FeO	ferro-oksidi, wüstiitti
Fe_2O_3	hematiitti
CO_2	hiilidioksidi
N_2H_4	hydratsiini
OH^-	hydroksi-ioni
$KMnO_4$	kaliumpermangaatti
CuO	kuparioksidi
Fe_3O_4	magnetiitti
Na	natrium
$NaOH$	natriumhydroksidi, lipeä
$NaCl$	natriumkloridi
Na_2SO_3	natriumsulfiitti
$C_{18}H_{37}NH_2$	oktadekyyliamiini
$Si(OH)_4$	piihappo
$Fe(OH)_2$	rautahydroksidi
SO_2	rikkidioksidi
SiO_2	silikaatti
HCl	suolahappo
Na_3PO_4	trinatriumfosfaatti
N_2	typpimolekyyli
H_2O	vesi
H_2	vetymolekyyli

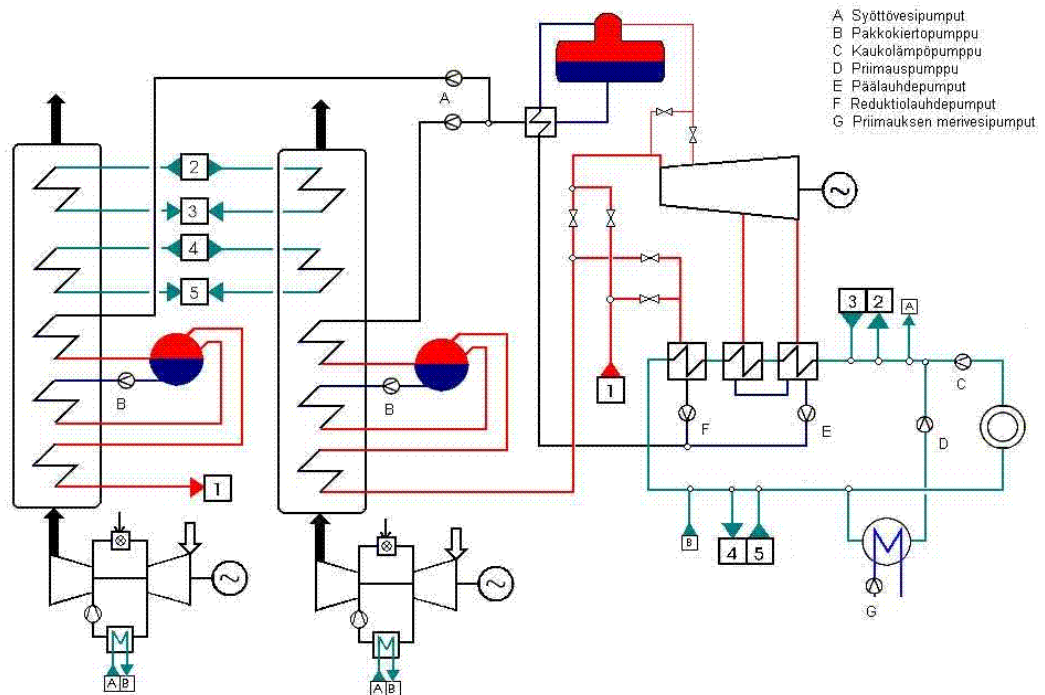
1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Helen Oy:n Vuosaaren A- ja B -kaasukombivoimalaitoksien (CCGT) lämmöntalteenottokattiloille (HRSG) soveltuvia säilöntämenetelmiä ja suunnitella niiden toteutusta. Viime vuosina poliittisessa päätöksenteossa on pyritty vähentämään Suomen riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja Suomi onkin sitoutunut vähentämään näiden polttoaineiden käyttöä vuoteen 2020 mennessä [1]. Tämän myötä maakaasun hinnan on ennustettu nousevan. Näin ollen Vuosaaren voimalaitoksien ajokaudet voivat lyhentyä ja käyttö vähentyä tulevaisuudessa. Tästä syystä onkin ajankohtaista selvittää minkälaisia säilöntämahdollisuuksia lämmöntalteenottokattiloille on ja kuinka kattiloiden säilöntämenetelmät ovat toteutettavissa.

Työn aluksi esitellään sekä A- että B-voimalaitos ja niiden työn kannalta oleelliset järjestelmät ja komponentit. Seuraavassa osiossa kartoitetaan erilaisia säilöntävaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta voimalaitoksiin. Sopivan säilöntämenetelmän valinnassa otettiin huomioon mm. taloudellinen kannattavuus, laitosten ylösajoon kuluva aika sekä varallaoloajat. Lopuksi selvitetään kuinka säilöntä olisi toteutettavissa käytännössä ja voiko toteutuksessa hyödyntää jo olemassa olevia voimalaitoksen järjestelmiä, linjoja ja komponentteja.

2 Kombivoimalaitokset ja niiden järjestelmät

Vuosaaren A- ja B-voimalaitokset ovat molemmat *kombivoimalaitoksia*, joissa on kytketty yhteen kaasuturbiini- ja höyryturbiinivoimalaitos. Sekä A- että B-voimalaitos koostuvat kahdesta kaasuturbiinista, niiden perässä olevista lämmöntalteenottokattiloista ja yhdestä höyryturbiinista, johon höyryä johdetaan kattiloilta. Molemmat voimalaitokset tuottavat sähköä ja kaukolämpöä *yhteistuotannolla* (CHP). Yhteistuotannolla voimalaitoksen hyötysuhde voi olla jopa yli 90 %. Kumpikin voimalaitos koostuu kahdesta *blokkista*, jolla tarkoitetaan yhtä kaasuturbiinia ja lämmöntalteenottokattilaa ja näistä voidaan puhua myös *yksikkönä* tai *koneistona*. Toista blokkia voidaan pitää käynnissä toisen ollessa poissa käytöstä. Pääpolttoaineena kummatkin laitokset käyttävät maakaasua ja varapolttoaineena on kevyt polttoöljy. Kuvan 1 prosessikaavio havainnollistaa A-voimalaitoksen prosessia.

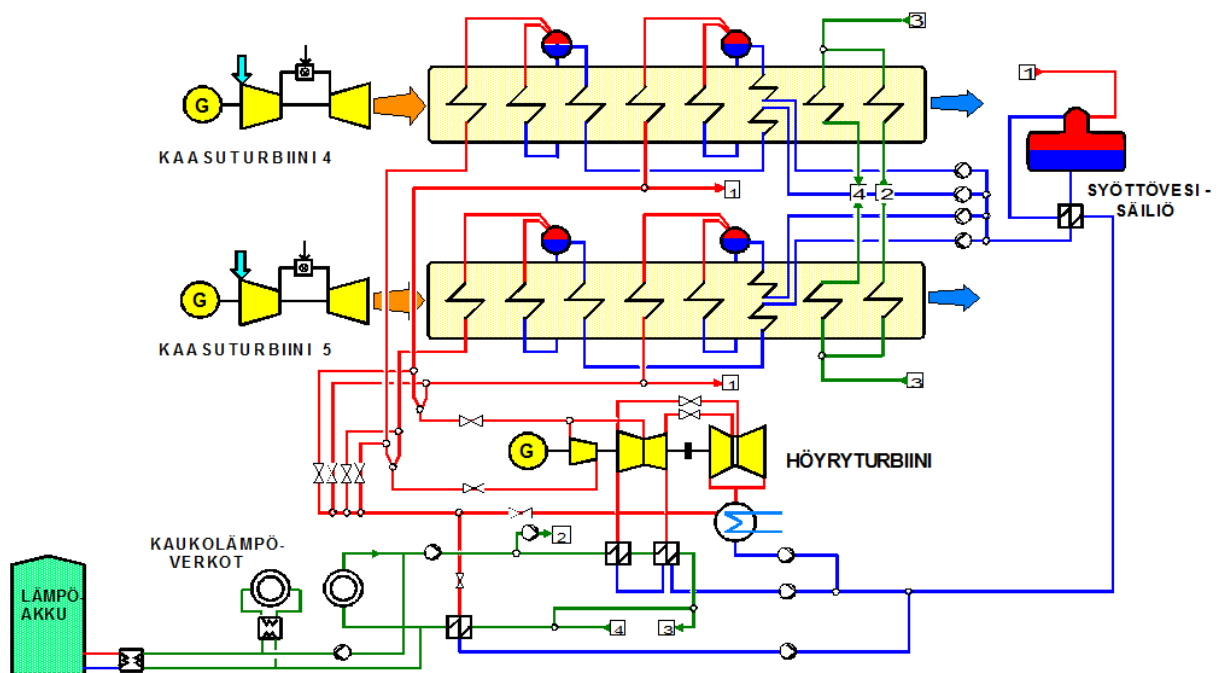


Kuva 1. A-voimalaitoksen prosessikaavio [2].

Polttoaine poltetaan kaasuturbiinien polttokammioissa. Tätä kaasuturbiiniprosessia kutsutaan Brayton-prosessiksi. Ilma kulkeutuu imuilmasuodattimien kautta kompressoriin, josta se johdetaan polttokammioihin. Polttokammioissa polttoaine palaa yli tuhannessa asteessa. Savukaasut johdetaan turbiiniin, jossa ne paisuvat ja jäähtyvät. Turbiini ja

kompressorit pyörivät samalla taajuudella samalla akselilla generaattorin kanssa. A-laitoksella turbiinin ja generaattorin välillä on vaihde, jonka avulla pyörimisnopeus muutetaan sähköverkkoon sopivaksi. Kompressorin päässä oleva generaattori muuttaa mekaanisen energian sähköenergiaksi sähköverkkoon. Kummankin kaasuturbiinin perään on kytketty lämmöntalteenottokattila. Kattiloissa kaasuturbiinien savukaasujen lämpöenergialla tuotetaan tulistettua höyryä höyryturbiinille sekä lämmitetään kaukolämpöä. Piipussa poistuvan savukaasun lämpötila on 52 °C. Höyryturbiini tuottaa höyryn sisältämästä lämpöenergiasta sähköä ja kaukolämmönvaihtimet kaukolämpöä.

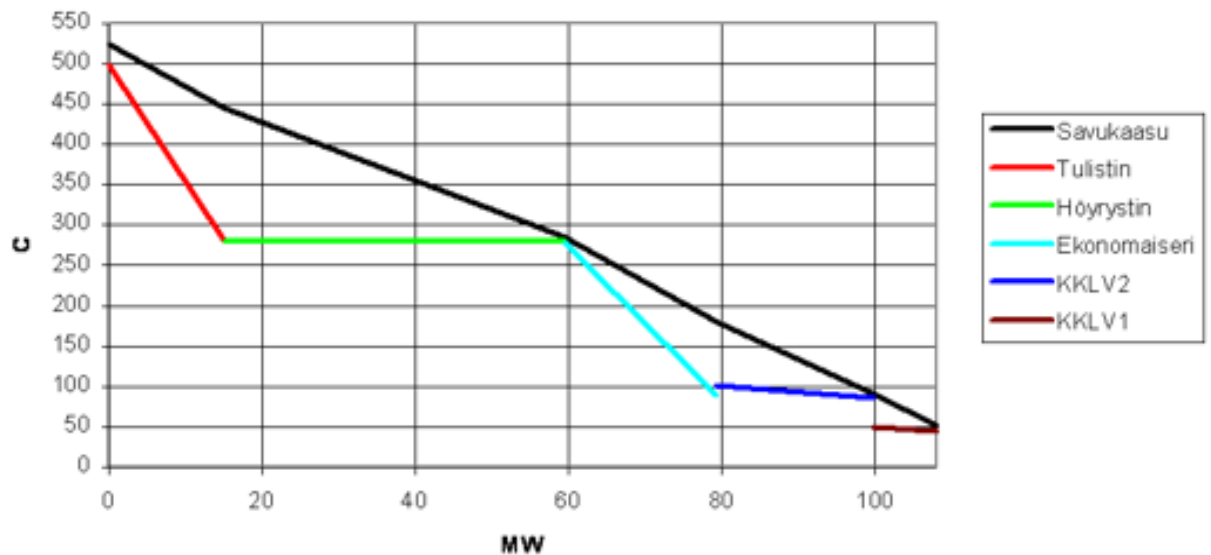
VuB:ssa höyryprosessin lämpöpinnat sijaitsevat kattiloiden diffuusoripuolella eli kuumassa päässä ja viileämmät kaukolämpöpaketit sen sijaan kattilan takaosassa (kuva 2). VuA:ssa kaukolämpöpaketit sijaitsevat kattilan yläosassa (kuva 1). Kattiloissa ei ole puhaltimia, vaan savukaasu virtaa omalla paineellaan kattiloiden läpi. Kummallakin laitoksella kattiloilla on yhteinen syöttövesisäiliö ja -järjestelmä, kuten prosessikaavioista kuvista 1 ja 2 nähdään. [2; 3; 4.]



Kuva 2. B-voimalaitoksen prosessikaavio [3].

2.1 Vuosaari A:n pakkokierto kattilat

VuA:n kattilat ovat vesiputkikattiloita ja rakenteeltaan pystymallisia *pakkokierto kattiloita*, joissa savukaasu virtaa ylöspäin, kuten A-voimalaitoksen prosessikaaviosta käy ilmi (kuva 1). Putkisto on makaava eli vaakasuuntainen. Kummallakin kattilalla on kaksi pakkokierto pumpua, jotka kierrättävät lieriön kylmää vettä höyrystimen kautta takaisin lieriöön. Näin varmistetaan jatkuva vesikierto. Kattilat toimivat yhdellä painetasolla, mitä voidaan havainnollistaa kattilan lämpötilapiirroksella (kuva 3). Lämmöntalteenottokattiloissa viileämpää keitinputkiston osaa, kaukolämpöpaketteja, voidaan käyttää kaukolämpöveden lämmittämiseen. Pakkokiertopumput ovat vakiopyörimisnopeudella toimivia keskipakopumppuja. Tavallisesti toinen pakkokiertopumpuista on käytössä ja toinen varalla, jolloin varalla oleva on huollettavissa käynnin aikana. [2.]

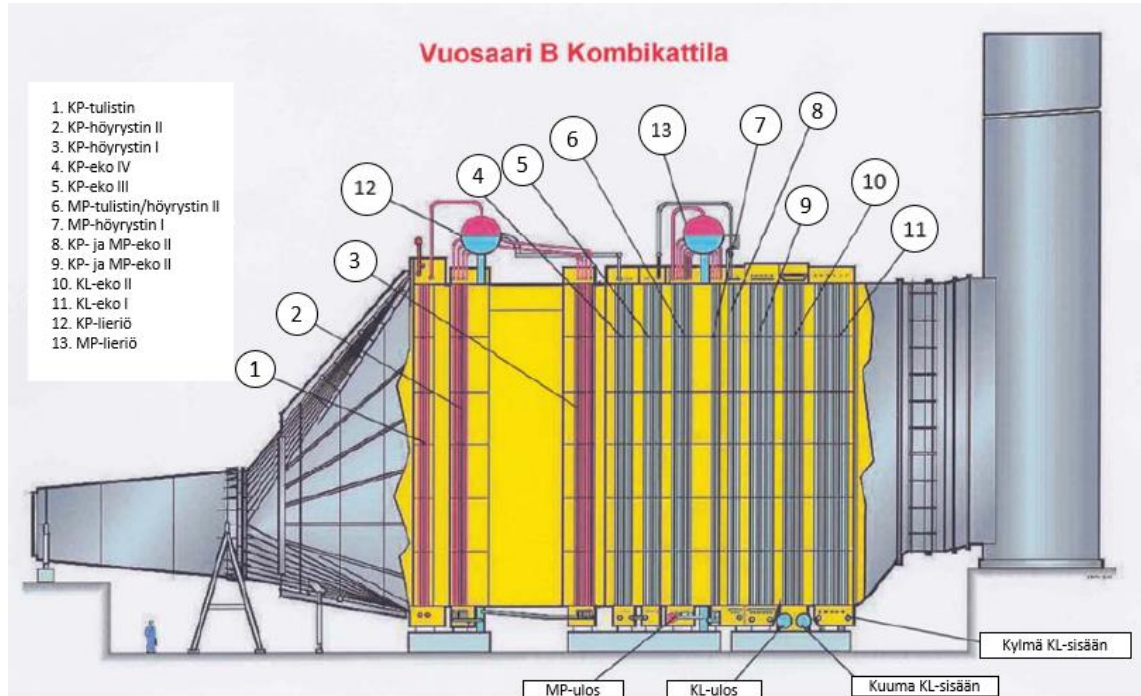


Kuva 3. Vuosaari-A:n kattilan lämpötilapiirros [2].

2.2 Vuosaari B:n luonnonkierto kattilat

VuB:n kattilat ovat *luonnonkierto kattiloita* eli myös vesiputkikattiloita, joiden putkissa virtaa höyrystyvää vettä. Kattilat ovat vaakamallisia ja niiden keitinputket ovat pystysuuntaisia, kuten kuvasta 4 nähdään. Rakenteeltaan putket ovat ripaputkia. B-voimalaitoksen kattiloiden vesi-höyrykierto on kahdessa painetasossa, jolloin korkeapaine- ja matalapaineosille on omat lieriönsä. Lisäksi kattiloissa on kaukolämpöpiiri, kuten nähdään kuvasta

4. Kun kaukolämpöä ei tarvita, kaukolämpöpaketit voidaan ohittaa. Tällöin poistuvan savukaasun lämpötila on korkeampi. Kaukolämpöosassa kiertää erillinen kaukolämpövesi. [3; 4.]



Kuva 4. Vuosaaren B-voimalaitoksen lämmöntalteenottokattila [3].

Kattilalaitoksen vesi-höyrykierron vedet voidaan jakaa seuraavasti:

- kattilavesi: kattilassa oleva vesi, joka on höyrystimestä väkevöitynyttä syöttö-
vettä
- höyry: kylläinen höyry lieriöstä, joka on kyllästymislämpötilassa sekä tulistettu
höyry tulistimien jälkeen, jonka lämpötila on korkeampi kuin kyllästymislämpötila
- lauhdevedet: päälauhde, sivulauhteet esilämmittimiltä, vesityksistä tuleva lauhde
sekä kulutusasteilta palaava lauhde
- syöttövesi: pumpuilla kattilaan syötettävä vesi
- lisävesi: täyssuolanpoistettu vesi, joka tuodaan ulkopuolelta häviöiden korvaa-
miseksi ja johon on lisätty kemikaaleja
- puhdasvesisäiliön vesi: täyssuolanpoistettu vesi ilman kemikaaleja
- raakavesi: vesi, josta lisävesi puhdistetaan, sekä ulospuhallusvesi, joka on pai-
sunnassa rikastunutta kattilavettä. [5.]

Vesi-höyrykierrossa syöttövesi kulkeutuu syöttövesisäiliöltä matalapaine- ja korkeapainesyöttövesipumpuilla kattiloille. Se johdetaan ensin ekonomaisereihin ja tämän jälkeen lieriölle, josta lämmennyt syöttövesi kulkeutuu laskuputkia pitkin höyrystinputkien alasaan. Osa vedestä höyrystyy höyrystinputkissa ja kylläisen veden ja vesihöyryn seos palaa höyrystinputkista takaisin lieriöön, jossa muodostunut höyry ja vesi erotellaan toisistaan. Kylläinen höyry nousee lieriön yläosaan ja kulkeutuu sieltä tulistimiin. Höyrystymättä jäänyt vesi sekoitetaan lieriöön syötettävään uuteen syöttövedeen ja virtaa laskuputkia pitkin höyrystinputkiin.

Vesi-vesihöyrykierto lieriön ja höyrystimen välillä perustuu veden ja höyryn tiheyseroihin. Höyrystinputkissa olevan seoksen tiheys pienenee veden höyrystyessä ja putken alasaan tulee kylläistä vettä höyrystimen laskuputkista. Kevyempi vesi-höyryseos virtaa höyrystinputkissa ylöspäin lieriöön, josta tilalle virtaa kylläistä vettä laskuputkia pitkin. [4.]

Tulistunut höyry ohjataan tulistimilta höyryturbiinille: korkeapainehöyry höyrylinjoja pitkin korkeapainepesään ja siitä välipainepesään, ja matalapainehöyry suoraan välipainepesään. Sieltä höyry on mahdollista johtaa vielä matalapainepesään. Höyry paisuu turbiinipesässä ja mekaaninen energia muutetaan sähköksi generaattorin avulla. Kosteaa höyryä johdetaan lauhdutinlämmönvaihtimelle, jonka avulla höyryä lauhdutetaan joko kaukolämpövedellä tai merivedellä. Lauhde palautuu precoat-suodattimien kautta syöttövesisäiliöön. Kaikki maakaasu poltetaan kaasuturbiineissa eikä kattiloissa täten ole erillisiä polttimia. [3; 4; 6.]

2.3 Laitosten syöttövesijärjestelmät

Syöttövesijärjestelmällä tarkoitetaan syöttövesisäiliön, syöttövesipumpun ja putkiston muodostamaa kokonaisuutta. Syöttövesisäiliöön palaava lauhde johdetaan syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen. Termisessä kaasunpoistimessa, joka sijaitsee syöttövesisäiliön päällä, lauhde virtaa kaasunpoistimen sisällä olevien jakolevyjen lävitse alaspäin. Jakolevyjen välistä ylös virtaava apuhöyry sitoo kylläiseen tilaan lämpenevästä lauhdeesta erottuvat kaasut ja kuljettaa ne puhalluslinjoja pitkin ulkoilmaan. Kaasunpoistimen pohjasta kaasunpoistettu lauhde virtaa vapaasti syöttövesisäiliöön.

Kun ajetaan maakaasulla, syöttövesisäiliön syöttövesi johdetaan ennen kattilaa syöttövesipumppujen imupuolella oleville syöttövesijäähdyttimille. Niiden tehtävä on lämmittää

syöttövesisäiliöön tulevaa lauhdetta kaasunpoiston tarvitseman omakäyttöhöyrymäärän vähentämiseksi. Niiden avulla voidaan nostaa voimalaitoksen sähköntuotannon hyötysuhdetta. [7.]

Syöttövesijärjestelmän päätehtäviä ovat

- syöttöveden siirtäminen syöttövesipumpuilla syöttövesisäiliöstä kattilan ekonomaiserien kautta lieriöön
- syöttöveden varastointi syöttövesisäiliöön
- kaasujen poisto syöttövesisäiliöön virtaavasta lauhdesta sekä lisävedestä termisellä kaasunpoistimella
- ruiskutusveden toimittaminen reduktioventtiileille (VuB) tai kl-reduktioasemalle ja apuhöyryreduktioon (VuA).
- jäähdytysveden toimittaminen jäähdytystoimintoihin (VuB). [7; 8.]

VuB:n apukattilalla on myös oma erillinen syöttövesisäiliönsä, josta toimitetaan normaaliajossa lisävettä syöttövesijärjestelmään. [7.]

Syöttövesijäähdyttimien jälkeen syöttövesi virtaa syöttövesipumpuille. Pumppujen tehtävä on nostaa syöttöveden paine kattilan paineeseen. VuB:n kummallakin kattilalla on kaksi 100 % korkeapaine- ja kaksi 100 % matalapainepumppua ja VuA:ssa vain yksi syöttövesipumppu kattilaa kohden. A-laitoksen pumput ovat keskipakopumppuja, joiden pyörimisnopeuden säätö tapahtuu taajuusmuuttajan avulla. Syöttövesisäiliön yhteydessä on vanhasta kaukolämpöpaisuntasäiliöstä tehty lisävesisäiliö. Sen täyttö tapahtuu syöttövesipumppu 1:n imulinjasta lähtevää linjaa pitkin. Myös B-laitoksen kattilat voidaan täyttää tämän lisävesisäiliön kautta. [6; 7; 8.]

VuB:n kp-syöttövesipumput ovat kuusivyöhykkeisiä keskipakopumppuja, joiden tuoton säätö tapahtuu pyörimisnopeussäädöllä. Syöttövesi johdetaan pumpuilla syöttöveden säätö- ja sulkuventtiilien sekä kattiloiden kp-ekonomaiserien 1, 2, 3 ja 4 kautta kattiloiden kp-lieriöihin. Matalapainesyöttövesipumput ovat oikosulkumoottorikäytöllä varustettuja keskipakopumppuja. Tuoton säätö tapahtuu niissä kuristussäädöllä. Matalapainesyöttövesipumpuilta syöttövesi johdetaan syöttöveden sulkuventtiilien ja kattiloiden matalapainepuolen ekonomaiserien kautta matalapainelieriöihin. Ruiskutusvesi kaukolämmönvaihdin-3:n (KLV3) ja lauhduttimen reduktioventtiileille otetaan syöttövesisäiliöstä suo-

raan ruiskutusvesipumppujen kautta. Reduktioventtiilillä tarkoitetaan höyrymuuntoventtiiliä, jonka tehtävänä on huomattava paineen alentaminen tai höyryn tuottaminen halutulle painetasolle. [7; 9.]

2.4 Kattiloiden täyttäminen

Vuosaari-A:ssa kattiloiden täyttö ns. kylmäkäynnistyksessä aloitetaan täyttämällä ensin syöttövesisäiliö puhtasvesipumpun avulla puhtasvesisäiliöstä tai VuA:n lisävesisäiliöstä lisävesipumpulla. Lisävesisäiliön vesi on kaasunpoistettua vettä, mutta puhtasvesisäiliön vesi ei. Sen kaasunpoisto tapahtuukin vasta syöttövesisäiliön kaasunpoistimessa. Kun pinta nousee riittävästi syöttövesisäiliössä, avataan höyryn sulkuventtiili, jolloin kaasunpoisto ja lisäveden lämmitys ovat toiminnassa ja täyttöä voidaan jatkaa. Tämän jälkeen pinnankorkeuden saavuttaessa jälleen riittävän tason, käynnistetään syöttövesipumppu, jolla kierrätetään vettä minimikierrolla syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen. Tällöin veden happipitoisuus saadaan laskemaan ja epäpuhtaudet, kuten irronnut rauta, saadaan irtoamaan syöttövesikierrosta. Vettä poistetaan tyhjennysventtiilien kautta niin kauan, kunnes veden laatu on halutulla tasolla. [8.]

Lieriön täyttö aloitetaan, kun vesiarvot ovat sallitulla tasolla, jolloin lipeää voidaan alkaa syöttää syöttövesilinjaan. Pinnanmittauksen oikeellisuus tarkistetaan ja verrataan paikallisiin nestepinnanosoittimiin. Tämän jälkeen syöttövesipumpun kierroslukusäätäjä säättää minimipaine-eroa säätöventtiileiden yli, ja pieni pinnansäätöventtiili alkaa säättää lieriön pintaa. Ekonomaiserien ja höyrystimien tyhjennyslinjat pidetään riittävän kauan auki, jotta epäpuhtaudet poistuvat täytön aikana. Lisäksi syöttövesiputkiston, ekon, lieriön ja höyrystimen ilmanpoistiventtiilit avataan, jotta putkistoon ei synny ilmapusseja täytön aikana. Kun kattila on täynnä, voidaan niin kutsutut pohjapuhallukset sulkea. Kuumakäynnistyksessä syöttövesijärjestelmä otetaan käyttöön kattilan käynnistysautomaatiikalla. [8.]

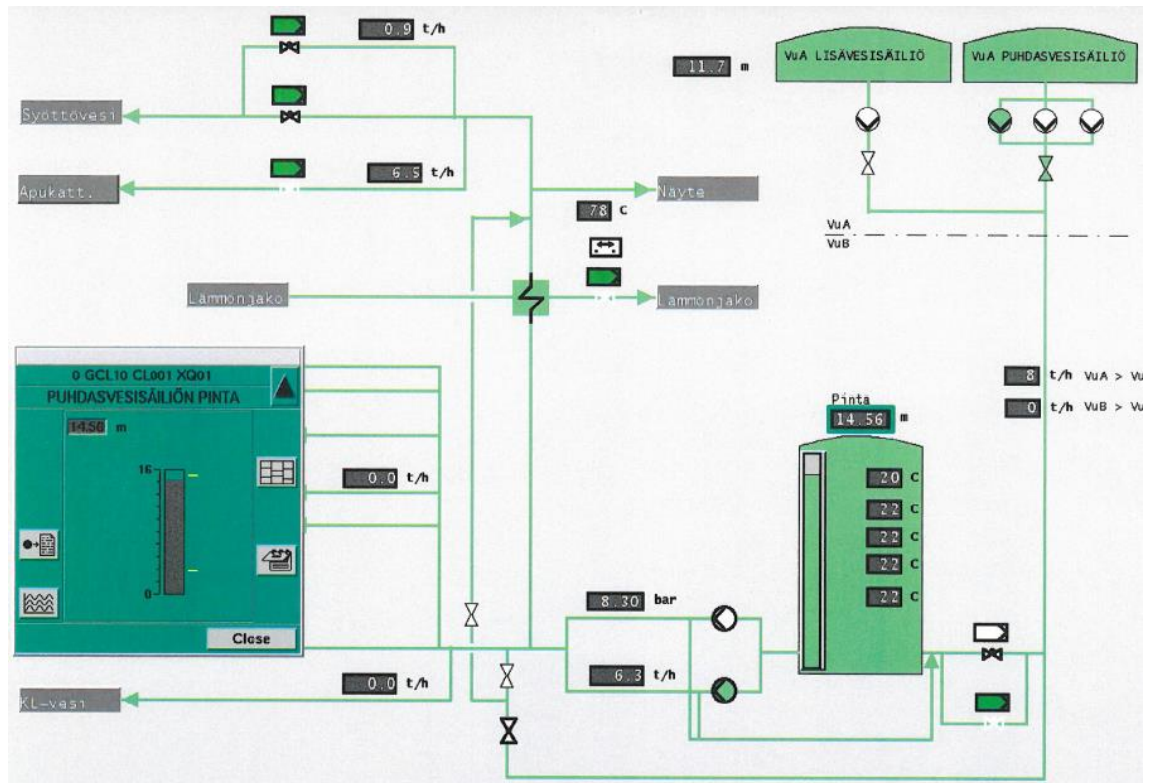
Vuosaari-B:ssa apukattilan ja omakäyttöhöyryjärjestelmän käyttöönottamisen jälkeen syöttövesijärjestelmän täyttäminen voidaan aloittaa. Kylmäkäynnistyksessä syöttövesisäiliötä lämmitetään päästämällä säiliöön höyryä. Syntyvä lauhde huuhtoo säiliön sisäpinnat ja se päästetään kattilan tyhjennysäiliöön. Samaan aikaan kaasunpoisto ja lisäveden lämmitys alkavat toimia.

Syöttövesisäiliö voidaan täyttää kahdella tavalla. Jos ensin täytetään syöttövesisäiliö ja sitten lauhdejärjestelmä, aloitetaan täyttö molemmilla kattiloilla puhdasvesipumpulla puhdasvesisäiliöstä tai VuA:n lisävesisäiliöstä lisävesipumpulla, kuten A-laitoksella.

Jos lauhdejärjestelmä täytetään ensin puhtaalla vedellä, lauhteet ajetaan syöttövesisäiliön kautta tyhjennysäiliöön samalla tarkkaillen veden laatua syöttövesisäiliössä. Tässä erona on, että puhdasvesi tulee syöttövesisäiliöön lauhdejärjestelmän kautta. Tällöin puhtaan veden kulutus huuhteluun on pienempää, koska samalla kerralla huuhdellaan kaksi järjestelmää; syöttövesi- ja lauhdejärjestelmä. Lieriö täytetään samalla tavalla kuin VuA:ssa, kun vesiarvot ovat halutulla tasolla. Myös tyhjennysten, ilmanpoistventtiilien ja pohjapuhallutusten kanssa menetellään samoin kuin VuA:ssa. Veden virtauksen kasvaessa kattilaan on säätöventtiili lopulta täysin auki, jolloin syöttövesipumppu säätelee lieriön pintaa. Matalapainesyöttövesipumppujen pyörimisnopeus on vakio, joten säätöventtiilit säätelevät pintaa koko ajan.

Kuumakäynnistyksessä syöttöveden laatu on jo halutulla tasolla, joten kuumakäynnistys tapahtuu syöttövesipumppujen ja ruiskutusvesipumppujen automatiikalla. Nykyisellään säilönnässä syöttövesisäiliö joko tyhjennetään ja säilötään kuivana tai vesi nostetaan pinnan ylärajaan ja pinnan päällä ylläpidetään höyrytyynyä. Märkäsäilönnässä syöttövesikiertoa pidetään minimikierrolla. [7.]

Lisävesisäiliöön sekä A- että B- laitoksen puhdasvesisäiliöihin tehdään täyssuolanpoistettua vettä vedenkäsittelylaitoksella, joka sijaitsee A-voimalaitoksella. Säilönnän aikana täyssuolanpoistettua vettä pystytään tekemään valmiiksi näihin säiliöihin, jotta kattiloiden ja lauhdejärjestelmän täyttö on nopeampaa. Vedentekonopeus ioninvaihtimilla on noin 30 t/h ja kaikkien sarjojen ollessa käytössä jopa enemmän. Täyttöä rajoittaa tällöin vain syöttövesisäiliön ja apukattilan kaasunpoistimien teho, sillä kattilaan syötettävän veden tulee olla kaasunpoistettua. [9.] Kuva 5 havainnollistaa veden kulkua mm. apukattilalle ja syöttövesilinjoihin.



Kuva 5. Veden kulku valvomoruudulta VuA:n lisävesi- tai puhdasvesisäiliöiltä VuB:n puhdasvesisäiliöön ja sieltä kulutuskohteisiin.

2.5 Laitosten omakäyttöhöryjärjestelmät

Omakäyttöhöryjärjestelmän tehtävä on jakaa ja tuottaa omakäyttöhöryä voimalaitoksen kulutuskohteille kaasunpoistoon ja lämmitykseen sekä tiivistehöyryksi, ja lisäksi ylläpitää apulauhdesäiliön höyrytyynyä. *Omakäyttöhöyryllä* tarkoitetaan siis höyryä, joka otetaan voimalaitoksen omasta prosessista ja kuuluu omakäyttöhöryjärjestelmän piiriin. Nykyisessä märkäsäilönnässä kattiloita ja syöttövesisäiliötä pidetään paineellisina B-laitoksen omakäyttöhöyryllä voimalaitoksen ollessa varalla.

Jos höyryä ei saada riittävästi korkeapainejärjestelmästä tai esimerkiksi Vuosaari-A:sta Vuosaari-B:hen, apukattila tuottaa tulistettua höyryä (8 bar, 250 °C), jota säädetään halutulle painetasolle höyryn paineensäätöventtiileillä. A- ja B-voimalaitosten välillä on omakäyttöhöryputki, jota pitkin voidaan siirtää omakäyttöhöyryä laitoksien välillä tarpeen mukaan. Jos matalapainehöyryn paine on suurempi kuin ok-höyryjärjestelmän paine, höyry tuotetaan kattilan matalapainehöyrystä omakäyttöhöyryreduktioventtiilien

avulla. Vastaavasti, jos matalapainehöyryn paine putoaa alle ok-höyryjärjestelmän painetason, apukattila käynnistetään tai voidaan ottaa tarvittava höyry A-laitokselta B-laitokselle. [10.] A- ja B-laitoksien omakäyttöhöyryjärjestelmät eroavat jonkin verran toisistaan.

Vuosaari-B:n omakäyttöhöyryjärjestelmä (kuva 6) koostuu seuraavista kolmesta lämpötiloiltaan ja paineiltaan erilaisesta osasta:

0,2 bar (ylipaine), 105 °C:

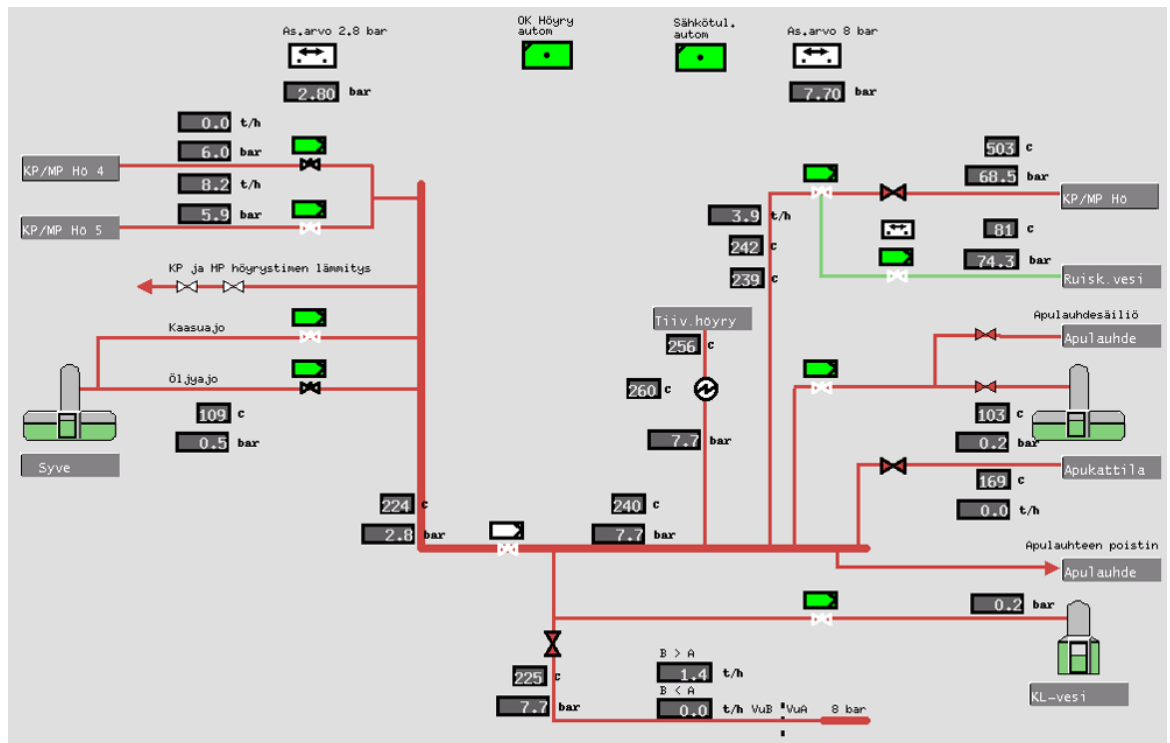
- syöttövesisäiliö
- kaukolämpöveden valmistuksen kaasunpoistin
- apulauhdesäiliö
- apukattilan syöttövesisäiliö

2,8 bar (ylipaine), 210 °C:

- kattiloiden lieriöiden (höyrystimien) lämmitys
- apulauhteen höyrypumppu

8,0 bar (ylipaine), 250 °C:

- höyryturbiinin tiivistehöyry [10].



Kuva 6. Vuosaari-B:n omakäyttöhöyryjärjestelmä Vuosaari-B:n valvomuudulta kuvattuna.

Vuosaari-A:n omakäyttöhöyryjärjestelmään vastaavasti kuuluvat

- omakäytön höyryputki, 8 bar
- omakäytön höyryputkisto, 0,2 bar
- yhdyslinja apukattilalta omakäyttöhöyryjärjestelmään sekä yhdyslinja höyrykehittimeltä 0,2 bar:n höyryjärjestelmään
- syöttö- ja jakelulinjat
- vesilukkosäiliö.

VuA:n omakäyttöhöyryjärjestelmän höyryllä ylläpidetään esimerkiksi lisävesisäiliön höyrytyynyä. 8 bar:n apuhöyrytukan höyryn paine voidaan alentaa kulutuskohteisiin paineen-säätöventtiilillä. Omakäyttöhöyryjärjestelmään saadaan höyryä joko reduktioventtiilin avulla päähöyrylinjasta tai VuB:sta yhteistä höyrylinjaa pitkin. Myös laitoksen käynnistyksessä höyryä tuodaan VuB:sta. Tavallisesti VuA:n apukattila on paineettomana märkäsäilönnässä käynnin aikana. Okh-järjestelmä on suojattu varoventtiilillä, joka sijaitsee 8 bar:n höyrytukissa. [11.]

3 Voimalaitoksien vedenkäsittely

3.1 Vedenkäsittelyn peruseriaatteet

Voimalaitoksen vedenkäsittelyn tavoitteena on laitoksen tehokas ja häiriötön toiminta. Siihen kuuluvat lisäveden valmistus, lauhteen puhdistaminen, kemikaalien annostelu, terminen kaasunpoisto sekä kattilan ulospuhallus [4]. Vedenkäsittelyllä pyritään estämään korroosion ja kerrostumien muodostumista, mutta myös estämään epäpuhtauksien joutumista höyryyn ja sen mukana höyryturbiinille. Käynnin aikana höyryturbiiniin menevän höyryn paine määrää kattilaveden puhtausvaatimukset [12]. Tämän lisäksi puhtausvaatimukseen vaikuttavat höyrykattilan rakenne, käyttöpaine ja -tapa sekä kattilan suurin paikallinen lämpökuorma [4]. Useat suolat ja hydroksidit, kuten natriumhydroksidi (lipeä, NaOH) ja natriumkloridi (NaCl), liukenevat jossain määrin höyryyn. Paineen kasvaessa näiden aineiden liukoisuus höyryyn lisääntyy. Lisäksi höyryturbiinilta palaava lauhde muodostaa pääosan kattilassa kiertävästä vedestä. Näin ollen myös syöttöveden puhtausvaatimus perustuu käynnin aikana höyryturbiinille menevän höyryn paineeseen. [5; 12.] Säilönnässä höyryä ei kuitenkaan johdeta höyryturbiinille, sillä höyryturbiinin käynnistys kestää paljon pidempään kuin kaasuturbiinin ja kattilan käynnistys. Säilönnän

tarkoituksena ei ole höyryn tuottaminen energiantuotantoon vaan kattilan ja syöttövesijärjestelmän paineellisena pitämiseen nopeaa käynnistystä varten.

Alkalista vesikemiaa käytetään lieriö- ja läpivirtauskattiloille sekä syöttöveden käsittelyyn. Tätä kutsutaan termillä *AVT (All volatile treatment)*. Siinä syöttöveden pH-arvo pidetään emäksisenä eli alkalisena säätämällä pH:ta haihtuvalla alkalointikemikaalilla, hyvin usein ammoniakilla (NH_3). Alkalinen vesikemia voidaan jaotella annosteltujen kemikaalien mukaan:

- AVT(O), oxidizing (hapettava)
- AVT(R), reducing (pelkistävä)
- AVT(F), kalvoamiinikäsittely (ei vielä virallista ohjesuositusta VGB:ltä). [13.]

Näiden lisäksi kattiloille voidaan käyttää fosfaattikäsittelyä, jossa alkalointiaineena on trinatriumfosfaatti (TNF, Na_3PO_4). Vuosaaressa annostellaan käynnin aikana kattilaan menevään syöttövedeen lipeää. Syöttövesi on täyssuolanpoistettua vettä, johon annostellaan ammoniakkia pH:n säätämiseksi emäksiselle alueelle, ja hapenpoistokemikaalina käytetään hydratsiinin (N_2H_4) vesiliuosta. Tämä on siis niin sanottu *pelkistävä* AVT-vedenkäsittelytapa. Veden sähkönjohtokyky eli konduktiivisuus, resistiivisyyden käänteisarvo, kuvaa veteen liuenneiden suolojen määrää [4]. Vesijohtoveden johtokyky on sellaisenaan noin $150 \mu\text{S}/\text{cm}$, kun taas ioninpoistettu vesi - jossa suoloja ja näin ollen ioneja on enää hyvin vähän - on $< 0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ammoniakkilisäyksen eli pH:n säätämisen jälkeen (pH ~ 9,4 - 9,6) johtokyky nousee noin 6 - $10 \mu\text{S}/\text{cm}$:iin. Taulukossa 1 nähdään käynnin aikaisia kemikaaliarvoja lieriöissä sekä A- että B-laitoksella. [14.]

Taulukko 1. Vuosaaren kattilavesien ohjearvot [15].

Suure	Yksikkö	Tila	VuA, kattila	VuB, mp- kattila	VuB, kp- kattila	VGB- suositus, mp-kattila	VGB- suositus, kp-kattila
Paine lieriössä	bar	-	65	7	75	< 40	40 - 100
pH₂₅	-	normaali taso toimen- pidetaso	9,0 - 10,0	9,5 - 11,7	9 - 10,7	9,8 - 10,2 9,5 - 10,5	9,5 - 10 9,4 - 10,2
p-luku	mval/kg	normaali	< 0,15	< 0,15	< 0,15	-	-
Sähkön- johtavuus Y₂₅	μS/cm	normaali taso toimen- pidetaso	< 20	< 30	< 20	15 - 40 8 - 80	8 - 25 6 - 40
Natrium	mg/kg	normaali	< 2	-	-	-	-
Silikaatti	μg/kg	normaali taso toimen- pidetaso	< 100	< 100	< 50	< 600 < 2500	< 370 < 1500
KMnO₄- kulutus	mg/kg	-	< 80	< 80	< 40	-	-

Lämmöntalteenottokattiloissa, eli nk. lieriökattiloissa käsitellään erikseen syöttövesi ja kattilavesi. Syöttövesi menee kattilan höyrystinputkistoja pitkin lieriöön, jossa se erotellaan vedeksi ja höyryksi, minkä jälkeen se kulkeutuu höyrynä tulistimille ja vetenä laskuputkia pitkin takaisin höyrystinosaan. Syöttövesi on vettä, jota tuotetaan vedenkäsittelyn avulla, ja joka muodostuu myös lisävedestä ja kiertoön palautetusta lauhteesta. Kattilavesi sen sijaan on höyrystymättä jäänyttä vettä, joka sekoittuu lieriöön syötettyyn uuteen syöttövedeen. Kun höyry erottuu lieriössä vedestä, kattilaveteen saattaa jäädä epäpuhtauksia syöttövedestä. Vedenkäsittelyllä pyritään erilaisten kemikaalien avulla siihen, ettei kattilaveteen muodostu näitä epäpuhtauksia tai saostumia tai aiheudu korroosiota vesi-höyryjärjestelmässä. [12; 14.] Seuraavissa kappaleissa esitellään säilönnän kannalta keskeisiä korroosimuotoja, magneettikalvon muodostuminen sekä vedenkäsittelyssä käytettäviä kemikaaleja.

3.2 Korroosio

Seisonta-aikainen *korroosio* on tyypillistä kattilalaitoksille. Korroosio voidaan määritellä SFS-EN ISO 8044 -standardin [16] mukaan

”fysikaaliskemialliseksi reaktioksi metallin ja sen ympäristön kanssa, joka aiheuttaa muutoksia metallin ominaisuuksiin ja joka voi johtaa metallin, sen ympäristön tai teknisen järjestelmän, johon ne kuuluvat, toiminnan merkittävään heikentymiseen”.

Veteen liuennut happi sekä hiili- ja rikkidioksidi voivat aiheuttaa vesi- ja höyrypuolen korroosiota kattiloissa. Säilönnässä korroosion muodostumisen kannalta on kriittistä, jos säilöttävän järjestelmän paine laskee normaali-ilmanpaineeseen tai sen alapuolelle. Tällöin ilmaa voi päästä sisään järjestelmään ja liueta siinä olevaan veteen ja kosteuteen. Tällöin olosuhteet sähkökemialliselle korroosiolle ovat optimaaliset. [17; 18.]

Lämmöntalteenottokattilan vesihöyrypiirin korroosioon vaikuttavia tekijöitä ovat

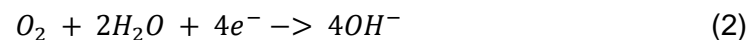
- kosteus: täysin kuivissa olosuhteissa korroosiota voidaan välttää
- happipitoisuus: korroosiota muodostuu enemmän, jos happea on liuenneena veteen
- pH ja sähkönjohtokyky: matala pH lisää korroosiota, kuten myös suuri sähkönjohtavuus. Terästä voidaan passivoida nostamalla pH riittävän korkeaksi
- kerrostumat: erilaiset kerrostumat vesipuolen pinnoilla voivat johtaa korroosioesiintymiin, jotka aiheuttavat paikallista syöpymistä
- epäpuhtaudet: yleisesti ottaen mitä suuremmat epäpuhtaustasot (kloridit, sulfatit) happea sisältävässä vedessä, sen nopeampaa on korroosion muodostuminen. [19.]

Sähkökemiallisella korroosiolle tarkoitetaan ilmiötä, jossa hapen vaikutuksesta jalomalla metallilla tapahtuu hapen pelkistysreaktio ja epäjalomalla hapetusreaktio, jossa epäjalompi metalli on myös metallipinnan syöpyvä osa. Jalompi metalli eli katodi on negatiivisesti varautunut elektrodi kun taas anodi eli epäjalompi metalli on positiivisesti varautunut elektrodi. Katodin ja anodin välinen jännite-ero saa aikaan korroosiota. Kattilassa metallipinnalla olevan magnetiittikalvon rikkoutuessa paikallisesti paljastunut metallipinta toimii reaktiossa anodina ja sitä ympäröivä suojakalvo katodina. [18; 20.]

Raudan syöymistä eli hapettumista kuvaava sähkökemiallinen reaktio on



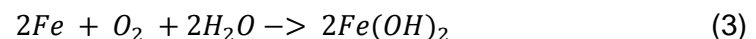
Syöyminen edellyttää, että elektroneja liukenee metallipinnalta liuokseen. Tähän siis riittää, että anodi- ja katodipinnat ovat molemmat yhteydessä samaan liuokseen. Vesiliuoksessa oleva happi pyrkii pelkistymään eli vastaanottamaan metallista liuenneita elektroneja. Tällöin metallipinta toimii katodina. Veteen liunneen hapen pelkistymisreaktiota voidaan kuvata reaktioyhtälöllä



Sähkökemiallista korroosiota esiintyy useissa eri muodoissa. Nämä muodot vaihtelevat materiaalien ominaisuuksien, mekaanisten ja kemiallisten ympäristötekijöiden, syöymiselle alttiin objektin valmistuksen, toimintamekanismin ja rakenteen mukaan. Kattilalaitoksilla esiintyy monenlaisia korroosimuotoja vesi-höyrykierrossa ja säilönnän tehtävänä onkin ehkäistä niiden muodostuminen. [18; 20 s. 2]

3.2.1 Happikorroosio

Happikorroosio voi olla tasaista tai kuoppamaista (pistekorroosio), tai rakokorroosiota (piilokorroosio). Yleisin korroosiotyyppi on kuitenkin kuoppakorroosio. Happikorroosiota tapahtuu ympäristössä, jossa teräs ja happi ovat veden välityksellä yhteydessä. [17.] Tällöin teräksen elektroneja liukenee vesiliuokseen ja muodostuu rautahydroksidia seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti [20 s. 3]:



Hapen vaikutuksesta rautahydroksidi voi reagoida edelleen muodostaen erilaisia rautaoksiedeita, jotka yhdessä rautahydroksidin kanssa muodostavat ruostetta. Rautaoksidien, kuten magnetiitin (Fe_3O_4), muodostuminen alkaa yli 60 °C:n lämpötiloissa. Magnetiittikalvo on kuitenkin tiiveimmillään yli 250 °C:n lämpötiloissa.

Erityisesti happikorroosioon vaikuttavat mm. elektrolyyttipitoisuus eli suolapitoisuus vedessä, pH, lämpötila, magnetiittikalvon laatu ja kattilamateriaali. Elektrolyyttipitoisuus

riippuu liuenneiden suolojen, hiilidioksidin ja alkalointikemikaalien määrästä. Mitä enemmän elektrolyyttejä vedessä on, sitä enemmän happikorroosiota tapahtuu. Jos happipitoisuus on kosketuksissa metallipinnan kanssa, korroosioreaktio käynnistyy. Veden elektrolyyttipitoisuutta (ionit) vähennetään ioninvaihtimilla vedenkäsittelyssä ja veden sähkönjohtavuutta mitataan prosessin eri pisteissä. Lisäksi pH-alueella 6 - 9 happi reagoi hapetus-pelkistys -reaktiolla metallipinnan kanssa aiheuttaen korroosiota. pH-arvolla kuvataan nesteen alkalisuutta ja happamuutta asteikolla 0 - 14. Asteikolla 0 - 7 liuos on hapanta, ja 7 - 14 emäksistä. [4.] Kun pH-arvo on yli 9 eli emäksisellä alueella ja lämpötila on riittävän korkea, muodostuu metallipintaan passivoiva magnetiittikalvo, joka suojaa happikorroosiolta. [20; 21.]

Lämpötilan kasvaessa hapen liukoisuus veteen vähenee, ja yli 100 °C:n lämpötiloissa lämpötilalla on korroosioreaktiota hidastava vaikutus. Lämpötila-alueilla 200 - 570 °C vesi-höyrypinnoille muodostuu tiivis magnetiittikalvo. Magnetiittikalvo suojaa pintoja, jotta happi ei pääse diffundoitumaan metallipinnalle. Eri materiaaleilla on lisäksi erilaiset korroosionkestävyysominaisuudet. [5; 20; 21.]

3.2.2 Paikallinen syöpyminen

Paikallinen syöpyminen voidaan jakaa pistesyöpymiseen sekä rako- eli piilokorroosioon. Pistekorroosiossa metallin syöpyminen tapahtuu keskittyen pienille alueille metallin pinnassa, jolloin syntyy paikallisia kuoppamaisia syvänteitä. Ohutseinäisissä rakenteissa se voi ulottua seinän läpi aiheuttaen vuotoa, esimerkiksi putkistoissa tai säiliöissä. Pistekorroosio voi aiheutua pinnan heterogeenisuudesta, kuten urista, pintakalvojen rakennevirheistä, elektrolyyttipisaroista tai liuoksen kuluttavasta törmäämisestä pintaan. Myös esimerkiksi tietynlaiset anionit, kuten kloridi-, bromidi-, hypokloriitti- tai tiosulfaattianionit voivat aiheuttaa pistesyöpymää. [18.]

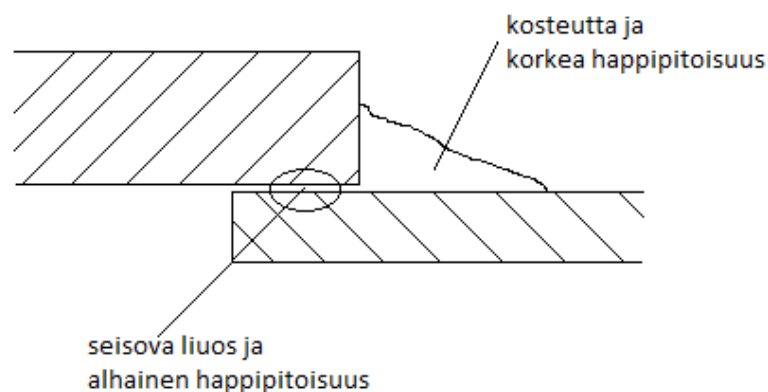
Pistekorroosio on yleinen korroosion muoto metalleilla, kuten alumiinilla ja ruostumattomalla teräksellä, joiden korroosionkestävyys perustuu pintaa suojaavaan passiivikerrokseen tai perusmetallia jalompaan pinnoitteeseen. Kloridi-ionien aiheuttama pistesyöpymisen periaate liuoksessa, joka on yhteydessä ilmaan, perustuu siihen, että positiivisten metalli-ionien liukenemisen takia syöpymän alueelle syntyy positiivinen varaus, jolloin negatiivisesti varautuneet kloridi-ionit pyrkivät siirtymään syöpymän alueelle sähköisen neutraaliuden säilyttämiseksi. Kemiallisen reaktion tuotteena syntyy vety- ja kloridi-ioneja, jolloin niiden pitoisuudet kasvavat syöpymän alueella, ja reaktionopeus kasvaa.

Koska hapen liukoisuus syöpymän väkevöityneeseen elektrolyyttiin on pieni, tapahtuu katodisena reaktiona hapen pelkistyminen syöpymän läheisillä alueilla. Näin pistesyöpymä ikään kuin suojaa ympäristöään katodisesti.

Esimerkiksi ruostumattomilla teräksillä tällaista syöpymistä tapahtuu vain tietyllä pH- ja potentiaali-alueella. Rajapotentiaali, jota positiivisemmilla potentiaaleilla pistesyöpymiä alkaa muodostua rakenteeseen, kutsutaan pistesyöpymäpotentiaaliksi. [18.] Tämän vuoksi säilönnässä pyritään ylläpitämään sopivaa pH-arvoa vedenkäsittelyllä.

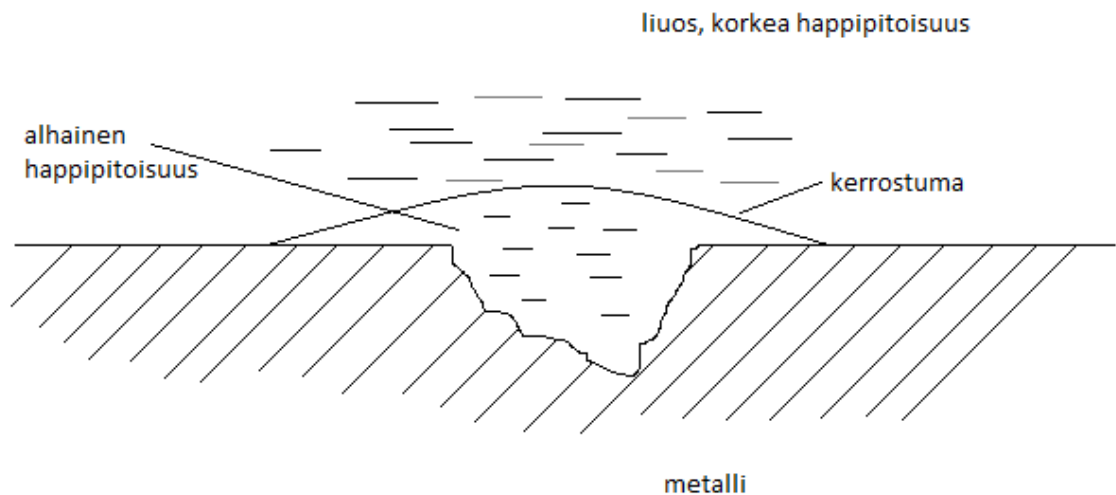
Rakokorroosiota voi tapahtua ahtaissa raoissa, joihin pääsee liuosta, mutta se ei ehdi vaihtua yhtä nopeasti kuin muilla metallipinnan alueilla. Sitä esiintyy esimerkiksi niitti-, pultti- ja hitsausliitoksissa. Lisäksi metallin ja epämetallin kosketuspinoilla, kuten tiivisteliitoksissa voi syntyä rakokorroosiota, jos esimerkiksi tiivistemateriaali on vettä absorboivaa tai ei kokonaan peitä tiivistepintaa. Toisaalta myös erilaisten kiinteiden partikkelien muodostamat saostumat voivat edesauttaa korroosion muodostumista. Rakokorroosiolle erityisen herkkiä ovat metallit, joiden korroosionkestävyys perustuu passivoinnille kuten esimerkiksi ruostumattomat teräkset. [22.]

Piilo- ja rakokorroosiota syntyy epäpuhtauksien rikastuessa metallipinnalle. Rakokorroosiota (kuva 7) voi syntyä rakoihin, kuten pinnan kerrostumien ja pintojen väliin, kun liuos seisoo paikallaan pitkään. Rakokorroosiota syntyy liuoksen koostumuksen muuttuessa raossa niin, että korroosio kiihtyy. [18.]



Kuva 7. Rakokorroosio [20].

Yleisin korroosioparin muodostumisen syy ovat happipitoisuuden erot liuoksessa, mitä havainnollistetaan kuvassa 8. Vähemmän happea sisältävä alue raossa muuttuu anodiksi. Raossa tapahtuvan hydrolyysireaktion vaikutuksesta liuoksen happamuus lisääntyy, jolloin passiivikerros muuttuu epästabiiliksi. Kloridi-ioneja sisältävissä liuoksissa reaktiomekanismi on samanlainen kuin pistekorroosion tapauksessa. [18; 22.]



Kuva 8. Piilokorroosio [20].

3.2.3 Eroosio- ja kavitaatiokorroosio, ammoniakkikorroosio

Virtaavassa nesteessä liuoksen liikenopeuden kasvaessa riittävän suureksi, liuos irrottaa metallin pinnasta suojaavia kerroksia, jolloin korroosion nopeus kiihtyy. Tällöin korroosionopeus riippuu virtausnopeudesta. Tavallisesti eroosikorroosiota aiheuttaa virtauksen epäjatkuvuuskohtista, jotka aiheuttavat pyörteistä virtausta ja näin ollen sen, että kriittinen nopeus ylittyy. Putkistovirtauksessa eroosikorroosiolle ovat alttiina putkien mutkat, suuaukot sekä haarat. Materiaali ja ympäristö määräävät tilanteen mukaan sen, mikä on kriittinen virtausnopeus. Lisäksi virtauksen mukana kulkeutuvat kiinteät partikkelit voivat aiheuttaa partikkelierosiota, jolloin korroosiosuojakerrokset voivat rikkoutua jo ennen kriittisen virtausnopeuden saavuttamista. [18; 22.]

Kavitaatio on ilmiö, jossa nestevirtaukseen syntyneet kaasukuplat luhistuvat, jolloin nesteeseen syntyy voimakkaita paineaaltoja. Kavitaatiokorroosiossa nämä paineaallot voivat rikkoa metallin pintaa suojaavan passiivikalvon, tai muun suojakerroksen, jolloin me-

tallipintaa paljastuu. Kavitaatiokorroosio on tyypillistä esimerkiksi hydraulilaitteissa, laivojen potkureissa, pumppujen siipipyörissä, putkistoissa ja laitteissa, joissa nesteen virtausnopeus on suuri ja esiintyy paineen vaihteluja. Kavitaatiota syntyy höyrykuplien luustumisesta johtuvista paikallisista paineiskuista. Nesteeseen syntyy höyrykuplia, kun nesteen paine putoaa hetkellisesti ja tämän seurauksena kiehumispiste laskee. Paineen nousun seurauksena kuplat romahtavat ja aiheuttavat paineiskuja, jotka kuuluvat kovana äänenä. Tämän seurauksena syntyy myös lämpöä. Voimakkaat paineiskut voivat rikkoa metallipintaa mekaanisesti, jolloin puhutaan kavitaatioeroosiosta. Pumpun tyypillinen kavitaatiokohta on siiven tuloreuna. Pumpun NPSH-luku ilmoittaa, millainen imupaine pumpulla on vähintään oltava, jottei kavitaatiovaaraa olisi. [5; 22.]

Jotta kavitaatiolta vältyttäisiin, on putkistosuunnittelulla varmistettava, että pumpun imupaine on suurempi kuin pumpun tarvitsema imupaine. Kylläistä vettä pumpattaessa on imusäiliön paine sama kuin höyrystymispaine, joten kavitaation välttämiseksi pumput on sijoitettava useita metrejä imusäiliön alapuolelle. [5.]

Ammoniakkikorroosio on samantapainen ilmiö kuin eroosiokorroosio. Sen edellytyksenä on hapen ja ammoniakkin läsnäolo. Ammoniikki liuottaa hapen vaikutuksesta metallipinnalle muodostuneen kuparioksidin. Kuparipinnalle muodostuu uutta kuparioksidia, jonka ammoniikki jälleen liuottaa, ja korroosio jatkuu. Joidenkin hapenpoistokemikaalien, kuten hydratsiinin (reaktioyhtälöt 14 ja 15), hajoamistuotteena syntyy ammoniakkia, minkä vuoksi säilönnässä tuleekin huomioida näitä kemikaaleja käyttäessä ammoniakkin vaikutukset. [20.]

3.2.4 Jännityskorroosio ja korroosioväsyminen

Jännityskorroosiossa metalliin muodostuu murtumia pinnoissa vaikuttavien vetojännitysten vaikutuksesta, joka voi aiheutua ulkoisesta tai sisäisestä kuormituksesta. Liipeähaurautta esiintyy kylmämuokatuissa kattilateräksissä emäksisissä olosuhteissa. Happi ja muut hapettajat lisäävät jännityskorroosioherkkyyttä. Esimerkiksi austeniittisella ruostumattomalla teräksellä esiintyy korroosiota vain hapettavissa kloridiliuoksissa. Jännityskorroosiota voidaan estää poistamalla happi liuoksesta. Jännityskorroosiota tapahtuu yleensä vain tietyllä potentiaalialueella ja sitä voidaan välttää muuttamalla potentiaalia joko anodiseen tai katodiseen suuntaan. Lämpötilan nousu kiihdyttää jännityskorroosiota. Joillain seoksilla, kuten magnesiumseoksilla, jännityskorroosiota voi tapahtua jo

huoneenlämpötilassa, mutta useimmiten se vaatii kuitenkin korkeampaa lämpötilaa. [18; 22.]

Vesiliuosten lisäksi jännityskorroosiota aiheuttavat myös sulat metallit ja suolat sekä eräät epäorgaaniset ei-vesiliuokset. Happi sekä muut voimakkaat hapettajat lisäävät jännityskorroosioherkkyyttä. Esimerkiksi tavallisella austeniittisella ruostumattomalla teräksellä esiintyy jännityskorroosiota vain hapettavissa kloridiliuoksissa. Jännityskorroosiota voidaan estää tehokkaasti poistamalla happi liuoksesta, mikä on oleellista säilönnässä. Metallin koostumuksen lisäksi myös sen mikrorakenne, dislokaatorakenne ja faasien termodynaaminen stabiilisuus vaikuttavat jännityskorroosiotaipumukseen.

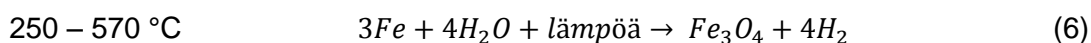
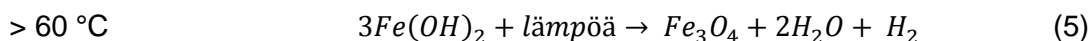
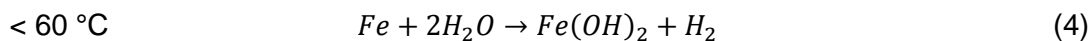
Kuten jännityskorroosiossa, myös korroosioväsymisessä korroosion sekä jännityksen osuus vaurion syntyyn vaihtelee. Korroosioväsyminen on todennäköistä olosuhteissa, joissa materiaali altistuu myös muille paikallisen korroosion muodoille, kuten pistekorrosiolle. Tällöin paikalliset korroosiovauriot toimivat jännityksen keskittäjinä. Erityisesti austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat alttiita korroosioväsymiselle kloridipitoisessa ympäristössä.

Korroosioväsymistä tapahtuu myös olosuhteissa, joissa on tasaista syöpymistä. Tällöin jännitysvaihteluiden aiheuttamat paikalliset muodonmuutokset materiaalin pintaan rikkovat passivaatiokerroksen, jolloin ne muodostavat muihin pinnan osiin nähden epäjalomman alueen, joka syöpyy anodisena. [18.]

3.3 Magnetiittikalvo

Teräksen ollessa kosketuksissa veden kanssa lämpötila-alueella 60 - 570 °C teräksen pinnalle muodostuu *rautaoksidea*, mm. *magnetiittia* (Fe_3O_4), jonka muodostuminen kattilapinnoille onkin toivottavaa sen suojaavan ominaisuuden vuoksi. Suotuisissa olosuhteissa (250 - 570 °C) se muodostaa sitkeän ja tiiviin, teräksen pintaan lujasti kiinnittyvän suojakalvon, joka pysäyttää korroosioreaktion lähes kokonaan. Tällä lämpötila-alueella magnetiittikalvo muodostuu hyvin nopeasti eikä rautahydroksidia ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) ehdi muodostua. Lisäksi magnetiittikalvo uusiutuu vaurioituessaan. Kalvon muodostuminen riippuu useista tekijöistä kuten lämpötilasta, nk. redox-potentiaalista, liuenneen hapen määrästä sekä pH-arvosta, joita tarkkaillaan mittaamalla eri pisteistä vesikiertoa. Redox-po-

tentiaalilla kuvataan veden hapetus- ja pelkistyskykyä. Redox-potentiaali on sitä korkeampi mitä enemmän vesiliuoksessa on hapettavia aineita [12]. Suojakalvon muodostuminen tekee mahdolliseksi epäjalon teräksen käytön kattilamateriaalina. [5.] Magnetiittia muodostuu lämpötilan mukaan seuraavien reaktioyhtälöiden kautta [23]:



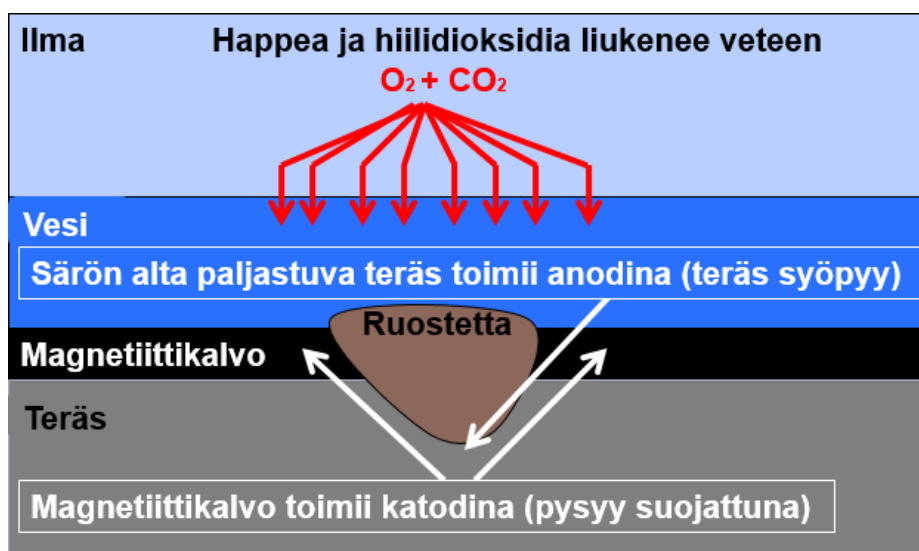
Kattiloiden korroosio johtuu häiriöistä magnetiittikalvon muodostumisessa tai sen vaurioitumisesta mekaanisista tai kemiallisista syistä, tai nopeista lämpötilan muutoksista. Putkivärähtelyt, kuten myös suuret virtausnopeudet ja pyörteet voivat vaurioittaa magnetiittikalvoa. Suuret lämpötilanvaihtelut aiheuttavat murtumia magnetiittikalvossa ja sen irtautumista teräspinnasta. [5; 21.]

Kattilan alasajossa magnetiittikalvo vaurioituu ja siihen muodostuu säröjä, sillä teräs laajenee lämpötilan vaikutuksesta magnetiittikalvoa nopeammin. Tätä havainnollistetaan kuvalla 9.



Kuva 9. Veden diffundoituminen metallipinnalle [21].

Happipitoisen veden diffundoituessa kapillaarivoimien vaikutuksesta säröjen pohjan puhtaalle metallipinnalle muodostuu galvaanisia pareja. Säröä ympäröivä magneetti- kalvo toimii katodina ja metallipinta anodina. Reaktio alkaa metallipinnan ollessa kosketuksissa samanaikaisesti hapen sekä sähköä johtavan vesiliuoksen kanssa. Tämän seurauksena muodostuu syöpymiä metallipinnalle, mitä havainnollistetaan kuvalla 10. [21.]



Kuva 10. Säilöntäaikaisen korroosioilmion periaatekuva [21].

Suojakalvon aikaansaaminen ja säilyttäminen on vesi-höyrykierron vedenkäsittelyn päämäärä. Suurilla hydratsiinipitoisuuksilla ja alhaisissa lämpötiloissa (< 270 °C) magnetiittikalvo muuttuu huokeaksi ja voi irrota, mikä voi vaikeuttaa laitoksen käyntiin lähtöä irronneen magnetiitin lähtiessä liikkeelle kierto. Yleisesti säilöntää toteutetaan prosessilämpötiloja matalammilla lämpötiloilla, mikä ei enää ole magnetiittikalvon muodostumiselle suotuisalla alueella. [5.]

3.4 Säätökemikaalit

Säätökemikaaleilla tai alkalointikemikaaleilla voidaan nostaa vesihöyrykierron veden pH-arvoa, mikä on yksi tärkeistä säätöparametreista vedenkäsittelyssä. Vuosaarella on tähän tarkoitukseen käytössä kattiloissa lipeä ja ammoniakki. Näitä käytetään käynnin aikana, mutta lipeä ei sovi varallaolotilanteissa käytettäväksi, vaan sen sijaan käytetään pelkkää ammoniakkia. Liian alhaisella tai suurella pH-arvolla on vaikutusta korroosionopeuteen. Lipeää annostellaan vain kattilaan ja ammoniakkia syöttövedeen. [14.]

Ammoniakki on termisesti stabiili yhdiste, jota voidaan käyttää lauhteiden, syöttöveden ja höyrylauhteiden pH-tason nostoon. Ammoniakki ei poista happea mutta se sitoo hiilidioksidia (CO_2) vedestä lämpötilan ollessa alle 135 °C. Hiilidioksidi aiheuttaa korroosiota alle 200 °C:n lämpötilassa. Hapen poistamiseksi järjestelmästä voidaan käyttää hydratsiinia. Ammoniakki näkyy kationivaihdetuissa johtokyvyssä suuremmilla pitoisuuksilla.

[24.] Kationivaihdetulla johtokyvyllä tarkoitetaan veden johtokykyä, joka mitataan kationinvaihtimen jälkeen. Näytekationinvaihtimen avulla vesi- sekä höyrynäytteistä poistetaan ammoniakki ja eliminoidaan siitä aiheutuva johtokyky. Sen sijaan suora johtokyky mitataan suoraan näytevirrasta. Se ilmoittaa lisäveden puhtauden, syöttöveden haihtuvan alkalointikemikaalin pitoisuuden sekä kattilaveden suola- ja kemikaalipitoisuuden. [18.] Ammoniakin suuresta jakaantumiskertoimesta johtuen se ei juurikaan nosta niin sanotun ensilauhteen pH:ta. Jakaantumiskerroin eli suhteellinen haihtuvuus kuvaa miten seoksen muodostavat aineet jakautuvat höyry- ja nestefaasien kesken [12: s. 26]. Jakaantumiskerroin määritellään seuraavasti:

$$\text{Jakaantumiskerroin } K = \frac{\text{aineen pitoisuus höyryssä}}{\text{aineen pitoisuus vedessä}} = \frac{c_{\text{höyry}}}{c_{\text{vesi}}}$$

Hapanta ensilauhdetta voi muodostua esimerkiksi höyryturbiinissa tai höyryluvoissa vesihöyryn tiivistyessä. Höyryluvolla tarkoitetaan palamisilman esilämmitintä, joka lämmitää savukaasuesilämmittimeen menevää palamisilmaa höyryllä [4]. Ammoniakki ei kuitenkaan nosta kattilaveden pH:ta korkeammassa lämpötiloissa johtuen suuresta jakaantumiskertoimesta sekä pienestä dissosiaatioasteesta. Dissosiaatiolla tarkoitetaan molekyylin hajoamista muiksi aineiksi. Jäähdytetyissä näytteissä ammoniakki nostaa mitattua pH-lukemaa, sillä matalammassa lämpötiloissa sen emäksisyys on suurempaa. [24.]

Ammoniakin käytössä tulee huomioida sen kuparia liuottava vaikutus. Oikeanlaisissa olosuhteissa, kun liuenneen hapen pitoisuus veteen on sopivalla tasolla ja lämpötila on riittävä, ammoniakki liuottaa kuparia. Se voi liuottaa suoloja kattilavedestä höyryyn ammoniumionimuodossa kuten ammoniumkloridia (NH_4Cl). Ammoniakki poistuu osittain termisessä kaasunpoistossa kaasunpoistimessa. Jos laitos halutaan saada säilönnästä nopeasti käyntiin, ammoniakkia annostellaan kuten käynnin aikana, sillä suurempi ammoniakkimäärä hidastaa laitoksen käynnistystä. Ammoniakin vesiliuos laimenee ajan kuluessa. [24.] Vuosaaren voimalaitoksilla ammoniakkia on täytynyt lisätä kiertoön kolmen viikon vesitäytön jälkeen [14].

Joillain voimalaitoksilla on käytetty märkäsäilönnässä pelkkää ammoniakkia pH:n säätöön. Hapen poistamiseksi on apukattilalla ylläpidetty höyrytyynyä samalla, kun veden kierrätystä on pidetty käynnissä erillisellä järjestelmällä. Pelkässä vesitäytössä höyrytyyny on korvattu typpityynyllä. Tyypeä (N_2) on syötetty sekä syöttövesisäiliöön että lie-

riöihin ja päänhöyrylinjoihin ja pidetty noin 0,4 barin ylipaineessa paineensäätöjärjestelmällä. [21.] Märkäsäilöntä ammoniakilla ja typpityynyllä on yksi EPRI:n [25.] suosittelemista märkäsäilöntätavoista.

Lipeä (NaOH) ja trinatriumfosfaatti, lyhyemmin TNF (Na_3PO_4), ovat korkeammissakin lämpötiloissa emäksisiä. TNF sitoo kovuussuoloja ja näin ollen ehkäisee kerrostumien syntymistä. Kattilaveden pH:n nostaminen vähentää happojen, kuten suolahapon (HCl) ja piihapon ($\text{Si}(\text{OH})_4$) haihtuvuutta lieriöstä johtuen muodostuneista suoloista. TNF vapauttaa natriumhydroksidia liuetessaan veteen. Lipeää sen sijaan voidaan lisätä myös sellaisenaan käytön aikana, kuten Vuosaaren voimalaitoksilla on tehty [14]. Veden natriumpitoisuus kasvaa näitä lisättäessä. Liian suuri lipeän määrä aiheuttaa korroosiota erityisesti silloin, kun se pääsee rikastumaan paikallisesti. Tyypillisiä kohtia ovat kuivaksi kiehuvat kohdat, kuten keittävä ekonomaiseri sekä kattilaputkien sisäpuolisen huokoisen magnetiittikerroksen säröt.

Lipeä näkyy huonosti kationivaihdetussa johtokyvyssä, mutta trinatriumfosfaatti sen sijaan näkyy selvästi. Kattilaveden natriumin ja fosfaatin maksimipitoisuuksille on annettu ohjearvoja lieriöpaineen mukaan. TNF:n liukoisuus veteen huononee lämpötilan noustessa. Fosfaattia voi kiteytyä ja jäädä kattilan lämpöpinnoille muodostaen erilaisia yhdisteitä raudan ja natriumin kanssa, kun kattilapainetta ja näin ollen tehoja kasvatetaan. Tätä kutsutaan hideout-ilmiöksi. Hideout-ilmiöön voi liittyä kattilaveden pH-tason muutoksia natriumin tai lipeän määrän muuttuessa sekä raudan korroosiota. Vaikutukset riippuvat muodostuvista yhdisteistä. [24.] Vuosaarissa on aiemmin käytetty käynnin aikana lipeän sijaan fosfaattia, joka on kuitenkin ympäristö- ja päästösyistä jouduttu vaihtamaan lipeään [14].

3.5 Korroosioinhibiitit

Korroosioinhibiitti tarkoittaa ainetta, joka alhaisinakin pitoisuuksina lisättynä korroosiota aiheuttavaan ympäristöön pienentää metallien korroosionopeutta. Näitä inhibiittejä on useita eri tyyppisiä, *adsorptioinhibiitit* ja *hapettavat inhibiitit*, ja lisäksi *kalvonmuodostajat* ja *hydratsiini* voidaan luokitella korroosioinhibiiteiksi [15; 18]. Muut korroosionestokemikaalit vähentävät metallirakenteiden korroosiota muuttamalla ympäristöä tekemällä siitä vähemmän syövyttävän. Hydroksidien ja karbonaattien lisäämisellä nostetaan veden

pH-arvoa ja pienennetään rautametallien korroosiota, mutta ei esimerkiksi alumiinin korroosiota. Usein korroosionesto toteutetaan kuitenkin poistamalla happi vesijärjestelmästä mekaanisesti tai kemikaaleilla. Tunnetuimmat hapenpoistokemikaalit ovat juuri aiemmin mainittu hydratsiini ja sulfiitit. Suurin osa inhibiiteistä on toiminnaltaan valikoivia. Vesijärjestelmässä, jossa pyritään estämään metallien korroosiota inhibiittien avulla, on tunnettava tarkasti veden koostumus, kuten aggressiivisten ionien läsnäolo, veden biologinen toiminta ja lämpötila. Lisäksi käyttömetallien koostumuksesta ja pinnanlaadusta tarvitaan tietoja.

Sopivan inhibiitin valitsemiseksi täytyy määrittää oikea inhibiittipitoisuus. Inhibiitit vaativat tietyn minimipitoisuuden korroosioympäristössä ennen kuin ne pystyvät toimimaan tehokkaasti eli suojaamaan metallirakennetta korroosiolta. Jos minimipitoisuutta ei saavuteta, voi korrosio olla paikallisesti voimakkaampaa kuin ilman inhibiittiä. Inhibiittejä myös kuluu käytön aikana, jolloin alkupitoisuus ei pelkästään riitä. Alkupitoisuudeksi suositellaankin usein korkeampaa tasoa kuin minimipitoisuutta, ja pitoisuutta tulee tarkastella säännöllisesti. Inhibiittejä valittaessa ja käytettäessä on kuitenkin tunnettava koko järjestelmän toiminta ja rakenne.

Inhibiittejä luokitellaan yleisesti korroosio-ariajattelun mukaisesti anodisiin ja katodisiin inhibiitteihin. Luokittelu perustuu siihen, polarisoiko inhibiitti anodista reaktiota eli metallin liukenemistä, vai katodista eli hapen pelkistävää reaktiota neutraaleissa liuoksissa tai veden kehittymistä happamissa liuoksissa.

Anodisilla inhibiiteillä kasvatetaan anodisen liukenemisprosessin polarisaatiota, jolloin korroosionopeus pienenee. Ne ovat hapettavia anioneja, jotka kulkevat anodipinnoille ja muodostavat liuenneen hapen kanssa passiivifilmin anodipinnoilla. Passivaattorit muodostavat anodiselle alueelle ohuen suojakerroksen, esimerkiksi oksidikerroksen. Pieninä pitoisuuksina ne kuitenkin aiheuttavat korroosion lisääntymistä. Inhibiitti suojaa vain osan anodipinnasta, minkä seurauksena voi olla alueen pistemäistä syöpymistä. Anodisia inhibiittejä ovat esimerkiksi ortofosfaatit, bentsoaatit, boraatit, silikaatit, nitriitit, dikromaatit ja liukenevat kromaatit.

Katodiset inhibiitit ovat yleensä kationeja, jotka hakeutuvat katodipinnoille ja alentavat katodista virrantiheyttä, korroosio-*potentiaalia* ja korroosiovirtaa. Ne eivät aiheuta piste-korroosiota ja pienentävät korroosioreaktiolle välttämätöntä katodista pintaa. Tyypillisim-

piä katodisia inhibiittejä ovat polyfosfaatit ja kalsiumbikarbonaatit. Polyfosfaatteja käytetään raudan, teräksen ja sinkin suojauksessa. Ne pystyvät estämään myös esimerkiksi kuparin korroosiota. Polyfosfaatit toimivat, jos vedessä on kovuutta ja happea. Haittapuolena on taipumus saostumien, kuten kalsiumfosfaattien, muodostamiseen kovassa vedessä, mikä taas vaikeuttaa lämmönsiirtoa ja virtausta. Booriyhdisteet voivat aiheuttaa ongelmia alumiinin suhteen ja saavat aikaan melko korkean pH:n (yli 9). Suolat ovat tyypillisiä katodisia inhibiittejä erilaisissa neutraaleissa liuoksissa. Ne saostuvat metallin katodisille alueille liukenemattomina hydroksidikalvoina. [18.]

3.6 Hapensidontakemikaalit

Höyryvoimalaitoksien vesi-höyrykierrossa sekä kaukolämpöjärjestelmissä on lukuisia vaikeasti hallittavia kohtia, joista happi pääsee tunkeutumaan järjestelmiin, syöttöveden termisestä kaasunpoistosta ja muista varotoimista huolimatta. Käytön ja seisonta-aikaisen happikorrosiovaaran vuoksi höyryvoima- ja kaukolämpölaitoksilla turvaututaan hapensidontakemikaalien annosteluun. Hapensidontakemikaaleista voidaan käyttää myös nimitystä *hapenpoistokemikaalit*. Perinteisen hydratsiinin rinnalle on tullut markkinoille myös muita hapensidontakemikaaleja. Nämä kemikaalit reagoivat liuokseen liunneen hapen kanssa estäen happea osallistumasta korroosioreaktion katodiseen osaprosessiin. Erilaisia markkinoilla olevia hapensidontakemikaaleja ovat

- hydratsiini
- metyylietyyliketoksiimi
- natriumsulfiitti
- karbohydratsiinipohjaiset hapensidontakemikaalit
- dietyylihydroksyyliamiinipohjaiset hapensidontakemikaalit
- erytorpaattipohjaiset hapensidontakemikaalit
- azaminapohjaiset hapensidontakemikaalit.

Hapensidontakemikaalit muodostavat erilaisia hajoamis- ja reaktiotuotteita, joiden vaikutuksista ei ole juurikaan käytettävissä kirjallisuutta. Nämä tuotteet nostavat syöttöveden, kattilaveden, höyryn ja lauhteen laatua kuvaavia johtokykyjä, kuten suora ja kationinvaihdettu johtokyky, vaihtelevia määriä kemikaalista riippuen. Tämän vuoksi johtokyvyt yleensä ylittävät Suomessa yleisesti käytettävät vesihöyrykierron ohjesuositukset. Täl-

löin veden ja höyryn johtokykymittauksiin perustuva laadunvalvonta vaikeutuu oleellisesti. Ohjeavot on laadittu hydratsiinipohjaiselle vesikemialle, minkä vuoksi niitä ei voi soveltaa muille hapensidontakemikaaleille. [26.]

Käytössä olevien kemikaalien vaihtaminen ei ole helppo prosessi, minkä vuoksi ennen kemikaalin vaihtamista tai sen suunnittelemista tulee selvittää muun muassa seuraavia asioita:

- nykytilanteen kartoittaminen
- uusien kemikaalien käytön ja vanhojen kemikaalien vaihdon tarpeellisuus
- soveltuvuuden selvittäminen järjestelmään ja materiaaleille
- uuden kemikaalin hallittu käyttöönotto.

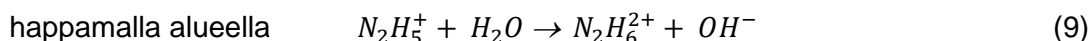
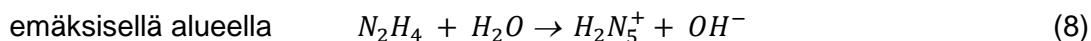
Kemikaalien vaihtaminen lisää vedenlaadun seurantarvetta ja veden laadun tulee olla ohjeavosuosituksien mukaisella tasolla. [20.]

Hydratsiini

Hydratsiini voidaan luokitella sekä hapensidontakemikaaliksi että korroosioinhibiitiksi [15; 26.] Märkäsäilönnässä ja jäännöshapen poistossa hydratsiinilla on vakaa asema, sillä se ei muodosta hapen kanssa kemiallisesti haitallisia reaktio- tai hajoamistuotteita. Se luokitellaan syöväälle altistavaksi – karsinogeeniseksi – aineeksi. Hydratsiinia käytetään seuraavissa sovelluksissa:

- höyryvoimalaitosten käytön aikana syöttöveden jäännöshapen poistamiseen
- kattilalaitosten märkäsäilönnässä säilöntäliuoksen pH-arvon nostamiseen sekä kemialliseen hapenpoistamiseen
- syöttöveden pH:n nostamiseen
- jäännöshapen poistamiseen kaukolämpöjärjestelmissä.

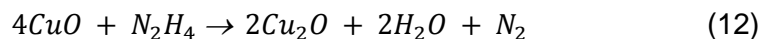
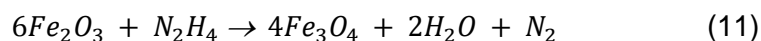
Hydratsiini on kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan täysin haihtuva, väritön, ilmassa palava ja savuava neste, joka liukenee helposti veteen. Vesiliuoksena se on vahvasti emäksinen, alkalinen kemikaali. Se on heikko emäs, joka hydrolysoituu veden pH-arvosta riippuen seuraavien reaktioyhtälöiden [26] mukaisesti:



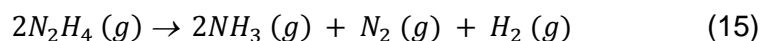
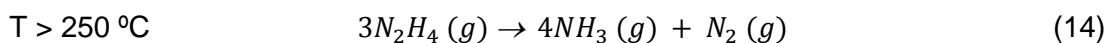
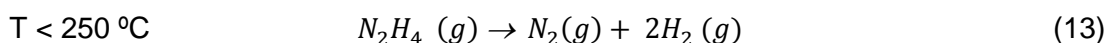
Hapen kanssa hydratsiini reagoi veteen liunneen hapen kanssa seuraavan yhtälön mukaisesti



Reaktiotuotteet ovat puhdasta vettä ja typpeä. Typpi ei aiheuta inerttinä kaasuna korroosio-ongelmia vesi-höyrykiertoon. Hydratsiinin ja hapen reaktioon vaikuttavat useat tekijät, kuten veden pH, lämpötila sekä suolapitoisuus. Reaktionopeus kasvaa merkittävästi lämpötilan ja pH-arvon kasvaessa. Hydratsiini passivoi vesi-höyrykierron metallipintoja korroosiota vastaan. Se reagoi hematiitin (Fe_2O_3) ja kuparioksidin (CuO) kanssa muodostaen metallipinnalle korroosiolta suojaavan tiiviin oksidikalvon seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:



Puhtaan hydratsiinin terminen hajoaminen alkaa 250 °C:ssa ja katalyyttiä käyttäen hajoaminen alkaa jo noin 100 °C:ssa. Hajoamisreaktiot tapahtuvat seuraavasti lämpötilasta riippuen:



Pitkäaikaisten käyttökokemusten mukaan hydratsiini on tehokas hapensidontakemikaali sekä metallioksidien (Fe- ja Cu -oksidit) passivointikemikaali ja se sitoo aktivoituneena happea jo huoneen lämpötilassa. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi hydratsiinilla on kuitenkin haittapuolensa. Koska se on syöväälle altistava kemikaali, sitä ei saa käyttää

voimalaitoksissa, jotka tuottavat höyryä elintarviketeollisuudelle. Lisäksi se ei ole kovinakaan stabiili yhdiste. Se ei myöskään yleensä anna kovin hyvää suojaa voimalaitosten lauhdejärjestelmässä, sillä hydratsiini hajoaa termisesti hajoamistuotteiksi jo kattilassa. Lauhdepuolelle onkin yleensä oma kemikaaliannostelunsa. Lisäksi se liuottaa rautaa ja rautaoksidia putkien sisäpinnoilta varsinkin lämpötila-alueella 120 - 250 °C. Hydratsiinin käyttö säilönnässä tekee kattilan magnetiittikalvosta huokean, jolloin magnetiitti ja rauta voivat lähteä käyttöönoton yhteydessä liikkeelle ja tukkia esimerkiksi sihtejä ja aiheuttaa näin ongelmia vesi-höyrykierrossa kerrostumalla paikallisesti. [26.]

3.7 Kalvonmuodostajakemikaalit

Kalvonmuodostajakemikaalit ovat haihtuvia kalvoa muodostavia pinta-aktiivisia amiineja, jotka muodostavat metallipinnoille kalvon, joka ehkäisee korroosion ja epäpuhauksien muodostumista lämmönsiirtopinnoille passivoimalla teräsrakenteita. Erilaisia markkinoilla olevia kalvonmuodostajakemikaaleja ovat esimerkiksi

- oktadekyyliamiini
- helamiini
- fineamiini
- adeamiini.

Nämä kemikaalit ovat siis amiinipohjaisia kemikaaleja, jotka voidaan luokitella omaan ryhmäänsä tai kuuluvaksi korroosioinhibiitteihin. Kalvoa muodostavat amiinit voivat häiritä veden magneettisia virtaus- ja johtokyky mittauksia muodostamallaan suojakalvolla. Lisäksi vesikemian vaihtaminen amiinipohjaiseksi voi vaatia jopa kattilan peittauksen – oksidikalvon poiston kemikaaleilla –, jotta irronnut magnetiittikalvo ei tuki järjestelmän osia esimerkiksi laitosta käynnistäessä. Kalvonmuodostajien käyttö voi olla tarkoituksenmukaista esimerkiksi uudessa voimalaitoksessa, jolloin niiden käyttöönotto on helpompaa kuin vaihtaa käytössä olevia vedenkäsittelyn kemikaaleja ja mittausmenetelmiä. [14; 27.] Edellä mainituista kalvonmuodostajakemikaaleista tunnetuin on oktadekyyliamiini.

Oktadekyyliamiini (ODA)

Oktadekyyliamiini (ODA) on vesiliukoinen, jo 70-luvulla voimalaitoksissa käytössä ollut kalvonmuodostaja- sekä säilöntäkemikaali. Annostelua varten sen tulee olla nestemäisessä muodossa. REICON-niminen yhtiö on kehittänyt ODA:sta vesiemulsion (ODACON), jota on helpompi annostella. Annostelu voidaan tehdä esimerkiksi samoilla pumpuilla kuin muiden kemikaalien, kuten lipeän tai hydratsiinin, annostelu.

ODA on pitkäketjuinen alifaattinen amiini, jonka kemiallinen kaava on $C_{18}H_{37}NH_2$. Sen haihtuvuus ja jakaantumiskerroin ovat samankaltaiset kuin ammoniakilla, jolloin se jakautuu vesi- ja höyrykierrossa. ODACON ei sisällä lisäaineita kuten emulsaattoreita tai lyhytketjuisia amiineja tai polyamiineja. Se on puhdas ja vakaa vesimäinen emulsio, myrkytön konsentraatiosta riippumatta, ja näin ollen ympäristöystävällinen. Taulukossa 2 näkyvät ODACONin sisältämät aineet.

Taulukko 2. Emulsion kemialliset aineet [28].

Aine	Pitoisuus
Kloridi	< 2 mg/kg
Sulfaatti	< 2 mg/kg
Silikaatti	< 0,5 mg/kg
Asetaatti	< 1 mg/kg
Fosfaatti	< 1 mg/kg

ODA muodostaa vakaan, adhesiivisen suojaavan kerroksen molekyylitasolla kaikille metallisille ja oksidipinnoille. Märkäsäilönnässä sitä annostellaan vesihöyryjärjestelmään 3 - 10 päivää ennen suunniteltua alasajoa niin, että aineen konsentraatio vähitellen kasvaa järjestelmässä ja se jakautuu veteen tasaisesti. Kun ODA:n riittävä konsentraatio saavutetaan säilöntää varten, voidaan laitos ajaa alas. Riippuen lämpötilasta ja konsentraatiosta, adsorptio-desorptio -tasapaino muodostuu vesihöyrykiertoon ja aminoryhmä liittyy kemiallisesti metalliin yli 100 °C:ssa. Matalammissa lämpötiloissa liittyminen tapahtuu van der Waalsin voimilla. Laitos on käynnistettävissä milloin tahansa ilman lisätoimenpiteitä eikä aineen jääminen järjestelmään haittaa käyttöönottoa. ODA:n annostelu onnistuu parhaiten annostelemalla sitä syöttövedeen esimerkiksi syöttövesipumpun imupuolelle. [28.]

4 Säilöntämenetelmät

4.1 Säilönnän periaatteet

Säilönnällä tarkoitetaan kemiallisia ja fysikaalisia toimenpiteitä, joilla voidaan estää korroosiota ja laitteiston kulumista säilöntäaikana. Korroosion muodostumista pyritään ehkäisemään joko estämällä hapen reagoiminen metallipinnan kanssa tai eliminoimalla veden läsnäolo kattilapinnoilla. Yleisesti säilöntämenetelmän soveltavuuteen vaikuttavat useat eri asiat: säilöntämenetelmän soveltavuus voimalaitokselle, sen kesto, kattilatyypin ja sen rakenne, prosessin materiaalit, ympäristövaatimukset sekä prosessin käynnistysaika. Lisäksi otetaan huomioon säilöntämenetelmän tekniset toteutusmahdollisuudet, ympäristön vuoksi jäätyminen mahdollisuus, kunnossapidon kannalta oleelliset seikat – halutaanko huoltotoimenpiteitä tehdä säilönnän aikana – sekä menetelmän taloudellisuus. Myös käytönaikaisen vesikemian tulee olla yhteensopivaa säilönnän aikaisen vesikemian kanssa.

Huolellinen säilöntä ei vain minimoi korroosion aiheuttamia ongelmia alajossa, vaan vähentää myös viivästyksiä käyttöönotossa ja parantaa suorituskykyä laitoksen ollessa käytössä. Lisäksi sen avulla voidaan säästää huoltokustannuksissa ja parantaa laitoksen käytettävyyttä. Tässä työssä suunniteltiin teknisiä toteutuksia menetelmälle, joka mahdollistaa voimalaitoksen joustavan käytettävyyden ja pystyy vastaamaan nykyisten sähkömarkkinoiden vaatimuksiin. [5; 21.]

Tässä työssä säilöntä rajataan lämmöntalteenottokattiloihin ja vesi-höyrykiertoon, eli esimerkiksi turbiineja ei tarkastella. Perinteisesti vesi-höyrykierron säilöntä on ollut haastavampaa kuin savukaasupuolen. Kuivasäilönnässä järjestelmä tulee saada kuivaksi kosteuspuiteisuuden ollessa alle 30 %. Märkäsäilönnässä taas on oleellista, millaiset säilöntäkemikaalit soveltuvat märkäsäilöntään ja mitä mahdollisia rajoituksia ne voivat aiheuttaa esimerkiksi laitteiden tai ylösajon osalta.

Vesipuolen korroosion ehkäisemiseksi täytyy erottaa vesi, happi ja metalli toisistaan niin, etteivät ne vaikuta samassa paikassa samanaikaisesti. Koska metallin läsnäoloa ei voi estää, täytyy keskittyä hapen ja veden läsnäolon ehkäisemiseen. Tämä onnistuu joko poistamalla kaikki kosteus vesi-höyrykierrosta ja pitämällä se kuivana, tai estämällä hapen pääsy järjestelmään.

Kattilan vesi-höyrykierron säilöntämenetelmiä ovat

- märkäsäilöntämenetelmät
- kuivailmasäilöntä
- säilöntä inertillä kaasulla (typpisäilöntä)
- säilöntä korroosioinhibiiteilla. [5; 17; 21.]

4.2 Märkäsäilöntä

Märkäsäilöntämenetelmiä ovat

- a) tavanomainen hapeton märkäsäilöntä
- b) fysikaalinen hapeton märkäsäilöntä kaasutyynytekniikalla
- c) märkäsäilöntä neutraalilla ja kombiajotavalla
- d) märkäsäilöntä korroosioinhibiiteilla.

Keskeistä säilönnässä on estää mahdollisimman tehokkaasti happea diffundoitumasta ja saada järjestelmään tunkeutuvaa tai sinne jäänyttä happea reagoimaan säilöntäkemikaalin kanssa. Lisäksi pH:n tulee olla sellaisella alueella (yli 9), että teräksen korrosio on mahdollisimman vähäistä. Märkäsäilöntää voidaan käyttää kattiloiden sekä lyhyt- että pitkäaikaissäilöntään riippuen märkäsäilöntätavasta.

Yleisesti märkäsäilöntää on käytetty pitkäaikaiseen säilöntään. Lyhyiden seisokkien aikana kattila voidaan kuitenkin jättää alkalista ajotapaa vastaavaan vesitäyttöön ja pidetään paineisena höyrytynyllä. Seisokkajan pidentyessä siirrytään tavanomaiseen märkäsäilöntään (pullotus). [17; 21.]

4.2.1 Tavanomainen hapeton märkäsäilöntä

Menetelmää käytetään kattiloiden pitkäaikaiseen säilöntään. Tavanomaisessa märkäsäilönnässä kattila täytetään puhtaalla kaasunpoistetulla syöttövedellä, johon lisätään pH:n säätökemikaalia ja hapensidontakemikaalia. Näiden avulla saadaan aikaan veteen kemialliset olosuhteet, jolloin teräksen korrosio saadaan minimoitua. Tätä säilöntämenetelmää suositellaan erityisesti kattiloille, joissa on riippuvat tulistimet. Riippuvia tulistimia ei välttämättä saada aina täysin tyhjennettyä kuivasäilöntää varten rakenteensa

vuoksi. Ammoniakki on melko tavallinen säilönnässä käytetty alkalointiaine, jolla saadaan luotua vesi-höyrypiiriin alkaliset olosuhteet. Märkäsäilöntä ei sovi kohteisiin, joissa lämpötila voi laskea alle 0 °C. [5; 17; 21.] Tavanomaisessa märkäsäilönnässä jälkianostelukemikaaleja annostellaan niin, että

- veden pH on tasolla 10,0 - 10,5 eli emäksistä
- ammoniakin tai sitä korvaavan alkalointikemikaalin pitoisuus on n. 150 mg/l
- hydratsiinin (N₂H₄) tai muun hapensidontakemikaalin pitoisuus on n. 150 mg/l.

Kattilan täytössä valitaan ammoniakkipitoisuus käynnistysnopeuden sekä märkäsäilöntätehon välillä. Suurempi ammoniakkimäärä hidastaa voimalaitoksen käynnistystä. Märkäsäilönnässä hydratsiinia ei tule käyttää, jos sitä ei käytetä ajossakaan. Veden hapetuspelkistys -reaktion muuttuminen toistuvasti kuluttaa keitinputkiston sisäpuolista oksidikerrosta. Rakenteissa, joissa vesi jää seisomaan, voidaan käyttää hapenpoistoon hydratsiinia, kuten U-putkissa tai kaivoissa. Kattilan täytössä ja säilönnässä veden tulee olla termisesti kaasunpoistettua. Jos terminen kaasunpoisto ei ole teknisesti mahdollista voimalaitoksella, tulee täyttöveteen lisätä hydratsiinia enemmän kuin kaasunpoistettuun veteen. Tämä määrä vastaa nelinkertaisesti veteen liunneen hapen määrää, noin 40 mg/kg hydratsiinia. [21; 24.] VGB antaa ohjearvoja ja suosituksia (taulukko 3) säilöntöjen kemikaalipitoisuuksille säilönnän keston mukaan. Liuoksen hydratsiinipitoisuus riippuu säilömisajan kestosta ja siitä, onko syöttövesi termisesti kaasunpoistettua vai annostellaanko se happipitoiseen suolattomaan veteen. [21.]

Taulukko 3. VGB:n kemikaaliohjearvoja märkäsäilönnälle [21].

Analysoitava suure	Seisokin pituus n. 2 vk	Seisokin pituus > 1 kk
pH	> 9,5	> 10,5
hydratsiinipitoisuus, mg/l	n. 100	n. 200
kationinvaihdettu johtokyky, mS/m	< 0,5	< 0,5
Fe, mg/l	hidas tasainen kasvu sallittu	hidas tasainen kasvu sallittu
Cu, mg/l	< 0,003	< 0,003

Hydratsiinin määrää voidaan lisätä seisonta-ajan pitkeytyessä. Sen määrä on pitkäaikaisessa säilönnässä noin 100 - 500 mg/l riippuen siitä, kuinka kauan kattilaa seisotetaan. Nämä ovat 1000-kertaisia määriä käynnin aikaisiin pitoisuuksiin verrattuna. Hydratsiinin

reaktionopeus riippuu vallitsevasta pH-arvosta. Ammoniakkilisäyksellä pH-arvo nostetaan noin 10,5:een ja kattila täytetään vedellä kokonaan. Veden kierrätyksellä ehkäistään kerrostumien syntymistä ja tasoitetaan konsentraatioita liuoksessa. Kierrätyspumpua voidaan kierrättää jopa viikoittain ja vesinäytteillä seurataan veden laatua säännöllisesti. Kierrätysjärjestelmä tulee kytkeä pois käytöstä ennen laitoksen käyttöönottoa. Huhtisen ym. [4] mukaan kierrätys ja lämpimänä pitäminen (lämmönvaihtimella) tehostavat suojausta. Käyntiinlähdössä höyry sisältää korkeita hydratsiini- ja ammoniakkimääriä, minkä takia alussa tulee suorittaa ulospuhallutuksia ulkoilmaan, kunnes taso on normalisoitunut [21]. Vuosaari-B:n kattilatoimittajan säilöntäohjeistuksen mukaan hydratsiinin tilalla voidaan yleisesti käyttää esimerkiksi tanniinipitoisia kemikaaleja tai aktivoitua sulfiittia [29].

Märkäsäilönnän etuina on sen turvallisuus ja soveltuvuus kaikille kattilatyypeille investointikustannusten ollessa pieniä. Lisäksi säilönnän valvonta on helppoa. Säilönnän purkaminen ja säilöntäliuoksen muuttaminen käynnin aikaisten vesiarvojen mukaiseksi on kuitenkin aikaa vievää ja vesi täytyykin yleensä vaihtaa. [17; 21.] EPRIn [30: s. 6] mukaan suuri hapenpoistokemikaalien määrä on vahingollista suojaavalle magnetiittikalvolle. Lisäksi korkeat ammoniakkipitoisuudet vastaavasti sekä hidastavat käynnistystä, että voivat olla vahingollisia höyrypuolen kuparikomponenteille, jos sellaisia on vesihöyrypiirissä.

4.2.2 Fysikaalinen hapeton säilöntä kaasutyynytekniikalla

Tähän mennessä Vuosaaren voimalaitoksilla kattiloita ei ole säilötty pitkäaikaisesti, vaan alasajon jälkeen kattilat on pidetty paineellisina omakäyttöhöyryllä varallaoloaikana. Eräs märkäsäilönnän menetelmä onkin fysikaalinen hapeton säilöntä kaasutyynytekniikalla. Kaasutyynyllä tarkoitetaan yleensä joko toisen kattilan höyryä tai apukattilan höyryä. Apukattilan tuottama höyry sekä kattiloilta otettava höyry laitoksen omaan käyttöön on omakäyttöhöyryä. Apukattilan höyryä käytetään, jos kaikki lämmöntalteenottokattilat ovat alhaalla eikä niiltä saada höyryä paineen ylläpitoon.

Menetelmä sopii lyhytaikaiseen säilöntään, mikä tarkoittaa alle 7 vrk:n mittaista säilöntäaikaa. Tällöin kattilaa voidaan pitää normaalilla vesitäytöllä ja paineisena höyrytyynyllä, jolloin sen vesipinta on myös normaali eli se vastaa käynnin aikaista vesipintaa. Syöttövettä ja lauhdetta voi kierrättää tarpeen mukaan säilönnän aikana kierrätyspumpulla ekonomaiserin, lieriön sekä höyrystimen läpi.

Tasaisen kierron aikaansaamiseksi ei välttämättä aina tarvita erillistä kierrätyspumppua, vaan kierrätys voidaan toteuttaa esimerkiksi jollain järjestelmän olemassa olevalla pumpulla, esimerkiksi VuA:ssa pakkokierto-pumpulla. Kierrätyspumppulla saadaan kemikaalit jakautumaan tasaisemmin vesi-höyrykierrossa. Toisaalta laitosta ei tällä menetelmällä suositella pidettävän yli 7 vrk märkäsäilönnässä. Menetelmä mahdollistaa nopeamman ylösajon kuin kuivasäilöntä, mutta on pitkäkestoisena säilöntätapana kallis höyryn tuoton kustannuksien vuoksi. [5; 17; 21.]

Myös typpikaasutyynillä voidaan ehkäistä hapen pääsy järjestelmään. Typen puhtauden tulee olla 99,5 - 99,9 % voimalaitoskäytössä, jotta ehkäistään korroosion muodostumista ja minimoidaan hapen määrä. Typpisäilöntä onnistuu sekä kuivasäilöntänä, jolloin kattila on kokonaan tyhjä, tai märkäsäilöntänä, jolloin kattilassa on tavanomainen vesitäyttö ja typpi syötetään vain vesi-höyryjärjestelmän höyryosiin. Typen syöttöön voidaan käyttää kaasupullopattereita, kryogeenisiä nestetyppikaasusäiliöitä tai typpigeneraattoreita. Generaattoreiden typen puhtaus ei välttämättä yllä halutulle tasolle. Säiliöt taas eivät välttämättä kokonsa puolesta ole tarpeellisia, jos typen hävikki on pientä eikä typpeä joudu jatkuvasti syöttämään uudelleen järjestelmään. Nestetyppi vaatii lisäksi höyrystimen. Isommissa säilöttävissä laitoksissa nestekaasusäiliöt ja höyrystimet toimivat paremmin kuin patteristot suuremman typen kulutuksen vuoksi.

Typpikaasu syötetään järjestelmään ennen kuin järjestelmän paine on pienentynyt ilmanpaineen tasolle ja kattila jäähtynyt täysin. Typpiyhteet voidaan liittää esimerkiksi ilmanpoistoon. Typen lisäys höyryosiin tulisi aloittaa, kun teräsrakenteen lämpötilat ovat edelleen höyryn kyllästymislämpötilan yläpuolella. Typpeä voidaan syöttää esimerkiksi lieriöihin ja syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen ja tulistimiin. VGB:n ohjeistuksen mukaan typpeä aletaan syöttää laitoksen alasajon loppuvaiheessa painetason laskiessa kattilassa noin 2 bariin ja järjestelmän ollessa vielä kuuma [17]. Kun täyttö on suoritettu, kierron tulee olla eristetty ja typen ylipainetta ylläpidetään paineensäätimellä tai vastaavalla tulistimissa ja höyryjärjestelmässä. [25.]

EPRIn ohjeistuksissa [25] suositellaan samalla myös veden kierrätystä, kun säilöntätapana on märkäsäilönnän ja typen yhdistelmä. Tällainen säilöntätapa on ollut esimerkiksi Inkoon voimalaitoksella. Siellä typen paineensäädin on asetettu noin 400 mbarin tasolle. Kattilan paineen laskettua tähän painetasoon alkaa typpeä virrata kattilaan. Jos typpeä yritetään syöttää kattilapaineen ollessa liian suuri, niin typpisyötön ylipainevaroventtiili laukeaa eikä typpeä mene kattilan suuntaan kattilapaineen ollessa suurempi kuin typen

paine. Kattilan paineen täytyy siis laskea riittävän alas, ennen kuin typpeä aletaan syöttää. Hapen määrää ei ole mitattu, sillä typpi korvaa hapen tilavuuden lopulta kokonaan paineensäätimen ja näin ollen jatkuvan typen virtauksen ansiosta. [31.]

Typpisäilöntäjärjestelmää varten tulee huomioida esimerkiksi seuraavia asioita:

- typellä suojattavien järjestelmien ja säilöntätavan valinta (märkä- vai kuivasäilöntä)
- sopivien syöttöpisteiden valinta
- typen virtaus-, kulutus- ja painemittarien sekä tarpeellisten säätö- ja sulkuventtiilien hankinta ja sijoittaminen järjestelmään
- mahdollinen ilman poistumisen seuranta ulospuhalluksissa järjestelmästä typpeä syötettäessä (ei pakollinen)
- turvallisuuden varmistaminen
- typen loppumisen riskin minimointi riittävillä operointi- ja valvontatoimilla, ohjeistuksella, varapatteristoilla tai patteriston sijaan typpisäiliöllä
- tarvittavien linjojen ja liitäntöjen suunnittelu
- märkäsäilönnässä kaasunpoistetun veden syöttö järjestelmään
- typen syöttö ennen kattilan painetasoa laskemista ilmanpaineen tasolle. [25.]

Paineen säätöön on erilaisia säätimiä ja järjestelmiä. Typpipatteristolla tai säiliöllä on erikseen oma paineenalennusventtiilinsä, jolla alennetaan paine esimerkiksi 6 baariin. Typen painetta voidaan ylläpitää yksinkertaisella paineensäätimellä, joka asennetaan typpilinjaan ennen säiliötä. Säädin toimii ikään kuin ylivirtausventtiilin tavoin. Säädin asetetaan paineeseen, jolla säiliön paine halutaan pysyvän ja päästää läpi typpeä juuri sen verran, että haluttu paine saavutetaan säiliössä. Markkinoilla on erilaisia kokonaisia paineensäätöjärjestelmiä esimerkiksi inertointitarkoituksiin. [31.]

EPRIn [31] mukaan märkäsäilöntä alkalisella vesikemialla ja typellä on yleinen tapa säilöä voimalaitosta lyhytaikaisesti. Kyseinen säilöntämenetelmä on kuitenkin osoittautunut toimivaksi tavaksi myös pitkäaikaisessa säilönnässä, esimerkiksi Inkoon voimalaitoksella [31].

4.2.3 Märkäsäilöntä neutraali- ja kombiajotavalla

Kattilalaitoksissa, joissa käytetään neutraali- ja kombiajotapoja, pidetään järjestelmää paineistettuna ja normaalia ajotilannetta vastaavassa vesitäytössä. Säilönnässä huolehditaan siitä, ettei happea ja hiilidioksidia pääse tunkeutumaan säilöttävään järjestelmään. Jos laitos joudutaan säilöämään pidempiaikaisesti, käytetään tavanomaista hapetonta märkäsäilöntää eli pullottamista. Kemikaaleilla toteutettuna se kuitenkin hidastaa laitoksen käynnistysaikaa huuhteluiden vuoksi. [17; 21; 32.]

4.2.4 Märkäsäilöntä korroosioinhibiiteillä

Kun säilönnässä käytetään korroosioinhibiittejä, kattila täytetään täyssuolanpoistetulla vedellä ja korroosioinhibiittia annostellaan pumpulla kiertoa käyttäen mukaisesti. Tätä käytetään laitoksilla, joilla ei ole käytettävissä kaasunpoistettua vettä. Samalla ehkäistään hapen ja hiilidioksidin kulkeutuminen kattilaan. Korroosioinhibiittejä esiteltiin aiemmissa kappaleissa. Inhibiittien vaikutus perustuu siihen, että ne muodostavat metallipinnoille korroosiolta suojaavia kerroksia. [21.]

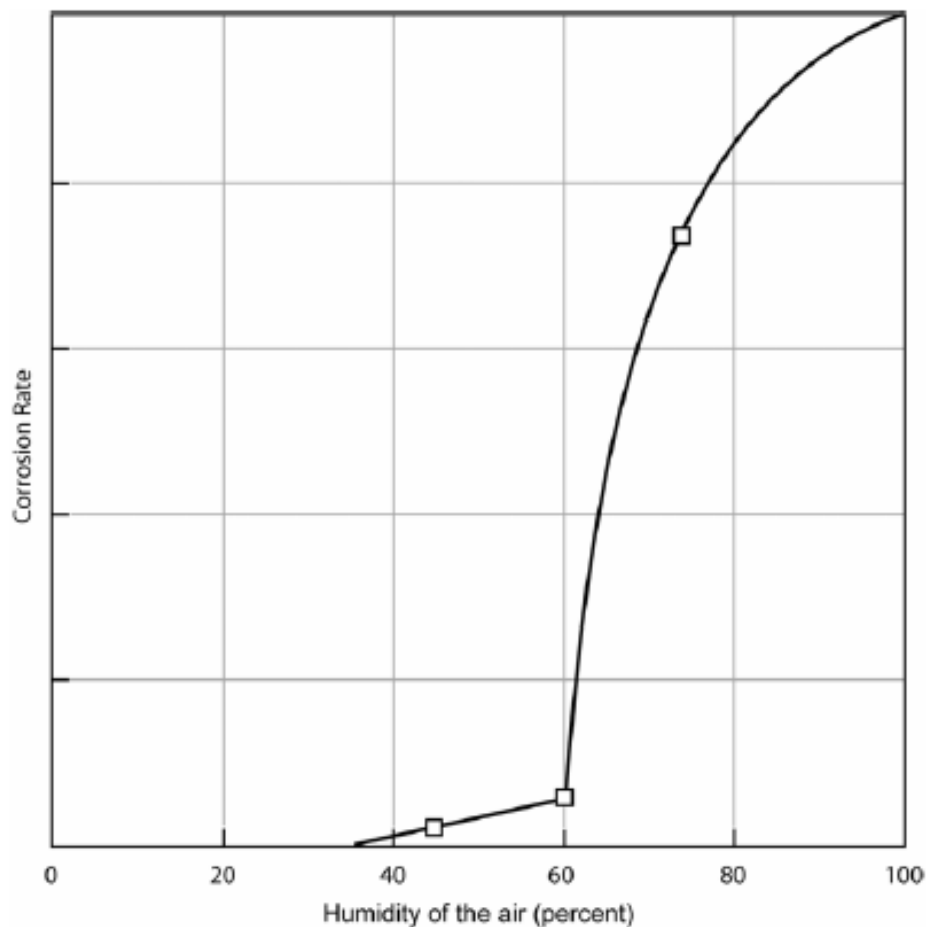
4.3 Kuivasäilöntä

4.3.1 Kuivasäilöntä ilmalla

Kuivasäilönnässä suojattavat pinnat kuivataan niin hyvin, ettei niille pääse kondensoitumaan vettä, johon happea voisi liueta. Kattila tyhjenetään ennen säilöntää vedestä mahdollisimman korkeassa paineessa. Näin kattila saadaan kuivaksi höyryn haihtuessa pois kattilan rakennemateriaalin jälkilämmön avulla. Tyhjennyksen jälkeen kattilan vesipuolen teräspinnat pidetään kuivailmapuhaltimien avulla kuivina. Lämmönsiirtokattiloille ei suositella kuivasäilöntää, sillä lieriöiden ym. järjestelmien täydellinen kuivaminen pitkäaikaisesti voi olla hankalaa. Vuosaaressa tulistinpaketit voidaan kuitenkin tyhjentää tyhjennysventtiileillä kuivauspisteissä. Yleisesti kuivailmasäilöntä soveltuu kattiloille, joissa on vaakatulistimet. Huhtisen ym. [4] mukaan kuivasäilöntä on paras säilöntävaihtoehto, jos kattila säilötään pitkiksi ajoiksi, jopa vuosiksi.

Kuivailmapuhallin tulee mitoittaa niin, että ilman vaihtuvuus on kaikkialla kattilassa 1 - 2 kertaa tunnin aikana, ja kattilasta poistuvan ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 30 %. Tällä ehkäistään kosteuden kondensoituminen pinnoille, joille happea voisi liueta.

Vesipuolen metallipinnoilla ei saa olla vettä sitovia suolakerrostomia ja metallipintojen pintalämpötilan tulee olla niin korkea, ettei savukaasupuolella aliteta paikallisesti ilman kastepistettä. Samaan aikaan lieriöillä ylläpidetään ulospuhallusta. Onnistuneen kuivusäilönnän saavuttamiseksi ilman suhteellisen kosteuden tasoa kattilassa tulisi mitata säännöllisesti. Lisäksi on tärkeää, ettei säilöntäpiirissä esiinny kylmiä pintoja, jottei suhteellinen kosteus nouse liian suureksi ja saavutettaisi kastepistettä. Kuvan 11 kuvaajasta nähdään, kuinka korrosio kiihtyy suhteellisen kosteuden ylittäessä noin 30 % ja kiihtyy äkillisesti ylittäessään 60 %.



Kuva 11. Ilman suhteellisen kosteuden vaikutus teräksen korroosioon [17].

Sonnisen mukaan [21.] kuivailmasäilöntää voidaan käyttää turbiinin, lauhduttimen, höyryn väliottolinjojen, lauhdepumppujen, mp- ja kp-esilämmittimien höyrypuolen sekä kattiloiden vesipuolen säilöntään, mikäli kattilassa on vaakatulistimet. Sen etuina on, ettei siinä tarvita säilöntäkemikaaleja, valvonta on helppoa, se ei aiheuta ympäristöhaittoja ja

on oikein toteutettuna hyvä säilöntämenetelmä. Haittoina vastaavasti on useiden kuivailmapuhaltimien tarve ja ehdottoman huolellinen kattilan alasajo. [17; 21.] Tähän mennessä Vuosaassa kattilan kuivasäilöntää on seurattu kosteusmittauksilla kuivauksen alussa ja säilöntä on toiminut hyvin [9].

4.3.2 Kuivasäilöntä typpikaasulla

Kuivasäilöntää voi tehdä myös tyvellä. Järjestelmä tyhjennetään ja kuivataan jälkilämmöllä, minkä jälkeen se täytetään välittömästi tyvellä. Tyvellä säilötyissä järjestelmissä täytyy olla vähintään 2 mbarin ylipaine. Typpipatjan happipitoisuus on pidettävä alle 0,5 %:n.

Kun kattilan paine on laskenut riittävän alas (5 - 10 bar), ja lämpötila on alle 100 °C, typpipatteriston paineenalennusventtiiliä avataan. Höyryn paineen laskiessa edelleen höyrykattilan höyrypuoli täyttyy lopulta typpikaasulla ja pientä typen ylipainetta ylläpidetään paineenpitojärjestelmällä tai paineensäätimellä. Typpikaasusäilönnässä on oleellista, että venttiilit eivät vuoda, painetta tarkkaillaan ja säilönnän jälkeisiä putkinäytteitä otetaan kriittisistä paikoista.

Metallin korroosio riippuu hapen pitoisuudesta metallipinnalla olevassa nesteessä. Jos kattilan veden happipitoisuutta voidaan alentaa esimerkiksi typpikaasulla, tai muulla inertillä kaasulla (argon), voidaan hidastaa korroosionopeutta. [17; 21; 29.]

4.4 Säilöntäesimerkkejä

Säilöntäkytkennät ovat voimalaitoksilla aina laitoskohtaisia. Esimerkkilaitoksella 1 läpivirtauskattilan korkeapaineosat, kuten syöttövesiputkisto, höyrystin ja tuorehöyrylinja, yhdistetään matalapaineisiin (päälauhdelinja, mp-esilämmittimet ja syöttövesisäiliö) osiin kierrätyslinjalla. Säilöntäveden virtaus pidetään 75 kg/s pH:n ollessa > 10 ja hydratsiini-pitoisuuden ollessa > 120 mg/l. Kytkentään kuuluvat höyrystimen putkisto, tuorehöyryputkisto, mp- ja kp-esilämmittimien vesipuoli, syöttövesisäiliö, syöttövesipumppu sekä pumppujen imu- ja painepuolet, syöttövesipumppujen minimikiertolinja, kattilan ruiskutusvesilinjat, päälauhdelinja sekä käynnistyskierron hylkylinja.

Alasajon jälkeen paineen laskiessa 2 bariin, aloitetaan ilman syrjäytys kattilasta typpellä. Kattilan kp-osan ja tulistinputkien lämpötilan laskiessa 200 °C:seen, kytketään syöttövesipumppu minimikierrolle ja aloitetaan kattilan täyttö 25 kg/s virtauksella. Säilöntäliuos valmistetaan syöttövesisäiliössä, jossa veteen annostellaan sopiva määrä kemikaaleja. Veden lämpötila on tällöin 105 °C. Säilöntäliuosta pumpataan syöttövesisäiliöstä höyrystimen kautta tulistimiin, joista liuosta kierrätetään kierrätyslinjan kautta lauhdelinjaan ja takaisin syöttövesisäiliöön. Kun paisuntasäiliössä on oikeanlainen pinnankorkeus, kierrätys lopetetaan ja paisuntasäiliö pidetään paineisena typpikaasulla (> 110 mbar). Säilönnän jälkeen syöttöveden ammoniakki- ja hydratsiinipitoisuudet ovat normaalin käytön kannalta liian korkeita, joten syöttövettä ajetaan viemäriin, kunnes saavutetaan normaalia käyttötilannetta vastaavat veden arvot. [21; 31.]

Lieriökattiloidenkin säilöntää voidaan toteuttaa märkäsäilöntämenetelmällä esimerkiksi niin, että pidetään kattilaa paineisena omakäyttöhöyryllä ja kierrätetään kattilan säilöntävettä. Esimerkkilaitoksella 2 kierrätyksessä kp- ja mp- höyrystimien tyhjennyslinjoista palautuva vesi pumpataan pumpuilla kp- ja mp- syöttövesilinjoihin ennen ekonomaisereita. Kiertävään säilöntäliuokseen annostellaan säätökemikaaleja käynnistysvalmiuden ja märkäsäilöntätehon väliltä riittävästi huomioiden, että suurempi kemikaalimäärä hidastaa käynnistysnopeutta. Ennen käyttöönottoa kierrätys lopetetaan, ja jos kierrätysliuos vastaa normaalia ajonaikaista vesikemiaa, voidaan laitos ajaa ylös. Jos kemikaalia on enemmän, täytyy vettä ajaa kanaaliin ja kattila täyttää käynnin aikaisella syöttövedellä. Kierrätyksessä voidaan hyödyntää kiertoveden lämmitykseen esimerkiksi kaukolämpövettä ja kattilan kl-paketteja. Kierrätystä laajennettaessa myös lauhdepuolelle ei lauhdepuolta tarvitsisi huuhdella erikseen ennen ylösajoa. Tällä voitaisiin nostaa merkittävästi laitoksen käynnistysnopeutta. [27.]

5 Säilöntämahdollisuudet Vuosaaren voimalaitoksilla

Lämmöntalteenottokattiloiden säilöntämenetelmän valintaan vaikuttavat ensisijaisesti säilönnän kesto ja käyttöönottoaika – kuinka nopeasti voimalaitos on mahdollista ajaa ylös säilöntätilasta. Lisäksi huomioidaan omakäyttöhöyryn ja veden tuotosta aiheutuvat kustannukset sekä teknisen toteutuksen taloudellisuus. Selvitystyössä osoittautui keskeiseksi kysymykseksi, halutaanko laitoksen olevan käynnistettävissä heti, ns. ”napin takana”, vai riittääkö tuntien varallaoloaika. Lopullisessa toteutuksen valinnassa tulee huomioida myös kylmäkäynnistyksen riskit laitokselle.

5.1 Säilönnän teknisiin toteutuksiin vaikuttavia asioita

Varallaoloajalla tarkoitetaan aikaa, jonka sisällä voimalaitoksen on oltava siinä tilassa, että se on käyttöönottavissa ja voi tuottaa sähköä verkkoon. Esimerkiksi 24 tunnin varallaoloaika tarkoittaa, että laitoksen on oltava tilassa, josta se pystytään 24 tunnissa ottamaan käyttöön. *Varallaolomääräyksellä* taas tarkoitetaan aikaa, jolloin laitoksen on oltava tuotannossa annetusta tuotantokäskystä. [33.] Säilöntämenetelmän toteutusta pohditaan laitoksien säilönnän keston lisäksi varallaoloajan perusteella.

Mahdollisia varallaolotilanteita ovat esimerkiksi seuraavat:

- A/B-voimalaitoksen molemmat kattilat ovat säilönnässä paineellisena odottamassa käyttöönottoa
- Vain toinen A/B:n kattila on odottamassa käyttöönottoa toisen ollessa käynnissä
- Toinen kattila on kuivasäilönnässä toisen ollessa varalla
- Varallaolomääräys välitön käyttöönottavuus, ”napin takana”
- Varallaolomääräys 24 h.

Varallaoloaikoja on vaikeaa ennustaa. Varallaoloajat vaikuttavat esimerkiksi siihen, milaista kemikaaliannostelua säilönnässä kannattaa käyttää. Perinteisesti säilönnässä on käytetty runsaasti alkalointi- ja hapenpoistokemikaaleja, jotka hidastavat voimalaitoksen käynnistystä. Nopeaa käynnistystarvetta ei ole säilöttävillä laitoksilla yleensä ollut ja käynnistysnopeuden huomioiminen sopivan säilöntäjärjestelmän suunnittelussa on haastavaa.

Laitoksen käynnistysnopeuteen vaikuttaa oleellisesti myös kattiloiden täyttönopeus. Tällä hetkellä A-voimalaitoksen kattilat voidaan täyttää noin 2 tunnissa, ja B-voimalaitoksien kattilat noin 5 - 6 tunnissa lisävesisäiliön avulla. VuA:ssa kattila täytetään syöttöveden säiliön vedellä, jos toinen kattila on käytössä toisen täytyessä. Tällöin syöttöveden kemikaalipitoisuudet ovat matalammat kuin silloin, jos kumpikin kattila olisi tyhjä. Jos molemmat laitokset ovat alhaalla, kattilat täytetään puhdasvesisäiliön vedellä. VuB:n kattiloiden täyttö tehdään lisävesisäiliöstä, jossa on valmiiksi kaasunpoistettua vettä, ja jonka kemikaalipitoisuudet ovat yleensä jo konsentroituneet. VuB:n kattiloiden vesitilavuudet ovat huomattavasti VuA:ta suuremmat. VuB:n täytön jälkeinen tilanne on kemikaalien osalta erilainen kuin VuA:ssa täytön jälkeen. Kummankin laitoksen kattiloiden täyttövesi on kuitenkin kaasunpoistettua, ja syöttövesisäiliöissä on ns. kaasunpoistotorni

eli kaasunpoistin. Lisävesisäiliön avulla kattiloiden täyttö on nopeampaa, kun vettä on jo valmiiksi säiliössä täyttöä varten. VuB:n apukattilalla voidaan tuottaa kaasunpoistettua vettä korkeintaan 15 t/h. Kattilat saadaan tuotantoon kuivasäilönnästä, jos kattilan täyttö sujuu ongelmitta, asennustyövoimaa on saatavilla eikä kattilassa esiinny vuotoja, eli noin 6 - 8 tunnissa. Ylösajoa varten kattiloiden täyttäminen on nopeaa, mutta säilönnässä kattiloihin syötetyn veden epäpuhtaudet voivat rikastua, kun kattilaa seisotetaan. [9; 14.] Tästä kerrotaan enemmän kappaleessa 5.3.

Jos säilöntämenetelmällä halutaan saavuttaa tilanne, jossa laitos saadaan saman tien käyttöön ja verkkoon, täytyy käyttää jonkinlaista märkäsäilöntämenetelmää. Vesi-täytössä eli märkäsäilönnässä täytyy höyryosille, esim. lieriölle, päähöyrylinjoille ja syöttövesisäiliölle, olla joko höyrytyyny- tai typpisäilöntä, jotta happea ei pääse järjestelmään. Kaikki suunnitellut toteutusvaihtoehdot ovatkin märkäsäilöntämenetelmiä. Käynnistysnopeuden kasvattamiseksi myös voimalaitoksen lauhdepuoli tulee säilöä tarkoituksenmukaisesti, jotta sen huuhteluun ei käyttöönnotossa kuluisi aikaa. [14; 27.]

Toistaiseksi näyttää siltä, että laitos saattaa seisoa kauemmin kuin mihin perinteinen vesisäilöntä kaasutyynytekniikalla on tarkoitettu (7 vrk). Vuosaassa pitkistä seisontaajoista ei ole kokemusta, eikä laitos ole ollut säilönnässä vesitäytöllä juurikaan yli kuu-kautta kauempaa [14]. Yli 7 vuorokauden vesitäyttöä käynninaikaisella vesikemialla ei suositella [17]. Vuosaassa ei vesitäytöstä ole kuitenkaan koitunut tähän mennessä ongelmia, vaikka VuA olisi ollut vesitäytöllä ja omakäyttöhöyryllä märkäsäilönnässä kuukauden. Jos säilöntäaika pitenee vielä kuukaudesta eteenpäin, mikä on mahdollista, täytyy märkäsäilöntää kehittää. Vesi- ja höyrypuolen laitteistot voidaan jakaa erillisiksi säilöntäpiireiksi. Tämän työn puitteissa säilöntäpiiri rajataan kattilaan niin, että säilöntään kuuluvat höyrystinputket, tulistimet, lieriöt, syöttövesisäiliö sekä päähöyryventtiileille asti kulkevat höyrylinjat. Säilöntämenetelmää valitessa huomioidaan kuitenkin myös muiden järjestelmien, kuten lauhdepuolen, säilöntämahdollisuudet, sillä nekin vaikuttavat voimalaitoksen käynnistettävyyteen ja käynnistysnopeuteen. [14.]

Suunnittelussa lähtökohtana oli miettiä tilanteita, joissa

- voimalaitoksen toinen blokki (kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattila) on varalla täydessä käynnistysvalmiudessa, toisen blokin ollessa käytössä tai kuivasäilönnässä
- molemmat blokit ovat varalla täydessä käynnistysvalmiudessa.

Säilöntäjärjestelmän suunnittelussa huomioidaan yhteisen syöttövesisäiliön, yhteisten päähöyrylinjojen sekä kattiloiden asettamat reunaehdot säilöntään. Voimalaitoskattilat luetaan myös painelaitteiksi, joten säilönnän teknisten toteutusten suunnittelussa tulee huomioida painelaitteille asetetut vaatimukset.

Painelaitelaissa [34] *painelaitteella* tarkoitetaan

”säiliötä, putkistoa ja muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on tai johon voi kehittyä ylipainetta, sekä painelaitteen suojaamiseksi tarkoitettuja teknisiä kokonaisuuksia”.

Painelaitteen turvallista käyttöä varten tarvittavat laitteet, laitteistot ja laitejärjestelmät tulee tarkastaa, jotta painelaite on turvallinen käyttöönoton jälkeen. Voimalaitoksilla on painelaitteille lain mukaisesti määritelty painelaitteiden käytönvalvoja, joka vastaa painelaitteiden käytöstä niin, ettei siitä aiheudu vaaraa. Tässä työssä käytönvalvojan ja muiden asiantuntijoiden arvioita käytettiin teknisten toteutuksien suunnittelun pohjana. [34.] Suunnittelussa tulee tehdä ja huomioida asianmukaiset painelaitelaskelmat, jotka määrittelevät esimerkiksi sopivat materiaalit, kuten putkien seinämävahvuudet, sekä miten ja millaisia hitsaustöitä uudelle järjestelmälle tehdään [9].

5.2 Säilöntä omakäyttöhöyryllä

Kaasutyynymenetelmässä kattilassa on normaali vesitäyttö. Lyhyessä säilönnässä (1 - 2 vk) käytössä on tavanomainen alkalinen vesikemia. Pidemmässä säilönnässä (yli 2 vk) kemikaalia syötetään tarvittaessa enemmän kiertoan. Toistaiseksi voimalaitoksia on pidetty paineellisina lyhyissä varallaolotilanteissa omakäyttöhöyryllä. Veden laatua seurataan näyttein ja vesianalyysin, jotta vesi on käyttökelpoista blokin käynnistämiseen. Apukattilan höyrytyynyllä ollessa kattilavesi muuttuu vähitellen lauhdeveden laatuiseksi, sillä lieriön pintaa joudutaan väliillä vajauttamaan. Höyrytyyny voidaan tuottaa apukattilalla kattiloille, jos kaikki blokit ovat alhaalla. Koko laitoksen ollessa säilönnässä ei itse kattiloilla voida luonnollisesti tuottaa höyryä. Jos toinen yksikkö on käytössä, voidaan sen tuotannosta ottaa höyryä toisen yksikön höyrypatjan ylläpitoon.

Höyryä tehdään höyrytyynyn ylläpitämiseksi noin 2 - 3 t/h VuB:ssa. VuA:ssa sen sijaan tarvitaan vähemmän höyryä höyrytyynyn ylläpitoon, noin 2 t/h. Tällöin lieriöissä olevan

veden lämpötilat ovat 156 - 163 °C, syöttövesisäiliössä noin 102 °C ja syöttövesi ennen ekonomaisereita noin 164 °C. Apukattilan höyryä kannattaa hyödyntää säilöntään, jos sähkön hinta tai laitoksen polttoaine, maakaasu, on edullista tai varallaoloaika on hyvin lyhyt. Jos nopeita käyttöönottoja ennustetaan tulevan paljon, voi höyrytyyny maksaa itsensä takaisin jo pelkästään yhden käynnistyksen jälkeen, jolloin sen käyttö on järkevää.

Pidemmällä aikavälillä höyrytyynyn kustannukset kasvavat melko korkeiksi apukattilan kuluttaessa jatkuvasti maakaasua tuottaessaan höyryä. Apukattilan höyryn hinnan määrää polttoaineen hinta, apukattilan hyötysuhde sekä tuotettu höyrymäärä. Apukattilan sähkönkulutus on vähäistä suhteessa maakaasun kulutukseen, joten sähkön kulutusta ei huomioitu höyrytyynyn kustannusarvioissa. Omakäyttösähkö hinnoitellaan SPOT-sähköhinnan mukaan ja apukattilan maakaasu Gasumin maakaasutariffien mukaan [35; 36]. Gasumin hintaennusteiden mukaan maakaasun hinta laskee vuonna 2016. Maakaasua voi ostaa erilaisina paketteina, jolloin hinta voi vaihdella paketin mukaan. Esim. lisäkaasu maksaa enemmän kuin pakettikaasu vuoden ajaksi. [36.] Taulukosta 4 nähdään miten voimalaitoksen höyryn tuotto on esimerkiksi jo kahden kuukauden ajalta kustannuksiltaan hyvin korkea verrattuna esimerkiksi tyypin kulutuskustannuksiin (liite 2).

Taulukko 4. Apukattilalla tuotetun höyryn hinta määräytyy sen käyttämän polttoaineen, maakaasun, hinnan mukaan.

Höyrymäärä apukattilalta (t/h)	7,2	6,1	5,4	4,4	3,0	2,1	0,8
Maakaasun määrä (m³/h)	546,7	429,6	399,0	325,7	245,6	205,6	127,5
24 h, €	3 215	2 526	2 346	1 915	1 444	1 209	750
30 pv, €	96 437	75 784	70 384	57 453	43 324	36 268	22 491
2 kk, €	192 873	151 568	140 767	114 907	86 648	72 536	44 982

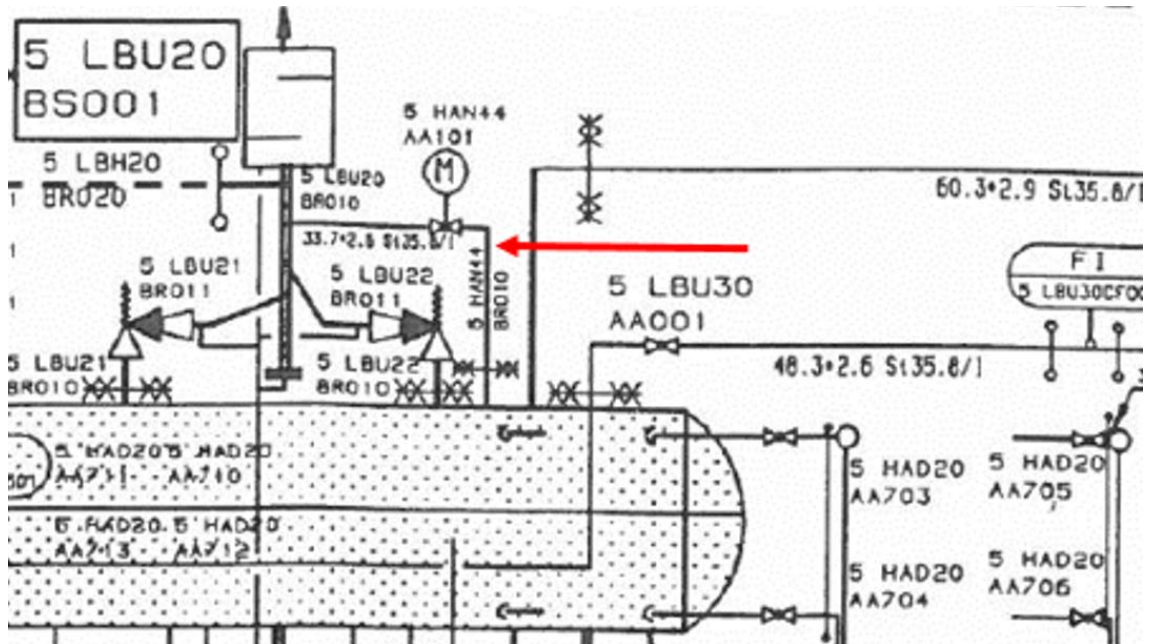
Jos kaasuturbiinin käynnistyskustannukset ovat tarpeeksi pienet, voidaan tarvittava paine saada aikaan käynnistämällä yksikkö säännöllisesti, esimerkiksi 1 - 2 viikon välein. Tällä saataisiin aikaan kiertoa kattilassa sekä tarvittava höyrytyyny. Tässä tulee kuitenkin huomioida käynnistyskustannukset, kaasuturbiinille aiheutuvat rasitukset ja toisaalta mahdollinen taloudellinen hyöty nopeasta käyttöönotosta. Jo aiemmin kaasuturbiinin käynnistyskustannuksista on tehty kustannusarvioita.

5.3 Typpisäilöntä

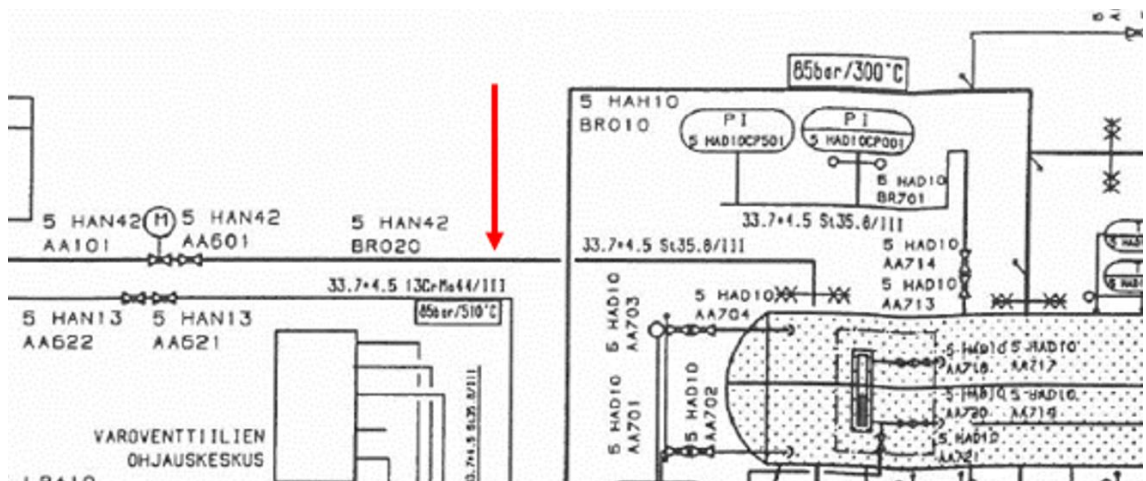
Typpisäilönnällä voimalaitosta voidaan pitää käyttöönottovalmiudessa. Typpisäilöntää voi toteuttaa joko kuivasäilöntänä, jossa koko vesitilavuus inertoidaan tyrellä, tai inertoidaan vain järjestelmän höyryosat vesipuolen jäädessä vesitäyttöön. Koko kattilan inertointi nopeuttaa käyttöönottoa siten, että kuivasäilönnän purkuun ei tarvita asennustyövoimaa, toisin kuin tavanomaisessa kuivasäilönnässä. Jos vesihöyryjärjestelmän ja kattilan jättää vesitäyttöön ja höyryosat inertoidaan tyrellä, säästetään myös kattilan täyttämiseen kuluva aika. Tällöin voimalaitos on välittömästi käyttöönotettavissa. Käyttöönotossa typpi voidaan puhaltaa ulos ulospuhalluslinjan kautta. Tällöin höyry korvaa typen vesi-höyrykierrossa, kun höyryä alkaa muodostua kaasuturbiinin käynnistämisen myötä.

Typen ja vesitäytön yhdistelmäsäilönnässä typpityynyllä voidaan inertoida sekä lieriöt, tulistimet ja sieltä lähtevät päähöyrylinjat sekä syöttövesisäiliö ja kaasunpoistin koko voimalaitoksen ollessa alhaalla. Typpilinjat suunniteltiin niin, että toisen blokin ollessa käytössä typpeä voidaan kuitenkin käyttää toiselle blokille kaasutyynyn aikaansaamiseksi, jotta käynnissä olevalta kattilalta ei tarvitse ottaa höyryä säilöttävään kattilaan. Näin käynnissä olevan kattilan höyrystä saadaan enemmän taloudellista hyötyä, kun sitä voidaan hyödyntää sähkön ja kaukolämmön tuotannossa eikä sitä mene säilöttävään kattilaan. Taloudellinen hyöty perustuu oletukseen, että kuluttajahinnat ovat suuremmat kuin sähkön Spot-hinta [37; 38].

Typpisäilönnässä VuB:ssa typpilinjan runkolinja tuodaan kattilahallin ulkopuolelta läpiviennillä kattilahalliin savupiippujen välistä kattilahallin tasolle +13. Typpilinjan runkolinja suunniteltiin putkikokoon 12 mm x 1 mm ja putkisto yhdistetään Swagelok-liittimillä. Linjaan voidaan yhdistää typpipatteristo, joka sijaitsee kattilahallin ulkopuolella läpiviennin ja seinän vieressä. Myös vaihtopatteriston voi sijoittaa sinne. Patteristossa itsessään on sulkuventtiili, ja siihen voidaan liittää paineensäätöventtiili, jolla asetetaan paine alle 10 bariin. Runkolinja viedään tukipylvästä pitkin kattilahallin tasolle +28,5 hoitotasolle näytejäähdyttimien viereen. Hoitotasolla runkolinja haarotetaan jokaiselle lieriölle (kuva 12 ja 13) sekä kaasunpoistimelle (kuva 14). Jokaiseen haaran alkuun tulee sulkuventtiili, jolla voidaan määrittää minne typpeä milloinkin otetaan.



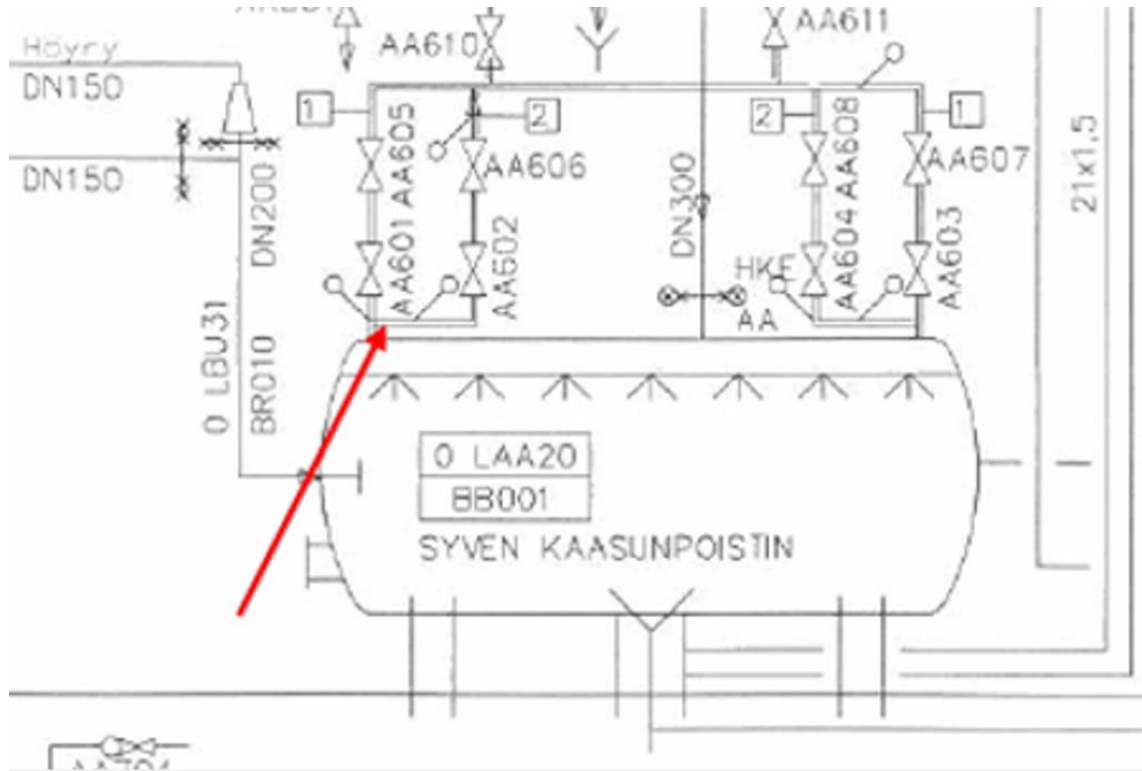
Kuva 12. Typen syöttöpaikka kattila 5:n matalapainelieriöllä ilmanpoistoputkeen 5 HAN44 BR010.



Kuva 13. Typen syöttöpaikka kattila 5:n korkeapainelieriöllä ilmanpoistoputkeen 5 HAN42 BR020.

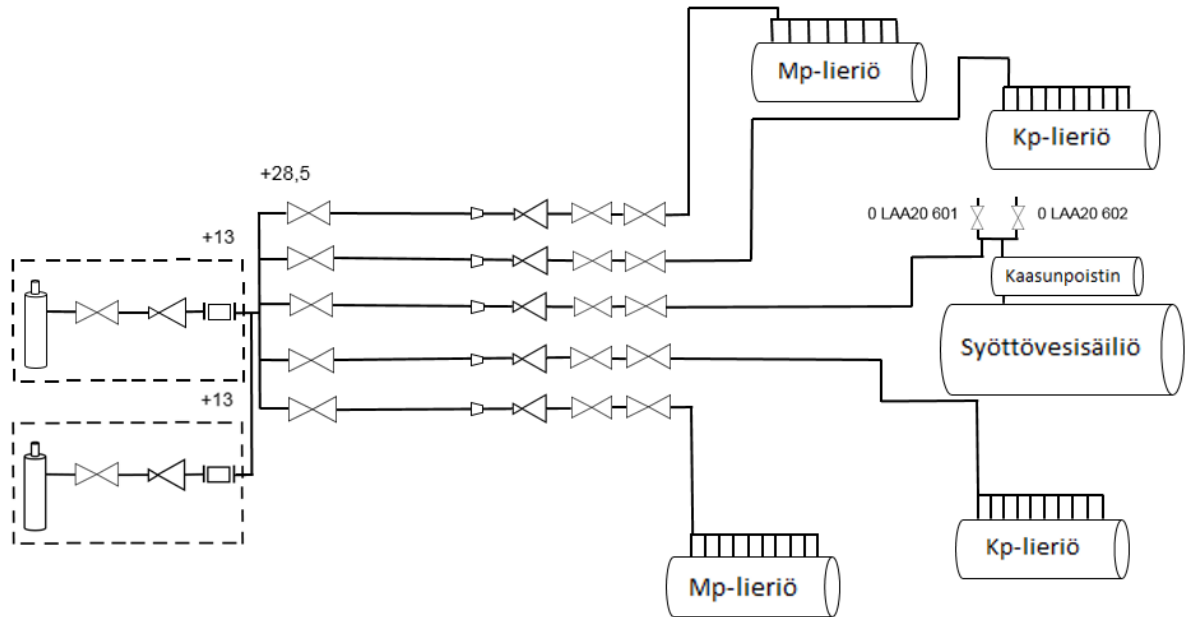
Jokainen haara muutetaan saumattomaksi kattilaputkeksi P235GH kokoon DN15 aivan lieriöiden läheisyydessä. Kattilaputkeen hitsataan kaksi DN15-koon istukkaventtiiliä sulkuventtiileiksi. Putki yhdistetään T-haaralla ilmanpoistoputkeen, joka on myös materiaailtaan kattilaputkea P235GH. Typpilinjat yhdistetään kattila-4:llä linjoihin 4 HAN42 BR020 sekä 4 HAN44 BR010, ja kattila-5:llä linjoihin 5 HAN42 BR020 sekä 5 HAN44

BR010, joiden kautta typpi otetaan lieriöihin ja sieltä tulistimiin. Hitsaustöitä ja oikeanlaisia materiaalin seinämävahvuuksia varten tulee laatia painelaitelaskelmat. Kp-lieriön suunnitteluarvot ovat 85 bar ja 300 °C ja mp-lieriön vastaavat arvot 16 bar ja 204 °C.



Kuva 14. Kaasunpoistimen tyypilinja voidaan hitsata kaasunpoistimen höngän (lauhduttimen) käynnistyksen säätöventtiilien putkistoon.

Kaasunpoistimelle tyypilinja tuodaan höyrylauhduttimen putkistoon (0 LAA20 BR010, DN25) venttiilien AA601 ja AA602 väliin, joka on merkitty kuvaan 14. Tästä typpi saadaan kaasunpoistimeen ja syöttövesisäiliöön. Syöttövesisäiliön ja mahdollisesti JUP-säiliön tyypetyksessä tulee varmistua siitä, ettei typpi karkaa JUP-paisuntasäiliön kautta pois. Tyypilinja liitetään putkistoon hitsaamalla. Molemmat linjat ovat materiaaliltaan haponkestävää terästä SIS2343. Myös kaasunpoistimelle menevässä tyypilinjassa tulee olla sulkuventtiili. Kuva 15 havainnollistaa tyypilinjaa ja siihen tulevia komponentteja.



Kuva 15. Havainnollistava kuva typpilinjasta Vuosaari-B:ssä.

Vaihtoehtoisesti typpilinjat voisi tehdä JUP-säiliöiden (jatkuvan ulospuhalluksen säiliö) *ulospuhalluslinjoihin* (esim. 5 LBU01 BR010). Tällöin yhdelle kattilalle tarvittaisiin vähemmän sulkuventtiilejä ja ne olisivat käytettävyyden kannalta sijoitettu helpompaan paikkaan. Toinen potentiaalinen syöttöpaikka kattila 5:lla on venttiiliin 5 LBU30 AA001 läheisyydessä, missä on jo hoitotaso valmiina.

Yksi typpipatteristo on tilavuudeltaan 12 x 50 l, josta saadaan noin 114,5 m³ typpikaasua. VuB:n säilöttävien höyryosien tilavuus on noin 180 m³ ja VuA:ssa tästä noin puolet. Yksi patteristo riittää inertoimaan voimalaitoksen toisen kattilan ja kahdella voidaan inertoida B-laitoksen kaikki höyryosat. Koko vesitilavuuden inertointiin sen sijaan tarvittaisiin useampi patteristo, jolloin voi olla tarkoituksenmukaista harkita nestekaasusäiliötä ja höyrystintä. Patteristo on edullisempaa vuokrata esimerkiksi puoleksi vuodeksi kerrallaan kuin hankkia omaksi. Vuokrapatteriston määräaikaistarkastukset kuuluvat toimittajalle, mutta oman patteriston tapauksessa määräaikaistarkastukset kuuluisivat Helenille. Koko täyttöön ja hävikkiin voi olla kannattavaa varata useampi patteristo. Typpitäyttö voidaan ulottaa kaasuturbiinien starttiventtiileille asti tai niitä aikaisemmalle sulkuventtiilille. Järjestelmän tiiveys tyypelle kylmänä tulisi testata ennen päätöstä typpisäilönnän hankinnasta, jotta typpihävikin suuruutta on helpompi arvioida. Mikäli hävikkiä on paljon, voisi patteristojen tilalle harkita nestetyppisäiliötä ja höyrystintä. Lisäksi testaamisen aikana voitaisiin ottaa vesinäytteitä kattilasta ja lieriöstä, joiden perusteella nähdään esimerkiksi veden happipitoisuudesta kuinka hyvin tyypellä inertointi toimii. Jonkin tyhjennysventtiiliin

näytteenottopisteeseen voisi lisätä happimittarin, jolloin happitasojen seuranta säilönnän aikana on helpompaa. Lisäksi VuB:n lieriöillä nestepinnanosoittimien vieressä on vanhoja kemikaalien syöttöyhteitä, joista voisi ottaa vesinäytteitä. Typpi voitaisiin syöttää myös esimerkiksi tulistimien ja lieriön pinnanmittauksen impulssiputkilinjoihin, joissa on jo valmiiksi insinöörihanat ja yhteet. Myös syöttövesisäiliön painemittauksen (0 LAA10 CP501) kautta tai läheisyydestä typen syöttö voisi onnistua helposti.

Typpipatteristo kannattaa sijoittaa kattilahallin ulkopuolelle, ja tehdä tyypilinjalle läpivienti kattilahalliin. Patteristolle täytyy tehdä sijoitussuunnitelma, joka tulee tarkastuttaa jollain tarkastuslaitoksella. Patterin sijoittaminen sisätiloihin on kuitenkin myös mahdollista. Typen käytön vaarallisuus liittyy siihen, että se syrjäyttää hapen, joten sijoituskohteessa tulee olla riittävä ilmanvaihto ja vaaratilanteiden, kuten tulipalon varalta, patterin tulee olla helposti siirrettävässä paikassa. Lisäksi on huomioitava patterien siirtäminen kuljetusautolta kohteeseen. Tyhjiä pattereita ei täytetä kohteessa, vaan tilalle tuodaan uusi patteri ja tyhjä viedään pois. Patteristoon voidaan asentaa paineensäätöventtiili ja painemittari ja säätää niin, että saadaan säilöttävään järjestelmään pieni typen ylipaine. Typen hävikin tarkkailua varten paineensäätöventtiilissä on hyvä olla myös kulutusmittari, joka mittaa typen virtaamaa m³/h. Joissain paineensäätöventtiileissä on mukana myös kulutusmittari, kuten esimerkiksi Vuosaassa yleensä tyytetyksessä käytettävässä paineensäätöventtiilissä, joka yhdistetään patteristoon.

VuA:ssa tyyppiä voitaisiin syöttää lieriölle esimerkiksi kylläisen höyryn linjojen kautta (esim. linja 2HAH30) tai ilmaus/vesityslinjojen kautta (esim. linja 2HAH32 BR013). Vastaavasti syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen tyyppiä voisi syöttää esimerkiksi ulospuhalluslinjojen (1HAN13 ja 2HAN13 BR010) kautta. Kaasunpoistimessa on myös laippa (DN150), jota voisi mahdollisesti hyödyntää typen syöttämiseen.

Vesitäytössä typpipatjaa ylläpidettäisiin lieriöillä, tulistimissa ja päähöyrylinjoissa mahdollisimman pienellä ylipaineella saatavilla olevien paineensäätimien säätörajojen mukaan. Oletettavaa on, että mitä pienempää painetta järjestelmässä voidaan pitää, sen pienempää on myös typen hävikki. Paineen tulee kuitenkin olla suurempi kuin ulkoilmanpaine ja kattilan paine, jotta happi saadaan syrjäytettyä ja typpi virtaa kattilaan. Syöttövesisäiliössä ja kaasunpoistimessa voi pitää typpipatjan syöttövesisäiliön ollessa normaalivesitäytöllä tai maksimikorkeudessa, tai säilöä järjestelmä kokonaan. Typpipatja soveltuisi korvaamaan höyryn vettä vaihdettaessa säännöllisesti, tai jos kierrätysjärjestelmällä kierrätetään vettä vesi-höyrypiirissä.

Typen käyttökustannukset patteristolla ovat melko pienet, jos hävikkiä ei juurikaan tule. Typpisäilönnän kustannukset (liite 2) koostuvat muun muassa rakennettavien linjojen hankinta- ja asennuskustannuksista, typpipatteristojen vuokrasta tai hankintakustannuksista sekä typen kulutuksesta aiheutuvista kustannuksista. Typpisäilönnän etuina ovat sen melko edulliset käyttökustannukset, sekä voimalaitoksen joustava ylösajo.

5.4 Kattiloiden veden vaihtaminen

Kattilan säilöntäveden, ts. seisontaveden, vaihtaminen säännöllisesti olisi yksinkertainen keino pitää kattilat käyttöönottovalmiudessa. Veden kierrätystä erillisillä pumpuilla ja ylimääräisiä kemikaaleja ei tarvita, jos vesien vaihto tehdään tarpeen mukaan. Veden ja näin ollen täytön kustannukset kattilaa kohden ovat laskelmien mukaan vähäisiä. Vesi voidaan tehdä valmiiksi puhdasvesi- tai lisävesisäiliöön vedenkäsittelylaitoksella ja syöttää kattilaan joko syöttövesisäiliön tai lauhdejärjestelmän kautta. Vedenkäsittelyssä täysuolanpoistettua vettä voidaan tehdä nopeudella 30 t/h. Kaasunpoisto tehdään apukattilan ja syöttövesisäiliön kaasunpoistimien avulla, jolloin kaasunpoistimien teho tosin rajoittaa kattilan täyttymisnopeutta. Kaasunpoistettua vettä voidaan tehdä korkeintaan nopeudella 15 t/h, jotta täyttö ei häiritse esimerkiksi toisen blokin käynnissä olevaa prosessia. Säilöntään käytettävän veden tulee olla nimenomaan kaasunpoistettua vettä. Joillain laitoksilla lisäveden kaasunpoistossa (CO₂) ilman höyryä on käytetty vedenkäsittelyssä ns. membraanikontaktoreita, joilla päästään melko pieneen veden happipitoisuuteen [27].

Veden vaihdon aikana kattila ei siis ole täysin käynnistysvalmiudessa, mutta tämän jälkeen se olisi täysin käynnistettävissä ja lauhdepuolta ei tarvitsisi enää huuhdella. Täytön jälkeen typpi täytyy kuitenkin syöttää höyryosiin uudestaan säilöntää varten. Kattilan vanhan veden voisi hyödyntää esimerkiksi syöttämällä sen kaukolämpöverkkoon, johon Vuosaarella valmistetaan kaukolämpövettä jatkuvasti. Tämä kuitenkin vaatisi erillistä linjaa ja pumppua, jonka avulla vesi saadaan pumpattua ki-Verkkoon.

Jos vettä ei vaihdeta säännöllisesti, kattilat tarvitsevat kierrätysjärjestelmän pitkäaikaiseen märkäsäilöntään. Lisävesisäiliön kautta täyttäminen säilöntätarkoituksessa on nopeaa, mutta koska säiliö on aiemmin ollut kaukolämpöveden paisuntasäiliönä, voi puh-

distettuun veteen liueta silikaattia (kaukolämpövesijäämiä) tai rautaa. Nykyisellään lisävesisäiliön vesi sopii täyttöön, kun vesi vaihtuu käynnin aikana eikä pieni määrä rautaa tai silikaattia rikastu vesihöyryjärjestelmässä. Sen sijaan, jos samaa vettä halutaan kierrättää kattilassa märkäsäilönnässä, on mahdollista, että kattilasäilönnän aikana silikaatti- ja rautapitoisuudet voivat rikastua säilöntävedessä. Kierrätyksen aikana ne voivat kerrostua ja esimerkiksi tukkia käyttöön otossa imusihdit tai aiheuttaa korroosiota. Lisävesisäiliön pinnoittamisella tämä voidaan välttää. Lisävesisäiliön voi esimerkiksi hiekkapuhaltua ja ruiskuttaa epoksilla. Kustannusarvio pinnoitukselle on noin 47 000 €. Esimerkiksi Suomenojan voimalaitoksella vastaavanlaisia säiliöitä on käsitelty tällä tavalla [27]. Toisaalta kattilalta ei kuitenkaan johdeta säilönnässä höyryä höyryturbiinille, joten turbiini ei aseta vedelle puhtausvaatimuksia, toisin kuin käynnin aikana. Veden laatua tulee siis miettiä nimenomaan kattilan ja ylösajon kannalta – soveltuuko lisävesisäiliön vesi ilman pinnoitusta pitkäaikaiseen kattilan märkäsäilöntään vai onko puhdasvesisäiliön vesi parempi vaihtoehto, vaikka kaasunpoistimen teho rajoittaa täyttöä. Kattilakohtaisen kierrätysjärjestelmän ja pinnoituksen kustannukset ovat suuremmat kuin pelkkä veden vaihtaminen lisävesi- tai puhdasvesisäiliön kautta. Veden vaihtovälin arvioimiseksi tulisi tarkkailla vesinäyttein veden laatua varallaoloaikana ja miettiä tai testata sopivinta kattilan täyttötapaa.

5.5 Kattilakohtainen veden kierrätysjärjestelmä

Pitkäaikaisessa märkäsäilönnässä lämmöntalteenottokattiloille suositellaan kierrätysjärjestelmää, jonka avulla saadaan säilöntäliuos kiertämään putkistossa niin, että hydratsiini ja ammoniakki eivät rikastu paikallisesti kattilaputkistossa [17]. VuA:ssa kattiloiden pakkokierto pumppeja voidaan pitää päällä varallaoloaikana, jolloin vesi kiertää, mutta niitä ei pidetä päällä automaattisesti. Kemikaalit annostellaan syöttövesisäiliöön mutta lipeä vain käynnin aikana kattiloihin ennen ekonomaisereita. VuA:han ei siis tarvita erillistä kierrätysjärjestelmää.

VuB:n kattiloiden säilöntäliuoksen kierrätys voidaan toteuttaa esimerkiksi erillisillä kierrätyspumpuilla. Kattila täytetään normaalisti, ja kellaritasolle sijoitettavilla kierrätyspumpuilla kierrätetään vettä lieriöihin, joista vettä poistuu pohjan kautta höyrystimien tyhjennyslinjoihin tai -tukkeihin. Kierrätyspumppu voi ottaa veden höyrystimien tyhjennystukista ja pumpata sitä syöttövesilinjaan ennen ekonomaisereita. Tyhjennystukki tai -tukit

voidaan vaihtaa suuremmiksi, jotta varmistetaan kierrätyspumpun imupuolelle vesimäärän riittävyys. Mp- ja kp-höyrystimille olisi omat kierrätyspumppunsa ja -linjansa. Säilöntäliuoksen pitoisuuksia voi tarkkailla vesinäytteillä esimerkiksi tyhjennyksien kautta. Hydratsiini poistaa happea jo huoneenlämmössä. Suuri määrä hydratsiinia voi kuitenkin vaatia järjestelmän huuhtelua ennen voimalaitoksen ylösajoa, mikä pidentää käynnistysaikaa. Tämä taas ei olisi tarkoituksenmukaista. Säilöntäkemikaalina voi käyttää myös pelkästään ammoniakkia, jolla säädetään pH sopivaksi. Tällöin hapen poisto varmistettaisiin höyryn tai typen ylipaineella. [25.]

Kaavailtu kierrätyspumppu mitoitetaan kattilan suunnitteluarvojen mukaan huomioiden mm. kattilaputkiston painehäviöt sekä nostokorkeus. Mitoittaminen kattilan suunnitteluarvojen mukaan nostaa pumpun hankintakustannuksia merkittävästi, varsinkin, kun molempien kattiloiden mp- ja kp- höyrystimille tulisi omat kierrätyspumppunsa.

Pumpun painekorkeuden ei tarvitse olla suuri mutta tehon on oltava riittävä niin, että kattilan kaikissa putkissa saadaan syntymään virtausta. Antoisuus tulisi laskea kattilakonstruktion mukaan. Kiertopumppu ja ulkopuolinen kierrätysputkisto voivat olla alemmaa paineluokkaa kuin kattilan rakennepaine. Tällöin tulee kiertojärjestelmän olla erotettavissa kattilan rakennepaineen mukaisin sulkuventtiilein kattilasta ja varustettu varolaittein (esim. rajakytkimet, varoventtiilit ja toimilaitteet). [39.]

Tasaista täydellistä kiertoa ei pystytä kuitenkaan luonnonkiertokattilan höyrystinosassa takaamaan höyrystimen rakenteen vuoksi. Kiertotukeissa on useita höyrystinputkiston lähtöjä, jolloin vesi voi kiertää tasaisesti ensimmäisissä putkissa. Muiden putkien tasaisesta veden vaihtuvuudesta ja virtauksesta ei voida olla varmoja, sillä vesi pyrkii virtaamaan sieltä missä sen on helpointa virrata – eli ensimmäisten lähtöjen kautta.

Säilöntäveden voi ottaa joko lisävesisäiliöstä A-laitokselta tai syöttövesisäiliön kautta [9; 14]. Kattilahallissa on tilaa kierrätyspumppuille esimerkiksi kattiloiden välissä ja mp-syöttövesipumppujen vieressä, jolloin lähelle sijoittamalla voidaan minimoida putkistojen painehäviöt. Säilöntäveden voisi myös sopivaa tai uutta linjaa rakentamalla syöttää lopulta kaukolämpökiertoon, sillä Vuosaarella tehdään kaukolämpövedettä kaukolämpöverkoon. Jos ulospuhalluslinjoja ei käytetä kierrätyksessä, nekin tulee tyhjentää mahdollisimman kuumana [39].

Korkea hydratsiinipitoisuus kattilassa tekee magnetiittikalvosta huokean ja käyttöön-otossa irtoileva rauta voi aiheuttaa ongelmia. Tämän vuoksi hydratsiinin suuri annostelu on ongelmallista käyttöönoton kannalta [36]. Kierrätys kuitenkin mahdollistaa pienemmän kemikaalimäärän annostelun vesihöyrykiertoon. Yleisesti ottaen paras hydratsiinin ja ammoniakkin annostelukohta on kierrätysjärjestelmässä pumpun imupuolella. [39.] Hydratsiinin annostelussa on mahdollista hyödyntää nykyisiä lipeän annostelulinjoja, jotka sijaitsevat syöttövesilinjoissa ennen ekonomaisereita. Toisaalta jos järjestelmässä pidetään käynninaikaista alkalista vesikemiaa, voi annostelu syöttövedeen syöttövesisäiliöön riittää, jolloin kemikaaleja ei tarvitse syöttää enää enempää juuri ennen kattilaa.

Kuten aiemmin mainittiin, hydratsiini toimii hapensitojana jo huoneenlämmössä, mutta suojaava magnetiittikalvo on tiiveimmillään yli 270 °C:n lämpötiloissa. Säilönnässä teräsrakenteen pintaa voidaan kuitenkin passivoida runsaalla ammoniakkin annostelulla. Kuten todettu, suurempi ammoniakkin annostelu kuitenkin hidastaa laitoksen käynnistysnopeutta. Sopivia kemikaaleja tulisi annostella säilönnässä sen mukaan kuinka kauan vesi säilyy laadukkaana mm. happi- ja rautapitoisuuksien osalta ylösajoa varten. Lähtökohtana on, että kattilassa pystyttäisiin pitämään alkalista käynnin aikaista vesikemiaa, jotta mahdollistetaan nopea ylösajo. Ammoniakki hajoaa vesiliuoksessa ajan myötä ja sitä voidaan lisätä kiertoon tarvittaessa. Jos näyttää näytteenotot ja testit osoittavat, että veden lämmittäminen kannattaa veden säilyvyyden kannalta, voisi olla mahdollista hyödyntää veden lämmittämiseen esimerkiksi kaukolämpövedtä tai jonkinlaisia sähkövastuksia kierrossa. Vesinäytteitä voisi ottaa syöttövesilinjasta ennen ekonomaisereita tai tehdä useampia näytteenottoaikoja tyhjennysventtiileille. [25.]

Kattilakohtaisen kierrätysjärjestelmän kustannukset (liite 2) VuB:ssa koostuvat kierrätys- ja typpilinjojen hankinta- ja asennuskustannuksista, typen ja höyryn kulutuksesta, veden teosta apukattilan syöttövesisäiliön avulla, mahdollisesta kierrätysveden lämmityksestä, kierrätyspumppujen sähkönkulutuksesta, mahdollisten näytteenottoaikojen lisäyksestä tyhjennysventtiileille meneviin linjoihin ja kemikaaliannostelun muutostöistä. Suurimmat kustannukset tulevat suunnittelusta sekä isoimmista komponenteista, kuten sulkuventtiilit, sekä sähkö- ja automaatiotöistä. Konstruktion suunnittelulla saatiin karkea kustannusarvio kierrätykselle, mutta menetelmällä ei ratkaista esimerkiksi lauhdepuolen huuhteluihin kuluvaan aikaan käynnistystä, joka vaikuttaa voimalaitoksen käynnistysnopeuteen. Kierrätysjärjestelmä mitoitettiin 15 m³/h virtaamalle, joka on vakio. Kierrätyspumppuksi käy siis keskipakopumppu (liite 3). Valitun pumpun tuotto on edellä mainittu

virtaama 15 m³/h ja nostokorkeus 11 bar. Moottoriksi pumpulle sopii ABB:n 18,5 kW:n vakiokierrosmoottori, jonka pyörimisnopeus on 2945 rpm.

Tällä virtaamalla ja järjestelmällä ei voida kuitenkaan varmistua riittävästä veden virtauksesta ja vaihtuvuudesta kaikissa höyrystimien putkissa. Tämän vuoksi säilönnän onnistuminen on epävarmaa. Kustannusarviota voidaan kuitenkin käyttää vertailupohjana tarjolla oleviin märkäsäilöntäjärjestelmiin.

Linjojen suunnittelu ja mitoitus

Kierrätyksen ideana on, että vesi virtaa kattilassa sen verran, ettei säilöntäliuos seiso. Näin kemikaalit eivät pääse rikastumaan paikallisesti ja konsentraatioerot liuoksessa ta-soittuvat ja ehkäisevät happikorroosion muodostumista. Opinnäytetyössä suunniteltiin kierrätysjärjestelmä kattilakohtaiseksi järjestelmäksi, jotta toinen blokki voi olla käytössä toisen ollessa säilönnässä. Höyrystimien tyhjennystukit ovat nimelliskooltaan DN50 (SFS-EN ISO 6708). Vesi voidaan ottaa yhdestä tyhjennystukista, joka suurennettaisiin kokoon DN80 tarvittavan vesimäärän takaamiseksi pumpun imupuolelle. Nykyisten tyhjennystukkien materiaalina on saumaton kattilaputki P235GH (St35,8/III) ja seinämävahvuus 8 mm. Materiaalina kierrätyslinjaan ja sen käyriin voi myös käyttää saumatonta kattilaputkea P235GH.

Tyhjennystukin seinämävahvuuksia sekä tyhjennysventtiilien ja tukin välisiä istutuksia varten tulee laatia painelaitelaskelmat. Niiden avulla selvitetään riittävä seinämävahvuus tukille sekä minkälaiset istutukset ja vahvikkeet tyhjennysventtiilien, tukin sekä painepuolen putken ja syöttövesilinjojen välille tarvitaan. Teollisuusputkistoille suositellaan virtausnopeuksia lämpötilan mukaan seuraavasti [40]:

- < 10 °C:lle 2 - 4 m/s
- n. 50 °C:lle 1,5 – 3 m/s
- n. 70 °C:lle 1,3 – 2,5 m/s
- n. 90 °C:lle 1,0 – 2,0 m/s.

Tukin sopivan koon arvioimiseksi laskettiin mm. tilavuuksia ja virtausnopeuksia tukissa, jotta pumpun imupuolelle saadaan riittävästi vettä, vältetään pumpun kavitointi ja mitoitetaan tukki riittävän suureksi. Virtausnopeudet eivät saa ylittää suositeltuja arvoja, sillä virtausnopeuden kasvaessa myös kitka virtaavan nesteen ja putken välissä kasvaa,

mikä voi rasittaa putkistoa. Lasketuilla virtausnopeuksilla tukki kestää myös 90 °C:n veden kierrätyksen putkistossa.

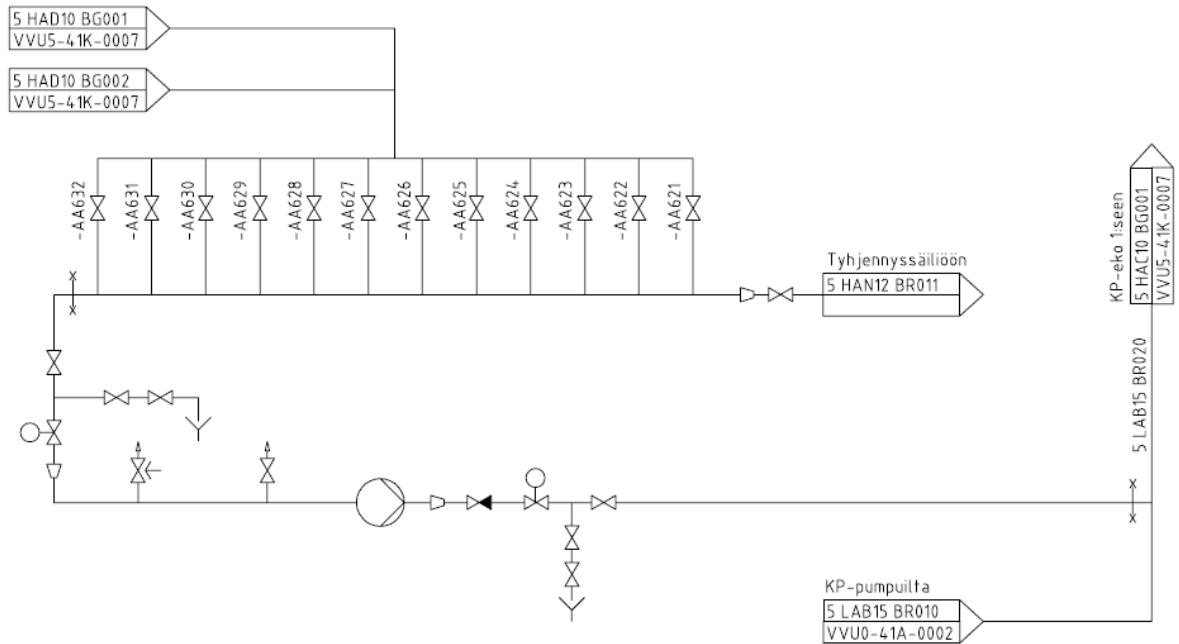
$$\begin{aligned} \text{Virtauspinta-ala} \quad A_{tukkiDN80} &= \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0,0763^2}{4} = 0,00457 \text{ m}^2 \\ \text{Tilavuus} \quad V_{tukkiDN80} &= Ah = 0,00457 * 12 \text{ m} = 0,055 \text{ m}^3 \\ \text{Virtausnopeus} \quad v_{tukkiDN80} &= V/A = \frac{0,0042 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00457 \text{ m}^2} = 1,0952 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Suunnitteluarvoja:

- Mp-höyrystin: 18 bar, 204 °C
- Kp-höyrystin: 87 bar, 300 °C
- Mp-syöttövesilinja: 20 bar, 150 °C
- Kp-syöttövesilinja: 120 bar, 150 °C.

Kierrätyslinjoissa ensimmäisen sulkuventtiilin jälkeen on kaksi tyhjennysventtiiliä, jotka myös mitoitetaan kestävämmän kattilan suunnittelupaine. Seuraavaksi linjassa on toinen sulkuventtiili toimilaitteella. Näiden jälkeen linjassa on varoventtiili, ja korkeimmassa kohdassa ilmausventtiili pumpun imupuolella, jotta pumpulle saadaan varmasti vesitäyttö. Pumpun jälkeen painepuolelle on sijoitettu takaiskuventtiili kierron varmistamiseksi, sekä syöttövesilinjan suunnitteluarvojen mukaiset sulkuventtiilit ja niiden tyhjennysventtiilit. Konstruktio tulisi kummallekin kattilalle, eli yhteensä neljä kierrätyslinjaa, joista kaksi mp-höyrystimille ja kaksi kp-höyrystimille.

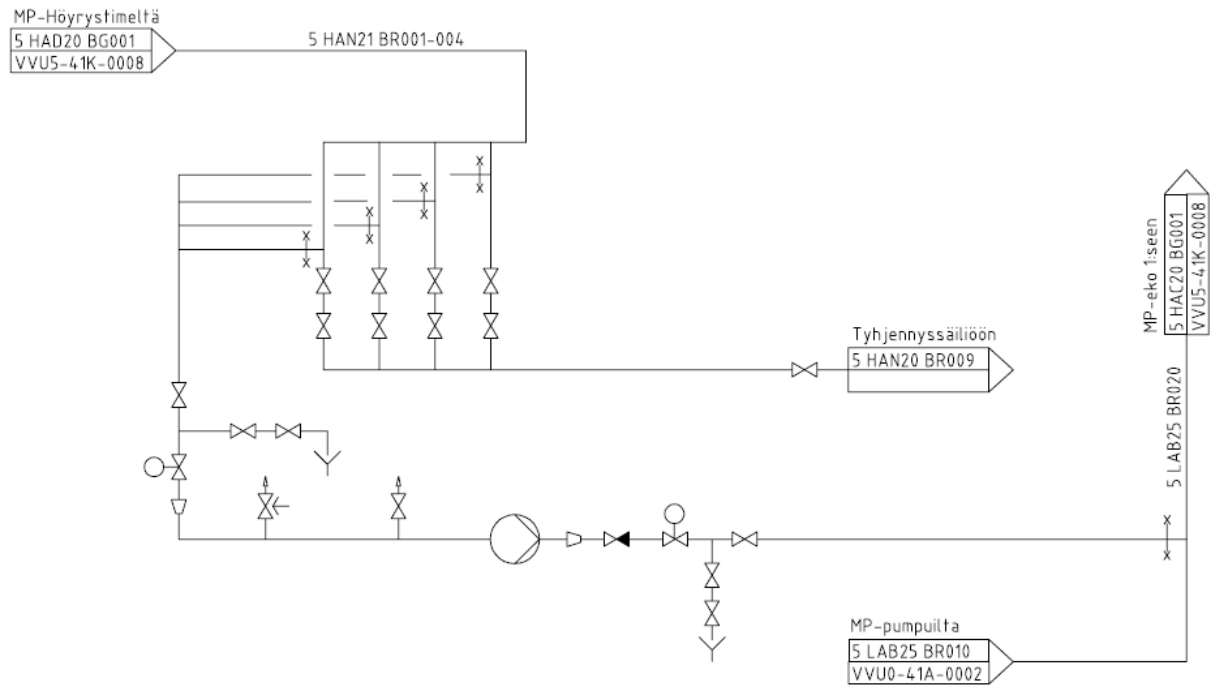
Kp-kierrätyslinjan alkupäähän sijoitetaan tyhjennystukin jälkeen kaksi sulkuventtiiliä, jotka kestävät höyrystimen suunnittelupaineen ja -lämpötilan, kp-puolella 87 bar ja 300 °C. Kun linjaan asennetaan varolaitteet suunnitteluarvojen mukaan, ei pumpppua tarvitse mitoittaa yhtä suurilla mitoitusarvoilla. Toisessa venttiilissä on toimilaitte, jotta se voidaan ajaa kiinni ja varmistetaan, että järjestelmä on varmasti suljettu käytön aikana. Putkiston painepuolen sulkuventtiilien tulee kestää syöttövesilinjojen suunnittelupaine ja -lämpötila eli kp-syöttövesilinjassa 120 bar ja 150 °C. Pumpun jälkeen paine kierrätyksessä on noin 10 bar, joten kaikkien putkiston osien tulee olla vähintään paineluokkaa PN16. Sulkuventtiilien tulee kestää höyrystimen ja syöttövesilinjojen paine ja lämpötila. Kuvan 16 PI-kaaviossa havainnollistetaan kp-kierrätyslinjaa komponentteineen.



Kuva 16. PI-kaavio kierrätyslinjasta, joka kulkee korkeapainehöyrytimiltä korkeapainesyöttövesilinjaan.

Mp-höyrytimen kierrätyslinja kulkee höyrytimen osan uudelta tyhjennystukilta tasolla +8,5 mp-syöttövesipumpuille, johon mp-kierrätyspumppu sijoitetaan. Mp-kierrätyspumppulta painepuolen linja vieään mp-syöttövesilinjaan. Kp-höyrytimen kierrätyslinja kulkee vastaavasti suurennetulta tyhjennystukilta kellaritasolla +8,5 kattilahallin keskelle kattiloiden väliin, johon kp-kierrätyspumppu voidaan sijoittaa. Pumpun painepuolen linja menee kp-syöttövesilinjaan.

Matalapainepuolella (kuva 17) mp-höyrytimen tyhjennystukeista ennen höyrytimen tyhjennysventtiileitä tehdään linjat DN80-tukkiin, josta saadaan tarvittava määrä vettä kierrätyspumppun imupuolelle. Sulkuventtiilit ja niiden tyhjennykset sijoitetaan tukkiin. Sulkuventtiilien ja tyhjennysten tulee kestää mp-höyrytimen suunnittelupaine, eli 18 bar ja 204 °C. Ennen pumppua imupuolella on myös varoventtiili ja ilmausventtiili linjassa, jonka putkikoko on DN65. Pumpun jälkeen, ennen mp-syöttövesilinjaa on putkilinjassa (putkikoko DN50) takaiskuventtiili virtauksen varmistamiseksi sekä tarvittavat sulku- ja tyhjennysventtiilit, jotka kestävät mp-syöttövesilinjan suunnittelupaineen ja lämpötilan 20 bar ja 150 °C.



Kuva 17. PI-kaavio kierrätyslinjasta komponentteineen, joka kulkee matalapainehöyrystimiltä matalapainesyöttövesilinjaan.

Kierrätyslinjojen pumppujen imupuolelle tulee saada riittävä vesitäyttö. Suunnittelun keskipakopumpun (liite 3) imupaineen tulee olla 0,1 bar. Imupuolella on staattista painetta noin 2,2 bar, eli 22 m. Käytön aikana mp-syöttövesilinjan ja mp-lieriön välinen paine-ero on 3 bar, ja kp-syöttövesilinjan ja kp-lieriön välinen paine-ero 4,3 bar. Kummallekin painetasolle suunniteltiin oma kierrätyspumppu.

Lieriön ja tyhjennystukin välillä olevat painehäviöt ovat laskelmien (liite 1) perusteella:

$$\Delta p_{\text{kaikki häviöt}} = \Delta p_{\text{höyrystinputket}} + \Delta p_{\text{reiät}} + \Delta p_{\text{komponentit}}$$

$$= 0,1453 \text{ bar} + 0,01116 \text{ bar} + 0,136 \text{ bar} = 0,29246 \text{ bar}$$

$$2,2 \text{ bar} - 0,29246 \text{ bar} = 1,90754 \text{ bar}, \text{ eli n. } 19 \text{ m.}$$

Pumppu saa siis riittävästi painetta imupuolelle.

Painehäviöitä muodostuu kattilasta yhdelle pumpulle:

Mp-puolella:

nostokorkeus + painehäviö kattilaputkistossa + höyrystimen painehäviö

$$= 2,2 \text{ bar} + 3 \text{ bar} + 1,9 \text{ bar} = 7,1 \text{ bar}.$$

Kp-puolella:

nostokorkeus + painehäviö kattilaputkistossa + höyrystimen painehäviö

$$= 2,2 \text{ bar} + 4,3 \text{ bar} + 1,9 \text{ bar} = 8,4 \text{ bar}.$$

Oletettiin, että esimerkiksi 110 m:lle mitoitettu keskipakopumppu riittää veden kierrätykseen 15 m³/h virtaamalla.

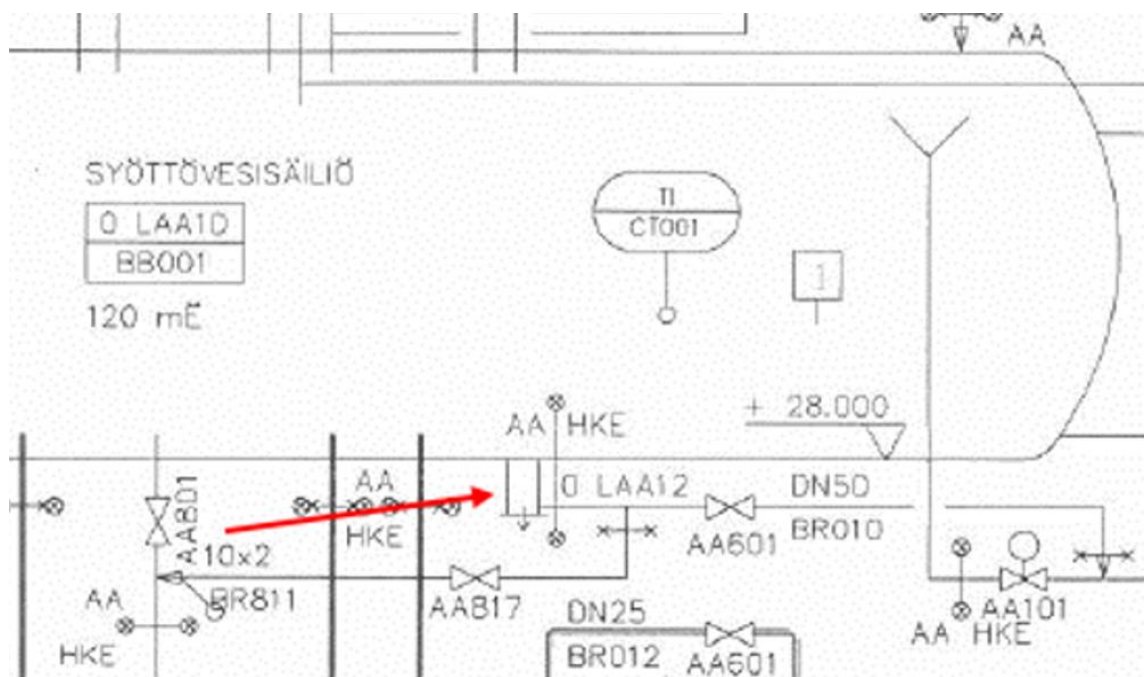
5.6 Kierrätys lauhdekierron avulla

Ennen blokin ylösajoa lauhdepuolta on huuhdeltu niin kauan, kunnes se on saatu puhtaaksi, jotta kiertoon ei pääse kiintoaineita tai muuta likaa. Näin ollen myös lauhdepuolelle täytyy olla jonkinlainen säilöntä, mielellään märkäsäilöntä, jotta ylösajo on mahdollisimman nopea. Jos kaukolämmönvaihtimessa (KLV3) ei ole vuotoja, voisi olla mahdollista inertoida se kuivauksen jälkeen tyypellä. Tämä vaatisi tyyppiyhteen lämmönvaihtimelle ja patteriston sijoituksen KLV3:n läheisyyteen. Vaihtimen kuivauksien asentaminen inertointia varten vaatisi asennustyövoimaa. Teoriassa myös kostean järjestelmän tyytetyksen pitäisi riittää korroosion ehkäisemiseksi, kun hapetta ei pääse järjestelmään. Tyypilinjan voisi tuoda läpiviennillä halliin ja sijoittaa patteristo hallin ulkopuolelle, josta se olisi myös helposti vaihdettavissa. KLV3:n tiiveys tulisi kuitenkin testata tyypellä käytännössä ennen toteuttamista. Tyypellä tai kuivasäilönnällä voidaan välttää korroosion muodostuminen.

Märkäsäilönnän kierrätyksen yltäessä myös lauhdepuolelle, voisi blokin käynnistysnopeutta kasvattaa lauhdepuolen ollessa myös valmis ylösajoon. Tällöin välttyttäisiin huuhteluilta juuri ennen käynnistystä. Lauhdepuolella on oma kiertonsa, jota ylläpidetään VuB:ssa reduktiolauhdepumpulla (O LCB30 AP001), jonka moottorin nimellisteho on 132 kW. Reduktiolauhdepumppu on melko iso kierrätystarkoitukseen. Lisäksi sitä säädetään

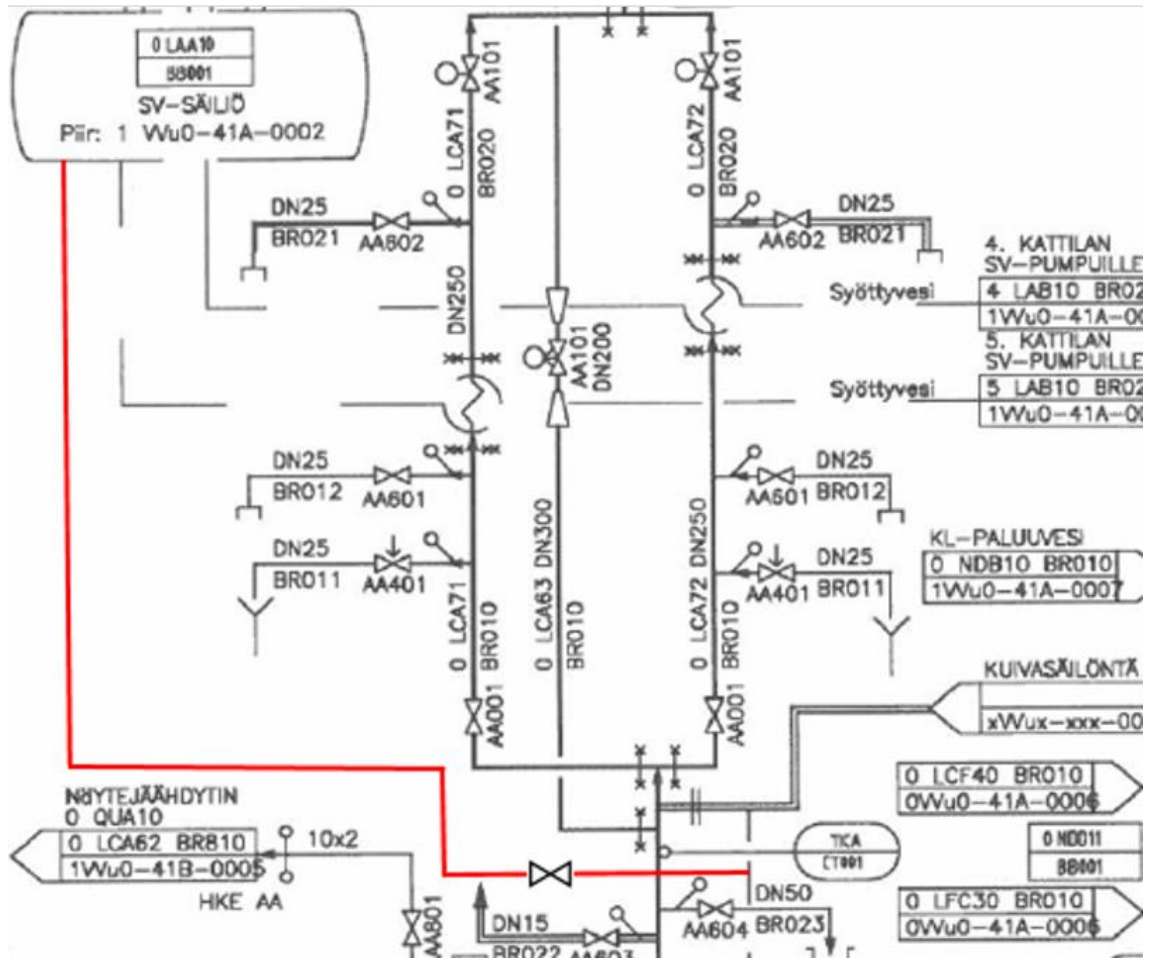
kuristamalla virtausta, jolloin energiaa menee hukkaan ja sähkönkulutus on suurta. Sen voisi säilönnässä korvata pienemmällä 10 - 20 kW:n taajuusmuuttajakäyttöisellä keskipakopumpulla, jolloin sähkönkulutuksen kustannukset olisivat pienemmät kuin nykyisellä reduktiolauhdepumpulla. Kiertopumpuna voisi toimia esimerkiksi samanlainen tai pienempikin pumppu kuin kattilakohtaiseen kierrätykseen (liite 3). Pienemmälle pumpulle voisi tehdä oman pienen kierrätyslinjan, jolloin ei tarvitsisi käyttää reduktiolauhdepumpua.

Syöttövesisäiliön tyhjennysyhteestä (kuva 18, yhde DN100) voidaan rakentaa linja lauhdekiertoon.



Kuva 18. Syöttövesisäiliön yhde alaosassa, johon lauhdekierto voidaan yhdistää putkilinjalla.

Näin saadaan apukattilalta uutta kaasunpoistettua vettä sekä lauhdekiertoon että syöttövesisäiliöön, kun ajetaan vanhempaa kattilan säilöntävettä viemäriin. Lauhdekierrossa on tällöin käynninaikainen alkalinen vesikemia, joten huuhteluihin ei menisi aikaa. Tätä kiertoa voisi ylläpitää molempien blokkien ollessa alhaalla, ja mikäli toinen blokki otetaan käyttöön, pidettäisiin se paineisena kattilan tuottamalla höyryllä tai tyellä. Linjaan tarvitaan yksi sulkuventtiili (kuva 19, linja 0 LCA33 BR010). Jos toista blokkia säilöö tyellä, ei sillä kuitenkaan olisi lämmitystä. Kaukolämpöpakettien kaukolämpöveden hyödyntäminen lämmitykseen on huomionarvoista.



Kuva 19. Linja syöttövesisäiliöstä lauhdekiertoon (LCA33 BR010).

Kytchentä:

- kattilasta vanhan veden tyhjennys viemäriin
- syöttöveden pumppaus syöttövesipumpuilla kattilaan
- höyryn kehitys apukattilalla, kaasunpoistetun veden tuotto kaasunpoistimen avulla
- kaasunpoistetun veden syöttö lauhdekierrosta syöttövesisäiliöön uuden putkilinjan kautta enintään 10 t/h virtauksella noin 80 m³ (8 - 12 tunnin aikana)
- lauhdepuolen kierrätys reduktiolauhdepumpulla 0 LCB30 AP001 tai jollain muulla kierrätykseen sopivalla pumpulla
- typen syöttö lieriöille ja syöttövesisäiliöön veden vaihtamisen jälkeen kierrätyspumpun samalla kierrättäessä vettä lauhdepuolella.

Tässä järjestelmässä syöttövesipumpulla pumpataan vettä kattilaan noin 80 m³, ja apukattilan kaasunpoistimen ja syöttövesisäiliön avulla tehdään kaasunpoistettua vettä nopeudella 10 - 15 t/h syöttövesisäiliöön tämän korvaamiseksi. Apukattila olisi päällä vain veden vaihtamista varten ja vain vaihdon ajan, jolloin säästetään omakäyttöhöyryn tuoton kustannuksissa. Jos tyypellä inertointi onnistuu, mitä tulisi myös testata, täytyisi höyrytyyny korvata tyypellä aina uudestaan vaihdon yhteydessä. Typpi on melko edullista, joten tästä ei aiheutuisi merkittäviä kustannuksia. Kattilasta ajettaisiin vettä viemäriin saman verran kuin sinne syötetään. Näin saadaan vesi vaihtumaan kattilassa.

VuA:ssa syöttövesisäiliön pohjassa on samanlainen laippa kuin VuB:n syöttövesisäiliössä. Myös VuA:ssa lauhdepuolen veden kierrätyksellä on mahdollista nopeuttaa lauhdepuolen valmiutta käynnistyksien yhteydessä, jotta järjestelmän huuhteluihin ei mene aikaa. Tällöin lauhdepuolelle tarvittaisiin myös kierrätyspumppu, esimerkiksi päälauhde- linjaan LCA50.

Märkäsäilönnän aikana tulisi ottaa näytteitä laskuputkien tyhjennyksistä sekä ennen veden vaihtamista että sen jälkeen, jotta voitaisiin seurata esimerkiksi veden johtokykyä, pH:ta ja happipitoisuutta. Happimittarille tulisi rakentaa oma yhteensä johonkin tyhjenykseen mittauksia varten. Koko märkäsäilönnän ajan käytössä olisi käynninaikainen alkalinen vesikemia ammoniakilla ja hydratsiinilla, joita annostellaan syöttövesisäiliöön. Kytkenän toimivuutta voisi testata kaasuturbiinin koeajojen yhteydessä vuosihuoltojen jälkeen. Tyypilinjoja voisi olla mahdollista rakentaa esimerkiksi vuosihuollon aikana.

Toimenpide-ehdotuksia säilöntää ajatellen:

- Kattiloiden ja KLV3:n tiiveyden testaus tyypellä kylmänä
- Näytteiden ottaminen varallaoloaikana märkäsäilönnässä a) höyrytyynyllä, b) typpityynyllä.

Jälkimmäisen pohjalta saataisiin tietää kuinka kauan kattilavesi säilyy riittävän hyvänä laitoksen ollessa varalla ennen kuin vettä täytyy vaihtaa. Lisäksi saataisiin tietoa siitä kuinka hyvin tyypellä inertointi toimii ja kuinka paljon typpihävikkiä syntyy.

Tämän myötä voidaan harkita seuraavia toimenpiteitä:

- Syöttövesisäiliön alaosan yhteen (laippa DN100) ja lauhdelinjan (DN300) yhdistäminen kierrätyslinjalla
- Kiinteiden typpiyhteiden ja -linjojen rakentaminen syöttövesisäiliölle sekä toisen kattilan molempien lieriöiden ilmausputkiin.

KL3:ssa voisi myös ylläpitää tavanomaista alkalista vesikemiaa, jos sen tiiveys ei riitä tyypellä inertointia varten tai se ei muuten ole mielekästä.

Kustannukset säilönnälle lauhdekierron avulla ja tyypellä (liite 2) koostuvat kierrätys- ja typpilinjojen hankinta- ja asennuskustannuksista, typen ja omakäyttöhöyryn kulutuksesta, veden teon kustannuksista (apukattila), reduktiolauhdepumpun tai vaihtoehtoisen pumpun sähkönkulutuksesta sekä mahdollisten näytteenottoaikojen lisäyksestä tyhjennysventtiileille meneviin linjoihin. Säilöntämenetelmä voi omakäyttöhöyryn korvautajana ja nykyisten ajoennusteiden ja mahdollisten säätöhuippujen myötä maksaa itsensä nopeasti takaisin. Se voisi lisätä laitoksen joustavaa käyttöä merkittävästi.

5.7 Kuivasäilöntä

Kuivasäilöntään mentäessä kattilan ollessa paineellinen irrotetaan kuivauspisteiden lauhteenpoistimien kannet ja termoelementit. Kuivauspisteiden linjat puhalletaan höyryllä puhtaksi apulauhdesäiliöön asti. Kattilan ollessa paineeton ja tyhjennettynä avataan kuivauspisteiden lauhteenpoistimien kannet. Kp- ja mp-syöttövesilinjoista irrotetaan kuivausyhteiden laipat ja asennetaan kuivausyhteet. Kattilan kuivaus kytketään päälle. Ennen kattilan käyttöönottoa kuivausyhteet irrotetaan ja asennetaan takaisin sokeat laipat. Myös kuivauspisteiden lauhteenpoistimien termoelementit ja kannet asennetaan takaisin paikalleen. Kuivasäilöntä eli nk. kuivaus on toiminut Vuosaarella hyvin ja sitä on käytetty enimmäkseen kesäisin vuosihuoltojen aikaan. [9.]

Laitosten kuivausjärjestelmien sähkö otetaan käytön aikana omakäyttösähköjärjestelmästä. Järjestelmä käsittää muuntajat, jakelukeskukset erilaisilla jännitetasoilla sekä omakäyttölaitteet. Seisonta-aikana, esimerkiksi kesäisin, voimalaitos ottaa valtakunnan verkosta sähköä seisonta-aikaisiin sähkön tarpeisiin mutta siinäkin hyödynnetään oma-

käyttömuuntajaa. Omakäyttösähkön ja valtakunnan verkosta otetun sähkön hinta muodostuu sen hetkisen sähkön pörssihinnan – Spot-hinnan – mukaan, joka on näkyvissä Nord Poolissa. [35.] Vuoden 2015 Spot-hintojen [38] mukaan laskettuna kuivausjärjestelmän käyttö kesäisin on melko edullista, mitä havainnollistetaan taulukolla 5. Kuivasäilönnän ansiosta kunnossapito- ja korjauskustannukset esimerkiksi kattiloilla ovat vähäisemmät, kun kattilan kosteusprosentti pystytään pitämään alle 30 %:ssa ja vältetään korroosion muodostuminen. Kuivausta on valvottu mittaamalla kosteutta kuivauksen alku- ja loppuvaiheessa esimerkiksi putkistojen tyhjennyksistä. [9.]

Taulukko 5. Nykyisen kuivausjärjestelmän käyttökustannukset sähkön kulutuksen mukaan.

	Käytön hinta (€/h)	(€/pv)	(€/kk)	(€/2kk)	(€/6 kk)
VuA	2,7	66	1 980	3 164	11 870
VuB	7,5	179	5 370	8 586	32 200

Kuivausta voisi kehittää automatisoimalla järjestelmää, kuten asentamalla venttiilit niihin kohtiin, joissa mekaaniseen laippojen asennukseen ja kuivauspisteiden elementtien purkuun on yleensä kulunut aikaa. Tämä edellyttäisi kuitenkin myös ohitusventtiilien lisäystä jokaiseen kuivauspisteeseen, sillä nykyisellään kuivauspisteet avataan ja suljetaan mekaanisesti ennen kuivauksien käynnistämistä, kun kattila puhalletaan tyhjäksi paineellisenä sekä pois kytkemisen jälkeen. Lisättävien venttiilien kustannukset ovat melko suuret, sillä kaikkien venttiilien tulisi kestää kattilan suunnitteluarvojen mukaiset paineet ja lämpötilat ja mahdollinen automatiikka lisäisi kustannuksia entisestään.

Kuivauksien automatisointi ei ole kannattavaa, jos blokki halutaan esimerkiksi alle tunnissa verkkoon. Toisaalta, jos halutaan minimoida nykyisiin kuivauksien asennuksiin ja purkuihin menevää aikaa, niin automatisoinnista voisi tehdä kustannusarvion.

5.8 Säilönnän kannattavuus

Teknisten säilöntäratkaisujen kustannuksia on koottu liitteeseen 2. Laskelmien mukaan typpilinjan ja syöttövesisäiliön ja lauhdekierron kierrätysjärjestelmä olisi investointikustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto säilöntätavaksi kuin kattilakohtainen kierrätysjärjestelmä yhdistettynä typpisäilöntään. Molemmissa toteutuksissa tulee käyttökuluja, mutta

lauhdepuolen yhdistäminen säilöntäkiertoon takaa laitoksen joustavamman käytön. Kattilakohtaisen kierrätyksen onnistuminen sen sijaan on epävarmempaa, sillä riittävää veden vaihtuvuutta ei järjestelmällä pysty takaamaan. Lisäksi tämä vaihtoehto on muutostöiltään vaativampi ja kalliimpi ja ilman venttiilien automatisointia säilönnän purkaminen on työläämpää. Automatisointi taas nostaa hankintakustannuksia mutta tekee käytöstä joustavampaa. Pelkällä typpisäilönnällä on mahdollista laskea höyryn tuotosta aiheutuvia kustannuksia, joita tulee laitoksen pitämisestä paineellisena varallaoloaikana.

Kierrätyksien teknisissä ratkaisuissa ei ole suunniteltu vesien erillistä lämmitystä. Lämmitys tulee ajankohtaiseksi, jos on syytä olettaa, että se parantaa merkittävästi säilöttävän veden laatua ja esimerkiksi ylösajoa ajatellen. Tämä tietenkin lisää sähkönkulutusta ja näin ollen käyttökustannuksia. Kaikissa menetelmissä vesi luonnollisesti jäähtyy melko nopeasti ilman lämmitystä.

Säilöntäjärjestelmän tuottoa on vaikea arvioida yhtä suoraviivaisesti kuin esimerkiksi sellaisten laiteinvestointien tuottoa, jotka suoraan parantavat esimerkiksi energiatehokkuutta, kuten lämmöntalteenotto. Säilöntäjärjestelmällä säästetään omakäyttöhöyryn tuoton kustannuksissa, kun sen käyttöä voidaan vähentää huomattavasti. Teknisille ratkaisuille tehtiin kannattavuuslaskelmat, joihin sisältyvät mm. suora takaisinmaksuaika, korollinen takaisinmaksuaika, järjestelmien nettonykyarvo 20 vuoden pitoajalla sekä herkkyytarkastelu. Nettonykyarvoa laskettaessa otettiin korkokannan vaikutus huomioon diskonttauskerroimella eikä inflaatiota otettu erikseen huomioon. Suora takaisinmaksuaika laskettiin kaavalla

$$TMA = \frac{H}{q}, \quad (16)$$

jossa H on investoinnin hankintakustannus ja q on tuotto, joka investoinnista saadaan. Korolliselle takaisinmaksuajalle käytettiin kaavaa

$$TMA = \frac{-\ln\left(\frac{1-H}{i}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}, \quad (17)$$

jossa i = korkokanta. Nettonykyarvo laskettiin Excel-ohjelman avulla kaavalla

$$K = H + \frac{q_1}{(1+i)^n} \quad (18)$$

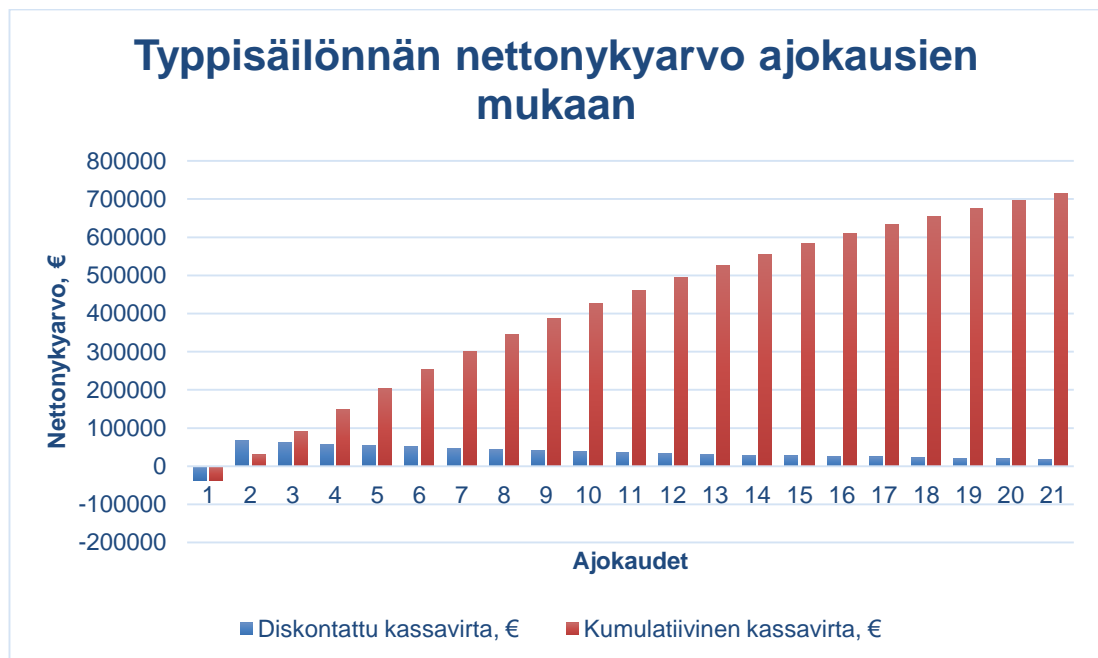
Diskonttauskerroin laskettiin kaavalla

$$\frac{1}{(1+i)^n}, \quad (19)$$

jossa n = jaksojen määrä. [41.]

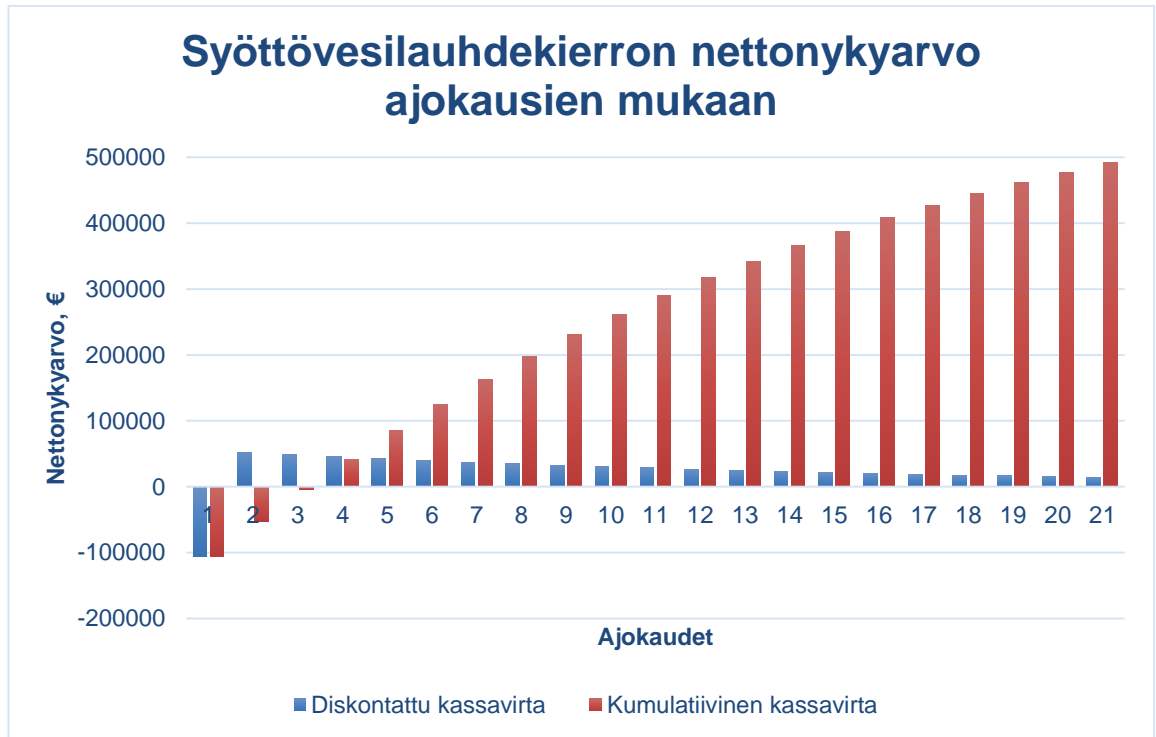
Kannattavuuslaskelmat laskettiin oletuksella, että tuottona ovat höyryn tuoton kustannukset, joissa on mahdollista säästää säilöntäjärjestelmän myötä. Tämän lisäksi laskelmat tehtiin myös valitun hypoteettisen säätöhuipun karkean tuoton mukaan perustuen Fingridin ilmoittamien ylössäätösähkön hintoihin [42]. Tämän avulla havainnollistetaan, kuinka laitoksen joustava käyttö lisää järjestelmän kannattavuutta.

Laskelmien mukaan omakäyttöhöyryn korvaajana typpisäilöntä maksaa itsensä takaisin alle vuodessa toimiessaan onnistuneesti sekä budjettiin osuessaan että muutettaessa budjettia +/- 20 prosenttiyksikköä. Nettonykyarvoa havainnollistetaan kuvan 20 kuvaajalla. Kuvaajasta nähdään, että typpisäilönnällä voidaan säästää huomattavasti 20 vuoden pitoajalla ja kumulatiivinen kassavirta muuttuu positiiviseksi jo toisella ajokaudella.



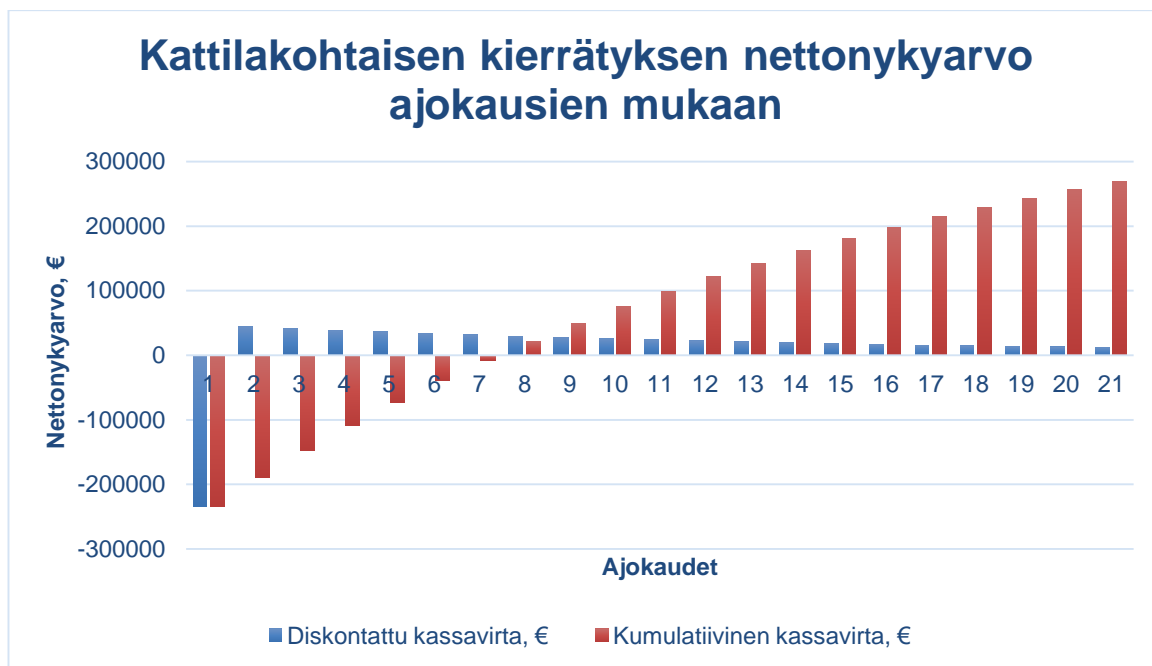
Kuva 20. Typpisäilönnän kassavirrat ajokausittain.

Typpisäilönnän ja syöttövesi-lauhdekierron yhdistelmän takaisinmaksuaika on alle kaksi vuotta sekä hankintakustannusten osuessa budjettiin että ollessaan yli tai alle 20 % hankintakustannuksista. Nettonykyarvon kehitystä havainnollistetaan kuvan 21 kuvaajalla.



Kuva 21. Nettonykyarvo kasvaa tasaisesti ajokausien mukaan ja kumulatiivinen kassavirta muuttuu positiiviseksi neljännellä ajokaudella.

Kattilakohtaisen kierrätysjärjestelmän takaisinmaksuaika on pidempi kuin muiden järjestelmien. Investointikustannusten ollessa laaditun budjetin mukaisia takaisinmaksuaika on noin neljä vuotta ja budjetin ylittyessä 20 prosenttiyksikköä takaisinmaksuaika on hieman alle viisi vuotta. Kuvan 22 kuvaaja havainnollistaa kierrätysjärjestelmän nettonykyarvon kehitystä ajokausien mukaan.



Kuva 22. Kattilan kierrätysjärjestelmän nettonykyarvon kehitys. Kumulatiivinen kassavirta muuttuu positiiviseksi vasta kahdeksannella ajokaudella.

Kun tuottona ovat omakäyttöhöyryn kustannukset, kannattavuuksien herkkyytarkastelussa korkokannan vaihtelu ei juurikaan vaikuta nettonykyarvoihin, paitsi kattilakohtaisen kierrätysjärjestelmän kohdalla. Korkokannan kasvattaminen yli 20 prosenttiyksikköön tekee kattilakohtaisen kierrätysjärjestelmän kannattamattomaksi. Jos investointikustannuksia kasvatetaan esimerkiksi kaksinkertaistamalla ne, nettonykyarvot muuttuvat jokaisen järjestelmän kohdalla joko vähän eli muutamalla vuodella tai eivät juuri lainkaan. Jos vuosittainen tuotto puolitetaan, nettonykyarvo pienenee kaikissa menetelmissä mutta vain kattilakohtainen kierrätysjärjestelmä tulee kannattamattomaksi. Näin ollen typpisäilöntä ja syöttövesi-lauhdekierto ovat tuottavampia kuin kattilakohtainen kierrätysjärjestelmä.

Jos kannattavuuslaskelmat tehdään valitun hypoteettisen säätöhuipun tuoton mukaan (taulukko 6), korkokannan nostaminen ei myöskään vaikuta säilömiseen tyypellä tai syöttövesilauhdekiertojärjestelmän kannattavuuteen.

Taulukko 6. Tuotto satunnaisella säätösähköhuipulla, kun investoidaan esimerkiksi syöttövesilauhdekierron säilöntään ja typpisäilöntään.

Tarve (MWh)	Hinta (€/MWh)	Tarveaika (h)	Tulot (€)	Investointi + käyttökulut (€)	Voitto (€)
150	300	6	270 000	106 100	163 900

Sen sijaan kattilakohtaisesta kierrätyksestä tulee kannattamaton investointi, jos korkokantaa nostetaan yli 20 prosenttiyksikköön tai investointikustannuksia kasvatetaan esimerkiksi kaksinkertaistamalla ne. Muissa menetelmissä investointikustannuksien kasvattaminen ei sen sijaan vaikuta paljoo; typpisäilönnässä ei lainkaan ja syöttövesilauhdekierrossa nettonykyarvo muuttuu muutamalla vuodella. Tuoton pienentyminen puoleen ei vaikuta radikaalisti nettonykyarvoon näillä toteutuksilla, mutta kattilakohtaisen kierrätyksen se tekee kannattamattomaksi, sillä nettonykyarvo pysyy negatiivisena 20 ajokauden ajan. Omakäyttöhöyryn käytöstä on mahdollista jäädä voitolle, jos säätöhuipuja on, ja niistä saatavilla voitoilla voidaan kompensoida omakäyttöhöyryn kustannuksia.

Korkokannan muuttaminen vaikuttaa voimakkaimmin kattilakohtaisen kierrätyksen nettonykyarvoon. Jos korkokantaa nostetaan 7 %:sta 25 %:iin, muuttuu edellä mainitun takaisinmaksuaika usealla vuodella, syöttövesilauhdekierron vain yhdellä vuodella ja typpisäilönnän ei lainkaan. Laskelmien ja herkkyytstarkastelun pohjalta voidaan olettaa, että typpisäilöntä ja säilöntä lauhdekierron avulla ovat kannattavia investointeja.

Valitun hypoteettisen säätöhuipun tuotolla menetelmien takaisinmaksuajat ovat tasaisemmat, kun tuotto on reilusti suurempi kuin edellisessä tarkastelussa. Tällöin myös kattilakohtainen kierrätys on takaisinmaksuajan perusteella kannattava. Kannattavuustarkastelu on kuitenkin vain numeerinen tarkastelu, eikä siinä oteta huomioon teknisten toteutusten käytännön riskejä ja säilönnän onnistumista. Näistä seikoista voidaan saada tietoa esimerkiksi käytännön testaamisella mm. typen käytön osalta.

Kevät- ja syyskaudella sähkön säätöhinnat ovat alhaisemmat kuin talvikaudella, mutta korkeampia säätöhintoja on kuitenkin ollut ja laskelmissa oletetaan tulevan jatkossakin [42]. Myös tämä tukee säilöntäjärjestelmään investoimista. Märkäsäilöntäjärjestelmä voisi maksaa itsensä takaisin jo yhdellä hintahuipulla eli alle vuoden takaisinmaksuajalla.

Huippuja on kuitenkin vaikea ennustaa. Toimiessaan typpisäilönnän ja syöttövesilauhdekierron yhdistämällä voidaan vastata säätösähkömarkkinoiden tarpeisiin toisin kuin esimerkiksi kuivasäilönnällä. Kattilakohtainen kierrätys on sen sijaan onnistumisen kannalta epävarmempi vaihtoehto.

Voidaan myös ajatella, että säilöntäjärjestelmä tuottaa silloin, kun sen myötä voidaan korvata muiden laitosten tuottoa. Esimerkiksi jonkin peruskuormalaitoksen, kuten hiililaitoksen pudotessa häiriön takia pois verkosta voi säilöntäjärjestelmä maksaa itsensä nopeasti takaisin voimalaitoksen joustavamman käytön myötä. Tällöin tappiota tehdään vähemmän kuin ilman nopeaa käyttöönottoa mahdollistavaa säilöntäjärjestelmää.

Kunnollisella säilönnällä voidaan myös säästää kunnossapitokustannuksissa. Mikäli säilöntää ei tehdä huolellisesti ja vettä seisotetaan liian pitkään, voi kattilaan tulla korroosion aiheuttamia vaurioita. Ne taas lisäävät kattiloiden ja vesihöyryjärjestelmän kunnossapitokustannuksia.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin erilaisia säilöntämenetelmiä ja suunniteltiin märkäsäilönnän toteutusvaihtoehtoja Helen Oy:n Vuosaaren voimalaitoksille. Toteutuksille laadittiin myös kustannusarviot ja kannattavuuslaskelmat. Työn perusteella voidaan todeta, että joustavaa käyttöä ajatellen typpisäilöntä on hyvä vaihtoehto omakäyttöhöyryn korvaajaksi.

Säilöntäkemikaalien annostelun minimoimiseksi Vuosaari-A-voimalaitoksella säilöntäveden kierrätys on mahdollista toteuttaa pakkokierto pumpuilla. B-voimalaitoksella yksi vaihtoehto on hankkia kattilakohtainen kierrätysjärjestelmä. Luonnonkiertokattilassa tasaista kiertoa ei kuitenkaan voida kattilan rakenteen vuoksi täysin taata kattilakohtaisella kierrätysjärjestelmällä. Voi olla, että kattilatoimittajilla on tarjota tietämystä tarvittavasta virtaamasta ja toimivammasta järjestelmästä. Kierrätykseen voidaan käyttää erillisiä kierrätyspumppuja, mutta hankintakustannukset voivat kohota melko suuriksi. Lisäksi nopea käynnistettävyyttä edellyttää kuitenkin myös lauhdekierron valmiutta ja huomioimista.

Toinen vaihtoehto on yhdistää syöttövesisäiliön, lauhdekierron ja kattilan kierto. Tämä voidaan toteuttaa yhdistämällä syöttövesisäiliö ja lauhdekierto putkilinjalla. Tällä konstruktiolla järjestelmään saadaan käyttökelpoista vettä säilönnän aikana ja lauhdepuolen

huuhteluihin ei kulu aikaa käynnistystilanteessa. Menetelmällä laitoksen nopea käynnistys onnistuu nopeammin tarvittaessa.

Vuosaaren tapauksessa kattilan veden teon ollessa nopeaa, kannattavinta on selvityksien pohjalta käyttää typpisäilöntä niin, että vettä vaihdetaan kattilaan ja syöttövesijärjestelmään säännöllisesti. Veden laatua tulisi tarkkailla varalla ollessa viikoittain, ja tarpeen tullen vesi vaihdettaisiin apukattilan kaasunpoistimen kautta kaasunpoistetulla vedellä, jolloin arvot olisivat jälleen kunnossa ja vesi ajokelpoista. Typpilinjojen ja typen kulutuksen kustannukset ovat paljon pienemmät kuin omakäyttöhöyrytyyn tuottaminen apukattilalla. Veden vaihdon yhteydessä myös typpi täytyy kuitenkin syöttää uudelleen kattilaan. Toteutuksien kustannuksia, toimenpiteitä ja huomioitavia asioita voidaan vertailla taulukon 7 avulla.

Taulukko 7. Taulukossa vertaillaan säilöntätoteutuksia. Taulukon syöttövesi-lauhdekierron ja kierrätysjärjestelmän investointikustannuksiin ei ole tässä laskettu mukaan höyryn tai typen tuoton kustannuksia. Kustannukset ovat suuntaa-antavia.

Yhteenveto	Typpisäilöntä	Syöttövesi-lauhdekierron säilöntä	Kattilan veden kierrätysjärjestelmä	Omakäyttöhöyrytyyny
Arvioitu toimenpide	tiivetyden testaus tyypellä, typpilinjojen rakentaminen	putkilinjan rakentaminen syöttövesisäiliön ja lauhdekierron välille, pumpun asennus lauhdepuolelle	kierrätyslinjojen rakentaminen	ei toimenpiteitä
Investointi	35 000	55 000	173 000	0
Käyttökustannus, €/2 kk	1 650	16 000	25 000	72 500
Muu huomautus	nopea ylösajo, vähentää höyryn tuoton kustannuksia	lauhdepuolen, kattilan ja syöttövesijärjestelmän valmiustila	kattilan valmiustila, säilönnän onnistuminen epävarmempaa	nopea ylösajo

Jatkotoimenpiteiksi ehdotetaan, että typpi-inertointia testataan, jotta saadaan tietoa järjestelmän tiiveydestä kylmänä. Lisäksi vesinäytteillä varallaoloaikana voi saada luotettavampaa tietoa kemikaalien annostelumääristä ja tiedettäisiin veden vaihtoväli. Toimenpiteiden myötä saadaan tarkempaa tietoa säilönnän käyttökustannuksista. Typpisäilönnän ja syöttövesi-lauhdekierron myötä on mahdollista käyttää Vuosaaren voimalaitoksia joustavammin, jotta voidaan paremmin vastata nykyisten sähkömarkkinoiden tarpeisiin samalla vähentäen omakäyttöhöyryn käytöstä aiheutuvia kustannuksia.

Lähteet

- 1 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Työ- ja elinkeinoministeriö, 20.3.2013. <http://www.tem.fi/files/36266/Energia_ja_ilmastostrategia_nettijulkaisu_SUOMENKIELINEN.pdf> Luettu 24.3.2016.
- 2 Helen Oy. Vuosaaren A voimalaitos. Yleiskuvaus. 2.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 3 Helen Oy. Vuosaaren B voimalaitos. Yleiskuvaus. 1.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 4 Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki. *Höyrykattilatekniikka*. 1994, 5. uudistettu painos, 2000, Helsinki: Edita.
- 5 *Voimalaitoskoulutus*. Porin Lämpövoima Oy. Koulutusmateriaali.
- 6 Helen Oy. Vuosaaren A voimalaitos. *Vesi-höyryjärjestelmä*. 2.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 7 Helen Oy. Vuosaaren B voimalaitos. *Syöttövesijärjestelmä*. 1.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 8 Helen Oy. Vuosaaren A voimalaitos. *Syöttövesijärjestelmä*. 1.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 9 Itänen, Jukka. Käyttömestari. Tuotanto ja jakelu, Helen Oy. Keskustelut Helsingissä keväällä 2016.
- 10 Helen Oy. Vuosaaren B voimalaitos. *Omakäyttöhöyryjärjestelmä*. 2.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 11 Helen Oy. Vuosaaren A voimalaitos. *Omakäyttöhöyryjärjestelmä*. 2.2.2016. Sisäinen dokumentti.
- 12 Lokkiluoto, Anu. *Korroosio-ongelmat kombivoimalaitoksen lämmöntalteenottokattilassa*. Aalto-yliopisto, 2006. Diplomityö.
- 13 VGB. *Feed Water, Boiler Water and Steam Quality for Power Plants*. VGB-Standard. VGB PowerTech e.V. 2011, 3. painos. VGB PowerTech Service GmbH.
- 14 Heljander, Jari. Prosessikemian asiantuntija. Prosessikemia, Helen Oy. Helsinki. Keskustelut keväällä 2016.

- 15 Helen Oy. *Voimalaitosten vesi-höyrykiertojärjestelmien ohjeavot*. Toiminta-ohje. 29.01.2010. Sisäinen dokumentti.
- 16 SFS-EN ISO 8044. 2000. *Metallien ja metalliseosten korroosio. Termit ja määrittelyt*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 17 VGB PowerTech. *Guideline - Preservation of Power Plants. VGB-R 116e*. 2009. VGB PowerTech e.V.
- 18 Suomen Korroosioyhdistys. *Korroosio käsikirja*. 1988, Hanko: Hangon Kirjapaino Oy.
- 19 Swanekamp, Robert C. PE, editor. *HRSR User's Handbook – Design, Operation, Maintenance*. 2006. 2. painos. PSI Media Inc: Las Vegas, Nevada.
- 20 *Kaukolämmön kiertoveden käsittely*. 2007. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/sites/default/files/suositusk3_2007.pdf> Luettu 8.3.2016.
- 21 Sonninen, Risto. 2008. *Höyryvoimalaitosten säilöntä*. Esitelmä. ÅF-Consult Oy.
- 22 Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/meکانiiikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html> Luettu 3.3.2016.
- 23 Vähäsarja, Susanna. *Voimalaitoksen vesikemian yleiset tavoitteet ja peruskäsitteitä*. Luentomateriaali. ÅF-Consult. 2016. <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/194237/mod_resource/content/1/aalto-vesikemia%20yleinen_4.2.pdf> Luettu 4.4.2016
- 24 Espo, Jere. *Lieriökattilan Kemikaaliannostelu*. Fortum Power and Heat Oy.
- 25 EPRI. *Cycle Chemistry Guidelines for Shutdown, Layup and Startup of Combined Cycle Units with Heat Recovery Steam Generators*. 2006, Palo Alto, CA.
- 26 Sonninen, Risto. *Hapenpoistokemikaalit. T&K –raportti*. 1998, IVO Teknologiaskeskus, Imatran Voima Oy.
- 27 Espo, Jere. Vesikemian asiantuntija, HESS-divisioona. Fortum Power and Heat Oy. Espoo. Keskustelut Espoossa keväällä 2016.
- 28 VGB PowerTech Journal. *Preservation of boilers and turbines with the surface active substance octadecylamine (ODA)*. Lehtiartikkeli. 03-2014.
- 29 Foster Wheeler. *Kunnossapito-ohjeet/Säilöntäjärjestelmä*. HKE/Vuosaari B. S. Tuominen. 1998.

- 30 EPRI (Electric Power Research Institute). *Layup for Cycling Units: Requirements, Issues, and Concerns – An EPRI White Paper*. 4/2014.
- 31 Kouvalainen, Jouni. Projekti-insinööri. Fortum Power and Heat Oy. Inkoo. Keskustelut keväällä 2016.
- 32 Siironen, Tove. *Voimalaitoksen säilöntä*. 2003. Esitelmä. Fortum Power and Heat Oy.
- 33 Lahti, Henrietta. *Voimalaitoksen seisonta-aikainen energiatehokkuus*. Aalto-yliopisto, 2010. Diplomityö.
- 34 L869/1999. *Painelaitelaki*. 27.8.1999. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990869>> Luettu 8.2.2016.
- 35 Nurmi, Kalle. Prosessi-insinööri. Tuotanto ja jakelu, Helen Oy. Keskustelut Helsingissä keväällä 2016.
- 36 *Maakaasun tariffin mukaiset hinnat*. <<https://www.energiavirasto.fi/maakaasun-hintatilastot>> Luettu 13.1.2016.
- 37 Helen Oy. Energian kuluttajahinnat Helenillä. <<https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/lampo-ja-jaahdytys/kotitaloudet/energia--ja-ve-sivirtamaksut.pdf>> Luettu 13.1.2016.
- 38 Nord Pool Spot. *The day-ahead market - Elspot*. Sähkön Spot-hinnat 2015. <<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table>> Verkkodokumentti. Luettu 11.4.2016
- 39 Kurkela, Sinikka. *Keskipaineisten höyryvoimalaitosten vesikemian valvonta ja analyysiohjeet*. Energiataloudellinen Yhdistys. Raportti 15/1985.
- 40 Kesti, Marko. *Teollisuusputkistot*. 1992, Helsinki: VAPK-kustannus.
- 41 Ruohonen, Pekka. Vapo Oy. *Energiatalous*. Luentomateriaalit. 2016. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 42 Fingrid. *Säätösähkön hinta*. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/saatosahko/Sivut/saatosahkon-maara.aspx>> Luettu 13.1.2016.

Painehäviöt

Lasketaan karkeasti painehäviöiden suuruus lieriön ja tyhjennystukin välille käyttäen jokaiselle tilanteelle omaa vastuskerrointa δ .

Yhdessä DN25 tyhjennysputkessa

$$\text{virtausnopeus} \quad w = \frac{V}{A} = \frac{0,0042 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0005 \text{ m}^2} = 0,7 \text{ m/s}.$$

$$\text{Painehäviön kaava} \quad \Delta p = \delta * \frac{\rho}{2} * w^2, \quad \text{jossa}$$

δ = vastuskerroin,

ρ = tiheys

w = virtausnopeus.

Komponenttien painehäviöt tyhjennystukkiin

$$\Delta p_{\text{komponentit}} = \Delta p_{\text{putki}} * \Delta p_{\text{venttiili}} * \Delta p_{\text{käyrät}}$$

$$= 0,21 * \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * \left(\frac{0,7 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 + 4 * \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * \left(\frac{0,7 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 + 4 * \left(0,105 * \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * \left(\frac{0,7 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2\right)$$

$$= 1132,0813 \text{ Pa},$$

jolloin 12 putken kokonaispainehäviöt ovat

$$\Delta p_{\text{komponentit}} = 12 * 1132,0813 \text{ Pa} = 13584,97 \text{ Pa}, \sim 0,136 \text{ bar}.$$

Tyhjennysventtiilit on istutettu tukkiin, ja niiden reiät ovat 20 mm halkaisijoiltaan. Myös reiän äkillisestä laajennuksesta aiheutuu painehäviötä tukkiin:

$$\Delta p_{\text{reiät}} = 12 * \left(\delta * \frac{\rho}{2} * w^2\right) = 12 * \left(0,34993 * \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * \left(\frac{0,73 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2\right)$$

$$= 1116,63 \text{ Pa}, \sim 0,01116 \text{ bar}$$

Yllä olevien höyrystinputkien (840 kpl) painehäviö taas

$$\Delta p_{\text{höyrystinputket}} = 840 * \left(\delta * \frac{l}{d} * \frac{\rho}{2} * w^2 \right)$$
$$= 840 * \left(0,065 * \frac{21 \text{ m}}{0,0446} * \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * \left(\frac{0,0336538 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2 \right)$$

$$= 14529,33854 \text{ Pa}, \sim 0,1453 \text{ bar},$$

Kaiken kaikkiaan lieriön ja tyhjennystukin välillä voidaan painehäviötä olevan

$$\Delta p_{\text{kaikki häviöt}} = \Delta p_{\text{höyrystinputket}} + \Delta p_{\text{reiät}} + \Delta p_{\text{komponentit}}$$

$$= 0,1453 \text{ bar} + 0,01116 \text{ bar} + 0,136 \text{ bar} = 0,29246 \text{ bar}$$

$2,2 \text{ bar} - 0,29246 \text{ bar} = 1,90754 \text{ bar}$, eli n. 19 metriä. Pumppu saa siis riittävästi painetta imupuolelle.

Kustannusarviot

Kustannusarviot (hankinta + 2 kk käyttökustannukset)	
<u>Kattilakohtainen kierrätys + typpi</u>	€
Investoinnit	
Järjestelmä + asennus/suunnittelu	173000
Typpijärjestelmä	35000
Jälkiannostelun mahdolliset muutostyöt	300
Yhteensä	208300
Käyttökulut	
Kierrätyspumppujen moottorien (2 kpl) kuluttama sähkö	70
Veden mahd. lämmitys kl-vedellä/vastuksilla	6000
Apukattilan höyryn tuotto 2 kk ajan 8h/vko	3616
Huollot/tarkastukset	10000
Mahd. veden teko, esim. 3x 2kpl kattilat täyttö	5460
Yhteensä	25146
Kaikki yhteensä	233446
Kaikki+ epävarmuus 20%	280135
Kaikki - epävarmuus 20%	186757
<u>Syve-lauhdekierrätys + typpi</u>	
Investoinnit	
Järjestelmä/konstruktio	19000
Asennus ja suunnittelu	36000
Typpijärjestelmä	35000
Yhteensä	90000
Käyttökulut	
Syvepumppujen sähkönkulutus	1989
Kiertopumpun moottorin sähkönkulutus lauhdepuolella 18,5 kW	35
Apukattilan höyryn tuotto 2 kk ajan 8h/vko	3616
Huollot/tarkastukset	5000
Veden teko, esim. 3x 2kpl kattilat täyttö	5460
Yhteensä	16100
Kaikki yhteensä	106100
Kaikki+ epävarmuus 20%	127321
Kaikki - epävarmuus 20%	84880

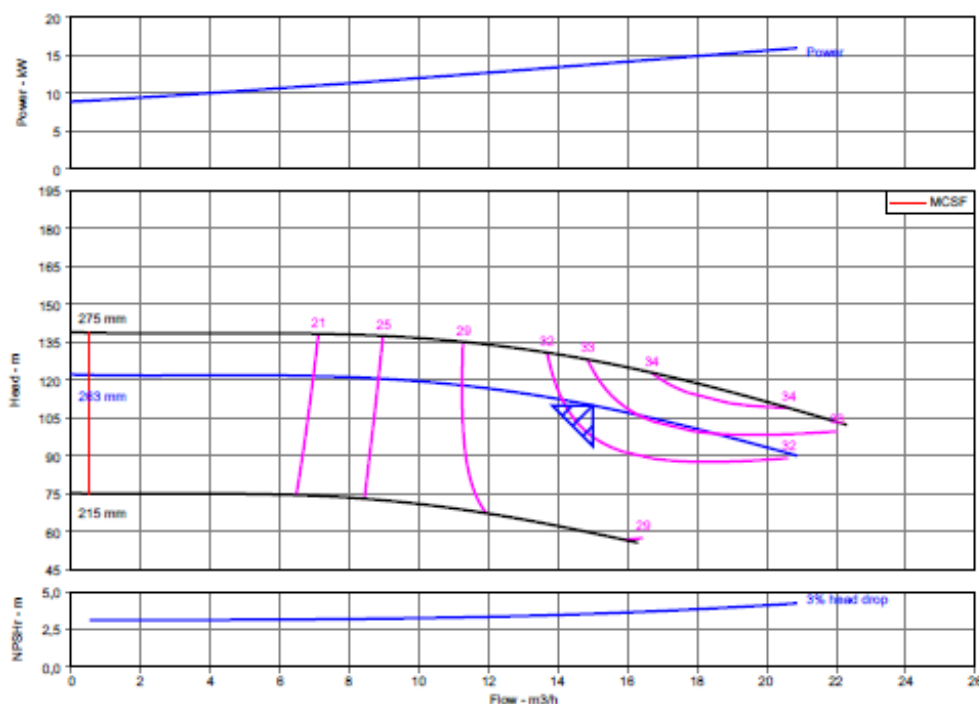
Typpipatteriston vuokraus 6 kk, €	210
Patteriston täyttäminen, €	205
Hankintahinta omaksi, €	5 800
Kryosäiliön (7 m ³ , sisältää höyrystimen) vuokra 2kk, €	10 000

Patteristosta saadaan n. 115 m³ typpikaasua.
Säiliössä 4-5 m³ nestemäistä typpeä.

Kierrätyslinjan pumppu ja moottori

SULZER

Pump Performance Datasheet			
Customer	:	Sulzer Reference ID	: 125865
Inquiry Number/ID	:	Type / Size	: A23-40 LF
Item number	: 001	Stages	: 1
Service	:	Based on curve number	: A23-40_3600_LF Rev 1
Quantity	: 1	Date of Last Update	: 10 Feb 2016 7:54 AM
Operating Conditions		Liquid	
Flow, rated	: 15,00 m ³ /h	Liquid type	: Water
Differential head / pressure, rated (requested)	: 110,0 m	Additional liquid description	:
Suction pressure, rated / max	: 0,00 / 0,00 bar.g	Solids diameter, max	: 0,00 mm
NPSH available, rated	: Ample	Solids concentration, by volume	: 0,00 %
Frequency	: 50 Hz	Temperature, rated / max	: 20,00 / 20,00 deg C
Performance		Fluid density, rated / max	: 0,998 / 0,998 kg/dm ³
Speed, rated	: 2945 rpm	Viscosity, rated	: 1,00 cSt
Impeller diameter, rated	: 263 mm	Vapor pressure, rated	: 0,02 bar.a
Impeller diameter, maximum	: 275 mm	Material	
Impeller diameter, minimum	: 215 mm	Material selected	: Duplex Steel - ASTM A890 3A (41 / J0265)
Efficiency	: 32,53 %	Pressure Data	
NPSH (3% head drop) / margin required	: 3,53 / 0,00 m	Maximum casing/bowl working pressure	: 11,97 bar.g
Ns (imp. eye flow) / Nss (imp. eye flow)	: 308 / 3.702 US Units	Maximum allowable working pressure	: 16,00 bar.g
MCSF	: 0,52 m ³ /h	Maximum allowable suction pressure	: N/A
Head, maximum, rated diameter	: 122,3 m	Hydrostatic test pressure	: 24,00 bar.g
Head rise to shutoff	: 11,16 %	Driver & Power Data	
Flow, best eff. point	: 17,39 m ³ /h	Driver sizing specification	: Rated power
Flow ratio, rated / BEP	: 86,28 %	Margin over specification	: 0,00 %
Diameter ratio (rated / max)	: 96,45 %	Service factor	: 1,00
Head ratio (rated dia / max dia)	: 86,06 %	Power, hydraulic	: 4,49 kW
Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1,00 / 1,00 / 1,00 / 1,00	Power, rated	: 13,79 kW
Selection status	: Acceptable	Power, maximum, rated diameter	: 15,95 kW
		Minimum recommended motor rating	: 15,00 kW / 20,12 hp



SULZER

DIMENSIONAL DATA –AHLSTAR
General Arrangement – Pump + Motor + Baseplate – ISO Units

Series	2.15	Page
DIMENSIONS		ISO
September 2011		D

SPP id: Version 13 > / 110901 / Replaces 100101 / en / P30558 / 2

Product scope: Assembly (ASSE.0)

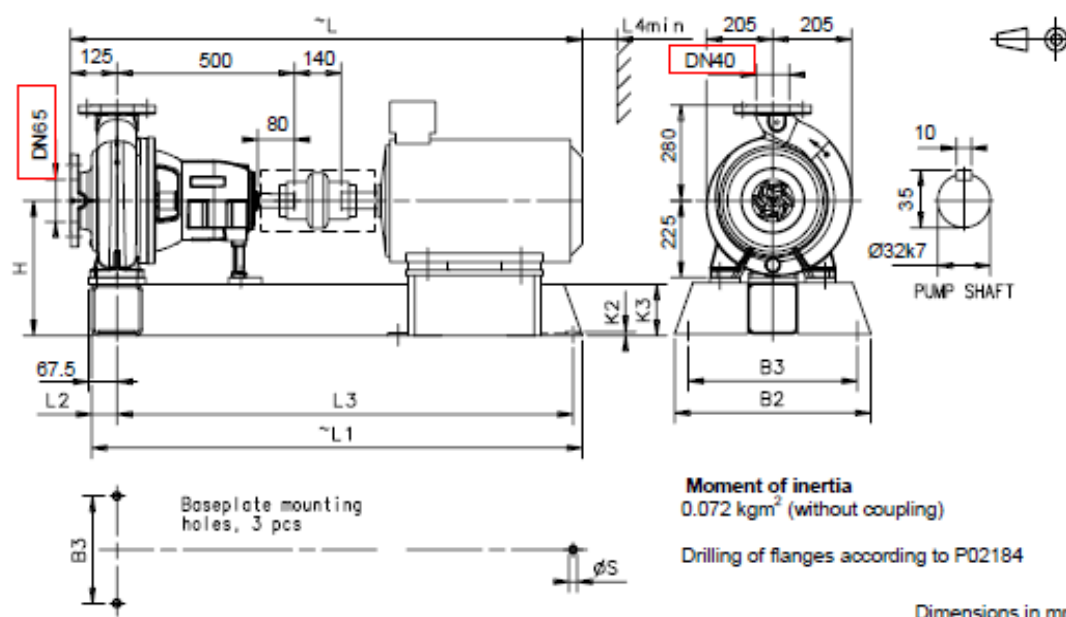
Pump type and size: A23-40

Motor standard: IEC motor, IEC

Drive type: Direct drive, DD

Baseplate type: Baseplate for pump and motor, STD

Pump mounting size: 25



DIMENSIONS													Weight kg
IEC-Motor ¹⁾	IEC-Motor ²⁾	H	L ¹⁾	L1	L2	L3	L4	S	B2	B3	K2	K3	
80M16...19	90S22...24	345	990	1135	50	1050	20	20	670	600	12	100	165
90S22...24	100L28	345	1025	1135	50	1050	25	20	670	600	12	100	165
90L22...24	100L28	345	1050	1135	50	1050	25	20	670	600	12	100	165
100L28	112M28	345	1070	1135	50	1050	25	20	670	600	12	100	170
112M28	132S32...38	345	1095	1135	50	1050	30	20	670	600	12	100	170
132S32...38	160M42...55	345	1225	1420	50	1335	40	20	770	700	12	100	175
132M32...38	160M42...55	345	1225	1420	50	1335	40	20	770	700	12	100	175
160M42...55	180M42...55	345	1370	1420	50	1335	45	20	770	700	12	100	180
160L42...55	180M42...55	345	1415	1420	50	1335	45	20	770	700	12	100	180
180M42...55	200M42...55	345	1415	1420	50	1335	55	20	770	700	12	100	180
180L42...55	200M42...55	345	1480	1420	50	1335	55	20	770	700	12	100	180
200M42...55	225S60...75	395	1540	1630	75	1520	70	25	770	700	13	150	215
200L42...55	225M60...75	395	1580	1630	75	1520	70	25	770	700	13	150	215
225S42...55	250S60...75	405	1570	1630	75	1520	80	25	770	700	13	150	225
225M42...55	250S60...75	405	1590	1630	75	1520	80	25	770	700	13	150	225
250S60...75	280S60...75	435	1600	1630	75	1520	90	25	770	700	13	150	225
250M60...75	280S60...75	435	1640	1630	75	1520	90	25	770	700	13	150	225
280S60...75	315S60...75	470	1800	1900	75	1790	100	25	770	700	13	150	245
280M60...75	315S60...75	470	1880	1900	75	1790	100	25	770	700	13	150	245
315S60...75	355S60...75	510	1890	1900	75	1790	115	25	770	700	13	150	290
315M60...75	355S60...75	510	2000	1900	75	1790	115	25	770	700	13	150	290
315L60...75	355S60...75	510	2050	1900	75	1790	115	25	770	700	13	150	290

1. Primary motor
2. Max IEC-motor size, which can be installed on baseplate. Motor fixing holes are not drilled.
3. Weight without coupling and motor.



AHLSTAR A23-40 (65-40-275)

Characteristic Curve K60337

COPYRIGHT © SULZER PUMPS FINLAND OY

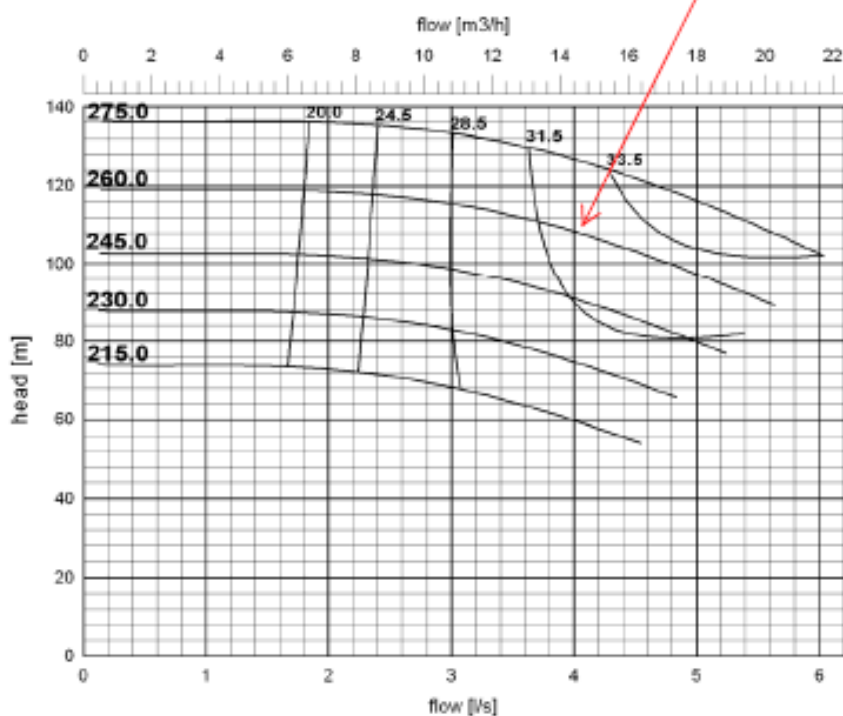
SPP id: Version 13 > / 110901 / Replaces 080601 / en / K60337 / 2

Impeller type: Low flow1 / 924185 B14 Z12

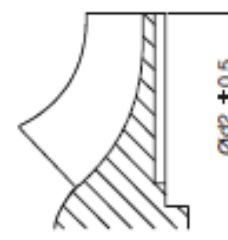
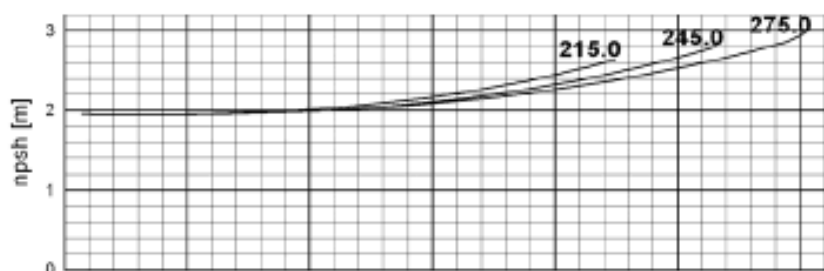
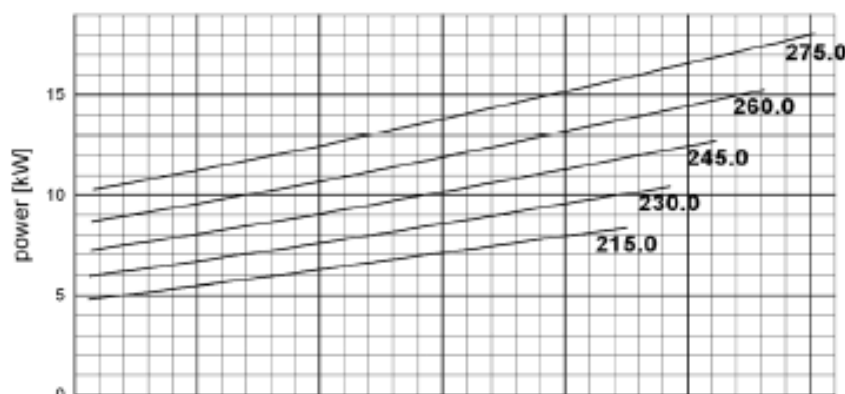
Pump rotational speed: 2920 rpm

Tuottopiste

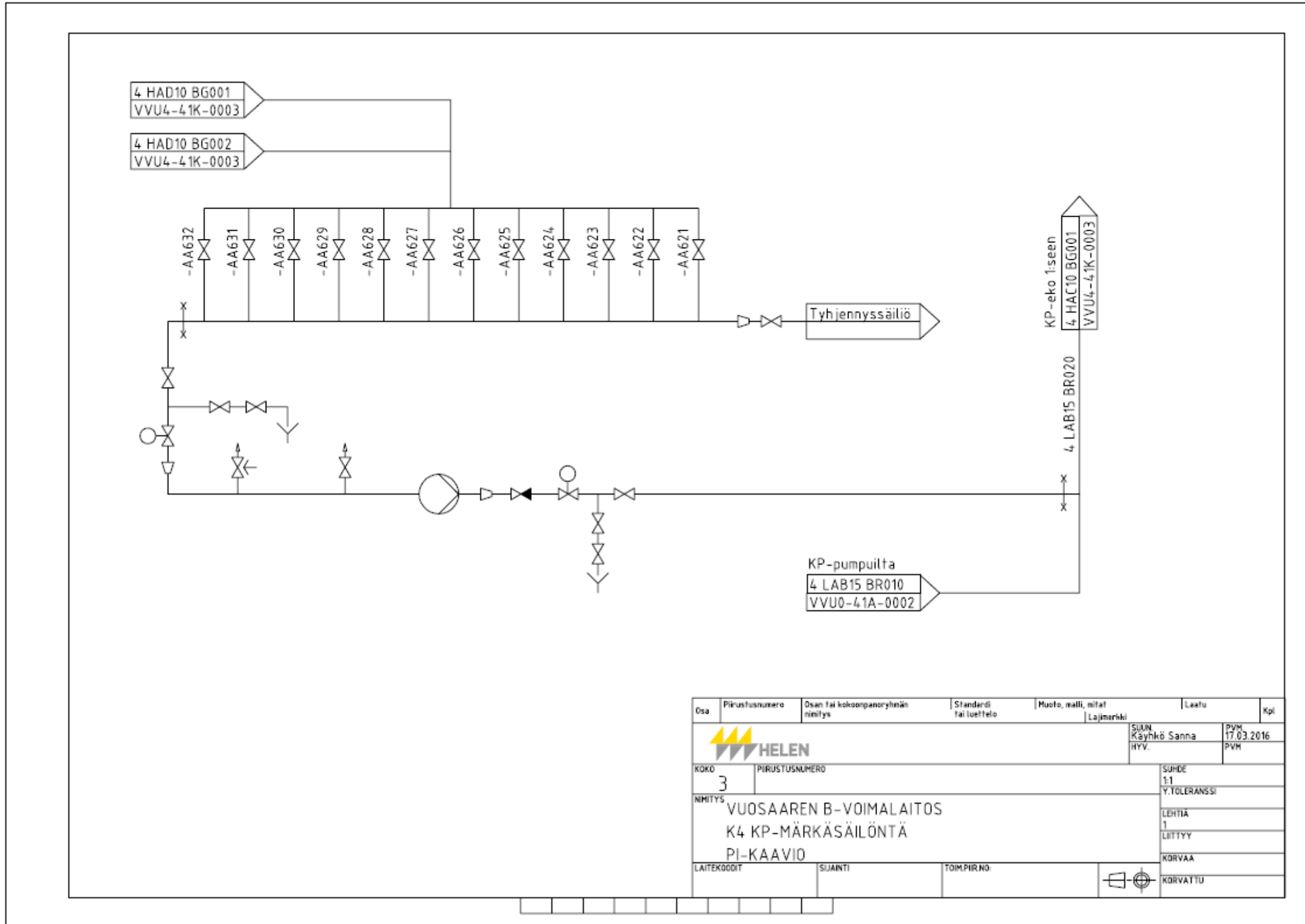
Q=15t/h ~ 4,1l/s. H~110m



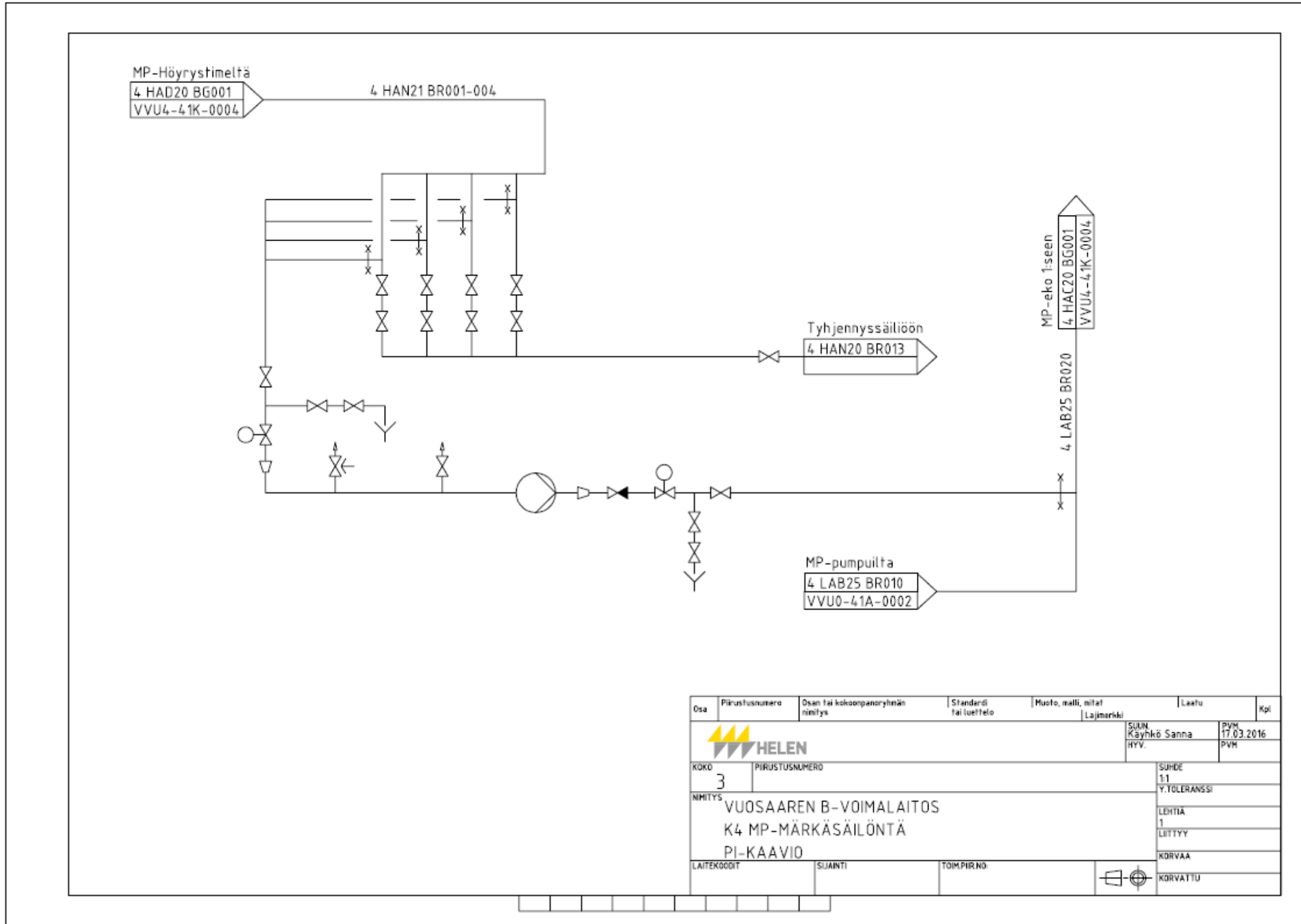
IMPELLER DIA
Ød2 (mm)
275.0
272.5
270.0
267.5
265.0
262.5
260.0
257.5
255.0
252.5
250.0
247.5
245.0
242.5
240.0
237.5
235.0
232.5
230.0
227.5
225.0
222.5
220.0
217.5
215.0



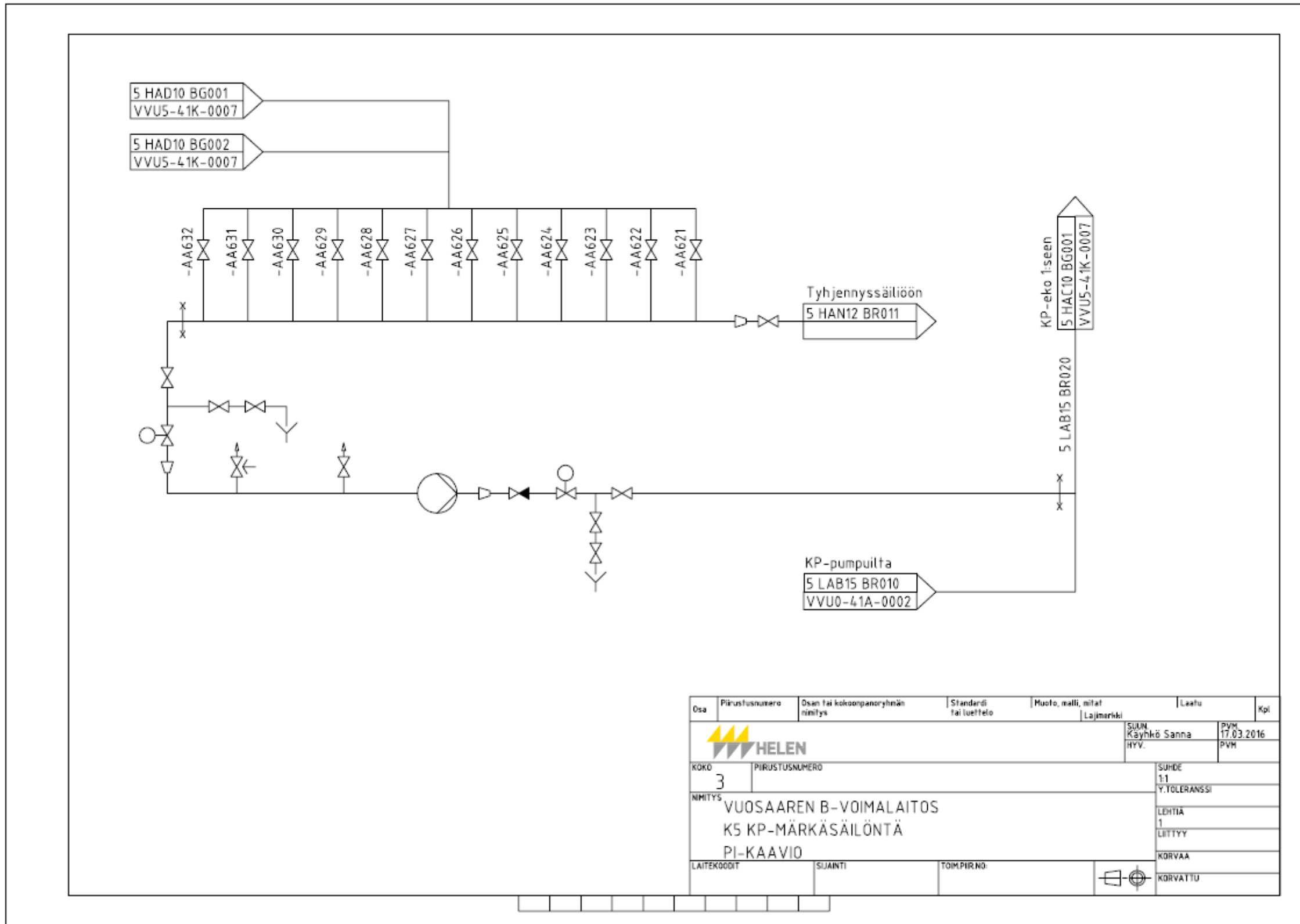
Kattilakohtaisten kierrätyslinjojen PI-kaaviot



Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Laatu	Kpl
				SUUN Käyhkö Sanna HYV.	PVM 17.03.2016 PVM	
KOKO	PIRUSTUSNUMERO	SUHDE				
3		1:1				
NIMITYS				Y.TOLERANSSI		
VUOSAAREN B-VOIMALAITOS				LEHTIA		
K4 KP-MÄRKÄSÄILÖNTÄ				1		
PI-KAAVIO				LITTYY		
LAITEKODIT		SUUNTI	TOIMIPINNO	KORVAA		
				KORVATTU		



Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimi	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Leatu	Kpl
				SUUN Käyhkö Sanna HYV.	PVM 17.03.2016 PVM	
KOKO	PIRUSTUSNUMERO	SUHDE				
3		1:1				
NIMITYS					Y.TOLERANSSI	
VUOSAAREN B-VOIMALAITOS					LEHTIA	
K4 MP-MÄRKÄSÄILÖNTÄ					1	
PI-KAAVIO					LITTYY	
LAITEKOODIT	SUJANTI	TOIMIPINNO			KORVAA	
					KORVATTU	



Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimi	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Leatu	Kpl
				SUUN. Käyhkö Sanna HYV.		PVM 17.03.2016 PVM
				KOKO 3	PIIRUSTUSNUMERO	SUHDE 1:1 Y.TOLERANSSI
NIMITYS VUOSAAREN B-VOIMALAITOS K5 KP-MÄRKÄSÄILÖNTÄ PI-KAAVIO						LEHTIA 1 LITTYY
LAITEKODIT		SUAJNTI	TOIM.PIR.NO.	KORVAA KORVATTU		

