

Juho-Elias Mäkimartti

**SELLUTEHTAAN JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄN KÄYTETTÄVYYS- JA
KAPASITEETTITARKASTELU**

SELLUTEHTAAN JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄN KÄYTETTÄVYYS- JA KAPASITEETTITARKASTELU

Juho-Elias Mäkimartti
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Energiatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Mäkimartti Juho-Elias

Opinnäytetyön nimi: Sellutehtaan jäähdytysvesikierron käytettävyys- ja kapasiteettitarkastelu

Työn ohjaaja(t): Rautala Jaakko, Ylikunnari Jukka

Työn valmistuslukupäivä ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: esim. 55 + 6 liitettä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Metsä Fibre Oy Rauman tehtaan jäähdytysvesijärjestelmän käytettävyys- ja kapasiteettitarkastelu. Työn tavoitteena oli kartoittaa nykyisen jäähdytysvesijärjestelmän käytettävyyteen ja kapasiteettiin vaikuttavia tekijöitä sekä esittää näihin mahdollisia parannusehdotuksia.

Työ aloitettiin keräämällä kokemukseräistä tietoa tehtaan käyttöhenkilökunnalta. Esille nousseisiin seikkoihin paneuduttiin tarkemmin kirjallisia lähteitä, verkkolähteitä, tehtaan sisäistä dokumentaatiota sekä prosessiautomaatiojärjestelmän keräämää historiadataa hyödyntäen. Kerätyn tiedon perusteella päätettiin kohdentaa käytettävyys- ja kapasiteettitarkastelu koko jäähdytysjärjestelmän suorituskyvyn kannalta kriittisimpinä pidettyihin osaprosesseihin. Nämä prosessit ovat jäähdytysvesijärjestelmän kiertoveden jäähdytys sekä jäähdytysveden pumppaus haihuttamo- ja tehdaslinjaan.

Tarkastelun perusteella voitiin todeta tarkastelluissa osaprosesseissa ilmenneiden kapasiteettiongelmiensa olevan seurausta järjestelmän käytettävyysongelmista. Käytettävyysongelmien juurisyiksi nähtiin käyttöympäristöstä jäähdytysveden joukkoon päätyvät epäpuhtaudet, näistä merkittävimpinä kuoripöly sekä itse jäähdytyskennoista irtoava filmimateriaali. Lisäksi voitiin todeta jäähdytysvesitornin ja jäähdytysveden pumppauksen nykyinen teoreettinen mitoituskapasiteetti riittäväksi. Käytännössä on kuitenkin puututtava esiinnoitettujen käytettävyysongelmien juurisyihin, jotta jäähdytysvesijärjestelmän kapasiteetti riittää vastaamaan tuotantoprosessin tarpeisiin jatkossakin.

Asiasanat: selluteollisuus, jäähdytysjärjestelmä, jäähdytysvesi, kapasiteetti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme of Energy Technology

Author(s): Mäkimartti Juho-Elias

Title of thesis: Availability and capacity review of the pulp mill cooling water circuit

Supervisor(s): Rautala Jaakko, Ylikunnari Jukka

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Number of pages: e.g. 55 + 6 appendices

The subject of this thesis was the availability and capacity review of the Metsä Fibre Rauma mill's cooling water system. The aim of this work was to define the factors affecting the availability and capacity of the existing cooling water system and to present possible improvement proposals.

The work began with collecting experience-based information from the mill's operational staff. Identified problems were further examined using written sources, web sources, the mill's internal documentation, and historical data collected by the process automation system. Based on the information collected, the main focus of the review was directed to the availability and capacity of the subprocesses considered most critical for the performance of the entire cooling system, namely cooling of the circulating water in the cooling water system and pumping of the cooling water into the evaporation plant and plant line.

Based on the review, it was possible to conclude that the capacity problems that occurred in the subprocesses under consideration were the result of system availability problems. The root cause of the availability problems was the pollutants that ended up in the cooling water from the operating environment, of which the bark dust was the most harmful, as well as the film material that scales off from the cooling fills itself. Furthermore, the current theoretical design capacity of the cooling tower and the pumping of cooling water was found to be sufficient. In practice, however, the root causes of the identified availability problems must be addressed so that the capacity of the cooling water system is sufficient to meet the needs of the production process also in the future.

Keywords: pulp mill, cooling system, cooling water, capacity

SISÄLLYS

SANASTO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 SELLUTEHTAAN VEDENKÄSITTELY.....	9
2.1 Raakavesi.....	10
2.2 Kemiallisesti puhdistettu vesi.....	10
2.3 Tehtaan vesijärjestelmä.....	11
2.3.1 Jäähdytysvesi.....	11
2.3.2 Lämmin vesi.....	11
2.4 Kuuma vesi.....	11
3 TEHTAAN JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄ.....	13
3.1 Avoin jäähdytysvesikierto.....	13
3.2 Jäähdytysvesipumput.....	14
3.3 Suodatus.....	16
3.4 Lämmönsiirtimet.....	17
4 JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄN KAPASITEETTITARKASTELU.....	20
4.1 Märkälämpötila.....	20
4.2 Jäähdytysvesitorni.....	21
4.2.1 Lämmönsiirron energiatase.....	23
4.2.2 Prosessin lämpökuorma.....	23
4.2.3 Kuuma prosessi.....	24
4.3 Höyrystymislämmönsiirto.....	25
4.3.1 Lämmönsiirtoalue.....	27
4.3.2 Asteisuus.....	28
4.3.3 Hyötysuhde.....	29
4.3.4 L/G-suhde.....	30
4.4 Jäähdytysveden pumppaus.....	33
4.4.1 Haihduttamolinja.....	34
4.4.2 Tehdaslinja.....	35
5 KAPASITEETTITARKASTELUN JOHTOPÄÄTÖKSET.....	39
5.1 Vedenjäähdytys.....	39
5.2 Pumppauskapasiteetti.....	40

6	TUNNETUT KÄYTETTÄVYYSONGELMAT	45
6.1	Kuoripöly	45
6.2	Jäähdytyskennomateriaali	48
7	PARANNUSEHDOTUSET	49
7.1	Tuulensuojaverkko	49
7.2	Tuulimittari	50
7.3	Suodatinyksikkökohtainen paine-eromittaus	51
8	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	53
	LIITTEET	56

SANASTO

Adt	Ilmakuivattu sellutonni
L/G	Nesteen ja kaasun massavirtasuhde (Liquid-to-Gas-ratio)
VJH	Jäähdytysvesi, meno
VJP	Jäähdytysvesi, paluu
VKE	Kemiallisesti puhdistettu vesi
VKU	Kuumavesi
VRA	Raakavesi
VVL	Lämminvesi
ΔT	Lämpötilaero
\emptyset	Lämpöenergiavirta
f	Höyrystymishäviökerroin
λ	Veden ominaishöyrystymislämpö

Alaindeksit

a	Ilma
cw	Kylmä vesi (VJH-vesi)
hw	Kuuma vesi (VJP-vesi)
v	Vesihöyry
w	Vesi

1 JOHDANTO

Metsä Fibre Oy on maailman johtava valkaistun markkinahavusellun tuottaja sekä merkittävä sahatavaran tuottaja. Rauman sellutehtaan päätuote on ECF-valkaistu (Elementally-Chloride-Free) markkinahavusellu noin 600 000 Adt:n vuosituotannolla. Muita merkittäviä sellunvalmistusprosessin sivuvirroista jalostettavia biotuotteita ovat mäntyöljy ja tärpähti. Lisäksi tehdasvoimalaitoksen soodakattila käyttää polttoaineenaan mustalipeää, jota syntyy sellunkeiton sivutuotteena. Tuotantolaitoksen sähköenergiaomavaraisuus on noin 145 %, mikä tarkoittaa, että tehdas tuottaa runsaasti sähköä myös valtakunnan sähköverkkoon. Tehdas käynnistyi vuonna 1996 ja työllistää nykyisellään noin 130 metsäteollisuuden ammattilaista. (1.)

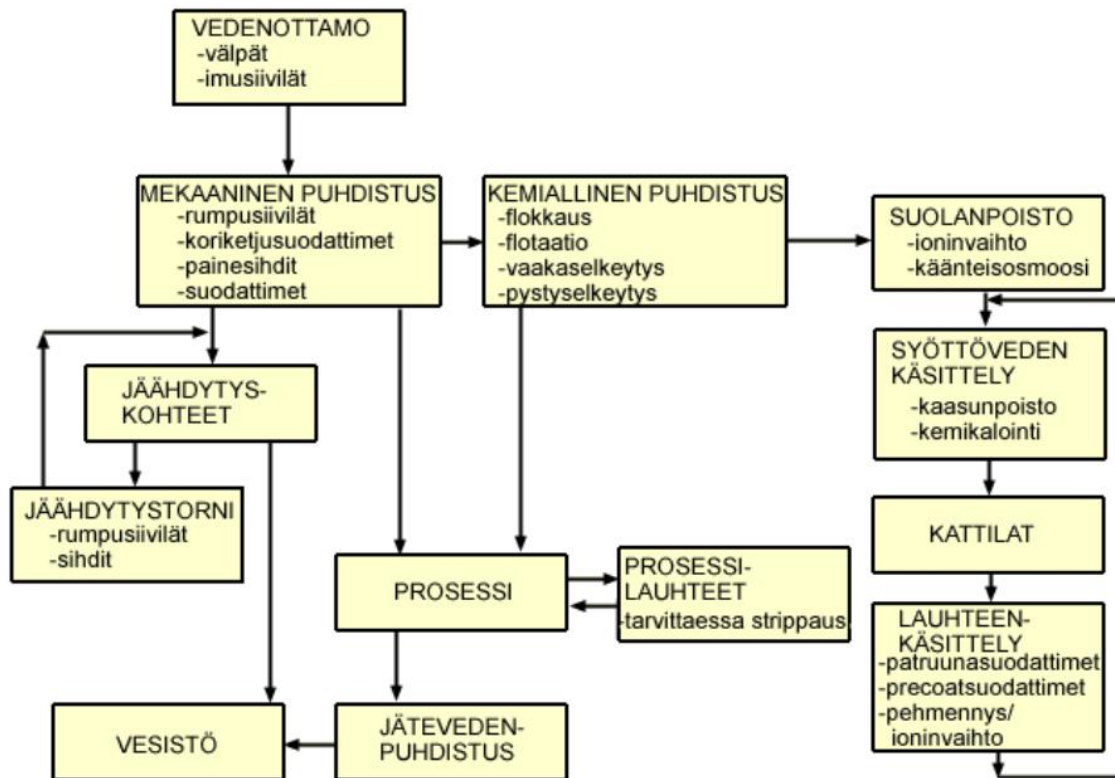
Aikansa suurimman suomalaisen metsäteollisuusinvestoinnin tuotantotehokkuuden ja käytettävyyden eteen on normaalin kunnossapitotoiminnan lisäksi toteutettu lukuisia kehitysprojekteja. Kehitysprojekteissa tehdyt muutos- ja parannustyöt sekä suurkorjaukset mahdollistavat tuotantolaitokselle sen nykyisen noin 20 % lähtötilannetta korkeamman tuotantokapasiteetin.

Sellutehtaassa suuret prosessihyödykkeiden massavirrat yhdistettynä korkeisiin lämpötiloihin asetavat kovat vaatimukset prosessijäähdytyksen kapasiteetille ja käytettävyydelle. Toimivalla jäähdytysvesijärjestelmällä taataan kriittisten laitteiden ja osaprosessien vakaa toiminta. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Metsä Fibre Rauman tehtaan jäähdytysvesiverkon nykyisen laitekannan tilaa ja kapasiteettia suhteessa nykyisen tuotannon vaatimuksiin. Lisäksi paneudutaan tunnistettuihin käytettävyyssuhkiin, jotka realisoituessaan voivat johtaa merkittäviin tuotannonmenetyksiin.

2 SELLUTEHTAAN VEDENKÄSITTELY

Kuvassa 1 nähdään esimerkkikaavio nykyaikaisen sellutehtaan vedenkäsittelystä ja -käytöstä. Tehtaalle saapuvat vesijakeet ovat mekaanisesti puhdistettu raakavesi ja raakavedestä edelleen kemiallisesti puhdistettu vesi. Sellutehtaan kokonaisvedenkulutus minimoidaan keräämällä likaan- tumattomat tiivistevedet, jäähdytysvedet sekä sekundäärilämpöverkon lämpimän ja kuuman veden ylimäärä jäähdytysvesitorniin ja takaisin tehtaan jäähdytysvesialtaaseen. Torneissa haihtuva ja tuotantoprosessiin käytettävä jäähdytysvesi korvataan kemiallisesti puhdistetulla lisävedellä. (2.)

Veden käsittely sellutehtaalla



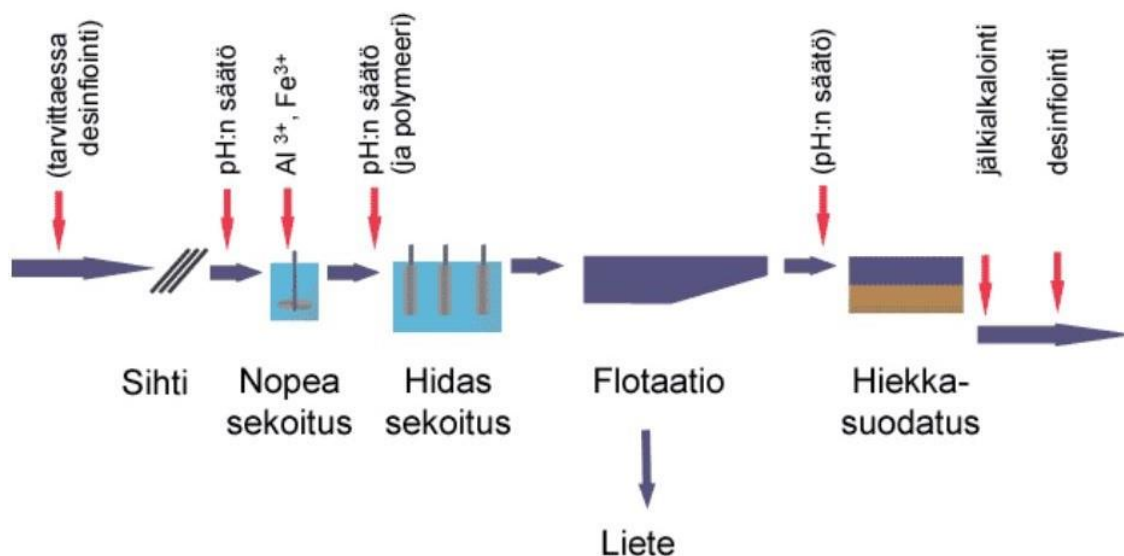
KUVA 1. Nykyaikaisen sellutehtaan vesijärjestelmä (3)

2.1 Raakavesi

Sellutehtaalla käytettävä raakavesi on pintavettä, josta mekaanisilla puhdistusmenetelmillä (väljäpääsy, selkeytys ja suodatus) poistetaan suurimmat näkyvät epäpuhtaudet ja eliöt. Lisäksi raakavettä voidaan desinfioida levänkasvun ehkäisemiseksi raakavesiverkostossa. Raakavettä käytetään vain kohteissa, missä sen puhtaus on jo sinällään riittävä tai veden talteenotto ei sen likaantumisen ja tilapäisen käytön vuoksi ole perusteltua. (3.)

2.2 Kemiallisesti puhdistettu vesi

Kemiallisesti puhdistettu veden valmistusprosessi esitetään kuvassa 2. Puhdistusprosessi toteutetaan usein saostus-, flotaatio- ja hiekkasuodatusmenetelmällä. Käsittelyllä poistetaan raakavedestä humuspartikkeleita ja muita veden sameutta lisääviä epäpuhtauksia. (3.) Tarkasteltavan prosessin tapauksessa kemiallisesti puhdistettua vettä pumpataan jatkuvasti tehtaan VKE-verkkoon, jäähdytysvesijärjestelmän lisävedeksi sekä tehtaan tiivistevesiverkkoon. Lisäksi tehdasvoimalaitoksen tarvitsema ionivaihdettu lisävesi valmistetaan VKE-vedestä erillisessä kattilavesilaitoksessa. (2.)



KUVA 2. Kemiallisesti puhdistetun veden valmistusprosessi (3)

2.3 Tehtaan vesijärjestelmä

Tehtaan vesijärjestelmä on kokonaisuus, joka pitää sisällään jäähdytysvesi- (VJH), lämminvesi- (VVL) ja kuumavesijärjestelmän (VKU). Tarkasteltavassa prosessissa jäähdytysveden ja sekundäärilämmönsiirron putkistot liittyvät kiinteästi toisiinsa painesäädettynä rengasputkistona ilman erillistä lämmin- tai kuumavesisäiliötä. Järjestelmäosien painetasot on sovitettu siten, että jäähdytys- ja lämmityskohteiden läpi virrannut vesi siirtyy seuraavaan lämpimämpään järjestelmäosaan tai jäähdytysvesien paluuputkistoon ilman erillistä paineenkorotusta. (2.)

2.3.1 Jäähdytysvesi

Tehdasverkossa kiertävä jäähdytysvesi on kemiallisesti puhdistettua raakavettä. Mekaanisesti puhdistettua vettä voidaan käyttää vain kohteessa, jossa veden puhtaudelle ei ole suuria vaatimuksia tai veden talteenotto ei ole likaantumisen tai tilapäisen käytön vuoksi mielekäästä. Kemiallisesti puhdistetusta jäähdytysvedestä valmistetaan tarpeen mukaan myös lämmintä ja kuumaa vettä. (4.)

2.3.2 Lämmin vesi

Lämmin vesi (n. 40–45 °C) valmistetaan haihduttamon pintalauhduttimessa. Lämpimän veden valmistukseen käytetään pintalauhduttimelle virtaavaa VJH-vettä. Osa lämpimästä vedestä hyödynnetään tehtaan prosesseissa ja veden ylimäärä palautetaan pintalauhduttimen ylikaatona takaisin jäähdytysvesitorniin (2). Nykyaikaisen sellutehtaan suljetut prosessivesikierrot vähentävät lämpimän tuoreveden kulutusta merkittävästi ja usein vain 20–50 % pintalauhduttimessa syntyvästä lämpimästä vedestä voidaan hyödyntää tuotantoprosessissa. (4.)

2.4 Kuuma vesi

Tehtaan normaalin käynnin aikana kuumaa vettä (n. 75–80 °C) valmistukseen riittää prosessin sekundäärilämpö. Kemiallisen sellun valmistusprosessissa merkittäviä sekundäärilämmön lähteitä ovat esimerkiksi keittämön musta- ja pesulipeäjäähdyttimet sekä tärpättikaasun lauhdutus. Sekundäärilämmönvaihtimissa kuumaa vettä valmistukseen käytetään pääasiassa lämminvesijärjestelmän vettä. Lisäksi kuumaa vettä voidaan valmistaa haihduttamon kuumavesilämmönsiirtimessä

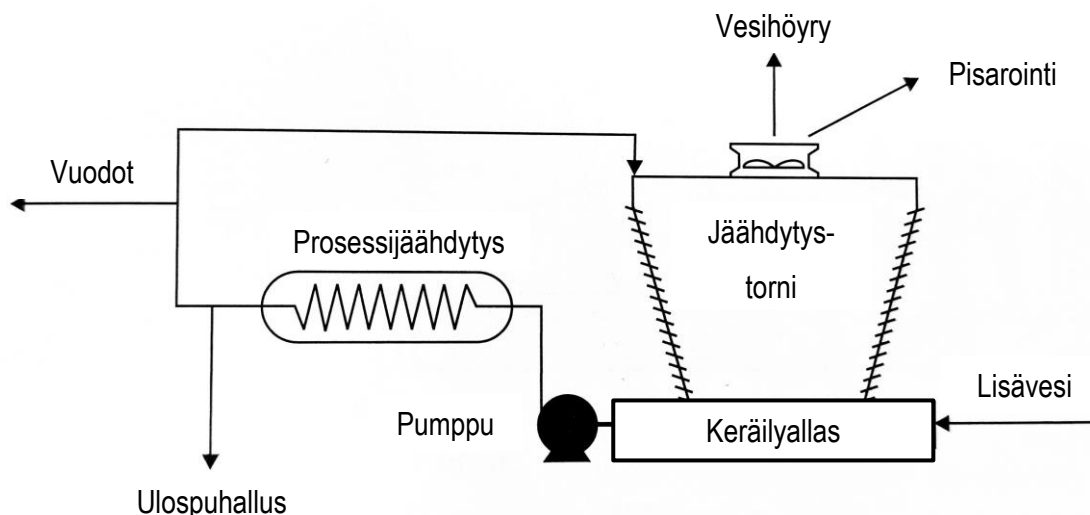
sekundäärihöyryllä tai erillisessä kuumavesijärjestelmän kuumavesilämmönsiirtimessä käyttäen tehtaan matalapainehöyryverkon tuorehöyryä. (4.)

3 TEHTAAN JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄ

Tässä insinööriyössä tehtaan vesijärjestelmän tarkastelu rajataan jäähdytysvesijärjestelmään sekä siihen välittömästi liittyviin primäärilämmönsiirtimiin. Jäähdytysvesijärjestelmän osaprosesseja ovat haihduttamon pintalauhduttimen ja apulauhduttimien jäähdytysvesikierto, tehtaan muu kylmän prosessi-, jäähdytys ja huuhteluveden jakelu sekä puhtaan jäähdytysveden keräily ja palautus jäähdytysvesitorniin. (2.)

3.1 Avoin jäähdytysvesikierto

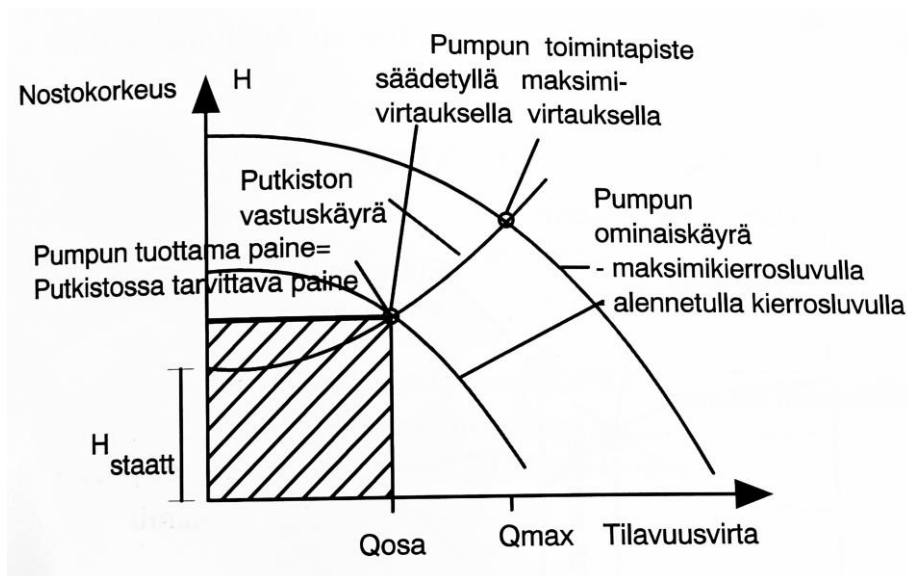
Kuvassa 3 esitetään avoimen jäähdytysvesikierron toimintaperiaate. Jäähdytysvesi pumpataan jäähdytysvesialtaasta tehtaan kylmän prosessi-, jäähdytys- ja huuhteluveden jakeluverkkoon sekä haihduttamon pintalauhduttimelle ja vastapainehöyryverkon apulauhduttimille. Jäähdytysprosessissa likaantumattomat jäähdytysvedet sekä lämmin- ja kuumavesiverkon vesiylimäärä palautetaan vedenjäähdytysprosessin kautta jäähdytysveden varstoaltaaseen. Jäähdytysvesialtaaseen on pumpattava jatkuvasti tuoretta VKE-vettä, sillä osa kiertovedestä haihtuu jäähdytysprosessissa tai käytetään tuotantoprosessiin. (2.)



KUVA 3. Avoimen jäähdytysvesikierron periaatekuva (5, s. 14.31)

3.2 Jäähdytysvesipumput

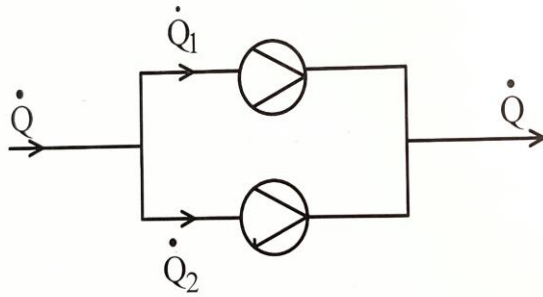
Vesijärjestelmän pumppuja valittaessa on otettava huomioon käytettävän vesiverkon suurin suunniteltu tilavuusvirta ja käyttöpaine. Pumppujen tuottaman paineen tulee kattaa jakeluputkiston painehäviöt sekä taata verkkoon kytkettäville prosessilaitteille riittävä jäähdytysvesivirta häiriöttömän toiminnan takaamiseksi. Yksi tai useampi pumppu voidaan varustaa kierroslukusäädöllä, jolloin pumppujärjestelmään yhdistettävän vesiverkon muuttuvaan kuormitukseen voidaan paremmin vastata. (6, s.140.) Kuvassa 4 nähdään kierroslukusäätöisen keskipakopumpun ominaiskäyrät ja toimintapisteet kahdella pyörimisnopeudella.



KUVA 4. Kierroslukusäätöisen keskipakopumpun toimintapisteet (6, s.143)

Tehtaan sähköenergian kulutus on suurelta osin sidoksissa erilaisiin pumppaus-, sekoitus- ja puhallinkäyttöihin. Näin ollen yksittäisenkään pumpun maksimaalista tilavuusvirtaa ja/tai nostokorkeutta ei ole järkevää tavoitella hyötysuhteen kustannuksella, vaan pumput pyritään mitoittamaan siten, että pumpun toimintapiste sijoittuu tai sitä voidaan siirtää parhaan hydraulisen hyötysuhteen alueella.

Prosessin vaatima jäähdytysvesimäärä voi vaihdella suurestikin tuotantotilanteen mukana. Vaihtelevaan tilavuusvirtatarpeeseen voidaan vastata kytkemällä kaksi tai useampi pumppu rinnan. Kuvassa 5 on esitetty yksinkertainen malli pumppujen rinnankytkennästä, missä kahdella samantyyppisellä pumpulla on yhteinen imu- ja painejohto.

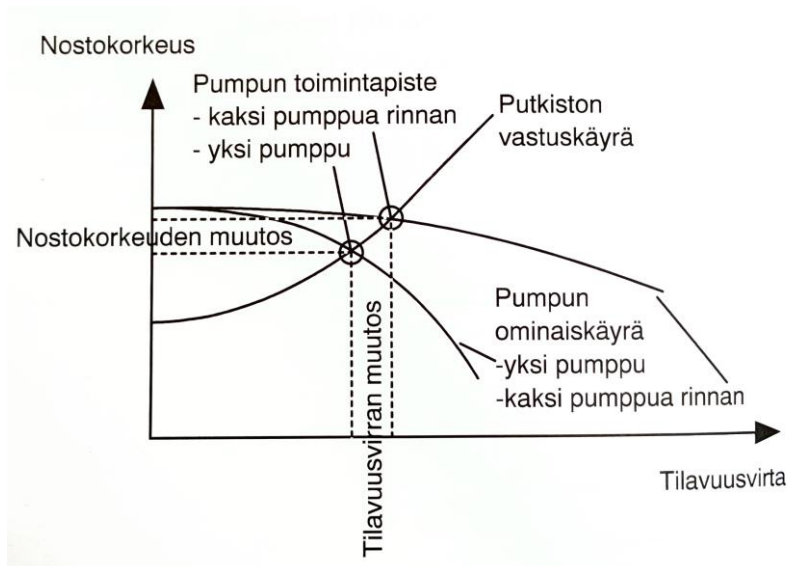


$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

$$H = H_1 = H_2$$

KUVA 5. Pumppujen rinnankytkentä (6, s. 144)

Saman ominaiskäyrän omaavat pumput toimivat rinnankytkennässä kuin yksi suurempi pumppu, jonka tuottama teoreettinen tilavuusvirta on jokaisella yksittäisen pumpun nostokorkeudella kaksinkertainen (6, s.144). Kytettäessä kaksi pumppua rinnan on tämän pumppuryhmän yhteisominaiskäyrä yksittäisen pumpun ominaiskäyriä loivempi (kuva 6). Loiva ominaiskäyrä mahdollistaa kohtuulliset muutokset tilavuusvirrassa ilman merkittävää vaikutusta pumppuryhmän nostokorkeuteen. (6, s.144.)



KUVA 6. Rinnakkain kytkettyjen keskipakopumppujen ominaiskäyrä Tilavuusvirta-Nostokorkeus kuvaajassa (6, s.144)

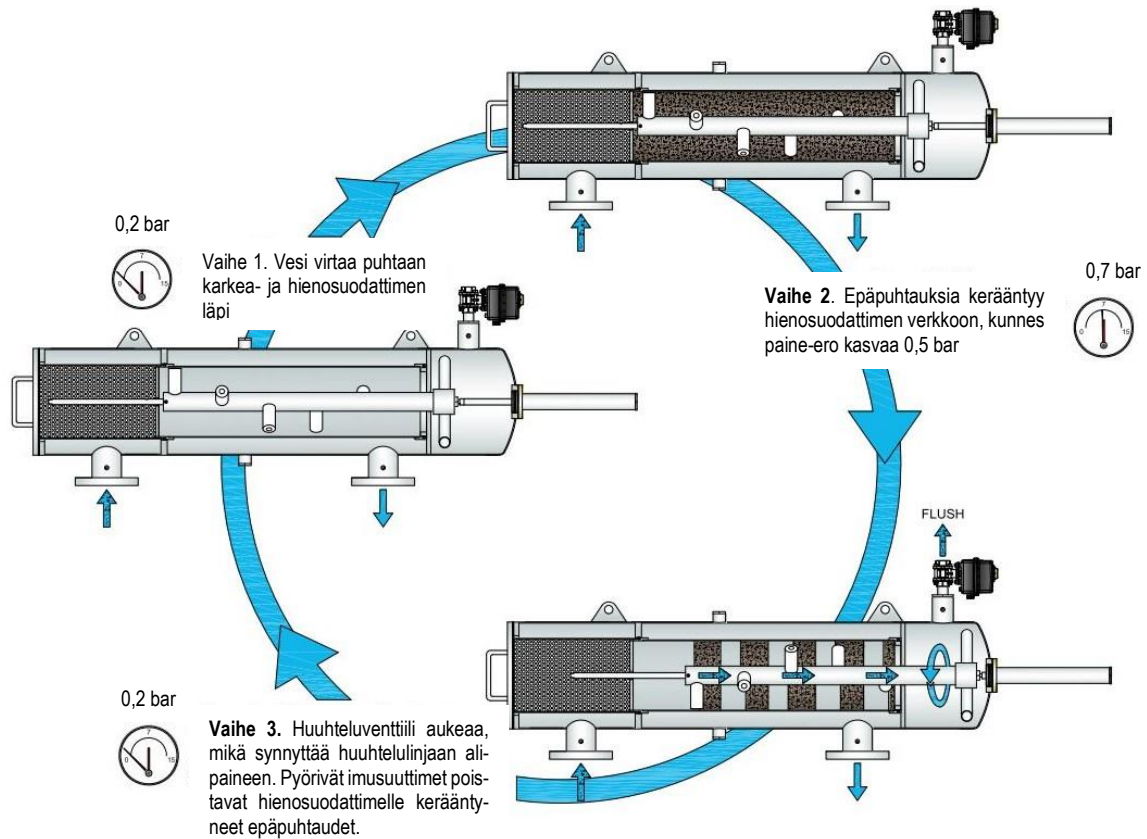
3.3 Suodatus

Jäähdytysvesitornit sijaitsevat tehdasalueella, ja sen seurauksena jäähdytysveden sekaan voi päätyä tehdasympäristölle tyypillisiä epäpuhtauksia. Kuvassa 7 nähdään jäähdytysveden keräilyaltaan karkeaseula. Jäähdytyskennostoista irronneet muovikappaleet, kuorenpalaset ja muut suuremmat epäpuhtaudet jäävät seuloihin samalla kun karkeaseulat läpäisevä VJH-vesi putoaa edelleen varsinaiseen jäähdytysvesialtaaseen.



KUVA 7. Jäähdytysveden keräilyaltaan karkeaseula

Tehdaslinjan VJH-veden eli puhtaan prosessi-, jäähdytys- ja huuhteluveden sekä pintalauhduttimesta sekundäärilämpöverkkoon pumpattavan VVL-veden pienemmät kiintoainepartikkelit poistetaan painesuodattimilla. Kuvassa 8 nähdään käytettävien painesuodattimien toimintaperiaate. Ilman suodatusta prosessiin päätyvät veden mikropartikkelit voivat aiheuttaa tukoksia ja saostumia itse vesijärjestelmään tai haittaa lopputuotteen laadulle.



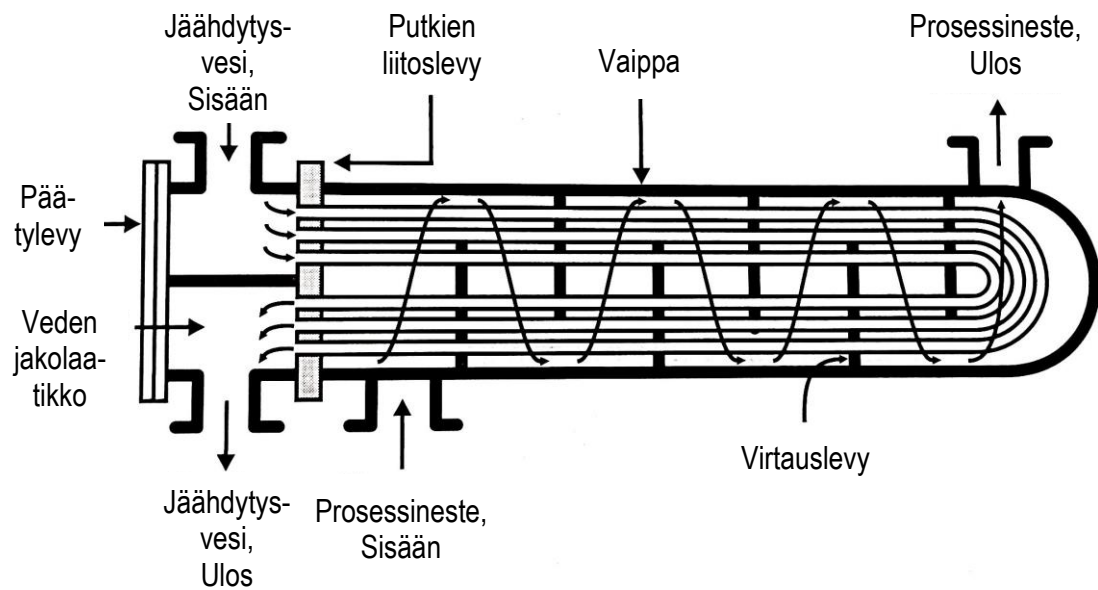
KUVA 8. Itsepuhdistuvan painesuodattimen toimintaperiaate (7)

Käytettävä suodatusluokka määräytyy prosessin vaatimusten ja VKE-veden laadun perusteella. Tyypillinen painesuodattimien erotusluokka on 50–300 mikrometriä. Tarkasteltavan prosessin tapauksessa erotusluokka on 150 mikrometriä.

3.4 Lämmönsiirtimet

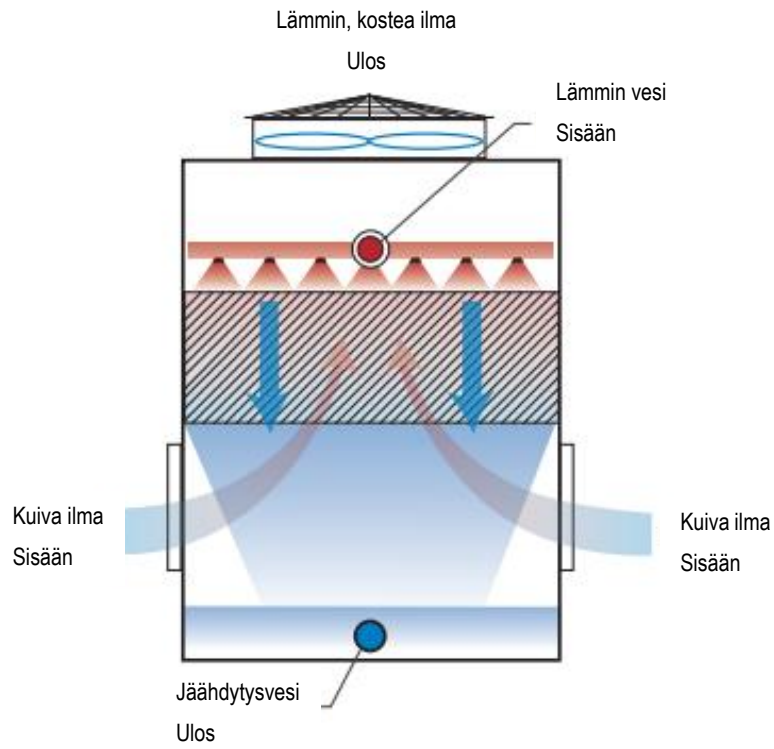
Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpöenergian spontaani siirtymissuunta on aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan ja niin kauan, että saavutetaan lämpötasapaino (8). Lämmönsiirrin on siis laite, jossa korkeamman lämpö määrän anevirrasta siirretään lämpöenergiaa kylmempään ainevirtaan. Sellutehtaan jäähdytysvesikiertoon kytketyillä lämmönsiirtimillä voidaan lauhduttaa prosessikaasuja nesteeksi, säätää prosessinesteiden lämpötiloja käyttötarkoitukseen sopivaksi tai jäähdyttää mm. prosessilaitteiden käyttökoneikkoja.

Teollisuuden sovelluksissa yleisesti käytettäviä lämmönsiirtimiä ovat erilaiset putki- tai levylämmönsiirtimet, joissa lämmönsiirto tapahtuu epäsuorasti lämmönvaihtopinnan lävitse. Kuvassa 9 nähdään jäähdytysveden ja prosessinesteen virtaus tyypillisessä putkilämmönsiirtimessä.



KUVA 9. Jäähdytysvesijärjestelmään kytketty putkilämmönsiirrin (5, s. 14.7)

Puhtaat jäähdytysvedet ohjataan jäähdytyskohteista suoraan jäähdytysveden paluulinjaan ja takaisin jäähdytystorniin. Jäähdytystorni on käytännössä lämmönsiirrin, jonka toiminta perustuu ilma- ja vesivirran suoraan kontaktiin. Osa vesivirrasta höyrystyy ilmavirtaan luovuttaen samalla siihen lämpöä. Jatkuva vesi- ja ilmavirran vuorovaikutus pyrkii saavuttamaan termodynaamisen tasapainotilan. Koska veden lämpömäärä on ilman lämpömäärää suurempi, lämpövirran suunta on vedestä ilmaan ja tästä seuraa veden jäähtyminen. Metsä Fibre Rauman tehtaan jäähdytysvesitorni koostuu kuudesta sarjaan kytketystä vastavirta-pakkokierto-tyyppisestä torniyksiköstä. (8.) Jäähdytystornin toimintaperiaate esitetään kuvassa 10.



KUVA 10. Vastavirta-pakkokierto-jäähdytystornin toimintaperiaate (9)

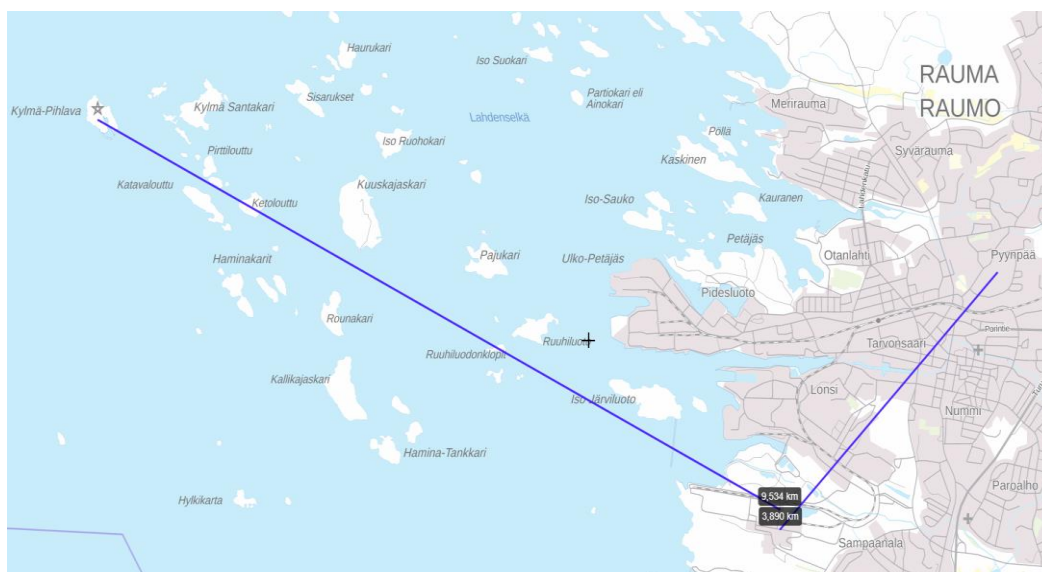
4 JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄN KAPASITEETTITARKASTELU

Tehtaan nykyisellä tuotantotasolla jäähdytysvesijärjestelmän kapasiteetin koetaan rajoittavan tehtaan tuotantoa erityisesti lämpimään vuodenaikaan. Tähän kokemukseen perustuen järjestelmän käytettävyyden ja kapasiteetin tarkastelujaksoksi valitaan 1.5.–31.8.2021. Avoimen jäähdytysvesikierron alku- ja loppupiste on tehtaan jäähdytysvesitorni. Näin ollen aloitetaan jäähdytysvesijärjestelmän kapasiteettitarkastelu jäähdytysvesitornin toimintaa arvioimalla.

4.1 Märkälämpötila

Jäähdytysvesitornin toiminta perustuu veden jäähdyttämiseen ilmavirran avulla, missä jäähdyttävän ilman kulloinenkin märkälämpötila määrittää jäähdytetyn veden lämpötilalle sen teoreettisen alarajan (10).

Tornin suorituskyvyn arvioinnissa käytettävä säädata saadaan ilmatieteenlaitoksen FMIODATA-palvelusta. Ilmatieteen laitoksella on Rauman kaupungin alueella kaksi havaintoasemaa, joista ensimmäinen sijaitsee Kylmäpihlajan majakkasaarella noin 10 km rannikosta ja toinen Pyynpään kaupunginosassa noin 3 km rantaviivasta. (11.) Metsä Fibren Rauman tehdas sijaitsee aivan rantaviivan tutumassa noin 5 km Pyynpään havaintoasemalta lounaaseen (kuva 11).



KUVA 11. Tehtaan sijainti suhteessa ilmatieteen laitoksen havaintoasemiin (12)

Meren vaikutus ilman lämpötilaan ja kosteuteen on suuri meren ympäröimällä Kylmäpihlajan havaintoasemalla, jolloin jäähdytysvesitornin toimintaolosuhteita vastaa paremmin mantereella sijaitsevan aseman havainnot. Perustetaan tarkastelu Pyynpään sääaseman tuntiseen havaintohistoriaan tarkastelujaksolla 1.5.–31.8.2021. Jäähdytysilman märkälämpötila lasketaan kaavalla 1 (13).

$$T_{dry} \times \tan^{-1}(0,1501977 \times (rh_{\%} + 8,313659)^{0,5}) + \tan^{-1}(T_{dry} + rh_{\%}) - \tan^{-1}(rh_{\%} - 1,676331 + 0,00391838) \times rh_{\%}^{1,5} \tan^{-1}(0,0231101 \times rh_{\%})) - 4,686035 \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa

T_{dry} = ilman kuivalämpötila, °C

rh = Ilman suhteellinen kosteus, %

Tuntisesta havaintohistoriasta laskettujen märkälämpötilojen kuukausittaiset minimi- ja maksimiarvot sekä koko kuukauden keskiarvo esitetään taulukossa 1.

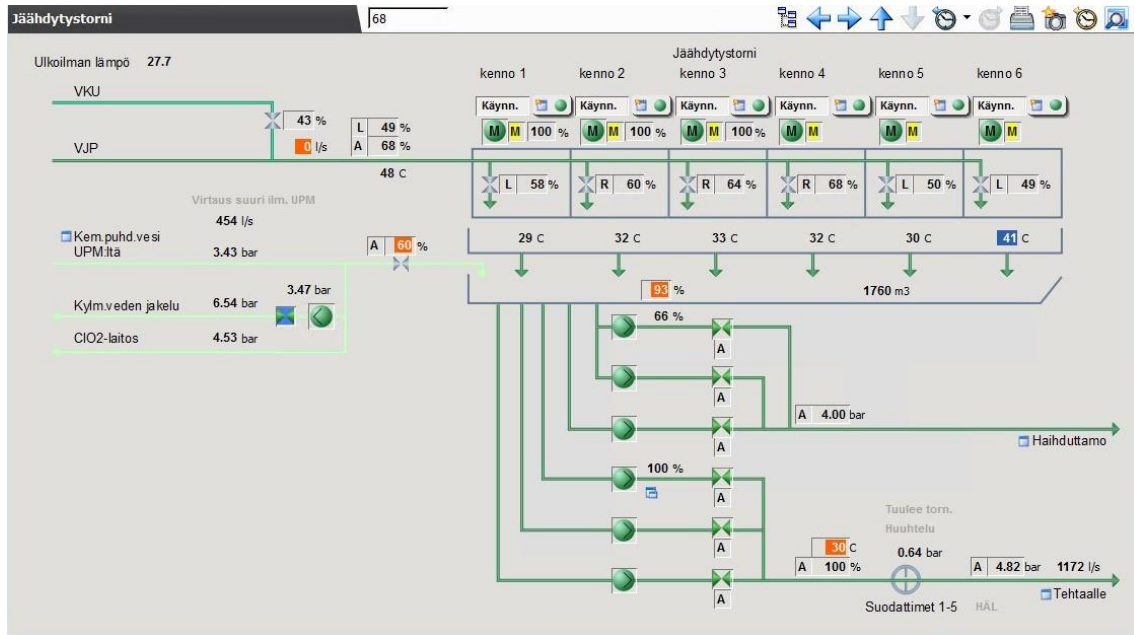
TAULUKKO 1. Ilman laskennallinen märkälämpötila Pyynpään havaintoasemalla

Märkälämpötila	MIN	MAX	AVG
toukokuu	-3,2	15,8	6,3
kesäkuu	7,3	22,1	14,2
heinäkuu	7,1	22,4	15,2
elokuu	5,3	18	12,9

4.2 Jäähdytysvesitorni

Kuvassa 12 nähdään jäähdytysornin operaattorinäyttö tehtaan prosessinohjausjärjestelmässä. Lämmenneen VJP-veden paluuvirta sekä sekundäärilämmönjakelun VKU-ylimäärä virtaa jäähdytysornin läpi VJH-veden varastoaltaaseen. Varastoaltaan tilavuus on noin 2000 m³, ja sen tehtävä on toimia jäähdytysveden kulutushuippujen reservinä sekä mahdollistaa tehtaan turvallinen alasaajo, jos lisäveden pumppaus varastoaltaaseen estyy. Kennokohtaisilla säätöventtiileillä vesivirta

pyritään jakamaan tasaisesti käytössä olevien torniyksiköiden kesken. Jäähdytystornin tarkempi virtauskaavio esitetään liitteessä 1.



KUVA 12. Jäähdytystornin prosessikaavio (14)

Laitetoimittajan ilmoittamat jäähdytysvesitornin lämmönsiirtotekniset mitoitusarvot nähdään taulukossa 2. Mitoitusarvojen mukaisissa toimintapisteissä saavutetaan vedenjäähdytysprosessin paras kokonaishyötysuhde.

TAULUKKO 2. Jäähdytystornin lämmönsiirtotekniset mitoitusarvot (8)

		KESÄ	TALVI
Vesivirta norm./max.	l/s	1800/2400	1300/1950
Lämpökuorma (norm./max))	MJ/s	189/252	141/212
Vesi sisään (min./max.)	°C	45/49	40/46
Vesi, ulos	°C	24	20
Märkälämpötila	°C	19	-32
L/G	kg/kg	1,002	-
Puhallinteho	kW	735	-

Vuonna 1996 käyttöönotetun tuotantolaitoksen jäähdytysvesijärjestelmän pääkomponentit on mitoitettu vastaamaan laitoksen alkuperäisen tuotantotason vaatimuksia. Järjestelmän kapasiteettia on sittemmin nostettu tuotannon ja lämpökuorman kasvettua nykyiselle tasolle. Jäähdytysvesitorni käsittää nykyisellään kuusi torniyksikköä alkuperäisen neljän sijasta ja pumppauskapasiteettia on niin ikään kasvatettu vastaamaan nykyisen prosessin vaatimuksia. Alkuperäisen putkistosuunnitelun mukainen putkistoinstrumentointi perustuu suurelta osin vain paikallisiin paine- ja lämpötilamittauksiin sekä tiettyjen paikallismittausten välille rakennettuihin säätöpiireihin. Säätöpiirien sähköiset kytkennät ja sijainti prosessissa esitetään liitteessä 1.

4.2.1 Lämmönsiirron energiatase

Jäähdytystornin toimiessa suunnitellulla tavalla jäähdytettävän veden lämpöenergiamäärä laskee suhteessa jäähdyttävän ilmavirran lämpöenergiamäärän kasvuun. Vakaassa tilassa toimivan jäähdytysvesitornin energiatase esitetään kaavassa 2.

$$\Phi_{hw} + \Phi_{a,in} + \Phi_{w,makeup} = \Phi_{cw} + \Phi_{a,out} \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa

Φ_{hw} = kuuman veden lämpöenergiavirta, kJ/s

$\Phi_{a,in}$ = imuilman lämpöenergiavirta, kJ/s

$\Phi_{w,makeup}$ = lisäveden lämpöenergiavirta, kJ/s

Φ_{cw} = kylmän veden lämpöenergiavirta, kJ/s

$\Phi_{a,out}$ = poistoilman lämpöenergiavirta, kJ/s

4.2.2 Prosessin lämpökuorma

Todellisesta tuotantoprosessista jäähdytysveteen siirtyvä lämpökuorma voi vaihdella suurestikin. Tehtaan vakaalla käynnillä primääri- ja sekundäärihöyryn lauhdutus vastaa noin 70 %:a prosessin koko lämpökuormasta. Viimeinen kolmannes muodostuu prosessikemikaalien, -kaasujen ja -jätevesien jäähdytyksestä. (15.) Prosessin lämpökuorma jäähdytysveteen lasketaan kaavalla 3.

$$\Phi_p = \frac{\dot{m}_{cw} \cdot C_p \cdot \Delta T}{1000}$$

KAAVA 3

jossa

Φ_p = prosessin lämpökuorma, MW

\dot{m}_{cw} = jäähdytysveden massavirta, kg/s

C_p = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg°C

ΔT = jäähdytysveden lämpötilamuutos, °C

4.2.3 Kuuma prosessi

Materiaaliteknisistä syistä jäähdytysveden paluulämpötila jäähdytystorneille on pyrittävä pitämään alle 50 °C:ssa. Käytäntö on osoittanut prosessiin palaavan VJH-veden maksimilämpötilaksi noin 30 °C. VJH-veden lämpötilan nousu tätä korkeammalle aiheuttaa ongelmia prosessin käyntivarmuuden kannalta kriittisten laitteiden jäähdytykselle. Jäähdytysveden lämpötilan hallitsemiseksi voidaan joutua tilanteeseen, jossa VKU-veden ja/tai matalapainehöyryn suoraa ulospuhallusta on lisättävä ja kriittisten prosessilaitteiden jäähdytys turvattava tilapäisellä lisäjäähdytyksellä. (16.)

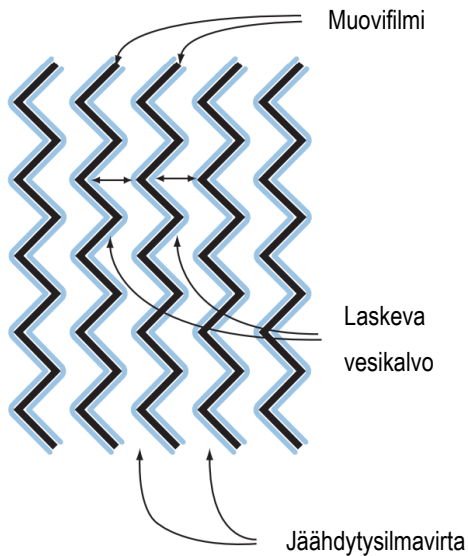
VKU-veden ja höyryn ulospuhallus lisää VKE-veden virtausta jäähdytysveden varastoaltaaseen. Jäähdytysvesijärjestelmän lisävesi valmistetaan pintavedestä, jolloin sen lämpötila vaihtelee vuodenajasta ja ilman lämpötilasta riippuen. Lisäveden keskilämpötila kohoaa heinäkuussa jopa +25 °C:een ja tällöin lisäveden vaikutus kiertoveden lämpötilaan käy lähes merkityksettömäksi (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Ilman, lisäveden ja jäähdytysveden keskilämpötilat tarkastelujaksolla

	Ilma (°C)	VKE-vesi (°C)	VJH-vesi (°C)
toukokuu	9	17	23
kesäkuu	18	24	27
heinäkuu	20	25	27,5
elokuu	15,5	22	26,5

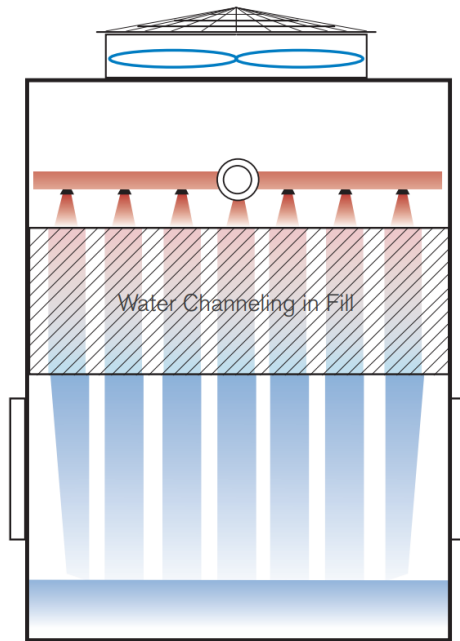
4.3 Höyrystymislämmönsiirto

Tehokas höyrystymislämmönsiirto edellyttää koko käytettävissä olevan lämmönvaihtopinta-alan hyödyntämistä. Vesivirta hajotetaan ennen jäähdytyskennoja tähän tarkoitukseen sopivilla suuttimilla, jolloin jäähdytyskennoston lämmönsiirtopinnoille muodostuu ohut laskeva vesikalvo ja jäähdyttävä ilmavirta pääsee suoraan kontaktiin jäähdytettävän vesivirran kanssa. (Kuva 13.)



KUVA 13. Ilman ja veden virtaus jäähdytyskennossa (17)

VJP-veden virtaus takaisin jäähdytysvesitorniin tapahtuu painovoimaisesti ilman erillistä paineenkorotusta, jolloin riittävä läpivirtaus on edellytys suuttimien tehokkaalle toiminnalle. Laitetoimittaja ilmoittaa kennokohtaiseksi minimivirtaukseksi noin 300 l/s. (2). Pienemmällä virtauksella suuttimien toiminta voi häiriintyä, mikä lisää vesivirran kanavoitumista. Virtauksen kanavoituminen heikentää veden ja ilman suoraan kontaktiin perustuvaa lämmönsiirtoa sekä vähentää lämmönsiirtoon käytettävää pinta-alaa. (Kuva 14.)



KUVA 14. Riittämätön läpivirtaus johtaa vesivirtauksen kanavoitumiseen (18)

Jäähdytystornin lämmönsiirtoprosessissa osa jäähdytysvesivirrasta höyrystyy. Jäähdytetyn veden todellinen massavirta jäähdytysveden varastoaltaaseen onkin torneille saapuvaa massavirtaa pienempi. Höyrystymislämmönsiirron osuus kokonaislämmönsiirrosta ja sen myötä jäähdytysveden höyrystymishäviö vaihtelee suuresti jäähdyttävän ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutuksesta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää höyrystymislämmönsiirron osuutena 85 % lämpimän vuodenajan kokonaislämmönsiirrosta. Höyrystymishäviötä voidaan arvioida kaavalla 4. (7, s. 14.39)

$$\dot{m}_e = \frac{f \times \dot{m}_{hw} \times \Delta T_R \times C_p}{\lambda}$$

KAAVA 4

jossa

\dot{m}_e = höyrystymishäviö, kg/s

\dot{m}_{hw} = kuumavesivirta, kg/s

f = höyrystymishäviökerroin

ΔT_R = lämmönsiirtoalue, °C

C_p = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg°C

λ = veden ominaishöyrystymislämpö NTP-olosuhteissa, 2300 kJ/kg

Höyrystymishäviön osuus jäähdytysveden kokonaismassavirrasta jää verrattain pieneksi 3–5 %:iin, jolloin jäähdytystornin lämmönsiirtoteho tarkastelun kannalta riittävällä tarkkuudella voidaan laskea kaavalla 5.

$$\dot{Q}_{out} = \frac{\dot{m}_{hw} \times C_p \times \Delta T_R}{1000} \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

\dot{Q}_{out} = jäähdytystornin lämmönsiirtoteho

\dot{m}_{hw} = kuumavesivirta, kg/s

C_p = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg°C

ΔT_R = lämmönsiirtoalue, °C

4.3.1 Lämmönsiirtoalue

Lämmönsiirtoalueella tarkoitetaan lämpötilaeroa prosessissa lämmenneen VJP-veden ja jäähdytetyn VJH-vesivirran välillä ja se määräytyy yksinomaan jäähdytettävästä prosessista jäähdytysveteen siirtyvän lämpökuorman perusteella. Itse jäähdytystornin toiminta vaikuttaa vain vedenjäähdytysprosessissa tapahtuvan höyrystymislämmönsiirron asteisuuteen. Vakioidulla jäähdytysveden virtauksella jäähdytysveden lämpötila nousee suoraan verrannollisesti veteen siirtyvään lämpömäärään nähden. (19.) Lämmönsiirtoalue lasketaan kaavalla 6.

$$\Delta T_R = T_{hw} - T_{cw} \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

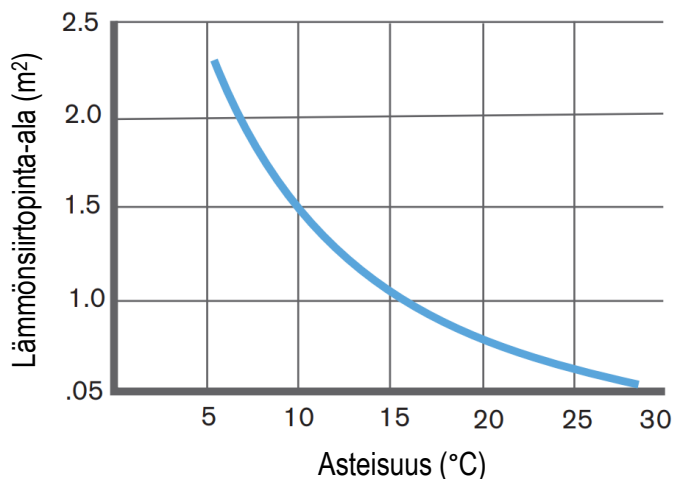
ΔT_R = lämmönsiirtoalue, °C

T_{hw} = kuuma vesi, °C

T_{cw} = jäähdytetty vesi, °C

4.3.2 Asteisuus

Vastavirta-pakkokierto-tyyppisen jäähdytystornin toiminta vastaa termodynaamisesti tarkasteltuna vastavirtalämmönsiirintä. Jäähdytysvesitornin tapauksessa lämmönsiirron asteisuudella tarkoitetaan lämpötilaeroa jäähdytetyn veden jäähdyttävän ilman märkälämpötilan välillä. Merkittävimmät asteisuuteen vaikuttavat tekijät ovat jäähdytettävän veden lämpökuorma, jäähdytyskennojen lämmönsiirtopinta-ala sekä jäähdyttävän ilman massavirta. Asteisuus on suoraan verrannollinen lämpökuormaan ja kääntäen verrannollinen lämmönsiirron pinta-alaan sekä jäähdytysilman massavirtaan. Yleisesti ei olekaan taloudellisesti järkevää tavoitella alle 5 °C asteisuutta, sillä lämmönsiirtoon käytettävän pinta-alan tulee kasvaa lähes kääntäen verrannollisesti lämmönsiirron asteisuuteen nähden (kuva 15). (10.)



KUVA 15. Tornin kokoluokan ja lämmönsiirron asteisuuden verrannollisuus (10)

Yleinen jäähdytysvesitornin toimintaan liittyvä väärinkäsitys on ajatella jäähdytysvesitornin suorituskyvyn perustuvan saavutettavaan lämpötilaeroon kuumen ja jäähdytetyn vesivirran välillä. Todellisuudessa tämä lämpötilaero on riippumaton itse jäähdytystornin toiminnasta ja määräytyy yksinomaan jäähdytettävän prosessin lämpökuorman perusteella. Näin ollen jäähdytystornin suorituskyvyn jäähdytettävän prosessin näkökulmasta määrittää lämmönsiirron asteisuus, joka on suoraan verrannollinen prosessin lämpökuormaan (kaava 3). (10.) Jos jäähdytystorni ei yllä mitoitusarvojen mukaiseen suorituskyvyn, lämmönsiirron asteisuus kasvaa.

Asteisuus voi olla mitoitusarvoa suurempi tornin moitteettomasta toiminnasta huolimatta, sillä jäähdytysprosessin todelliset toimintaolosuhteet vastaavat harvoin mitoitusolosuhteita. Lisäksi kylmään

vuodenaikaan asteisuus on pidettävä huomattavan suurena jäätymisvaaran takia (taulukko 2). Asteisuuden kasvaessa jäähdytetyn veden lämpötila nousee (kuva 16). (10.) Asteisuus lasketaan kaavalla 7.

$$\Delta T_A = T_{cw} - T_{wb}$$

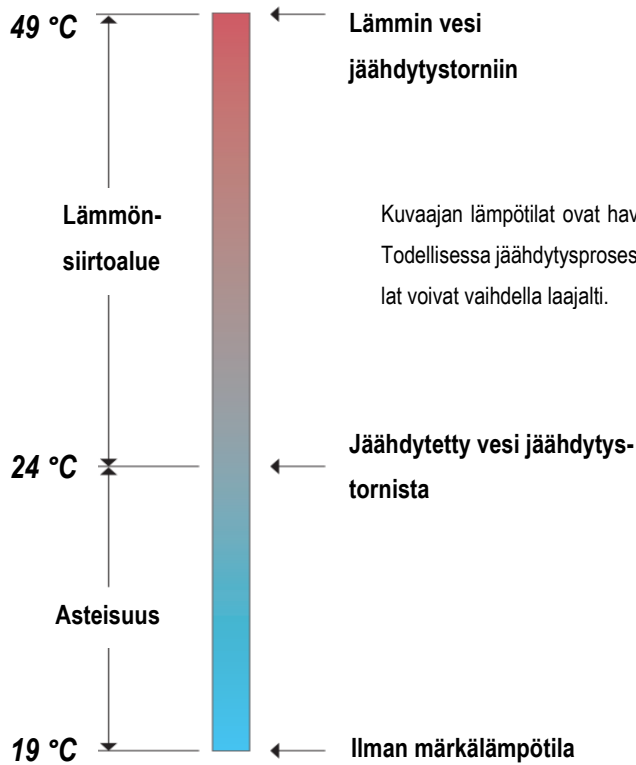
KAAVA 7

jossa

ΔT_A = lämmönsiirron asteisuus, °C

T_{cw} = jäähdytetyn veden lämpötila, °C

T_{wb} = jäähdytysilman märkälämpötila, °C



KUVA 16. Esimerkkitapaus jäähdytystornin lämpötiladiagrammista (10)

4.3.3 Hyötysuhde

Teoreettisessa lämmönsiirtoprosessissa jäähdytetyn veden lämpötila vastaa jäähdyttävän ilman märkälämpötilaa. Pakkokiertoisen jäähdytysvesitornin todellinen hyötysuhde lasketaan kaavalla 8.

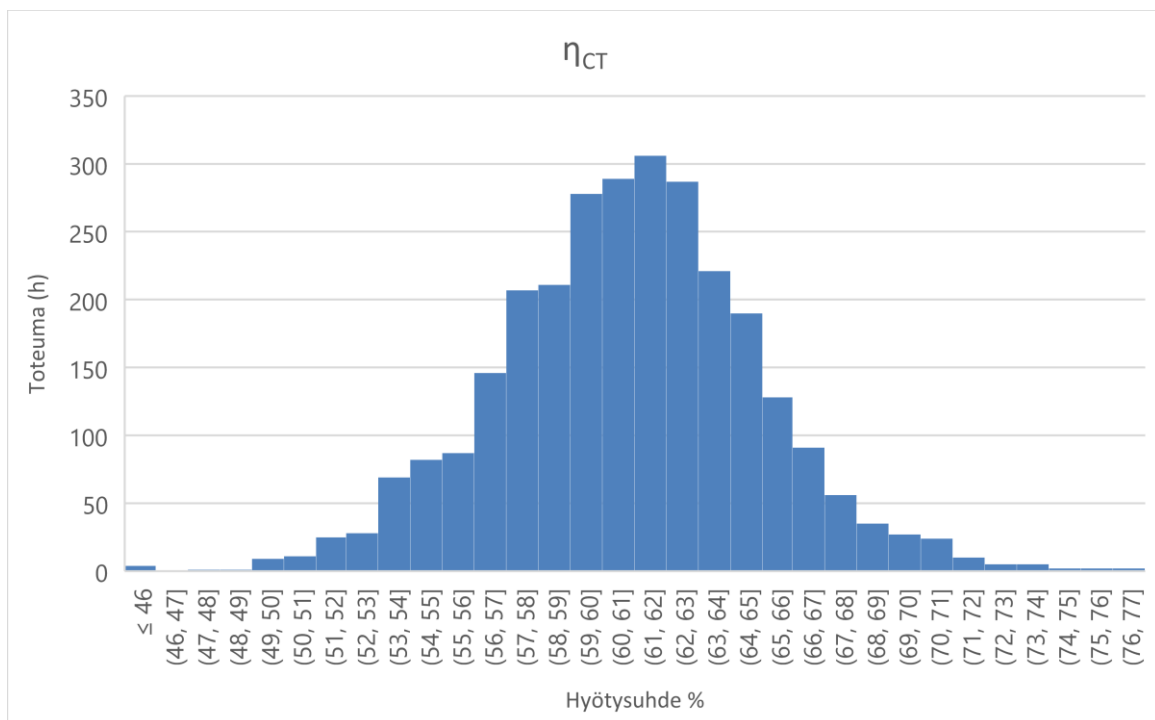
$$\eta_{CT} = \frac{\Delta T_R}{(\Delta T_R + \Delta T_A)} \times 100$$

KAAVA 8

Toimiessaan mitoitusolosuhteitaan vastaavassa toimintapisteessä jäähdytysprosessi saavuttaa parhaan hyötysuhteensa. Sijoittamalla taulukossa 2 ilmoitettavat mitoitusarvot kaavaan 8 saadaan jäähdytystornin todellisen hyötysuhteen maksimiarvoksi:

$$\eta_{CT} = \frac{25 \text{ °C}}{(25 + 6) \text{ °C}} \times 100 = 80,645 \approx 81 \%$$

Jäähdytystornin toteutunut tuntinen hyötysuhde lasketaan tarkastelujaksolla ja luodaan tulosten pohjalta hyötysuhteen histogrammi (kuva 17). Havaitaan keskiarvoisen hyötysuhteen asettuvan vaihteluvälille 60–62 %.



KUVA 17. Jäähdytysprosessin toteutunut hyötysuhde tarkastelujaksolla.

4.3.4 L/G-suhde

L/G-suhteella tarkoitetaan jäähdytysveden massavirran suhdetta jäähdytysilman massavirtaan. Lämmönsiirron tasapainotilassa jäähdyttävän ilman lämpöenergiämäärän kasvu vastaa jäähdytet-

tävän veden lämpöenergiamäärän laskua kaavassa 2 esitetyn energiataseen mukaisesti. Näin olen lämmönsiirron L/G-suhde saadaan, kun jäähdytysveden massavirta jaetaan jäähdytysilman massavirralla (kaava 5). (5, s. 30.4.)

$$L/G = R/F_{air}$$

KAAVA 9

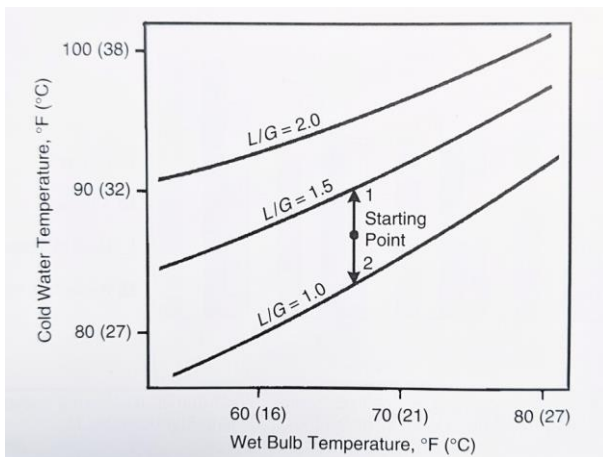
jossa

L/G = jäähdytysveden ja jäähdytysilman massavirtasuhde

R = jäähdytysveden massavirta, kg/s

F_{air} = Jäähdytysilman massavirta, kg/s

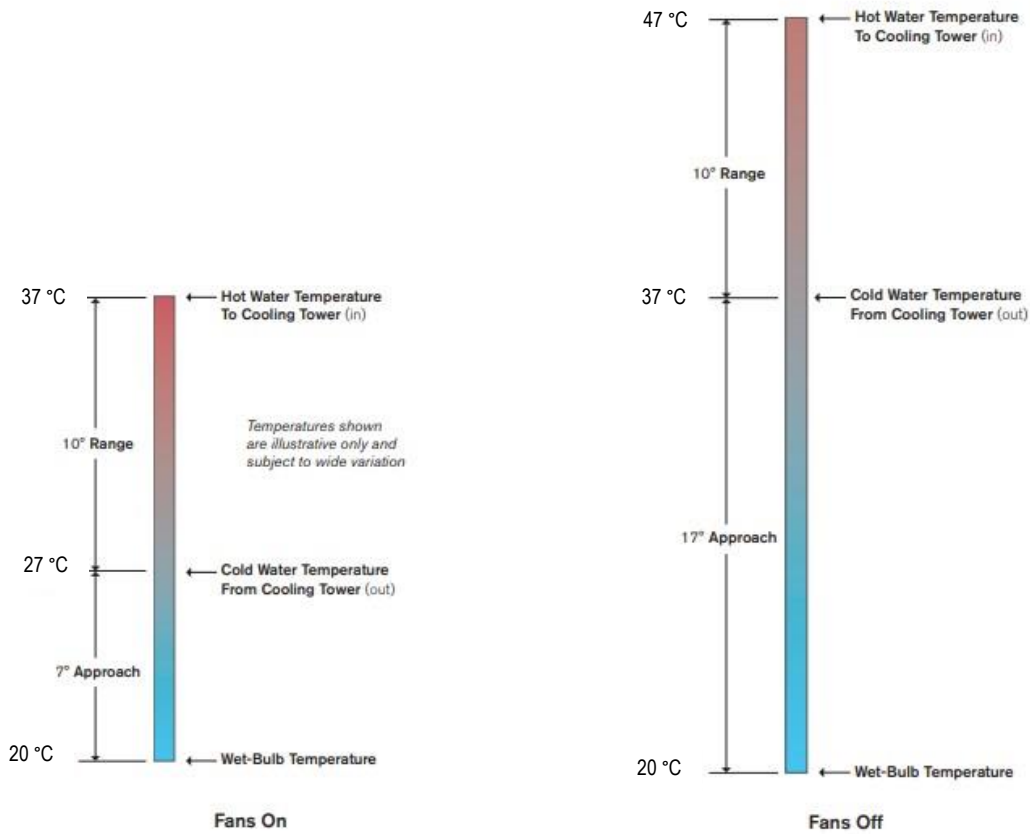
Kuvassa 18 nähdään kuinka L/G-suhteen muutos vaikuttaa lämmönsiirron asteisuuteen. Yksinomaan veden virtausta lisäämällä L/G-suhde kasvaa, jolloin kokonaislämmönsiirto ja sen myötä lämmönsiirtoalue ΔT_R pienenee samalla kun lämmönsiirron asteisuus kasvaa. Yksinomaan ilmapirtausta kasvattamalla L/G-suhde laskee, jolloin lämmönsiirron asteisuus pienenee ja jäähdytetyn veden loppulämpötila laskee. Huomionarvoista on, että lämpökuorman pysyessä muuttumattomana ilmavirran kasvattaminen vaikuttaa vain lämmönsiirron asteisuuteen. (5, s. 30.4.)



KUVA 18. Vesi/Ilma -suhteen vaikutus jäähdytetyn veden lämpötilaan (5, s. 30.5)

Kuvan 19 lämpödiagrammit kuvaavat tilannetta, jossa jäähdytystornin puhaltimet sammutetaan prosessin lämpökuorman pysyessä muuttumattomana. Lämpödiagrammeista voidaan havaita lämmönsiirtoalueen pysyvän muuttumattomana, mikä tarkoittaa vedestä ilmaan siirtyvän lämpömäärän (kokonaislämmönsiirron) säilymistä ennallaan. Ilman pakkokierron katkaiseminen johtaa siis vain

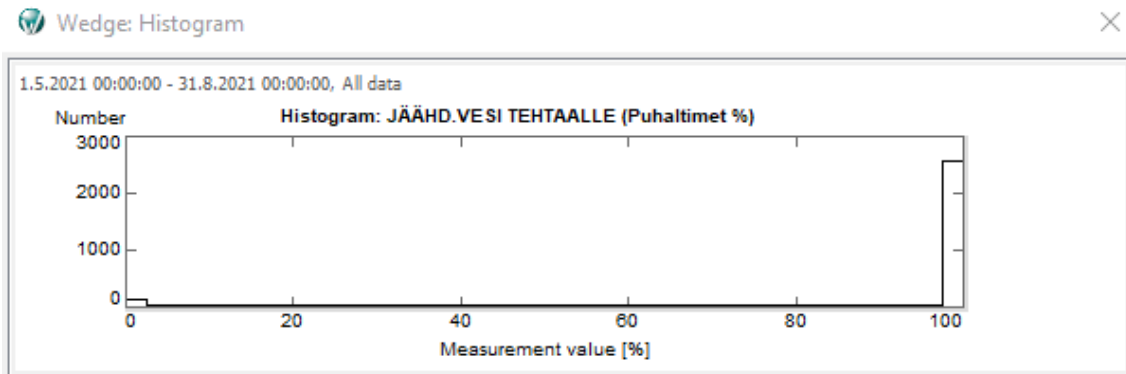
lämmönsiirron asteisuuden kasvamiseen. Jäähdytetyn veden lämpötilan kohoaa, kunnes saavutetaan termodynaaminen tasapainotila korkeammalla lämmönsiirron asteisuudella. (19.)



KUVA 19. Jäähdytystornin lämpödiagrammin muutos, kun puhaltimet sammutetaan (19)

Jäähdytystornin kuudesta puhaltimesta kolmen nopeutta voidaan portaattomasti säätää. Puhaltimien nopeusohje tulee VJH-veden lämpötilan säätöpiiriltä 68A1068-TC (liite 1). Säätöpiiri lisää puhaltimien nopeutta asteittain VJH-veden lämpötilan lähestyessä asetusarvoa 22 °C. Lämpötilan

ylittäessä asetusarvon pyörivät kaikki puhaltimet täydellä nopeudellaan. Kuvassa 20 nähdään tun-
tiseen käyntitietoon perustuva kuvaaja, jonka mukaan puhaltimien nopeusohje tarkastelujaksolla
on lähes poikkeuksetta 100 %.



KUVA 20. Jäähdytystornin puhaltimien nopeusohje tarkastelujaksolla (20)

4.4 Jäähdytysveden pumppaus

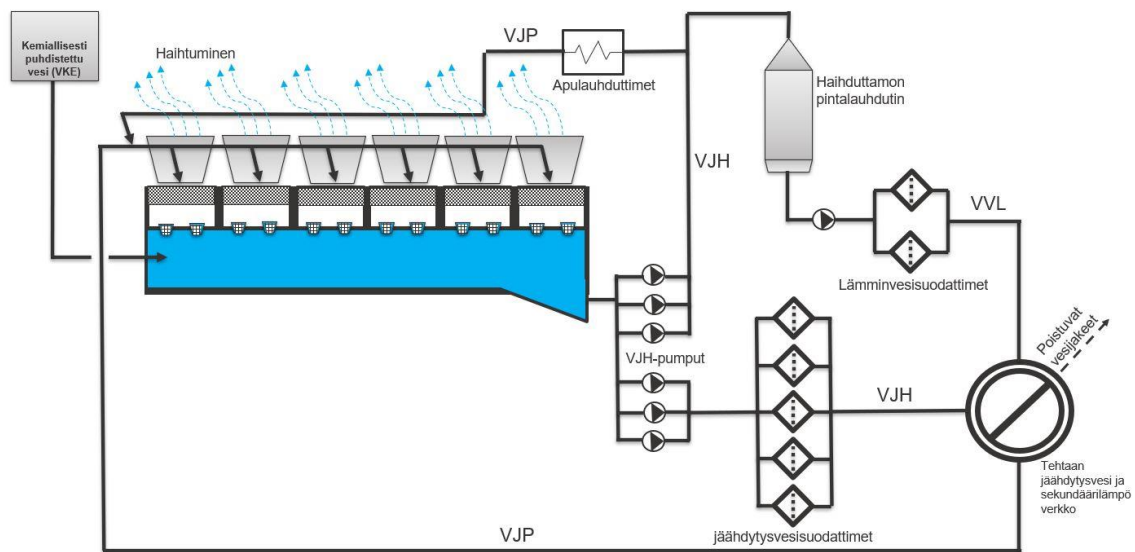
Jäähdytysvesijärjestelmän pääpumppuasemalla kuusi keskipakopumppua vastaa VJH-veden
pumppauksesta haihduuttamo- ja tehdaslinjaan (taulukko 4). Linjakohtaisissa pumppuryhmissä
kolme pumppua on kytketty rinnan. Jäähdytysvesiverkostoon pumpattava vesimäärä vaihtelee
prosessin lämpökuormasta ja VJH-veden lämpötilasta riippuen ollen yleisesti luokkaa 1,5–2,5 m³/s.
(Liite 1.)

TAULUKKO 4. Jäähdytysvesipumppujen mitoitusarvot

Pumppuryhmä	Sähkö- teho (kW)	Tehontarve (kW)	Tuotto (l/s)	Nostokorkeus (H)	Juoksupyörä (mm)
<i>Haihduuttamolinja</i>					
68P021	315	280	600	43	440
68P022	315	280	600	43	440
68P023 (säätö)	500	340	750	43	455
<i>Tehdaslinja</i>					
68P031 (säätö)	315	215	350	48	440
68P032	250	215	350	48	440
68P033	250	215	350	48	440

4.4.1 Haihduttamolinja

Haihduttamolinjan jäähdytysvesikierron pumppuryhmä käsittää vakiokierrospumput 68P021...P022 sekä kierroslukusäädöllä varustetun pumpun 68P023. Pumppuryhmä on vastuussa jäähdytysveden pumppauksesta pintalauhduttimelle ja tehtaan matalapainehöyryverkon apulauhduttimille (kuva 21).



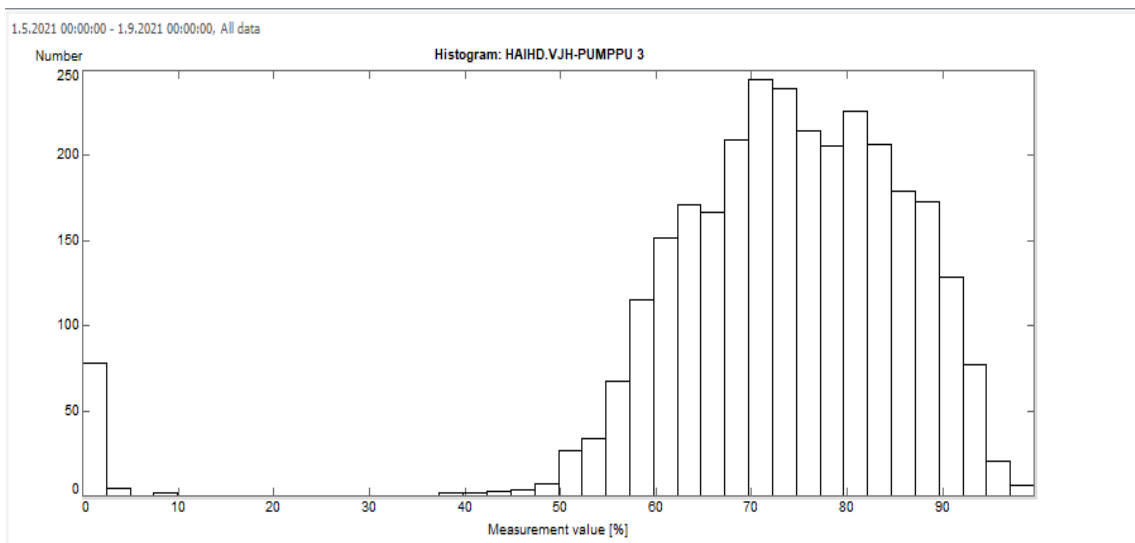
KUVA 21. Jäähdytysveden pumppaus haihduttamo- ja tehdaslinjaan

Paineensäätöpiiri 68A1067-PC mittaa jäähdytysveden painetta haihduttamolinjassa ja antaa pumpulle 68P023 nopeusohjeen paineen ylläpitämiseksi. Verkostopaineen asetusarvo on 4 bar (yp.) mitattuna pumppujen painepuolet yhdistävästä kokoomatukista. Kokoomatukki sijaitsee noin kolme metriä pumppuryhmän paineyhteiden yläpuolella. (Liite 1.)

Jäähdytysveden staattinen imukorkeus vaihtelee varastoaltaan pinnan mukaan. Jäähdytysvesialtaan pinnan asetusarvoa vastaava imukorkeus pumppujen imuyhteiden keskiakselilta mitattuna on noin 3,5 m. Näin ollen haihduttamolinjan pumpuilta vaadittava, keskimääräinen nostokorkeus on noin 40 m ja tätä nostokorkeutta vastaava maksimivirtaus noin 1900 l/s.

Vakiokierrospumppujen tuotto verkostopainetta vastaavalla nostokorkeudella on noin 1200 l/s (liite 2). Nopeusohjattava pumppu 68P023 säättää verkostopainetta kierrosalueella 1180–1490 rpm tuottaen tilavuusvirran 300–780 l/s (liite 3).

Kuvassa 22 nähdään säätävän pumpun nopeusohje tarkastelujaksolla. Tuntiseen käyntitietoon perustuva kuvaaja osoittaa pumpun nopeusohjeen olevan pääsääntöisesti 65–85 %, mikä tarkoittaa pumpun säätöalueen riittävän verkoston tarpeeseen.



KUVA 22. Nopeusohje pumpulle 68P023 (20)

4.4.2 Tehdaslinja

Tehdaslinjan pumppuryhmä käsittää haihduttamolinjan tavoin vakiokierrospumput 68P032...P033 sekä kierroslukusäädöllä varustetun pumpun 68P031. Pumppuryhmä palvelee tehtaan kylmän prosessi-, jäähdytys- ja huuhteluveden jakelua. Kierroslukusäätöisen pumpun nopeusohje tulee säätöpiiriltä 68A1061-PIC. (Liite 1.)

Paineensäätöpiiri 68A1061-PIC mittaa jäähdytysveden painetta tehdaslinjassa ja antaa pumpulle 68P023 nopeusohjeen paineen ylläpitämiseksi. Verkostopaineen asetusarvo on 5 bar (yp.) mitattuna pumppujen painepuolet yhdistävästä kokoomatukista. Kokoomatukki sijaitsee noin kolme metriä pumppuryhmän paineyhteiden yläpuolella. (Liite 1.)

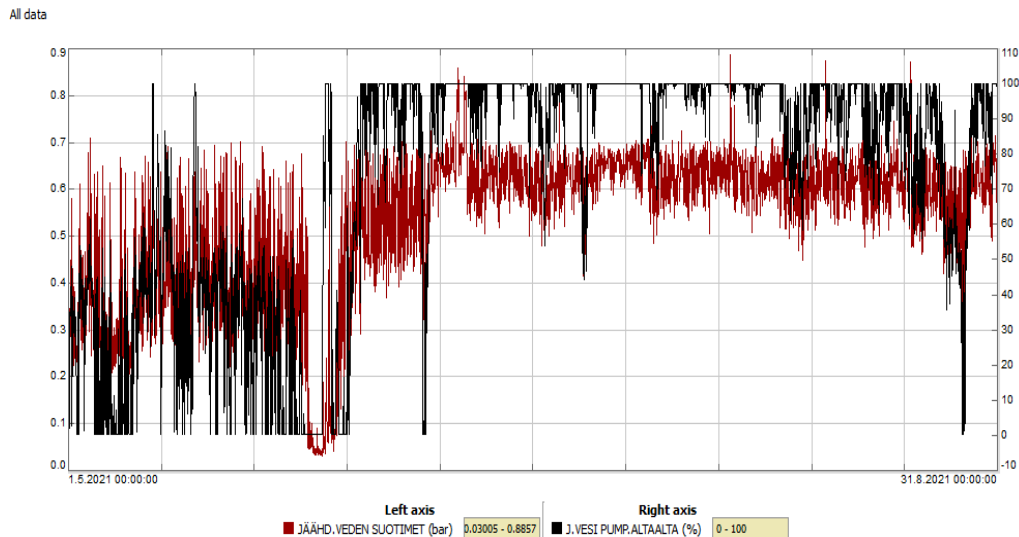
Tehdaslinjaan pumpattava jäähdytysvesi suodatetaan painesuotimilla. Suodinpatteri käsittää viisi itsepuhdistuvaa, painelinjaan rinnan kytkeytyvää Filtomat M314P suodinyksikköä. Moitteettomasti

toimivan suodattimien mitoitusvirtaus on noin 250 l/s. (Liite 4.) Käytännössä puhtaan suodatinpatteriston maksimivirtaus on noin 1050 l/s painehäviöllä 0,6 bar. Tehdaslinjan käytännön pumppauskapasiteetti on noin 950 l/s, mikä tarkoittaa, että suodatuksen kapasiteetti mahdollistaa yksittäisen suodattimen erottamisen ja kunnossapidon tehtaan normaalin käynnin aikana (taulukko 7).

Puhtaan suodatinpatteriston painehäviö on läpivirtausmäärästä riippuen noin 0,2–0,5 bar. Paineeromittaus 68A1071-PDI ohjaa suodattimien huuhtelusekvenssiä (liite 1). Huuhtelusekvenssi käynnistyy, kun paine-ero koko suodatinpatteriston yli saavuttaa paine-eromittauksen 68A1071-PDI asetusarvon 0,7 bar. Painehäviön nousu on näin ollen luokkaa 0,5 bar, mikä tarkoittaa viiden metrin lisäystä pumppuryhmältä vaadittavaan nostokorkeuteen.

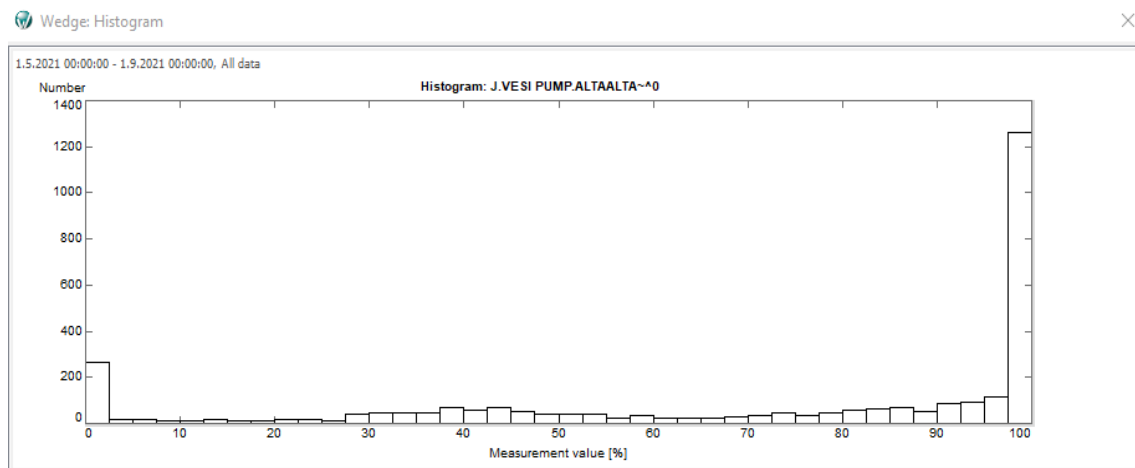
Vakiokierrospumppujen tuottama tilavuusvirta haihduttamolinjaan vaihtelee suhteessa suotimien painehäviöön, ollen luokkaa 560–680 l/s. Nopeusohjattu pumppu 68P031 pyrkii ylläpitämään asetusarvon mukaista linjan lähtöpainetta. Painetta säättävä pumpun nopeusalue on 1350–1490 rpm, joka vastaa tilavuusvirtaa 100–350 l/s (liite 6). Tehdaslinjan vakiokierrospumppujen toimintapiste keskimäärisesti vaadittavalla nostokorkeudella esitetään liitteessä 5.

Kuvassa 23 nähdään pumpun 68P031 nopeusohje sekä paine-ero painesuodattimien yli tarkastelujaksolla. Verrattaessa pumpun nopeusohjetta ja painesuotimien yli mitattavaa paine-eroa havaitaan selvä korrelaatio. Linjapainemittaukseen 68A1061-PC sisältyy laskenta, jonka tarkoitus on pitää suotimien jälkeinen linjapaine asetusarvossa 5 bar (yp.). Näin ollen pumpun 68P031 nopeusohjeeseen vaikuttaa vaadittavan tilavuusvirran lisäksi myös suodattimien tuottama painehäviö (kuva 23.)



KUVA 23. Jäähdytysvesipumppu 68P031:n nopeusohje ja paine-ero painesuotimien yli (20)

Pumpun 68P031 nopeusohjeen historiadata osoittaa pumpun toimivan miltei täydellä nopeudellaan valtaosan tarkastelujakson käyntiajastaan (kuva 24). Täydellä nopeudella pyörivä pumppu ei kykene lisäämään tehdaslinjan virtausta tilanteessa, jossa jäähdytysveden tilavuusvirran tulisi yhä kasvaa ja linjapaine alkaa laskea asetusarvostaan.



KUVA 24. Nopeusohje pumpulle P031 (20)

Linjapaineen laskiessa siihen kytkettyjen prosessilaitteiden toiminnan kannalta kriittiselle tasolle aktivoituu yksittäistä prosessilaitetta tai tuotannon osaprosessia suojaava painelukitus. Painelukituksen aktivoituminen keskeyttää suojattavan prosessin toiminnan. Materiaali- ja/tai energiavirrat yhdistävät tuotannon osaprosessit tiiviisti toisiinsa, jolloin pitkittynyt häiriötilanne yksittäisessäkin

osaprosessissa voi vaikuttaa koko tuotantoprosessiin. Häiriötilanne johtaa usein osastojen tuotantovauhdin sopeuttamiseen tai pahimmassa tapauksessa voi pakottaa koko prosessin alasajoon.

5 KAPASITEETTITARKASTELUN JOHTOPÄÄTÖKSET

Vedenjäähdytysprosessin tehokkuus ja jäähdytetyn veden pumppauskapasiteetti määrittävät suurelta osin koko jäähdytysvesijärjestelmän suorituskykyä. Näin ollen kapasiteettitarkastelu päätettiin kohdentaa näihin kahteen järjestelmän toiminnan kannalta keskeiseen osaprosessiin.

5.1 Vedenjäähdytys

Taulukon 5 arvoista huomataan VJP-virtauksen ja VJP-veden keskilämpötilan pysyneen mitoitusarvojen edellyttämällä tasolla. Vastaavasti VJH-veden lämpötila ja lämmönsiirtoalue jäivät toukokuuta lukuun ottamatta mitoitusarvoja heikommalle tasolle. Havaitaan myös VJH-veden lämpötilan nousseen ja lämmönsiirtoalueen pienentyneen samalla kun tornin hydraulinen kuorma on kasvanut.

TAULUKKO 5. Toteutunut jäähdytystornin tuntinen lämmönsiirtoalue ΔT_R ja keskimääräinen lämmönsiirtoteho ϕ_{out}

	VJP (°C)	VJH (°C)	VJP (l/s)	ΔT_R	ϕ_{out} (MW)
<i>Mitoitus</i>					
min.	49	24	1800	25	189
max.	49	24	2400	25	252
<i>Tarkastelujakso</i>					
toukokuu	47,6	23,2	1460	24,4	150
kesäkuu	48,0	26,9	1830	21,1	162
heinäkuu	47,9	27,6	1915	20,4	164
elokuu	48,2	26,6	1850	21,6	168

Jäähdytysilman lämmitessä höyrystymislämmönsiirron osuus kokonaislämmönsiirrossa kasvaa, jolloin veden ja ilman esteetön kontakti koko käytettävissä olevalla virtauspinta-alalla on edellytys täyteen jäähdytyskapasiteettiin yltämiselle. Tehdyn visuaalisen tarkastelun perusteella jäähdytyskennoissa havaittiin vesivirtauksen kanavoitumista. Virtauksen kanavoituminen heikentää ilman ja veden suoraa kontaktia vähentäen näin lämmönsiirron tehollista pinta-alaa.

Toisin sanoen virtauksen kanavoituminen nostaa jäähdytysprosessin L/G-suhdetta, jolloin jäähdytetyn veden loppulämpötila nousee. VJH-veden lämpötilan hallitsemiseksi prosessin lämpökuormaa on rajoitettava, mikä tarkoittaa tuotantovauhdin sopeuttamista tornien kokonaislämmönsiirtoa vastaavalle tasolle.

Kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti välillä -100 – +100 °C on likimain vakio 1 kJ/kg°C. Näin ollen lämmönsiirtoprosessin kulloistakin L/G-suhdetta voidaan arvioida jakamalla kuivan ilman entalpiamuutos jäähdytysveden lämpötilanmuutoksella. (Kaava 9)

$$\frac{L}{G} = \frac{h_{a,out} - h_{a,in}}{c_p \times (T_{hw} - T_{cw})} \quad \text{KAAVA 9}$$

jossa

$h_{a,out}$ = kuivan ilman ominaisentalpia, ulos, kJ/kg

$h_{a,in}$ = kuivan ilman ominaisentalpia, sisään, kJ/kg

c_p = kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/kg°C

T_{hw} = kuumen veden lämpötila, °C

T_{cw} = jäähdytetyn veden lämpötila, °C

Toinen huomionarvoinen seikka jäähdytystornin suorituskyvyssä liittyy yksittäisten kennojen hydraulisen kuorman. Kuten aiemman kapasiteettitarkastelun yhteydessä on mainittu, alle 300 l/s kennokohtainen virtaus voi heikentää suuttimien toimintaa, jolloin laskevan vesifilmin muodostuminen koko jäähdyttävälle pinta-alalle voi häiriintyä. Lisäksi jakeluputkiston ja suuttimien säännöllisellä kunnonvalvonnalla on olennainen rooli mahdollisten mekaanisten vaurioiden havaitsemisessa.

5.2 Pumppauskapasiteetti

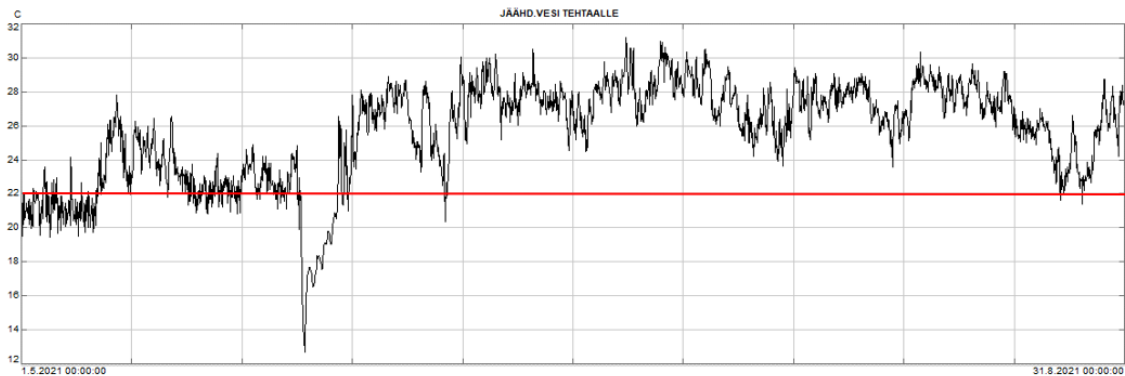
Haihduttamolinjan pumppauskapasiteetin käytyä riittämättömäksi matalapainehöyryverkon lauhduskapasiteetin noston yhteydessä lisättiin haihduttamolinjaan kolmas kierroslukusäädöllä varustettu pumppu 68P023. Nykyisen pumppuryhmän kapasiteetti on koettu riittäväksi ja tätä kokemusta

tukevat myös tämän tarkastelun tulokset. Pumpun 68P023 säädettävyys säilyi kaikissa tarkastelujakson kuormitusilanteissa ja pumppuryhmä toimi kokonaisuutena hyvällä hydraulisella hyötysuhteella. Taulukossa 6 esitetään haihduttamolinjan pumppauskapasiteetti todellisessa pumppausprosessissa. Pumppujen toimintapisteet esitetään liitteissä 2 ja 3.

TAULUKKO 6. Haihduttamolinjan pumppuryhmän kapasiteetti todellisessa pumppausprosessissa

Haihduttamolinja	Sähköteho (kW)	$\eta_{hydr.}$ (%)	Akseliteho (kW)	Tuotto (l/s)	Nostokorkeus (H)	Juoksupyörä (mm)
68P021	315	80	300	600	40	440
68P022	315	80	300	600	40	440
68P023	500	84	375	780	40	455

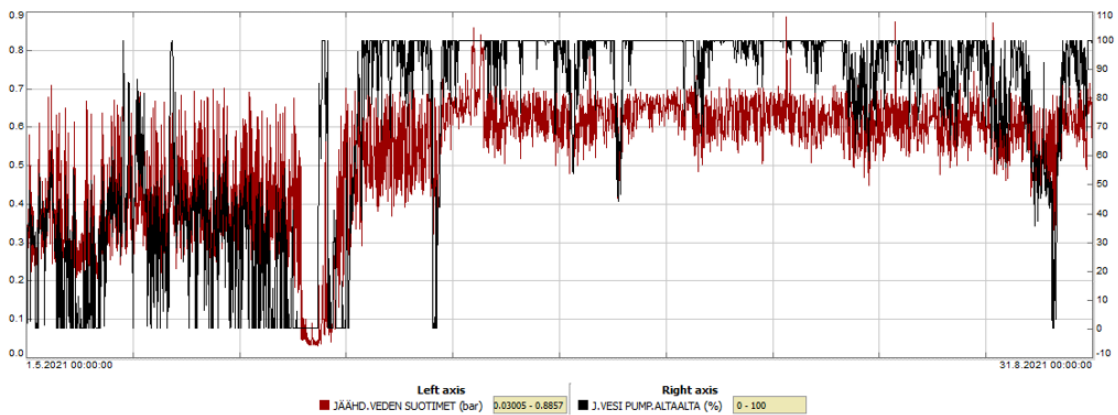
Tehdaslinjan pumppaukseen liitetyt kapasiteettiongelmat selittyvät suurelta osin järjestelmän käytettävyyteen liitettävillä ongelmilla eivätkä niinkään itse pumppauskapasiteetin riittämättömyydellä. Ensimmäinen käytettävyysongelma muodostu VJH-veden lämpötilan noustessa useamman asetusarvoaan korkeammalle tasolle (kuva 25).



KUVA 25. VJH-veden lämpötila tarkastelujaksolla suhteessa lämpötilan asetusarvoon (20)

Kuten aiemman kapasiteettitarkastelun yhteydessä on mainittu, VJP-veden paluulämpötila pyritään pitämään alle 50 °C:ssa. Prosessiin pumpattavan VJH-veden lämpötilan noustessa käytettävissä oleva ΔT_R pienenee, jolloin lämpökuorman pysyessä muuttumattomana jäähdytysveden tilavuusvirtaa on kasvettava (kaava 5). Pysyvä tilavuusvirran kasvu nostaa tehdaslinjan kierroslukusäätöisen pumpun pyörimisnopeutta ja heikentää näin sen kykyä ylläpitää linjapainetta äkillisissä kuormanmuutostilanteissa.

Tehdaslinjan painesuodattimien likaantuminen on toinen tehdaslinjan kapasiteettia rajoittava käytettävyyssongelma. Jäähdytetyn veden loppulämpötilan nousu lisää jäähdytysveden virtausta, jolloin paine-ero puhtaankin painesuodattimen yli kasvaa (liite 4). Tilavuusvirran kasvu voi kiihdyttää myös suodattimien likaantumista, jos samaan aikaan tehdasympäristön epäpuhtauksia pääsee jäähdytysveden varastoaltaaseen. Suodattimien likaantumien nostaa suodattimien keskimääräistä paine-eroa pysyvästi, jolloin linjan todellinen pumppauskapasiteetti jää huomattavasti mitoitusarvoaan heikommaksi. Kuvassa 26 nähdään tehdaslinjan kierroslukusäätöisen pumpun nopeusohje suhteessa tarkastelujaksolla mitattuun paine-eroon painesuodattimien yli.



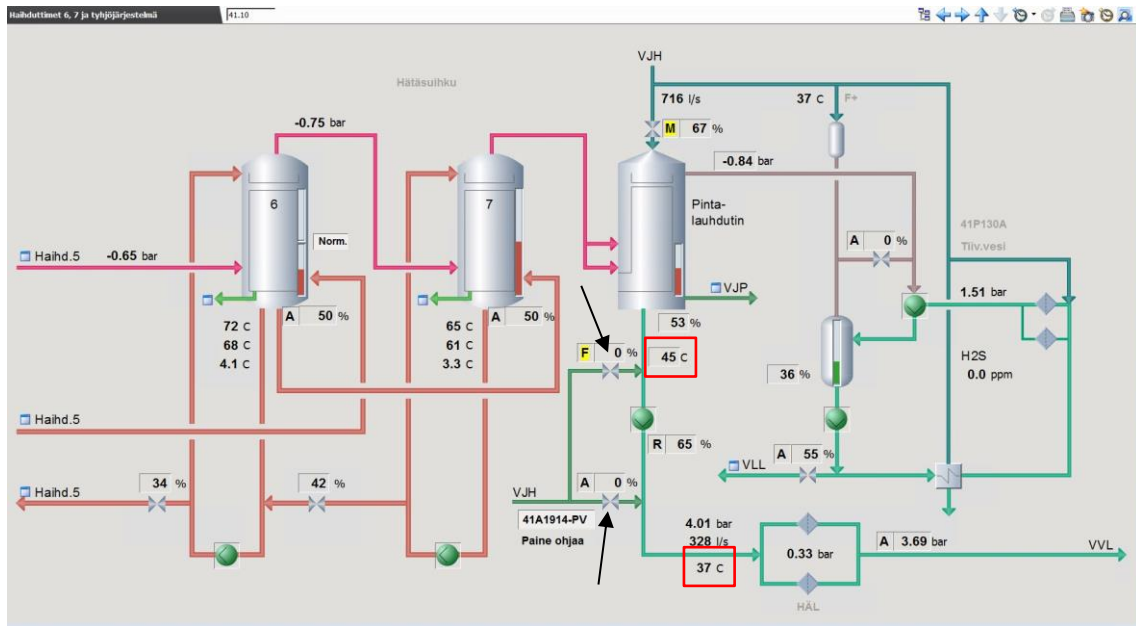
KUVA 26. Jäähdytysvesisuodattimien paine-eron vaikutus pumpun 68P031 nopeusohjeeseen (20)

Taulukossa 7 esitetään tehdaslinjan todellinen pumppauskapasiteetti keskimääräisellä painesuodattimien paine-erolla 0,5 bar ja staattisella imukorkeudella 3,5 m.

TAULUKKO 7. Tehdaslinjan pumppuryhmän kapasiteetti todellisessa pumppausprosessissa

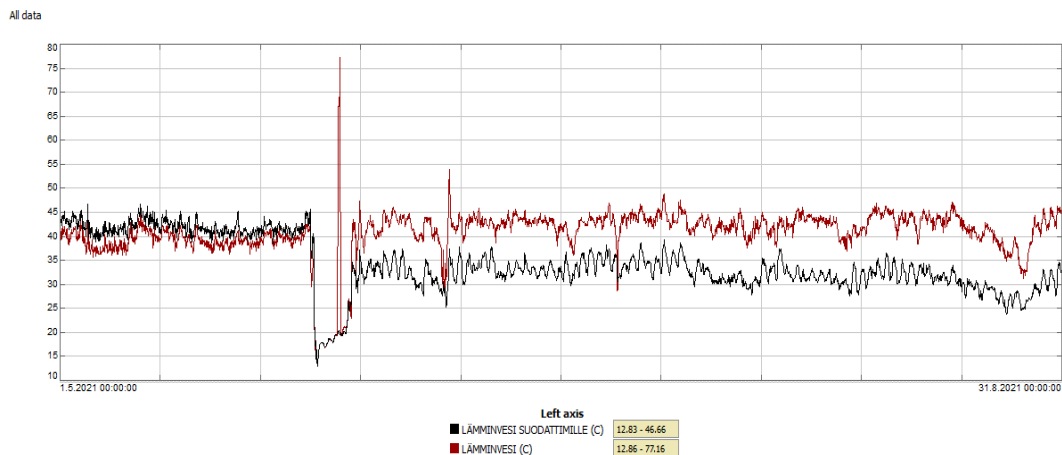
Pumppu	Sähköteho (kW)	$\eta_{hydr.}$ (%)	Akseli-teho (kW)	Tuotto (l/s)	Nosto-korkeus (H_{dyn})	Nosto-korkeus (H_{tot})	Juoksupyörä (mm)
68P031(säätö)	175	85	150	300	51,5	55	440
68P032	190	85	160	320	51,5	55	440
68P033	190	85	160	320	51,5	55	440

Kapasiteettitarkastelun lopuksi havaittiin pintalauhduttimesta pumpattavan VVL-veden lämpötilan laskeneen pumppauksen ja suodatuksen välisessä putkilinjassa normaalista poikkeavalla tavalla. Pysyvä muutos VVL-veden lämpötilaan on syntynyt välittömästi tehtaan vuosihuoltoseisakin jälkeen. Veden jäähtyminen on mahdollista vain, jos lämpimän veden linjaan sekoittuu vettä tehtaan jäähdytysvesilinjasta (kuva 27).



KUVA 27. VVL-veden jäähtyminen suodatinlinjassa (14)

Sekoittuminen on mahdollista VVL-verkon paineenpitoon tarkoitettujen säätöventtiilien vikaantumisen seurauksena, koska jäähdytysvesilinjan painetaso on VVL-linjan painetasoa korkeampi (kuva 27). Tarkastelujaksolla veden keskiarvoinen jäähtyminen linjassa oli noin 8 °C (kuva 28).



KUVA 28. VVL-veden jäähtyminen pumpun painelinjassa (20)

VVL-linjaan sekoittuvan VJH-veden osuus VVL-linjan kokonaisvirtauksesta lasketaan kaavalla 10.

$$y = \frac{h_{vvl,2} - h_{vvl,1}}{h_{vjh} - h_{vvl,1}} \quad \text{KAAVA 10}$$

jossa

y = VJH-veden osuus VVL-linjan tilavuusvirrasta, %

$h_{vvl,1}$ = VVL-veden ominaisentalpia pintalauhduuttimesta, kJ/kg

$h_{vvl,2}$ = VVL-veden ominaisentalpia suodattimille, kJ/kg

h_{vjh} = VJH-veden ominaisentalpia, kJ/kg

Saadaan VJH-veden osuudeksi VVL-linjan kokonaisvirtauksessa:

$$y = \frac{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (37 - 45)^\circ\text{C}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (30 - 45)^\circ\text{C}} = 0,53 = 53\%$$

Tarkistetaan virtauksen energiatase (kaava 11).

$$yh_{vjh} + (1 - y)h_{vvl,1} = h_{vvl,2} \quad \text{KAAVA 11}$$

$$0,53 * 126 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + (1 - 0,53) * 189 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 155,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$155,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 155,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{Ok!}$$

VVL-veden tilavuusvirran ollessa 330 l/s VVL-veteen sekoittuvan VJH-veden tilavuusvirran täytyy olla 175 l/s, mikä vastaa noin 20 % tehdaslinjan käytännön pumppauskapasiteetista. Tämä seikka vahvistaa jo aiemman johtopäätöksen siitä, että käytettävyyteen liittyvien epäkohtien ratkaisu on ensisijalla ratkaistaessa nykyisen tehdaslinjan kapasiteettiongelmaa.

6 TUNNETUT KÄYTETTÄVYYSONGELMAT

Tehdasympäristön epäpuhtauksien sekä itse jäähdytyskennomateriaalin päätyminen jäähdytysvesikiertoon aiheuttaa suurimmat haasteet jäähdytysvesijärjestelmän käytettävyydelle. Järjestelmän kapasiteetti riittää prosessin vakaalla käynnillä, vaikka järjestelmän ei ylttäisikään aivan täyteen suorituskykyynsä. Yllättävän prosessitapahtuman seurauksena jäähdytysvesijärjestelmän kuormitus voi kuitenkin kasvaa äkisti, jolloin pienikin vajuus järjestelmän kapasiteetissa voi uhata prosessin käytettävyyttä.

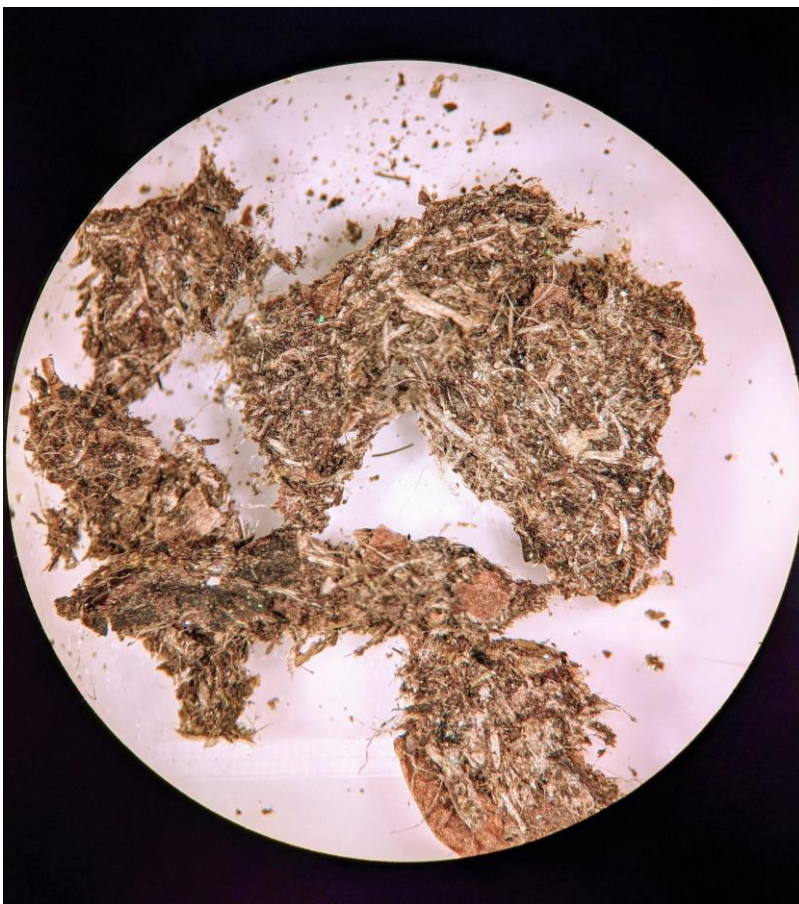
6.1 Kuoripöly

Jäähdytysvesitornien läheisyydessä sijaistaa kuoren läjitysalue. Tuule puhaltaessa kasan ylitse tornien suuntaan kuoripölyä päätyy jäähdytysveden keräilyaltaisiin. Hieno kuoripöly kulkeutuu vesivirran mukana keräilyaltaiden karkeaseuloihin ja osa edelleen jäähdytysveden varastoaltaasta painesuodattimille saakka (kuva 29.)



KUVA 29. Kuoripölystä ja jäähdytyskennomateriaalista tukkeutunut karkeaseula

Normaalissa tilanteessa painesuotimien pesusekvenssi toimii aikaohjauksella ja käynnistää itsensä kahden tunnin välein. Suodattimien nopeampi likaantuminen alistaa suodattimien pesulaitteet kovalle mekaaniselle rasitukselle, sillä toinen pesusekvenssin käynnistävä ehto on suodatinryhmän yli mitattava paine-ero. Sekvenssin käyntitiedoista selviää, että likaantumisen ollessa voimakkaimmillaan pesusekvenssi käynnistyy paine-eroon perustuen vain puolen tunnin välein. Tämä tarkoittaa viisinkertaista pesusekvenssimäärää ja rasitusta pesulaitteiston mekaanisille osille. Epäpuhtaudet, etenkin eloperäinen hienojae, tarttuu painesuotimen verkkoon aiheuttaen suotimien tukkeutumista (kuva 30).



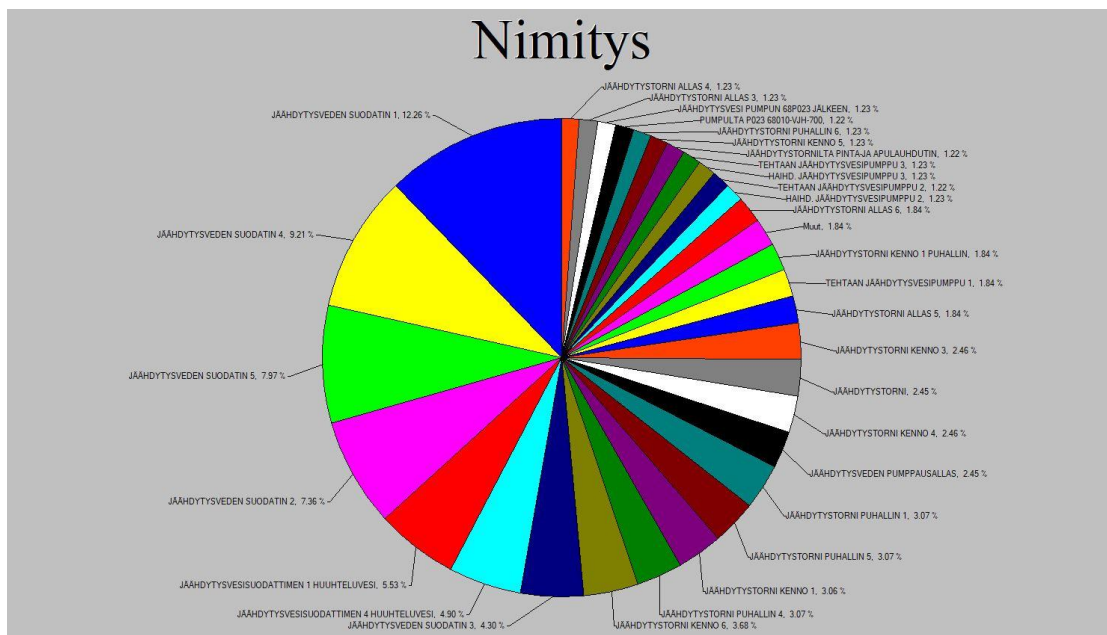
KUVA 30. Mikroskooppikuva painesuodattimeen kerääntyneistä epäpuhtauksista

Tukkeutumisen seurauksena suodattimen virtausvastus kasvaa pysyvästi, minkä vuoksi suodatinyksikkö on erotettava prosessista, avattava ja suodatin pestävä korkeapainepesurilla (kuva 31).



KUVA 31. Tukkeutunut ja osittain korkeapainepesty painesuodattimen verkko

Kuvassa 32 nähdään kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään viiden vuoden aikana tehtyjen häiriöilmoitusten ja kunnossapitopyyntöjen laitepaikkakohtaiset osuudet. Havaitaan että suoraan jäähdytysveden painesuotimiin tai välittömästi näiden toimintaan liittyviin laitteisiin kohdistuu puolet kaikista tehdyistä kirjauksista.

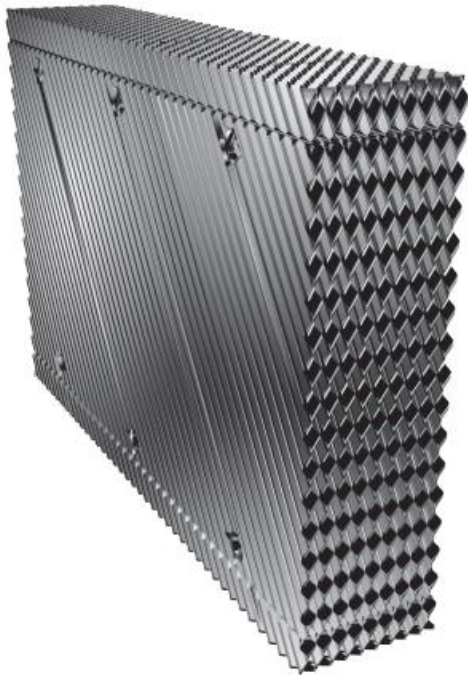


KUVA 32. Jäähdytysvesitorneilla suoritetun kunnossapidon suhteelliset osuudet viiden vuoden tarkastelujaksolla

6.2 Jäähdytyskennomateriaali

Jäähdytysvesitorneissa käytettävä kennomateriaali on lämpömuovattua PVC:tä. Ohutta muovifilmiä käyttämällä kyetään saavuttamaan suuri lämmönsiirtoon käytettävä pinta-ala suhteessa virtauskanavan tilavuuteen. (Kuva 33.) Muovikennoston tunnettuja heikkouksia ovat herkkyys lämpöolosuhteille ja veden laadulle. (17.)

Pitkäaikainen kylmä tai kuumarasitus haurastuttaa kennomateriaalia samalla kun ympäristön epäpuhtauden voivat aiheuttaa virtauskanavien tukkeutumia. Valmiiksi hauras kennomateriaali murenee helposti virtausvaihtelusta aiheutuvien paineiskujen tai talviaikaan kertyvän jäämassan seurauksena. Kennomateriaalin laaja-alainen likaantumien tai rikkoutuminen aiheuttaa ilma- ja vesivirtauksen kanavoitumista, mikä heikentää ilman ja veden suoraan kontaktiin perustuvaa haihtumislämmönsiirtoa merkittävästi. (16.)



KUVA 33. Jäähdytystorneissa käytettävä kennomateriaali Marley MC 75 (21)

7 PARANNUSEHDOTUKSET

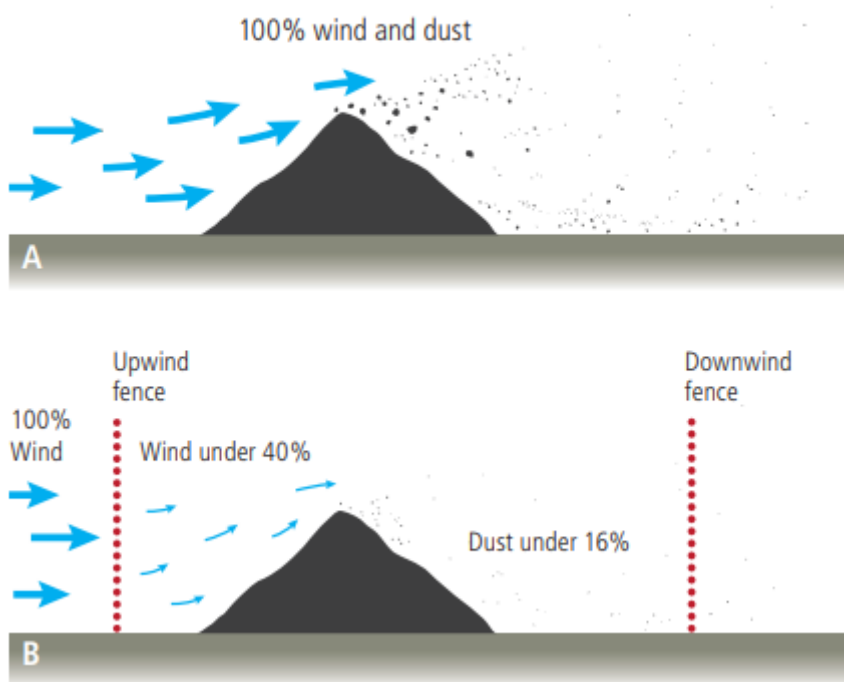
Prosessin käyntivarmuuden ja käytettävyyden turvaamiseksi on olennaista estää erilaisten ilmassa kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy tehtaan vesikiertoon. Kuoren läjitysalueen sijainti jäähdytysvesitornein läheisyydessä mahdollistaa kuoripölyn kulkeutumisen ilmavirran mukana jäähdytysveden joukkoon (kuva 34). Kuoripöly on merkittävä tekijä jäähdytysveden keräilylaitteiden karkeaseulojen sekä painesuotimien tukoksissa.



KUVA 34. Kuorenläjitysalueen sijainti suhteessa jäähdytysvesitorneihin

7.1 Tuulensuojaverkko

Paras vaikutus tuulensuojaverkosta saadaan, jos koko kuorenläjitysalue voidaan ympäröidä verkolla lastausliikenteen kulkureittiä lukuun ottamatta. Verkko sekä pysäyttää ilmavirran mukava kulkeutuvia kuoripartikkeleita että hidastaa ilmavirran nopeutta verkon jälkeen, jolloin kuoripartikkeleiden tempautuminen ilmavirtaan vähenee (kuva 35).



KUVA 35. Pölyntorjunta tuulensuojaverkolla (22)

7.2 Tuulimittari

Tuulimittarin sijoittaminen kuorikuljettimen purkupäähän ja tuulen suuntaan perustuva kuorikuljettimen käyntilupa on vaihtoehtoinen tapa vähentää kuoripölyn kulkeutumista jäähdytysvesitorneille. Tehtaan nykyisen sääaseman tuulimittaus on kytketty automaatiojärjestelmään ja se sisältää tuulen suuntaan perustuvan käyntiehdon kuorikuljettimelle. Aseman nykyinen sijainti kuljetinsillalla, tehdasalueen toisella laidalla ei anna parasta kuvaa läjitysalueen tuuliolosuhteista. Uuden tuulimittarin asentaminen kuorikuljettimen purkupäähän on siksi suositeltavaa. Mittauksesta rakennetaan yhteys automaatiojärjestelmään, jolloin haitallinen tuulen suunta ja voimakkuus laukaisee hälytyksen. Tilannearvion perusteella operaattori voi tällöin pysäyttää kuljettimen. (23.)

Kohteen käyttöolosuhteisiin sopii erityisen hyvin ultraääneen perustuva tuulimittari (kuva 36). Ultraäänimittari on miltei huoltovapaa, sillä se ei sisällä liikkuvia osia. Talvikäyttöä varten mittari voidaan varustaa lämmityksellä. (24.)



KUVA 36. Ultraäänitekniikkaan perustuva tuulimittari (24)

7.3 Suodatinyksikkökohtainen paine-eromittaus

Nykyisellään jäähdytysveden painesuodattimien tuottama painehäviö mitataan koko suodatinryhmän yli (liite 1). Yksikkökohtaisella paine-eromittauksella voidaan saavuttaa kaski selkeää etua. Ensimmäinen on pesusekvenssin tarpeenmukainen käyttö. Suodattimen likaantumismuutoksiin vaikuttaa mm. suodatinyksikön sijainti suhteessa virtaussuuntaan. Pesusekvenssejä voidaan nyt painottaa likaantuviin yksiköihin, jolloin pesulaitteiston kokonaisrasitus vähenee. Toinen yksikkökohtaisen paine-eromittauksen etu on mahdollisten laiterikkojen nopea havaitseminen, sillä pysyvästi kohonnut suodatinyksikön paine-ero voi olla merkki esimerkiksi pesulaitteen mekaanisesta vauriosta.

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tarkastella sellutehtaan jäähdytysvesijärjestelmän laitteiston toimintaa ja kapasiteettia ajanjaksolla, jolloin järjestelmän kapasiteetti tai käytettävyys on koettu riittämättömäksi tehtaan tavoitetuotantotasolle. Tarkastelu aloitettiin kokemusperäisen tiedon keräämisellä muistio-pohjaan. Esille nousseisiin seikkoihin paneuduttiin tarkemmin kirjallisia lähteitä, tehtaan sisäistä dokumentaatiota sekä prosessiautomaatiojärjestelmän keräämää historiadataa hyödyntäen.

Tehtaan jäähdytysvesijärjestelmän suorituskyky tuotantoprosessin kannalta määräytyy sen kyvyllä poistaa prosessin kulloinenkin lämpöylimäärä täysimääräisesti sekä laskea prosessiin palaavan jäähdytysveden lämpötila tasolle, jossa se ei uhkaa tuotantoprosessin kannalta kriittisten laitteiden toimintaa.

Tehdyn tarkastelun perusteella voidaan todeta nykyisen jäähdytysvesijärjestelmän kapasiteetti riittäväksi tietyin varauksin. Oikea-aikaiseen ja ennakoivaan kunnossapitoon on panostettava jäähdytysvesijärjestelmän kohteissa, joiden tunnetut käytettävyysongelmat voivat rajoittaa koko järjestelmän kapasiteettia. Käytettävyysongelmien juurisyiksi tässä työssä esitetään tehdasympäristöstä sekä itse vedenjäähdytysprosessista jäähdytysveden joukkoon päätyviä epäpuhtauksia ja jäähdytyskennokappaleita.

Tarkastelu antaa yleiskäsityksen jäähdytysvesitornin sekä haihduttamo- ja tehdaslinjan toiminnasta kesään 2021 sijoittuneella tarkastelujaksolla, jolloin pitkät hellejaksot ja lisäveden viilentävän vaikutuksen häviäminen asettavat vedenjäähdytysjärjestelmän suorituskyvylle erityisen kovat vaatimukset. Tarkastelujakson tulosten pohjalta esitettyjen parannusehdotusten avulla, kuten kuorenläjitysalueen tuulensuojauksella, voidaan puuttua jäähdytysvesijärjestelmän kapasiteetti-ongelmien juurisyihin vähentämällä kuoripölyn kulkeutumista jäähdytysvesitorniin. Näin jäähdytysjärjestelmän kapasiteetin riittävyys voidaan nykyistä paremmin taata myös haastavimmissa toimintaolosuh-teissa.

LÄHTEET

1. Metsä Fibre Oy 2020. Rauman sellutehtaan yleisesitys. Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas. Sisäinen dokumentaatio.
2. Insinööritoimisto Jaakko Pöyry 1995. Metsä-Rauma vesijärjestelmän käyttöohje. Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas. Sisäinen dokumentaatio.
3. KnowPulp v19.0 2019. Raakaveden käsittely. Hakupäivä 25.9.2021, http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/raw_materials/2_water/2_raw_water/frame.htm.
- 4.. KnowPulp v19.0 2019. Vesi- ja nestetaseet. Hakupäivä 25.9.2021, http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/balances/2_water_balances/frame.htm.
5. Nalco Company 2009. The Nalco Water Handbook. Third edition. Yhdysvallat: The McGraw Companies, Inc.
6. Huhtinen, Markku, Korhonen, Risto, Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
7. Forsta filters 2021. 180 Series – Horizontal Self-Cleaning Filters. Hakupäivä 15.9.2021, <https://www.forstafilters.com/wp-content/uploads/2014/07/180-Cycle.pdf>.
8. Insinööritoimisto Kaiko Oy 1996. Metsä-Rauma jäähdytystornin huolto- ja käyttöohje. Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas. Sisäinen dokumentaatio.
9. SPX Cooling Technologies 2018. Classifying Cooling Towers. Hakupäivä 15.9.2021, <https://dev-spx-cooling.pantheonsite.io/wp-content/uploads/AE-SK-19.pdf>.
10. SPX Cooling Technologies 2016. Cooling Tower Performance, Approach. Hakupäivä 15.9.2021, <https://spxcooling.com/library/cooling-tower-approach/>.

11. Ilmatieteen laitos 2021. Havaintojen lataus. Hakupäivä 15.9.2021, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.
12. Maanmittauslaitos 2021. Karttapaikka palvelu. Hakupäivä 25.9.2021, <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/karttapaikka>.
13. Perry weather Inc. 2021. What is Wet Bulb Temperature? Hakupäivä 25.9.2021, <https://perryweather.com/2020/04/01/what-is-wbgt-and-how-do-you-calculate-it/>.
14. Metsä Fibre Oy 2021. Valmet DNA prosessinohjausjärjestelmä. Kuvakaappaus.
15. Pöyry Finland Oy 2018. Rauman jäähdytysvesijärjestelmän ja kemiallisen veden valmistuksen tarkastelu. Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas. Sisäinen dokumentaatio.
16. Rautala, Jaakko 2021. Kehitysinsinööri. Metsä Fibre Oy Rauman tehdas. Keskustelu 1.10.2021.
17. SPX Cooling technologies 2016. Purposes and Types of fill. Hakupäivä 15.9.2021, <https://spxcooling.com/library/purposes-and-types-of-fill/>.
18. SPX Cooling Technologies 2018. Crossflow vs. Counterflow Cooling Towers. Hakupäivä 23.11.2021, <https://spxcooling.com/library/crossflow-vs-counterflow-cooling-towers-2/>.
19. SPX Cooling Technologies 2016. Cooling Tower Performance, Range. Hakupäivä 15.9.2021, <https://dev-spx-cooling.pantheonsite.io/library/cooling-tower-range/>.
20. Trimble Inc. 2018. Wedge process diagnostics system. Metsä-Fibre Oy Rauman tehdas.
21. SPX Cooling Technologies 2016. MC75 film fill. Hakupäivä 12.11.2021, <https://spxcooling.com/wp-content/uploads/SP-MC75-E.pdf>.

22. WeatherSolve Structures Inc. 2021. Industrial dust control. Hakupäivä 12.11.2021, <https://www.weathersolve.com/wp-content/uploads/2020/05/Dust-and-wind-brochure.pdf>.
23. Halme Petri 2021. Osastoinsinööri. Metsä Fibre Oy Rauman tehdas. Keskustelu 12.11.2021.
24. Vaisala Oyj 2021. Vaisala WINDCAP® Ultrasonic Wind Sensor WXT532. Hakupäivä 12.11.2021, <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/wxt532>.
25. Insinööritoimisto Jaakko Pöyry 2007. Jäähdytysvesitornin virtauskaavio. Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas. Tehtaan käyttökäsikirja.
26. Ahlström Pumps Oy 1995. Tehtaan jäähdytysvesipumput. Metsä-Rauma Oy. Tehtaan käyttö-
dokumentaatio.
27. Sulzer Pump Finland Oy. Kierroslukusäätöisten jäähdytysvesipumppujen ominaiskäyrät. Metsä-Fibre Oy Rauman tehdas. Tehtaan käyttödokumentaatio.
28. Filtration Ltd 1995. Filtomat Self Cleaning Filters. Metsä-Fibre Oy Rauman tehdas. Laitetoimit-
tajan esite.

LIITTEET

Jäähdytystornin virtauskaavio Liite 1

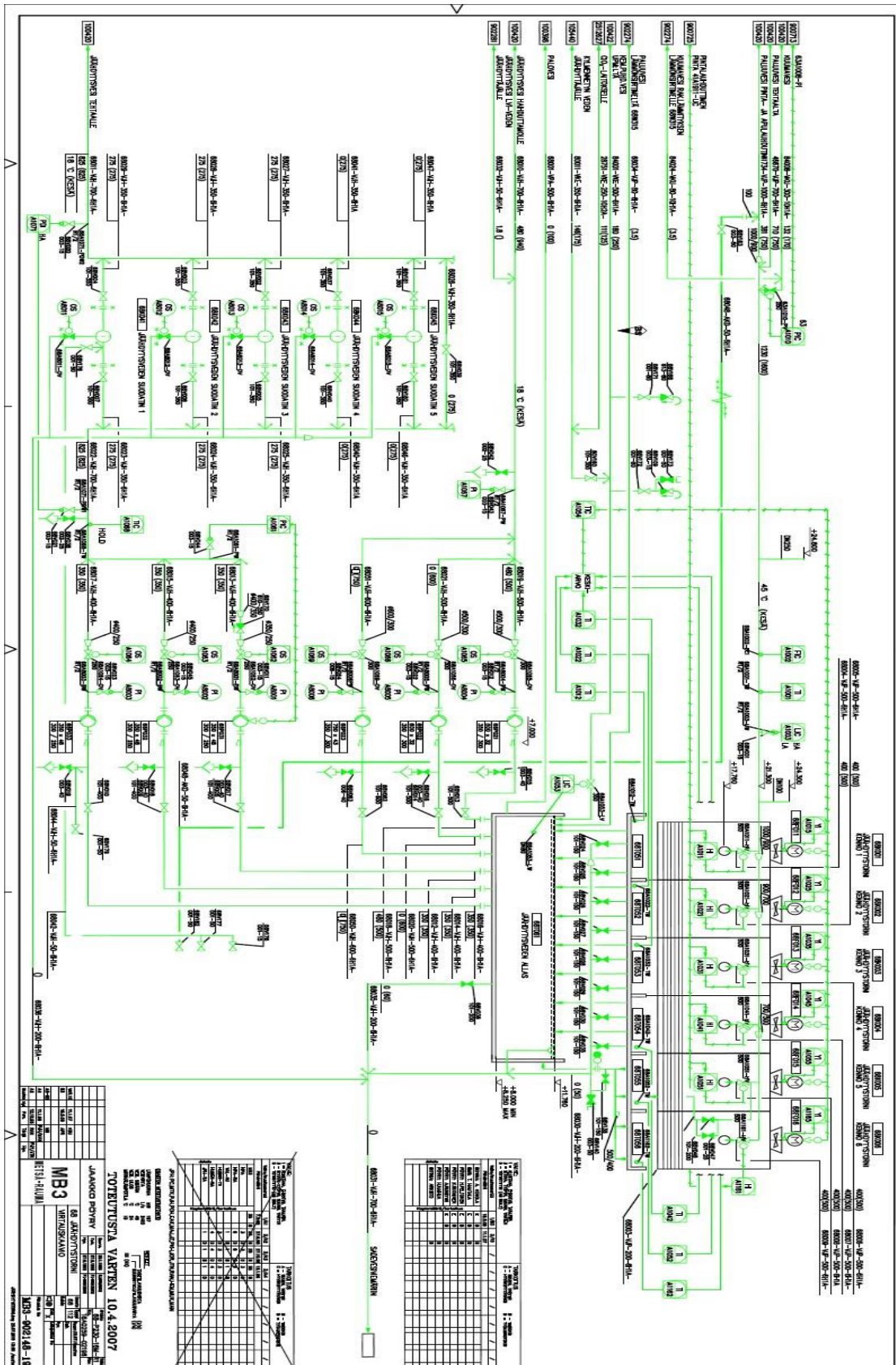
Haihduuttamolinjapumppujen P68021-22 toimintapiste Liite 2

Haihduuttamolinjan invertteripumppu 68P023 toimintapiste Liite 3

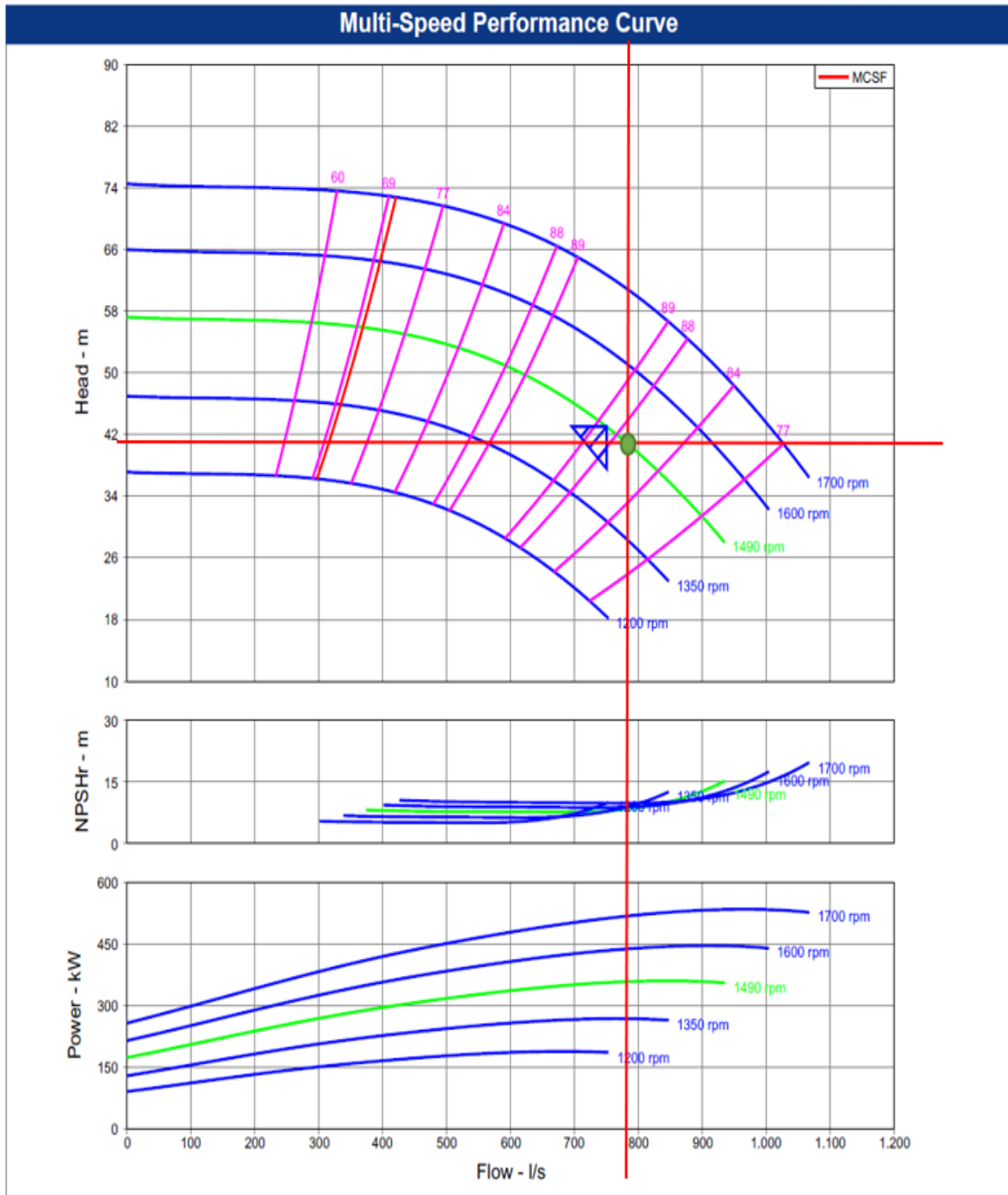
Painesuodattimien paine-erotaulukko Liite 4

Tehdaslinjapumppujen 68P032-33 toimintapiste Liite 5

Tehdaslinjan invertteripumppu 68P031 toimintapiste Liite 6

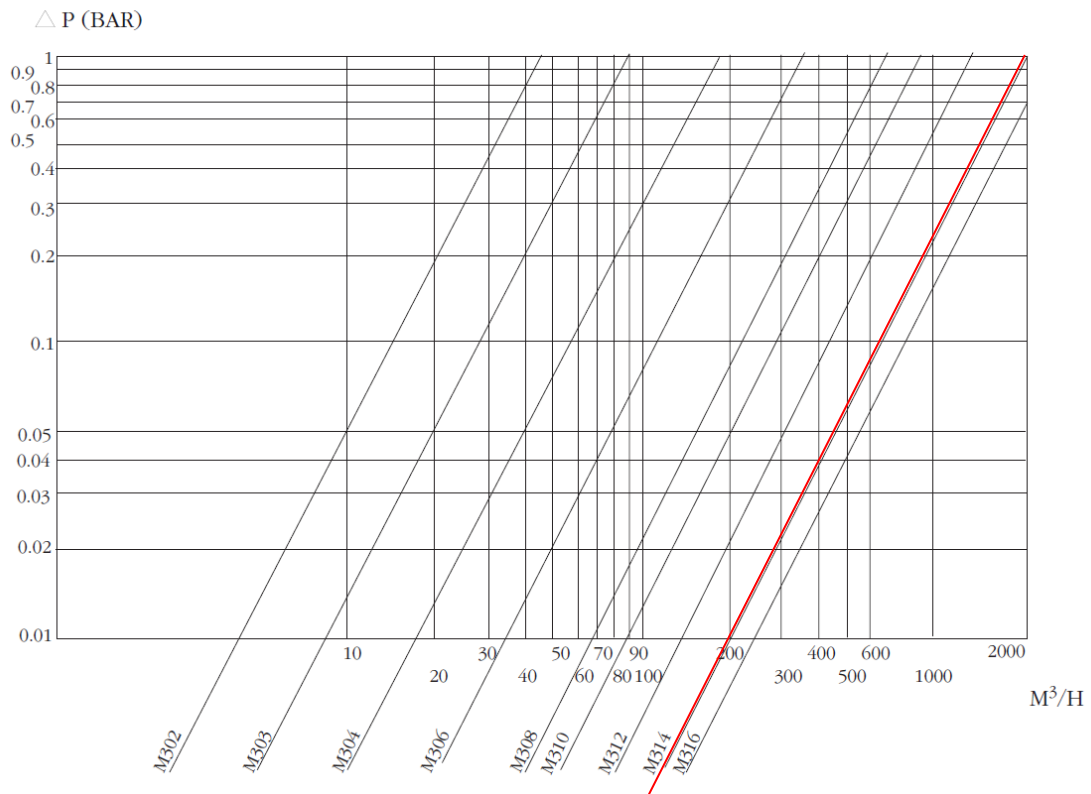


KUVA 1. Jäähdytysvesitornin virtauskaavio (25)

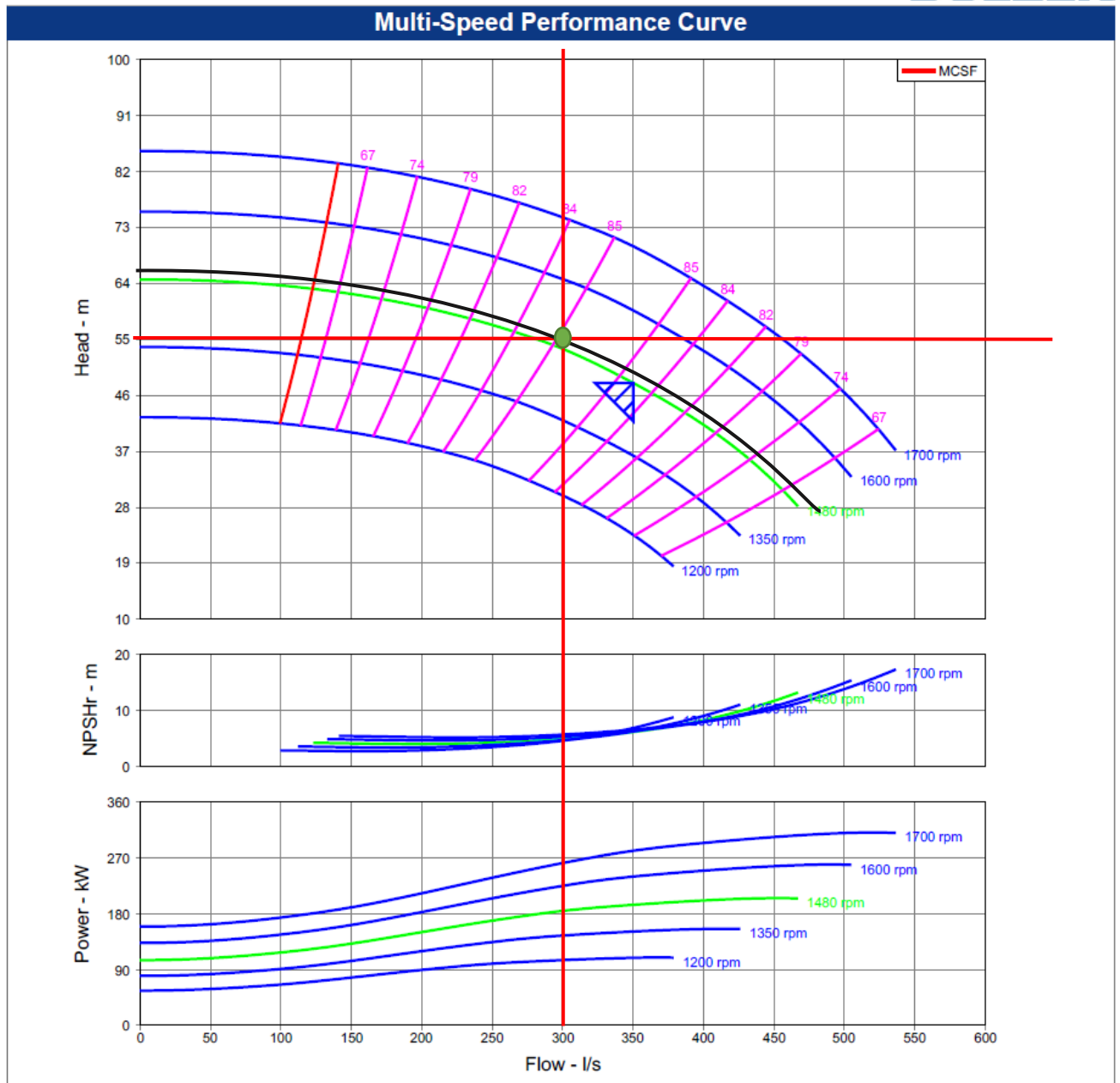


KUVA 3. Tehdaslinjan kierroslukusäätöisen pumpun 68P023 toimintapiste (27)

Pressure losses for various flow capacities



KUVA 4. Filtomat M314-painesuodattimen painehäviö suhteessa tilavuusvirtaan (28)



KUVA 6. Tehdaslinjan kierroslukusäätöisen pumpun 68P023 toimintapiste täydellä nopeudella (27)