



Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Sellutehtaan höyrytaseen kartoitus

Joel Nevalainen

Opinnäytetyö, maaliskuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2022
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Joel Nevalainen

Nimeke
Sellutehtaan höyrytaseen kartoitus

Toimeksiantaja
Stora Enso Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tarkastettiin Stora Enso Enocellin tehtaalla käytössä olevan Honeywell OptiVision energiaraportin ajantasaisuus. Opinnäytetyössä keskityttiin energiaraportin lämmönkulutus sekä tuotanto- ja jakeluosioihin.

Opinnäytetyössä perehdyttiin sellutehtaan toimintaan sekä sellutehtaan höyryverkkoon ja sen komponentteihin. Energiaraportoinnin ajantasaisuutta selvitettiin energiaraportin kaavojen avulla. Opinnäytetyössä tiedonkeruumenetelminä käytettiin haastatteluja, prosessikaavioita ja erilaisia automaatiojärjestelmiä.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi selvitys Enocellin sellutehtaan energiaraportoinnin tämänhetkisestä tilanteesta. Energiaraportin laskentojen ja sen Ohje-sivun kaavojen välillä havaittiin poikkeamia. Poikkeamia löytyi myös prosessikaaviosta ja Experion PKS automaatiojärjestelmästä. Opinnäytetyön tuloksista tehtiin jatkotoimenpide-ehdotuksia, joita voidaan hyödyntää energiaraportointia kehitettäessä.

Kieli
suomi

Sivuja 43
Liitteet 6
Liitesivumäärä 14

Asiasanat
Höyry, selluteollisuus, selluloosa



THESIS
March 2022
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author(s)
Joel Nevalainen

Title
Steam Balance Survey for Pulp Mill

Commissioned by
Stora Enso Oyj

Abstract

The purpose of this thesis was to verify accuracy of the Honeywell OptiVision's energy report in use at the Stora Enso Enocell pulp mill. The thesis focused on energy report heat consumption as well as production and distribution sections.

The thesis was acquainted with the operation of the pulp mill and with the steam grid and its components. The accuracy of the energy report was revised through the formulas of the energy report. In the thesis, interviews, process diagrams and various automation systems were used as data collection methods.

The outcome of the thesis was a report on the current situation of the energy report on the Enocell pulp mill. There were differences between the calculations in the energy report and the formulas at its Help page. Deviations were also found in the process diagram and the Experion PKS automation system. The results of the thesis yielded proposals for further actions which can be used to develop the energy reporting.

Language
Finnish

Pages 43
Appendices 6
Pages of Appendices 14

Keywords
Steam, chemical pulp industry, cellulose

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Tehdasesittely	7
2.1	Stora Enso	7
2.2	Enocellin tehdas	7
3	Sellun valmistus	8
4	Sellutehtaan höyryntuotanto	10
4.1	Höyryntuotanto ja soodakattila	10
4.2	Venttiilit höyryverkossa	15
4.3	Apulauhdutin	16
4.4	Höyryn käyttökohteet	16
4.5	Mittaukset höyryverkossa	17
4.5.1	Lämpötilan mittaus	17
4.5.2	Paineen mittaus	19
4.5.3	Virtauksen mittaus	19
4.6	Positiotunnukset	21
4.7	Höyrytase	22
4.8	Käyttöliittymä	23
4.8.1	Honeywell Oy	23
4.8.2	Honeywell Experion PKS -automaatiojärjestelmä	23
4.8.3	Honeywell OptiVision ja raportointi	24
5	Opinnäytetyön tarkoitus	25
5.1	Tarkoitus ja tehtävä	25
5.2	Aiheen rajaus	26
6	Toteutus ja menetelmät	27
6.1	Energia raportti	27
6.2	Wedge-ohjelma	30
6.2.1	X Steam Tables	30
6.2.2	Mollier hs-piirros	31
7	Tulokset ja tulosten tarkastelu	32
7.1	Tuotanto ja jakelu	32
7.2	Lämmönkulutus	34
7.3	Kehitysehdotukset ja jatkotoimenpiteet	39
8	Pohdinta	41
	Lähteet	42

Kuvat

Kuva 1	Enocellin tehdasprosessin lohkokaavio.
Kuva 2	Perinteinen syöttövesijärjestelmä.
Kuva 3	Paineistettu mustalipeä järjestelmä.
Kuva 4	Esimerkki soodakattilan ilmakehänavistosta.
Kuva 5	Havainne kuva ulosvedettävästä nuohoimesta.
Kuva 6	Jousikuormitteinen varoventtiili.
Kuva 7	Mittalaippa ja painehäviön kuvaaja.
Kuva 8	Von Karmanin pyörteet ja pyörrevana putkessa.
Kuva 9	Instrumenttiympyrän sisältö.
Kuva 10	Esimerkki höyryverkon taseesta (kg/ADt).

- Kuva 11 Station -ikkunan prosessikaavionäyttö.
- Kuva 12 Höyrynjakelukuva.
- Kuva 13 X Steam Tables Excel työkalu.
- Kuva 14 Mollier hs-piirros.
- Kuva 15 Energiaraportin tuotanto ja jakelu -osiosta leike.
- Kuva 16 Reduktioventtiilit höyrynjakelukuvassa.

Kaaviot

- Kaavio 1 Tuotanto ja jakelu erot.
- Kaavio 2 Lämmönkulutus erot PU2 – HVA2 (HVP).
- Kaavio 3 Lämmönkulutus erot VA1 – KS2.
- Kaavio 4 Lämmönkulutus MU2 (HVP) – SAHA.

Liitteet

- Liite 1 Energiaraportti: Lämmönkulutus.
- Liite 2 Energiaraportti: Tuotanto ja jakelu.
- Liite 3 OptiVision energiaraportointi: Ohje-sivu.
- Liite 4 OptiVision energiaraportointi: Ohje-sivun kaavat.
- Liite 5 Laskennoissa käytetyt lähtöarvot.
- Liite 6 Laskentojen tulokset.

Lyhenteet

ADt	Ilmakuiva tonni (air dry tonne) tuotetta (sellua/kartonkia).
hentalpia	Höyryn entalpia.
HKP	Korkeapainehöyry.
HMP	Matalapainehöyry.
HVP	Välipainehöyry.
lentapia	Lauhteen entalpia / vesientalpia.

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Stora Enso Oyj Enocellin tehtaalle. Toimeksiantajalle muodostui tarve tarkistaa heillä käytössä olevan energiaraportoinnin ajantasaisuus. Tarve muodostui, kun sellutehtaalla tehtiin muutoksia höyryverkkoon ja sellutehtaan höyrynkäyttö muuttui liukosellun valmistuksen lopettamisen takia. Höyryntuotanto on pienempää niin sanotussa perinteisessä selluntuotannossa kuin liukoselluntuotannossa. Perinteisessä selluntuotannossa mustalipeän sekaan tulee vähemmän hemiselluloosaa kuin liukoselluntuotannossa. Tämä tarkoittaa sitä, että poltettavan aineksen määrä on pienempi, jolloin myös soodakattilan höyryntuotanto on vähäisempää.

Höyryntuotanto on tärkeä työkalu prosessin tuotantojen ennustamisessa. Höyryä tarvitaan sellutehtaalla useassa eri kohteessa ja se voi myös loppua. Höyryntuotannon vähiin käyminen tai loppuminen on aina huono asia, sillä se tarkoittaa tuotannon katkeamista jollakin osastolla tai jopa koko tehtaan alas ajoa.

Työn tarkoituksena on kartoittaa sellutehtaan höyryntuotantoa ja tarkistaa energiaraportoinnin laskentojen ja kaavojen ajantasaisuus. Opinnäytetyössä käsitellään energiaraportin laskentojen kaavoja mittarointien positiotunnusten osalta. Työssä ei käsitellä sähköntuotantoa eikä käyttöä. Työn teoriaosuudessa kerrotaan sellutehtaan toimintaperiaatteista, höyryverkon venttiilistöstä, tärkeimmistä mittauksista höyryverkossa ja lyhyesti automaatiojärjestelmän toiminnasta.

2 Tehdasesittely

2.1 Stora Enso

Stora Enso Oyj on v. 1996 perustettu julkinen osakeyhtiö. Sen päätoimiala on pakkaus-, biomateriaali-, puutuote- ja paperiteollisuus. Konsernin palveluksessa työskentelee noin 23 000 ihmistä maailmanlaajuisesti. Vuoden 2020 liikevaihto oli noin 8,6 miljardia euroa ja operatiivinen liiketulos 650 miljoonaa euroa. Stora Enson pääkonttori sijaitsee Helsingissä ja tuotantolaitoksia Suomessa on 11 eri paikkakunnalla. Stora Enso koostuu kuudesta eri divisioonasta. Nämä divisioonat ovat Packaging Materials, Packaging Solutions, Biomaterials, Wood Products, Forest ja Paper. (Stora Enso 2022.)

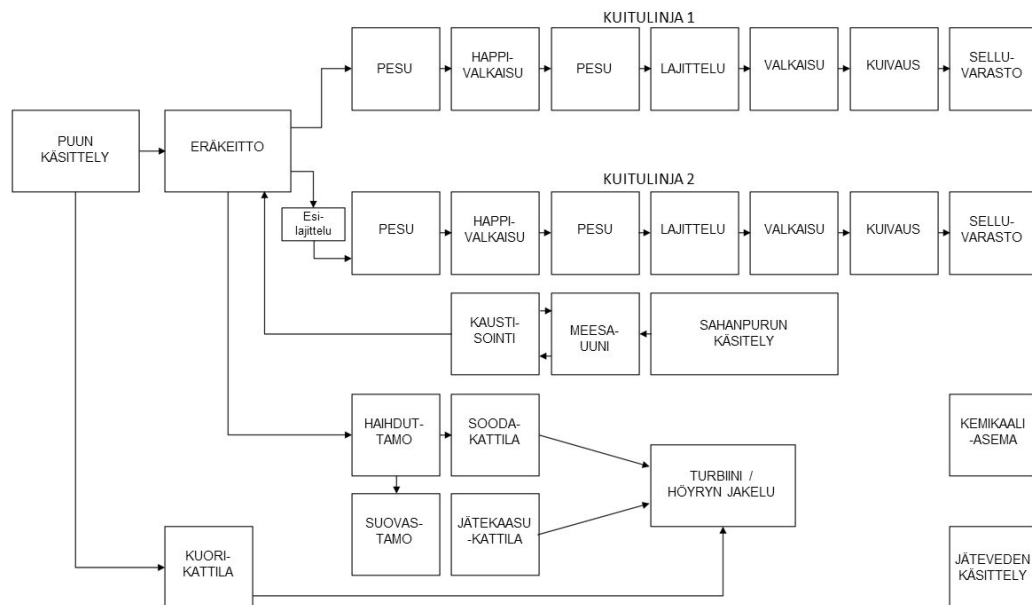
2.2 Enocellin tehdas

Enocellin tehdas sijaitsee Uimaharjussa ja kuuluu Stora Enson Biomaterials - divisioonaan. Tehdas on perustettu vuonna 1967 ja tällä hetkellä tuottaa pääasiassa havupuusellua ja liukosellua. Uusittu sellutehdas käynnistyi v. 1992 ja v. 2015 Enocell Oy fuusioitui Stora Enso Oyj:n kanssa. Vuotuinen tuotanto on 460 000–650 000 tonnia valkaistua sellua riippuen sellulaadusta. Sellun valmistuksen sivutuotteina tehtaalta myydään ulos myös sähköä, mäntyöljyä ja tärpähtiä. Samalla tontilla sijaitsee myös Stora Enso Uimaharjun saha, jonka vuotuinen tuotanto on 230 000 m³ sahatavaraa.

Tehdas on kaksilinjainen, joista normaalisti toisella linjalla valmistetaan lehtipuusellua ja toistella havupuusellua. Molemmilla linjoilla on kuitenkin mahdollista valmistaa joko havu- tai lehtipuusellua. Liukosellua voidaan valmistaa sekä lehti- ja havupuusta. Keittomenetelmänä tehtaalla on käytössä syrjäytyseräkeiton versio SuperBatch.

3 Sellun valmistus

Paperinvalmistuksen raaka-aineena käytettävä sellu valmistetaan Suomessa lähes yksinomaan sulfaattimenetelmällä. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen, 2016, 65). Kuvassa 1 on esitetty lohkokaavio Enocellin tehdasprosessista.



Kuva 1. Enocellin tehdasprosessin lohkokaavio (muok. Stora Enso 2022).

Sulfaattikeitossa käytettävää kemikaaliseosta kutsutaan valkolipeäksi, jossa vaikuttavina kemikaaleina ovat natriumhydroksidi (NaOH) ja natriumsulfidi (Na₂S). Keittoprosessissa kemikaalit reagoivat puun sideaineen eli ligniinin kanssa, irrottaen puuaineksen sisältämät kuitukimput toisistaan. Keittoprosessit voidaan luokitella kahteen eri pääluokkaan, erä- ja vuokeittoon. (KnowPulp 2022.)

Eräkeitossa sellu valmistetaan useissa eri keittimissä. Jokaisessa keittimessä on vuorollaan haketyttö, lipeätäyttö, lämmitysvaihe, keitto ja pusku. Keittimiä on yleensä vähintään neljä, jotta höyrynkulutus olisi tasaisempaa ja massan saanti kuitulinjoille olisi katkeamatonta. (KnowPulp 2022.)

Vuo- eli jatkuvatoimisessa keitossa kaikki keittoon liittyvät reaktiot tapahtuvat yhdessä keittimessä. Keittimen yläpään syötetään haketta, joka kulkee

keittimessä alaspäin. Valmiiksi keittynyt massa poistetaan keittimen alaosasta. Keitin on jaettu vyöhykkeisiin, joissa lipeä ja hake kulkevat välillä samaan suuntaan ja välillä vastakkaisiin suuntiin. (KnowPulp 2022.)

Keitosta massa johdetaan pesuun, jossa sellukuidut erotetaan mustalipeästä. Mustalipeä sisältää keittokemikaalit ja keitossa liunneen ligniinin ja hemiselluloosan. Osa mustalipeästä ohjataan takaisin keittoon hakkeen imeytykseen ja loput ohjataan haihduttamolle. Pesun jälkeen sellu lajitellaan ja valkaistaan. Lajittelussa massasta erotetaan epäpuhtaudet, esimerkiksi keittymättömät hakepalat, kuori, hiekka, kivet ja metalli, jotka ovat päässeet hakkeen mukana keittoon. Valkaisun jälkeen massa kuivataan tai ohjataan kartonki- tai paperikoneelle. (KnowPulp 2022.)

Haihduttamalla pesusta ja keitosta saatu mustalipeä väkevöitetään 70–80 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Väkevöitetty mustalipeä poltetaan soodakattilassa, jossa keittokemikaaleihin liuennut orgaaninen aines palaa pois. Palamaton epäorgaaninen aines valuu jäähdytettyihin sularänneihin, josta se johdetaan liuottajaan. Liuottajassa sula sekoitetaan laihaan valkolipeään, minkä jälkeen seosta kutsutaan viherlipeäksi. (KnowPulp 2022.)

Viherlipeä johdetaan kaustisointiin, jossa sen sisältämä natriumkarbonaatti (Na_2CO_3) muutetaan takaisin natriumhydroksidiksi (NaOH). Tässä käytetään apuna poltettua kalkkia (CaO), jota saadaan, kun kaustisointiprosessin reaktiotuote kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) poltetaan meesauunissa. (KnowPulp 2022.)

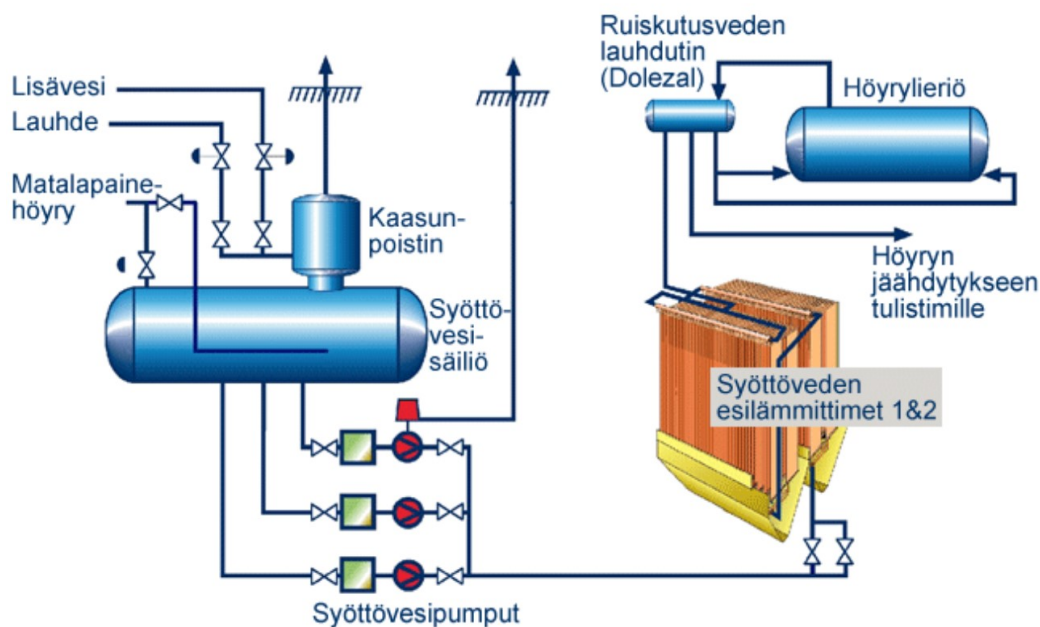
4 Sellutehtaan höyryntuotanto

4.1 Höyryntuotanto ja soodakattila

Höyry tuotetaan tehtaalla höyrykattiloissa, joissa palamisessa vapautuvasta energiasta saatu lämpö siirretään veteen. Metsäteollisuudessa käytettävät höyrykattilat ovat tyypillisesti luonnonkiertokattiloita. Muita kattilatyyppejä käytetään esimerkiksi kulutushuippujen tasaamiseen ja häiriötilanteisiin. Tulitorvi-tuliputki-kattila on yksi esimerkki tällaisesta kattilasta. (Tapalinen 2017, 14; Huhtinen, Ketunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 112.)

Kattilassa kiertävä vesi syötetään kattilaan syöttövesisäiliön kautta. Syöttövesisäiliö toimii kattilaan syötettävän veden varaajana. Syöttövesisäiliössä vesi lämmitetään höyryllä kylläiseksi vedeksi, jolloin veteen liuenneiden korroosiota aiheuttavien kaasujen (kuten hapen ja hiilidioksidin) liukoisuus veteen pienenee nollaan. (Huhtinen ym. 2016, 23.)

Syöttövesisäiliöstä vesi pumpataan kattilaan syöttöveden esilämmittimen eli ekonomaiserin läpi (kuva 2). Syöttöveden esilämmittimessä savukaasujen jäljellä olevasta lämpöenergiasta osa siirtyy syöttövedeen ja nostaa veden lämpötilaa. Vesi liikkuu ekonomaiserista höyrylieriöön, josta se laskeutuu kattilan pohjalle höyrystinputkien alapäähän. Pohjalta vesi nousee kattilan tulipesää ympäröivään höyrystinputkistoon, jossa osa vedestä höyrystyy. Veden höyrystyminen aiheuttaa tiheyden laskua ja saa aikaan luonnollisen vesikierron kattilassa. Vesi-höyryseos palaa takaisin lieriöön keittopinnan kautta. Lieriössä höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Höyry johdetaan tulistimille ja vesi takaisin kattilan pohjalle uudelle kierrokselle. (Huhtinen ym. 2000, 113–116; KnowPulp 2022.)



Kuva 2. Perinteinen syöttövesijärjestelmä (KnowPulp 2022).

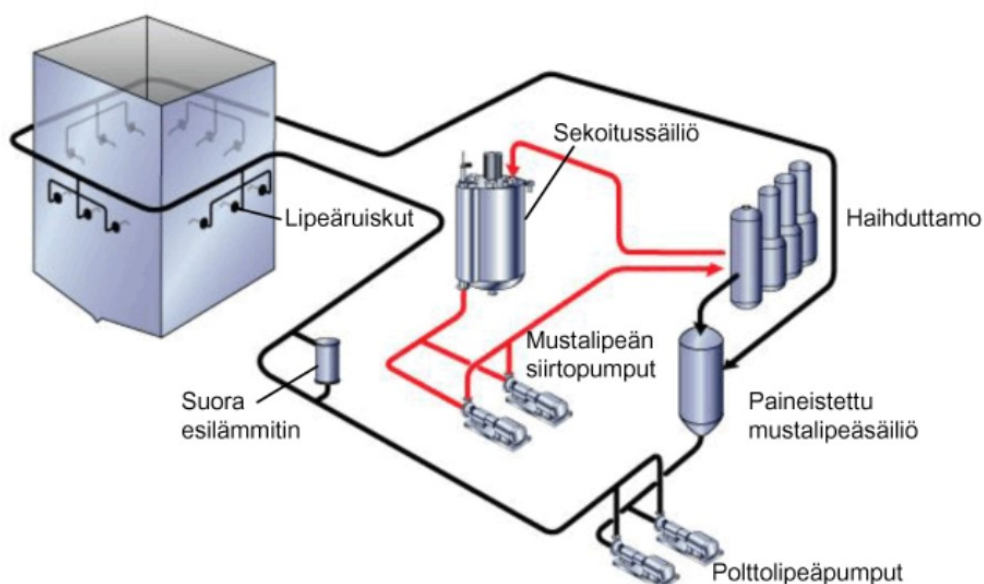
Tulistimien tarkoituksena on nostaa höyryn paine ja lämpötila turbiinin vaatimalle tasolle. Tulistettu höyry johdetaan höyryturbiiniin, joka tuottaa suurimman osan tehtaan tarvitsemasta sähköenergiasta. (KnowPulp 2022.) Enocellin tapauksessa kaikki tehtaan tarvitsema sähkö tuotetaan omalla turbiinilla lukuun ottamatta häiriö- ja katkotilanteita (kuten seisokit).

Soodakattila on prosessikattila, jolla on kaksi päätehtävää. Ensimmäisenä tehtävänä soodakattilalla on keittokemikaalien regenerointi eli kemikaalien muuntaminen takaisin käytettävään muotoon. Toisena tehtävänä sillä on hyödyntää mustalipeän lämpöarvo tuottamalla prosessihöyryä ja sähköä. Soodakattilaa ei voida käyttää tehtaan höyryverkkoa säättävänä kattilana, sillä se on prosessikattila ja näin ollen sidoksissa selluntuotantoon. Soodakattilat ovat rakenteeltaan monimutkaisempia kuin muut voimakattilat sen erikoislaatuisen polttoaineen takia. (Huhtinen ym. 2016, 70; KnowPulp 2022; Teir 2003, 43.)

Soodakattilan polttoaine on mustalipeä, joka on väkevöitetty haihduttamalla. Mustalipeä sisältää sellun keitossa irronneita epäorgaanisia keittokemikaaleja ja orgaanisia yhdisteitä, esimerkiksi ligniiniä. Haihduttamalla väkevöityä kuiva-ainettaan 60–85 % mustalipeää kutsutaan vahvalipeäksi. Vahvalipeä pumpataan haihduttamolta sekoitussäiliöön, jossa siihen sekoitetaan soodakattilan tuhkaa.

Tuhka on peräisin soodakattilan ekonomaiserien suppiloista ja sähkösuotimilta. Tuhka koostuu pääasiassa natriumsulfaatista (Na_2SO_4) ja natriumkarbonaatista (Na_2CO_3). Vahvalipeää, johon on sekoitettu soodakattilan tuhka, kutsutaan polttolipeäksi. (Huhtinen ym. 2016, 69–70; KnowPulp 2022; Teir 2003, 43.)

Polttolipeä ruiskutetaan soodakattilan tulipesään sitä varten tehdyistä poltinaukoista. Polttolipeä esilämmitetään noin 100–120 °C:ksi. Yleisesti käytetty suutintyyppi on niin sanottu lusikkasuutin. Suuttimen päässä on törmäyslevy, johon nopeasti virtaava lipeä törmää, jolloin se hajoaa pisaroiksi. Pisaroiden kokoa voidaan säätää lipeän lämpötilaa ja ruiskutuspainetta muuttamalla, jotka vaikuttavat lipeän virtausnopeuteen ja viskositeettiin. Suuttimet on sijoitettu soodakattilan sivuille useita metrejä kattilan pohjan yläpuolella. Kattilan pohjalle muodostetaan keko, jossa kemikaalien regenerointi tapahtuu. Mustalipeän sisältämä orgaaninen aines palaa tulipesässä. Jäljelle jää palamaton epäorgaaninen aines, joka jää sulana kattilan pohjalle. Sula poistetaan kattilan pohjalta sularänneistä, joista se tippuu liuotussäiliöön ja liukenee viherlipeäksi. (Huhtinen ym. 2016, 70–73; KnowPulp 2022; Teir 2003, 43.)



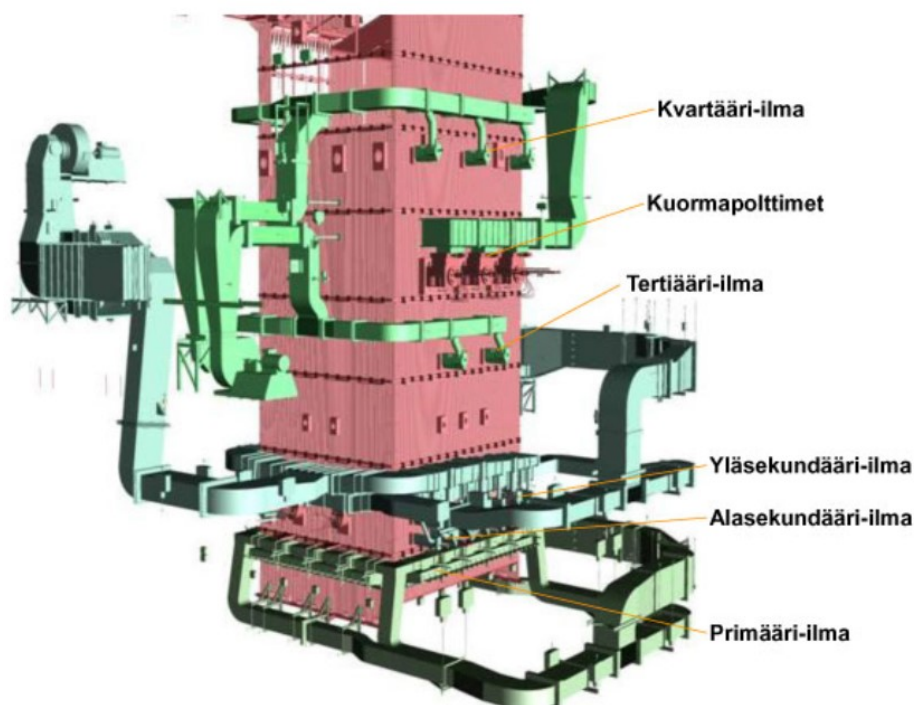
Kuva 3. Paineistettu mustalipeä järjestelmä (KnowPulp 2022).

Kemikaalien regeneroituminen tarvitsee pelkistävät olosuhteet kattilan pohjalle. Jotta kattilan pohjalle saadaan halutut olosuhteet, kattilan pohjalle syötetään

primääri-ilmaa vain sen verran, että keon lämpötila pysyy haluttuna (1000–1100 °C). Pelkistymisen täydellisyys voidaan laskea kaavalla 4.1. Reduktioaste on kattilan mukaan 90–98 %. (Huhtinen ym. 2016, 72; KnowPulp 2022; Teir 2003, 199.)

$$\text{reduktioaste} = \text{Na}_2\text{S} / (\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S}) \cdot 100 \% \quad (4.1)$$

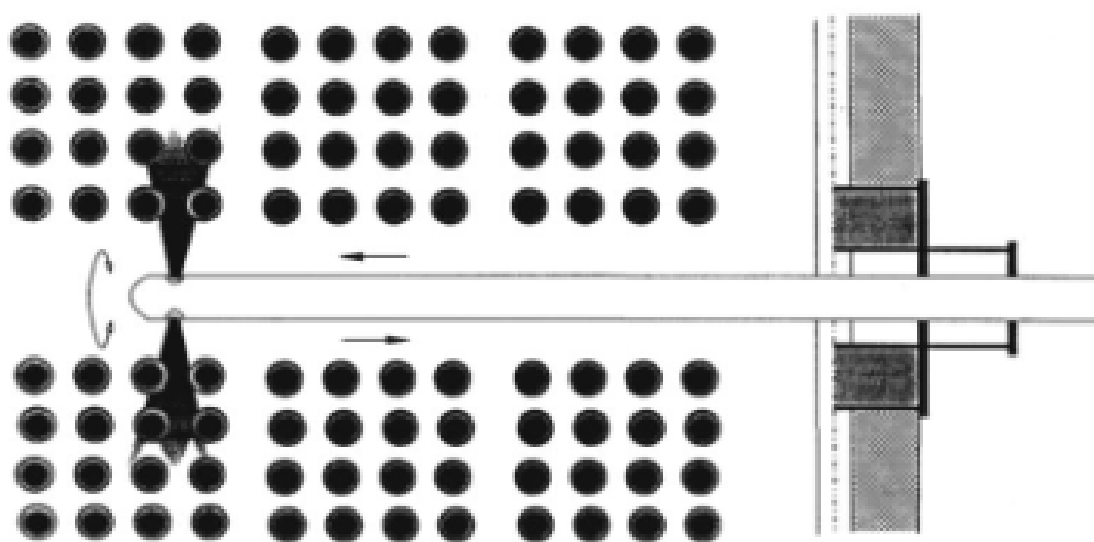
Palamisilma syötetään kattilaan vähintään kolmessa tasossa: primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilmana. Primääri-ilma tuodaan kattilan pohjalle, jolla säädetään keon lämpötila pelkistymisreaktiolle suotuisaksi. Sekundääri-ilm-aukot ovat primääri-ilm-aukkojen yläpuolella. Sekundääri-ilma on yleensä 50–60 % kokonaisilmamäärästä. Tertiääri-ilma on yleensä noin 10 % ilmamäärästä ja se syötetään kattilaan sekundääri-ilm-aukkojen yläpuolelle. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki soodakattilan ilmanavistuksesta. (Huhtinen ym. 2016, 72–74; KnowPulp 2022; Teir 2003, 194–195.)



Kuva 4. Esimerkki soodakattilan ilmanavistuksesta (KnowPulp 2022).

Soodakattilan lämpöpintoja on nuohottava jatkuvasti. Nuohouksessa käytetään yleensä höyrynuohoimia. Höyrynuohoin on puhallusnuohoin, joita on useita eri tyyppisiä. Puhallusnuohoimia on erityyppisiä, ja yleisimpiä niistä ovat

seinänuohoimet, ulosvedettävät nuohoimet, pyörivät monisuutin-nuohoimet, harvanuhoimet ja pyörivien ilmaesilämmittimien-nuohoimet. Soodakattiloissa käytetään tyypillisesti ulosvedettäviä nuohoimia. Suutinputkesta lähtee lämpöpinoilta likaa irrottava höyrystuihku. Ulosvedettävät nuohoimet työnnetään soodakattilaan vain käytön ajaksi. Nuohoinputki työnnetään kattilaan sähkömoottorilla ja vaihdelaatikolla toimivalla vaunulla. Nuohoin liikkuu kattilan sisään ja takaisin ulos pyörien samalla akselinsa ympäri (kuva 5). (Huhtinen ym. 2000, 214–216; KnowPulp 2022.)



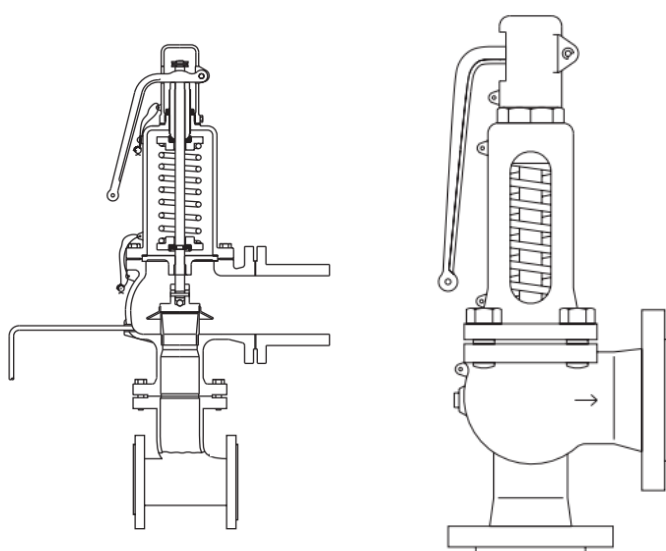
Kuva 5. Havainnekuva ulosvedettävästä nuohoimesta (Huhtinen ym. 2000, 215).

Puhallusnuohoimilla voidaan puhdistaa lämpöpintoja joko paineilmalla tai höyryllä. Tyypillisesti kuitenkin käytetään höyryä, sillä sitä saadaan edullisesti omasta laitoksesta. Paineilmaa on kallista tehdä, sillä se tehdään kompresso-reilla, jotka kuluttavat sähköä. Nuohoimissa käytetään suoraan tulistimilta otettua höyryä, joka on alennettu n. 20–30 bar:n paineeseen. Höyryn on oltava tulistunut, jotta nuohoushöyryssä ei olisi lämpöpintoja vahingoittavia vesipisaroita. Nuohoushöyry voidaan myös ottaa esimerkiksi turbiinin välitosta. (Huhtinen ym. 2000, 214–216.)

4.2 Venttiilit höyryverkossa

Höyrymuuntoventtiilillä eli reduktioventtiilillä muunnetaan höyryä alempaan paineeseen. Reduktioventtiileitä käytetään voimalaitoksissa esimerkiksi tuorehöyryn johtamiseen turbiinin ohi väli- ja matalapainehöyryverkkoon tai lauhduttimeen. Höyry paisuu suurempaan putkeen ja sen lämpötila lasketaan alemman painetason lämpötilaan jäähdytysveden avulla. Jäähdytysvesi ruiskutetaan venttiili-istukasta istukan läpi virtaavaan höyryyn. Höyryn massavirta nousee, kun se johdetaan reduktioventtiilin läpi. (Huhtinen ym. 2000, 234; Tapalinen 2017, 18.)

Höyryverkossa olevat ulospuhallus- ja varoventtiilit estävät höyryverkon paineen nousun liiallisen korkeaksi päästämällä höyryä ulos verkosta. Ulospuhallus- ja varoventtiileiden avulla tapahtuva paineen säätö hukkaa höyryn sisältämän lämpöenergian. Varoventtiilit (kuva 6) ovat yleensä jousikuormitteisia niiden tarkkojen säätöominaisuuksien takia. Jousikuormitteinen varoventtiili myös kestää suuria paineita ja ulospuhallusmääriä. Varoventtiilit säädetään siten, että ne avautuvat ennen höyryverkon kestämiä maksimipainetta. Varoventtiili on oltava myös säiliöissä ja laitteissa, joiden käyttöpaine on alhaisempi kuin muun verkoston paine. Varoventtiilit voivat olla myös painokuormitteisia tai ilmalla apuohjattuja. (Huhtinen ym. 2000, 236–238.)



Kuva 6. Jousikuormitteinen varoventtiili (Spirax Oy 2017).

4.3 Apulauhdutin

Apulauhdutin on lämmönsiirrin, jonka tarkoituksena on lisätä lämmön kulutusta. Näin halutaan tehdä esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa höyryn kulutus on pienempi kuin turbiinille johdettavan höyryn määrä. Apulauhdutinta voidaan myös käyttää tilanteissa, joissa höyryn kulutus alittaa kattilan minimikuorman. Apulauhduttimessa höyry jäähdytetään ilman tai veden avulla. Näin höyryn lauhde saadaan talteen ja takaisin kiertoon. Lämmennyttä vettä voidaan hyödyntää erilaisissa kohteissa. (Tapalinen 2017, 19.)

4.4 Höyryn käyttökohteet

Tehtaan höyryverkko voidaan jakaa kolmeen eri osaan, korkea-, väli- ja matalapainehöyry. Näistä käytetään usein lyhenteitä KP, VP ja MP. Jokaiselle painetasolle on oma höyrytukki. Höyrytukki on höyryputki, jossa höyry kulkeutuu voimalaitokselta kulutuskohteelle.

Korkeapainehöyryn (HKP) paine on noin 80–82 bar ja lämpötila 460–470 °C. HKP johdetaan turbiinille ja turbiinin välitoista saadaan välipaine- ja matalapainehöyryä. Välipainehöyryverkon (HVP) paine on 10–12 bar ja lämpötila on 170–210 °C välillä. Matalapainehöyryverkon (HMP) paine on 3–5 bar ja lämpötila noin 140–150 °C välillä. (KnowPulp 2022.) Mikäli turbiini ei ole käytössä voidaan korkeapainehöyry muuntaa reduktioventtiileiden avulla väli- ja matalapainehöyryksi.

Korkeapainehöyry käytetään ABB:n vuonna 1992 valmistamassa väliottolauhdehöyryturbiinissa, jonka nimellisteho on 106,13 MW. Turbiinin ensisijainen tehtävä on tuottaa prosessihöyryä väli- ja matalapainehöyryn painetasoille. Turbiinin toissijainen käyttötarkoitus on pyörittää ABB:n vuonna 1992 valmistamaa tahti-generaattoria, nimellisteholtaan 117,5 MVA. (Suni 2018, 15.)

Välipainehöyryä käytetään keittämön, kuivauskoneiden, meesauunin, soodakattilan, valkaisun ja happivalkaisun tarpeisiin. Höyry kulkee turbiinin väliotolta välipainehöyrytukille, josta se jaetaan käyttökohteisiin.

Massavirtamittausten perusteella tehtaalla käytetään eniten matalapainehöyryä. Höyry johdetaan turbiinin välitosta matalapainehöyrytukkiin, josta se jaetaan käyttökohteisiin. Matalapainehöyryä kuluu haihduttamalla, kaustisoinnissa, keittämöllä, kuivauskoneilla, kuorimolla, sahanpurunkäsittelyssä, soodakattilalla, kemikaaliasemalla ja valkaisuissa. Matalapainehöyryä käytetään myös syöttöveden lämmitykseen ja kiinteistön lämmitykseen. Uimaharjun saha tarvitsee myös matalapainehöyryä, joka toimitetaan sellutehtaalta putkistoa pitkin sahalle.

Höyryn lauhde palautetaan käyttökohteesta lauhdeputkistoa pitkin lauhdesäiliöön. Säiliöstä se otetaan takaisin kiertoön. Lauhteen palauttamisella käyttökohteesta on suuri merkitys tehtaan energiataaseeseen, sillä lauhdevesi sisältää suuren määrän energiaa. Palauttamatta jäänyt lauhde heikentää energiankäytön hyötysuhdetta.

4.5 Mittaukset höyryverkossa

Prosessimittauksista tärkeimpiin kuuluu virtaus-, lämpötila- ja painemittaukset. Nämä ovat perusmittauksia useiden prosessien hallinnassa ja olennainen osa säätötekniikkaa. Virtaus-, lämpötila- ja painemittaukset ovat tärkeitä esimerkiksi toiminnallisten ja taloudellisten syiden takia. Viranomais määräykset ja työturvallisuus asettaa myös omat vaatimuksensa prosessimittauksille. (Huhtinen ym. 2000, 277; Joronen, Kovács & Majanne 2007, 84.)

4.5.1 Lämpötilan mittaus

Prosessissa voidaan käyttää fysikaalisia, sähköisiä ja optisia menetelmiä lämpötilan mittaamiseen. Voimalaitoksissa käytetään yleensä sähköisiä ja optisia menetelmiä. Näitä ovat esimerkiksi metallivastusanturit, termoelementit ja pyrometrit. Fysikaalisia menetelmiä kuten nestelämpömittareita käytetään lähinnä paikallisosoittimina ja tarkistusmittareina, sillä ne eivät muodosta sähköistä

signaalia, joka voitaisiin yhdistää valvontalaitteeseen. (Huhtinen ym. 2000, 277; Joronen, Kovács & Majanne 2007, 84–98; Leskelä & Turunen 2012, 27.)

Metallivastusanturien toiminta perustuu resistanssin lämpötilariippuvuuteen. Toisin sanoen metallin lämpötilan kasvaessa sen resistanssi nousee. Referenssilämpötilana käytetään 0°C, jolloin esimerkiksi platinasta valmistetun vastusanturin resistanssi on 100 ohmia. Yleisimpiä anturimateriaaleja ovat platina (Pt) ja nikkeli (Ni) esimerkiksi Pt-100 ja Ni-100, jossa 100 osoittaa anturin nimellisvastuksen. Platinavastuksen käyttöalue (-260...+1000 °C) on suurempi kuin nikkeillä (-200...+430 °C). Resistanssin lämpötilariippuvuus on lähes lineaarinen. Platinan resistanssi muuttuu lämpötilan funktiona 0,39 W/1 °C. (Huhtinen ym. 2000, 286; Joronen ym. 2007, 96; Lapp Automaatio Oy 2022.)

Termoelementti eli termopari koostuu kahdesta erilaisesta toisiinsa liitetystä metallista tai metalliseoksesta valmistetusta langasta. Näiden materiaalien välille hitsataan liitos (kuuma pää) ja toinen pää jätetään vapaaksi (vertailupiste). Lämpötilan mittauksessa näiden kahden pisteen välille syntyy lämpötilaero aiheuttaen sähkömotorisen voiman, joka voidaan mitata. Tätä ilmiötä kutsutaan Seebeckin ilmiöksi. Vertailukohtana on oltava mahdollisimman vakio ja usein vertailukohta joudutaankin siirtämään kauemmaksi mittauspisteestä esimerkiksi termостоituun tilaan. Metallista ja metalliseoksesta riippuen termoelementtien käyttöalue on -40...+1600 °C välillä. (Huhtinen ym. 2000, 286–287; Joronen ym. 2007, 97; Lapp Automaatio Oy 2022.)

Pyrometri on optinen mittalaite ja sillä mitataan lämpösäteilyä. Pyrometriä voidaan käyttää sekä näkyvän valon alueella että infrapuna-alueella. Näkyvän valon alueetta käyttävää pyrometriä kutsutaan optiseksi pyrometriksi. Pyrometri vertaa mittaushetken lämpösäteilyn intensiteettiä kalibroidun valonlähteen lähettämään säteilyyn. Pyrometri tarvitseekin näköyhteyden mitattavaan kohteeseen. Pyrometrin käyttöalue on -40...+3500 °C välillä, riippuen lämpösäteilyn aallonpituudesta. (Huhtinen ym. 2000, 287; Joronen ym. 2007, 97–98; Leskelä & Turunen 2012, 27.)

4.5.2 Paineen mittaus

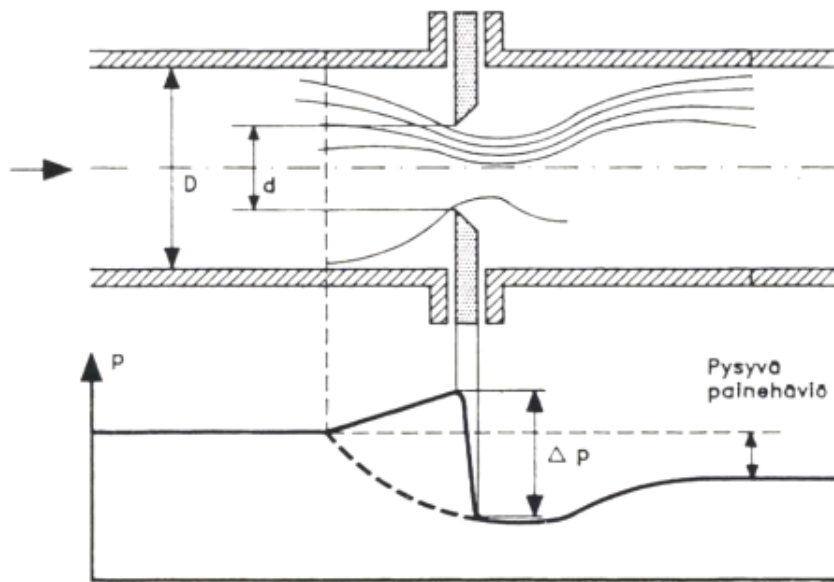
Yleisin paineen mittausmenetelmä on mekaaniseen muodonmuutokseen perustuva kalvomittaus. Muita mekaaniseen muodonmuutokseen perustuvia mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi kapseli, palje ja Bourdon-putki. Paineanturit voidaan jakaa lämpömittareiden tapaan fysikaalisiin ja sähköisiin, joskin fysikaalisia painemittauksia on onnistuttu yhdistämään sähköisiin lähettämiin. (Huhtinen ym. 2000, 277; Joronen ym. 2007, 98; Leskelä & Turunen 2012, 29.)

Paineanturin antaman tiedon hyödyntämiseen tarvitaan paine- tai paine-erolähetin. Nämä muuttavat mittaussignaalin sähköiseen muotoon, joka voidaan lähettää valvontalaitteeseen. Painelähetin lähettää mittaussignaalin absoluuttisesta painetasosta esimerkiksi höyrynjakotukin paine. Paine-erolähettämiä käytetään prosessin tilan ja toiminnan seuraamiseen. Paine-eromittauksia hyödynnetään usein esimerkiksi pinnankorkeuden, virtauksen ja tiheyden mittaamiseen. (Huhtinen ym. 2000, 277; Joronen ym. 2007, 98; Leskelä & Turunen 2012, 29.)

4.5.3 Virtauksen mittaus

Virtauksia voidaan mitata eri suurein. Yleisimmät suuret, joita käytetään ovat paikallinen virtausnopeus (m/s), keskimääräinen virtausnopeus poikkileikkauksessa (m/s), tilavuusvirta (m^3/s), massavirta (kg/s) ja virranneen aineen määrä (m^3 , kg). Sellutehtaalla ja voimalaitoksella käytetään useita erilaisia antureita virtauksen mittaamiseen. Höyryvirtausmittauksiin käytetään tyypillisesti mittausslaippa ja vortex-mittaus eli pyörrevanamittaus. (Huhtinen ym. 2000, 279; Joronen ym. 2007, 84–95; Leskelä & Turunen 2012, 21.)

Mittausslaippa (kuva 7) on paine-eroon perustuva virtausanturi. Tällaisten paine-eroon perustuvien antureiden toiminta perustuu Bernoullin yhtälöön, jonka mukaan kaikissa putken poikkileikkauksissa paine-energian, kineettisen energian ja potentiaalienergian summa säilyy vakiona. Muita paine-eroon perustuvia anturityyppejä on esimerkiksi venturiputki, pitot-putki, V-cone ja Wedge. (Joronen ym. 2007, 88–92; Leskelä & Turunen 2012, 21; Pihkala 2004, 67–70.)



Kuva 7. Mittauslaippa ja painehäviön kuvaaja (Pihkala 2004, 68).

Mittauslaippa on eniten käytetty kuristuselinsovellus, sen yksinkertaisen rakenteen ja luotettavuuden vuoksi. Mittauslaippa muodostuu metallilevystä, jossa on putken halkaisijaa pienempi aukko. Aukko voi olla samankeskinen tai epäkeskinen putken kanssa, yleensä kuitenkin aukko on samankeskinen. Kuristuselin estää aineen virtausta, joka aiheuttaa virtausnopeuden kasvun ja paineen laskun aukon kohdalla. Kuristuselimen aiheuttama painehäviö putkistoon on pysyvä ja aiheuttaa energiatehokkuuden heikkenemistä. (Joronen ym. 2007, 88–92; Leskelä & Turunen 2012, 21; Pihkala 2004, 69.)

Pyörrevanamittaus eli Vortex -mittaus perustuu virtauksen kulkulinjalle asetetun virtausesteen synnyttämiin pyörteisiin. Virtauseste saa aikaan vuoron perään esteen molemmille puolille pyörteet, joita kutsutaan von Karmanin pyörteiksi (kuva 8). (Joronen ym. 2007, 92–93; Leskelä & Turunen 2012, 21.)



Kuva 8. Von Karmanin pyörteet ja pyörrevana putkessa (Joronen 2007, 93).

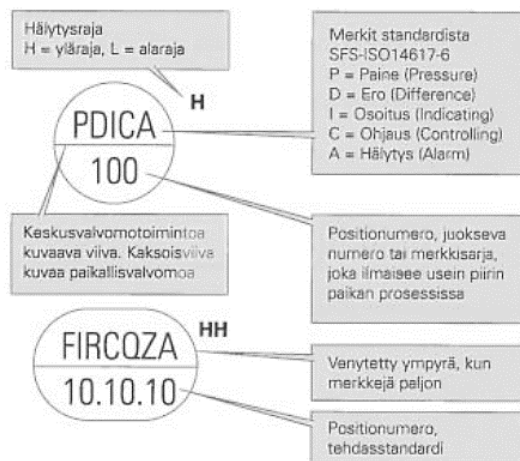
Pyörteiden syntymistäajuus on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen. Pyörretajuuden voi ilmaista virtausnopeuden tai paineen vaihteluiden, paineen aiheuttaman voimavaikutuksen tai ultraäänien tai valon sironnan avulla. Virtausnopeuden avulla saadaan massavirtaus yhtälöillä 4.2 ja 4.3. (Joronen ym. 2007, 92–93; Leskelä & Turunen 2012, 21.)

$$\text{tilavuusvirta (m}^3\text{/s)} = \text{virtausnopeus (m/s)} \times \text{putken pinta-ala (m}^2\text{)} \quad (4.2)$$

$$\text{massavirta (kg/s)} = \text{tiheys (kg/m}^3\text{)} \times \text{tilavuusvirta (m}^3\text{/s)} \quad (4.3)$$

4.6 Positiotunnukset

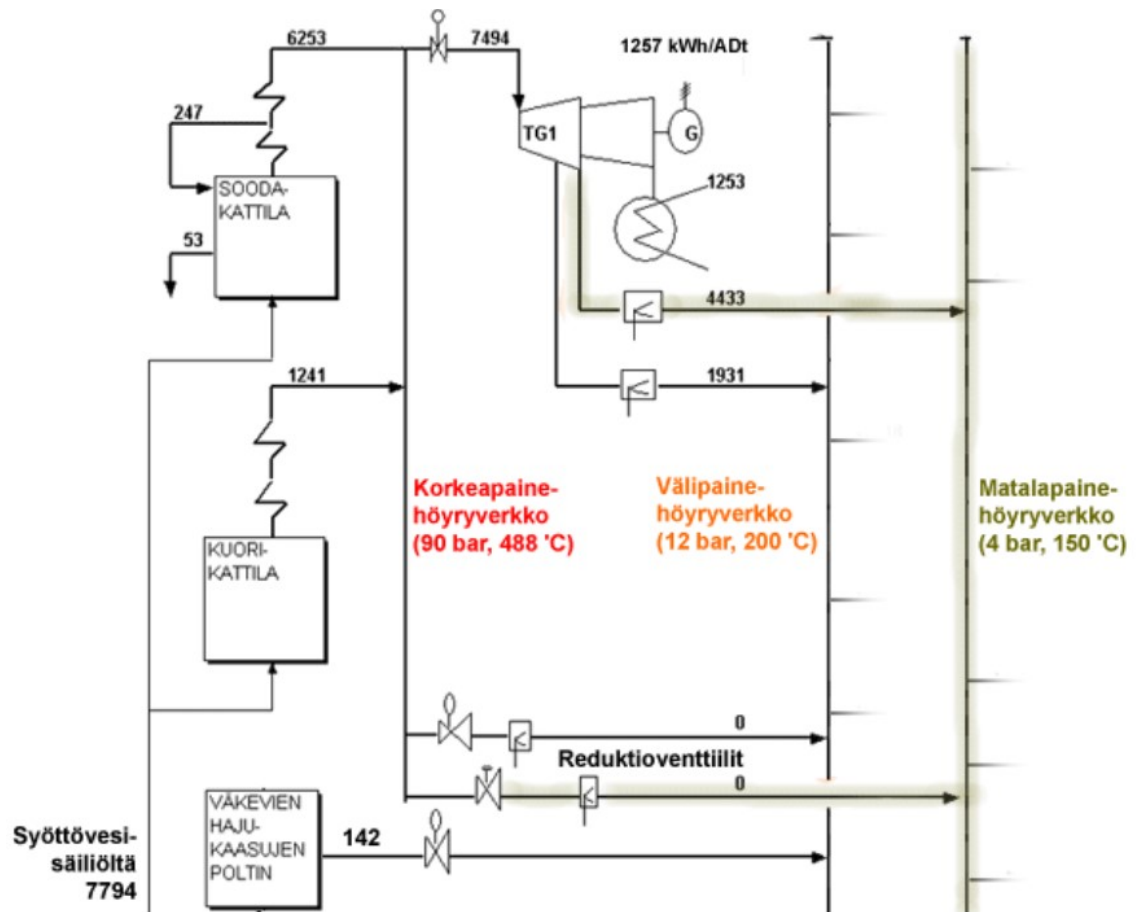
Positiotunnuksia (kuva 9) käytetään PI-kaavioissa, eli putkitus- ja instrumentointikaavioissa esittämään esimerkiksi säätö-, mittaus- ja ohjaustoimintoja. PI-kaavio on virtauskaavio, joka on piirretty prosessikaavioiden piirrosmerkkejä käyttäen. Prosessikaavioon merkityistä kirjainyhdistelmistä kaavion lukija saa tiedon esitetystä toiminnosta. Kirjainyhdistelmissä käytettävät tunnuskirjaimet on standardoitu. Tunnuskirjaimet ja niiden selitteet löytyvät standardista SFS-ISO 14617-6. Tunnuskirjaimet ilmaisevat mitattavan tai ohjattavan suureen. Positiionumero voi olla tehdaskohtainen erikseen määrätty numero tai laitteiden juokseva numero. Positionumero paikantaa instrumenttipiirin prosessissa ja antaa sille nimen. (Kippo & Tikka 2008, 90–91.)



Kuva 9. Instrumenttiympyrän sisältö (Kippo & Tikka 2008, 93).

4.7 Hörytase

Hörytase on osa tehtaan energiatasetta ja sen tarkoituksena on kuvata höyryn käytön painopisteet ja höyryn käytön kannalta merkittävimmät prosessit havainnollisesti. Hyvin esitetystä taseesta saadaan helposti yhdellä silmäyksellä kuva prosessin tilasta. Taseesta voidaan havaita mahdolliset poikkeamat höyryn käytössä. (Leskelä & Turunen 2012, 9.)



Kuva 10. Esimerkki höyryverkon taseesta (kg/ADt) (KnowPulp 2021).

Hörytase voidaan kuvata useammalla eri tavalla. Ensimmäinen on kuvassa 10 esitetty tase, jossa höyryn tase esitetään kg/ADt. Toinen tapa on esittää tase höyryn energiana esimerkiksi taulukko muodossa (liitteet 1 ja 2). Tase voidaan laskea, kun tiedetään tuotetun höyryn määrä ja kulutetun höyryn määrä.

4.8 Käyttöliittymä

4.8.1 Honeywell Oy

Honeywell Oy on maailmanlaajuinen monialayritys, jonka Suomen liiketoimintaan kuuluu rakennus- ja teollisuusautomaatio ja rakennusten huoltopalvelut. Honeywellin Suomen toimipisteet sijaitsevat Kuopiossa ja Varkaudessa. Kuopion toimipisteen palveluihin kuuluu palvelu- ja projektiliiketoiminta, tuotekehitys, tuotetuki ja -markkinointi. Varkauden toimipisteen palveluihin kuuluu tuotemarkkinointi, tuotetuki, koulutustoiminnot ja projektiliiketoiminta. Suomeen toimitettavat Honeywellin Process Solutions-automaatiojärjestelmät kootaan ja testataan Varkaudessa. (Honeywell 2021; Kaakinen 2020, 10.)

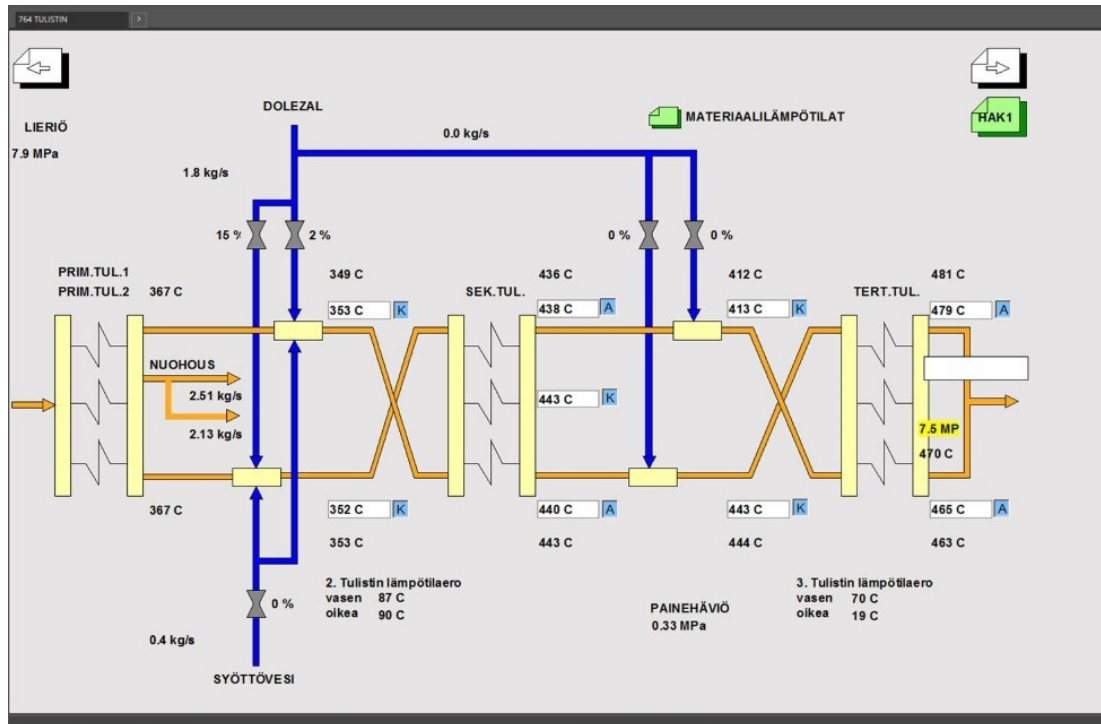
4.8.2 Honeywell Experion PKS -automaatiojärjestelmä

Experion PKS (Process Knowledge System) on Honeywellin tarjoama hallinta- ja ohjausjärjestelmä (DCS, Distributed Control Systems), jolla operaattorit ohjaavat ja valvovat tehtaan prosesseja. Experion PKS -automaatiojärjestelmä perustuu Honeywell Process, Machinery, Drives -teknologiaan (PMD), jossa yksi järjestelmä ohjaa tuotantolaitoksessa jatkuva- ja panosluontoisia prosesseja sekä koneita ja sähkökäyttöjä. (Honeywell Experion PKS 2022.)

Automaatiojärjestelmän käyttöliittymää operoidaan Station-ikkunan kautta. Ikkunoita voi olla useita auki samaan aikaan, ja ne voivat sisältää eri tietoja. Experion PKS -järjestelmä sisältää prosessikaavio- ja järjestelmäkaavionäyttöjä.

Prosessikaavionäytöllä on tavallisesti kaaviokuva seurattavasta prosessista, ja tätä näyttöä voidaan kutsua myös ajonäytöksi (kuva 11). Prosessinäytöllä on esillä prosessikomponenttien toimintatila- ja muita status tietoja. Näytöllä voi olla esillä myös mittausarvoja sekä venttiileiden ja säätimien moodit ja hälytystiedot. Järjestelmänäytöllä esitettävät tiedot ovat yleensä lista- ja lomakemuodossa.

Järjestelmänäyttöiltä luetaan esimerkiksi hälytykset ja tapahtumat. (Honeywell Experion PKS 2022; Joronen ym. 2007, 195–196.)



Kuva 11. Station-ikkunan prosessikaavionäyttö (Experion PKS 2022).

4.8.3 Honeywell OptiVision ja raportointi

OptiVision on Honeywellin kehittämän Manufacturing Execution System (MES) -tuotteen nimi. OptiVision on kehitetty sellu-, paperi- ja levyteollisuuteen auttamaan käyttäjiä suunnittelemaan, aikatauluttamaan ja toimittamaan tilaukset ajoissa. (Honeywell Oy.) OptiVisionilla voidaan myös hallita erilaisia raportointeja, jotka koostuvat prosessimittauksista.

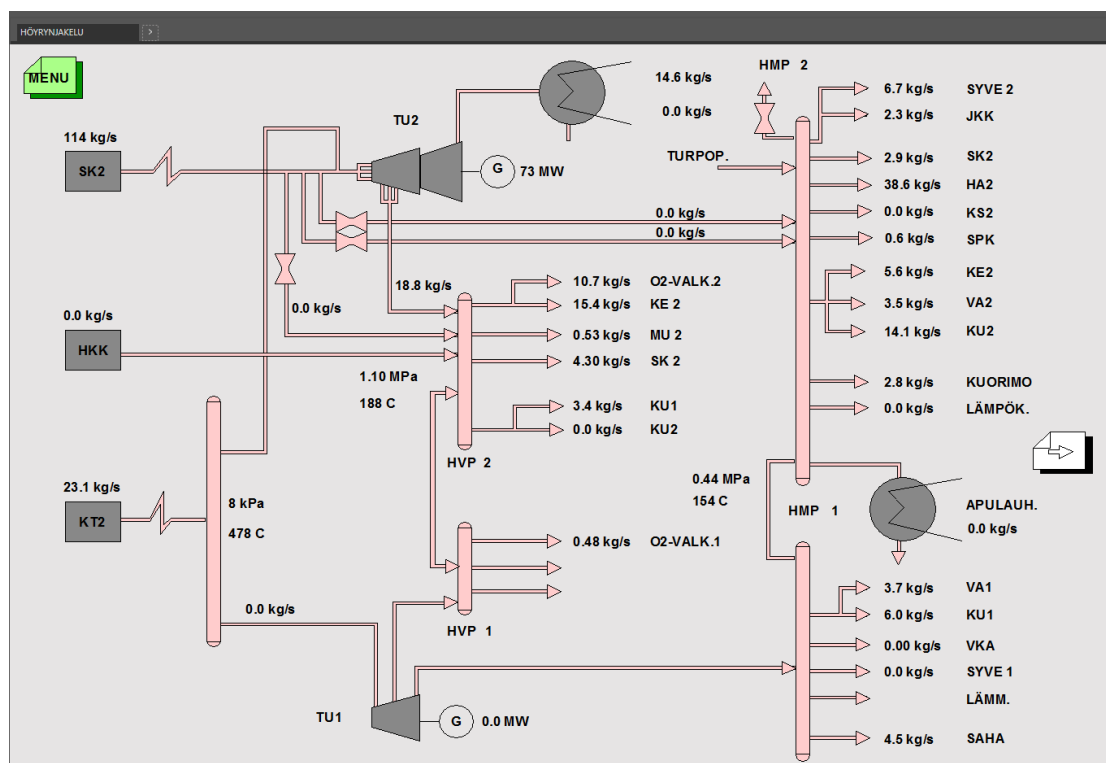
Operaattorin tai automatiikan tehdessä muutoksia ajo-ohjelmassa (DCS) esimerkiksi venttiilin asentoon, DCS havaitsee muutoksen virtauksessa ja välittää tiedon valvomon ajokuvaan. Tieto muutoksesta menee myös PMD-palvelimen trenditietokantaan ja PHD:lle (Process History Database). OptiVision käy lukemassa PHD:lta tuoreimmat lukemat ja kirjaa tiedot raportointitietokantaansa. OptiVision

laskee esimerkiksi virtausmittausten, paineen ja lämpötilan avulla tuotetun ja käytetyn höyryenergian ja esittää ne taulukkomuodossa (liite 1).

5 Opinnäytetyön tarkoitus

5.1 Tarkoitus ja tehtävä

Sellutehtaalla höyryä kulutetaan monessa eri kohteessa. Höyryn tuotantoa ja kulutusta seurataan Experion PKS:ään rakennetun höyrytaseen (kuva 12) ja OptiVisionin raportoinnin avulla. Höyryn kulutuskohteita voi tulla lisää erinäisten projektien ja muutostöiden takia. Höyrylinjoihin voidaan myös tehdä uusia haaroja ennen mittausta, jolloin ennen mittausta olevan haaran höyrynkulutus ei näy mitauksessa. Inhimillisten erehdysten ja unohtusten takia nämä kohteet saattavat jäädä lisäämättä laskentaan mukaan. Näin ollen on säännöllisesti tarpeellista karvoittaa höyryn kulutuskohteet ja tarkistaa OptiVisionin energiaraportoinnin laskennat.



Kuva 12. Höyrynjakelukuva (Experion PKS 2022).

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää höyryn käyttökohteet ja OptiVisionin energiaraportoinnin laskukaavoissa käytettävien positiotunnusten ajantasaisuus ja kaavojen oikeellisuus. OptiVisionin raportoinnissa on saatavilla Ohje-sivu, josta ilmenee höyryn käyttökohde ja laskukaava, jolla arvo on laskettu energiaraportin taulukkoon. Työn tuloksia voidaan hyödyntää Enocellin sellutehtaan höyrynjakelu -kuvan ja OptiVisionin laskentojen sekä Ohje-sivun päivittämisessä.

5.2 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö käsittelee Enocellin sellutehtaan energiaraportointia lämmönkulutuksen sekä tuotannon ja jakelun osalta. Tarkastelun ulkopuolelle jää tehtaan lauhde- ja vesitase, opinnäytetyön laajuuden ja ajankäytöllisten syiden takia. Työssä käsitellään OptiVisionin energiaraportoinnin laskentakaavoja mittareiden positioiden osalta. Myös prosessikaavioiden tarkastelu ja Experion PKS höyrynjakelu -kuvan päivittämisen tarpeellisuuden tarkistaminen kuuluu opinnäytetyöhön. Mittausten oikeellisuuden tarkistaminen ei kuulu opinnäytetyöhön.

6 Toteutus ja menetelmät

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin kopioimalla OptiVisionin energiaraportin Ohjesivulla esillä olleet laskukaavat Microsoft Excel-laskentataulukkoon. Tämän lisäksi kerättiin tarpeelliset prosessikaaviot höyryn tuotanto- ja jakelukohteista. Prosessikaavioista etsittiin energiaraportin laskukaavoissa olevat mittalaitteiden positiotunnukset. Prosessikaavioita ja laskennan positiotunnuksia verrattiin myös Experion PKS-prosessikaavionäytöiltä löytyviin tietoihin. Ajantasaisten tietojen saamiseksi haastateltiin osastoinsinöörejä, joilla on tarkkaa tietoa oman osastonsa tapahtumista.

6.1 Energiaraportti

Höyryn energian ja taseen laskemiseksi tarvitaan tietoa höyryn ominaisuuksista. Tärkeimmät tiedot laskentaa ajatellen on höyrynpaine, lämpötila ja massavirta. Jokaisella höyrytukilla on omat paine- ja lämpötilamittaukset, joiden avulla lasketaan kyseisen painetason höyryn entalpia. Laskennoissa on tehty oletta, että höyryverkon paine ja lämpötila on yhtä suuri kuin höyrytukin paine ja lämpötila.

Positiotunnuksen oikeellisuus tarkistettiin etsimällä se PI-kaaviosta, ja mittari käytiin paikantamassa prosessissa sikäli, kun se oli mahdollista. Epäselvyyksien ja ristiriitaisten tietojen kohdalla haastateltiin kunnossapidon insinöörejä, joilla oli pääsy automaatiojärjestelmiin.

OptiVisionin energiaraportista kerättiin vertailuajankohdaksi valitun päivän arvot Excel-laskentataulukkoon. Jokaisessa solussa ei ollut tietoja valittuna ajankohdasta. Näiden osalta valittiin ajankohdaksi sellainen päivä, jolloin raportointiin oli kirjautunut arvoja. Kuten aiemmin luvussa 4.8.3 on mainittu, OptiVision laskee energiaraportointi taulukkoon arvot PHD:lle tallennetun mittausdatan perusteella. PHD:lle tallennettua mittausdataa pystyy hyödyntämään Trimblen Wedge-ohjelman avulla.

Energiaraportin Ohje-sivulta kerätyt positiotunnukset syötettiin Wedge-ohjelmaan. Wedge-ohjelmaan asetettiin haluttu tarkastelujakso ja mittaustaajuus. Tarkastelujaksoksi valittiin yksi vuorokausi ja mittaustaajuudeksi yksi sekunti. Wedge-ohjelmasta mittausdata kopioitiin Excel laskentataulukoon. Virtausmittausten yksikkö oli pääasiallisesti kg/s, lämpötilan °C ja paineen mittayksikkö oli MPa. Poikkeuksena oli muutama lauhteen virtausmittaus, joiden yksikkö oli l/s.

Tarkastelujakson ajalta eli yhdeltä vuorokaudelta kopioitiin jokaiselta energiaraportin Ohje-sivulta löytyneeltä virtausmittarilta arvot Wedge-ohjelmasta Excel laskentataulukoon. Yksittäiset mittausarvot laskettiin yhteen, näin saatiin höyryn virtaus vuorokauden ajalta (kg/d). Lämpötilan ja paineen osalta hyödynnettiin Wedge-ohjelman matemaattisia toimintoja. Lämpötila ja paine kopioitiin vuorokausikeskiarvona suoraan Wedge-ohjelmasta.

Höyryn tuotannon ja kulutuksen energiat laskettiin energiaraportin Ohje-sivun kaavoilla. Esimerkki laskukaavasta kaavassa 6.1. Massavirrat on esitetty yksikössä kg/d, sillä tarkastelujakso oli yksi vuorokausi.

$$E_{\text{höyry}} = (q_{\text{höyry}} \times h_{\text{höyry}}) - E_{\text{lauhde}} \quad (6.1)$$

jossa,	$E_{\text{höyry}}$	Höyryn energia (kJ/d)
	$q_{\text{höyry}}$	Höyryn massavirta (kg/d)
	$h_{\text{höyry}}$	Höyryn entalpia (kJ/kg)
	E_{lauhde}	Lauhteen energia (kJ/d)

$$E_{\text{lauhde}} = (q_{\text{lauhde}} \times h_{\text{lauhde}}) \quad (6.2)$$

jossa,	q_{lauhde}	Lauhteen massavirta (kg/d)
	h_{lauhde}	Lauhteen entalpia (kJ/kg)

Mikäli lauhteenpalautukselle oli asetettu arvoksi nolla, jätettiin lauhteen energia vähentämättä höyryn energiasta. Höyryn lauhde sisältää paljon energiaa. Lauhteen palauttamisella voimalaitokselle parannetaan energiantuotannon ja -käytön hyötysuhdetta. Lauhteen entalpian laskemiseksi käytettiin veden

ominaislämpökapasiteettia 4,184 kJ/kg°C. Lauhteen ja syöttövesien entalpia laskettiin kaavalla 6.3. Lauhteelle käytettiin vertailulämpötilana 0 °C.

$$h_{\text{lauhde}} = c \times \Delta T_{\text{lauhde}} \quad (6.3)$$

jossa, c Veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)
 ΔT_{lauhde} Lauhteen lämpötilan muutos (°C)

$$\Delta T_{\text{lauhde}} = T_2 - T_1 \quad (6.4)$$

jossa, T_1 Lauhteen vertailulämpötila (°C)
 T_2 Lauhteen mitattu lämpötila (°C)

Höyryn entalpian selvittämiseksi käytettiin hyödyksi Mollier hs -piirrosta (liite 2), jota kutsutaan myös Mollier -kaavioksi. Tarkempien arvojen saamiseksi hyödynnettiin MS Excelille tehtyä X Steam-makroa. Höyryn entalpia laskettiin paineen ja lämpötilan funktiona. Kaikkien lähtötietojen keräämisen jälkeen, laskettiin arvot energiaraportoinnin Ohje-sivulta löytyneillä kaavoilla omaan Excel taulukkoon. Omia ja OptiVisionin arvoja verrattiin keskenään.

Tuloksia tarkastellessa on otettava huomioon, että opinnäytetyötä tehdessä ei päästy tarkastelemaan, miten OptiVisionin energiaraporttiin lasketaan arvot matala- ja välipainehöyryn entalpioille. Tämä olisi vaatinut raportointitaulujen latauksen purkua ja olisi kuormittanut huomattavasti Honeywellin sekä Enocellin henkilökuntaa. Näin ollen energiaraportoinnin ja omia arvoja vertaillessa oli odotettavissa poikkeamia. Tuloksia voidaan kuitenkin vertailla keskenään sillä haastattellessa Enocellin sellutehtaan tuotantopäällikköä kävi ilmi, että höyryn entalpiat on laskettu lämpötilan ja paineen funktiona.

6.2 Wedge-ohjelma

Wedge-ohjelma on Trimble Inc. kehittämä tiedonlouhintaohjelmisto. Wedge on prosessidatan hallintaan ja prosessivaihteluiden analysointiin tarkoitettu ohjelmistotyökalu. Sillä voidaan kerätä prosessitietoja useista eri lähteistä. Tuotantoin-
sinöörit ja -operaattorit voivat seurata ja analysoida prosessin muutoksia Wedge-
ohjelmiston matemaattisten työkalujen avulla. (Trimble Inc. 2022: Wedge käyttö-
opas.)

6.2.1 X Steam Tables

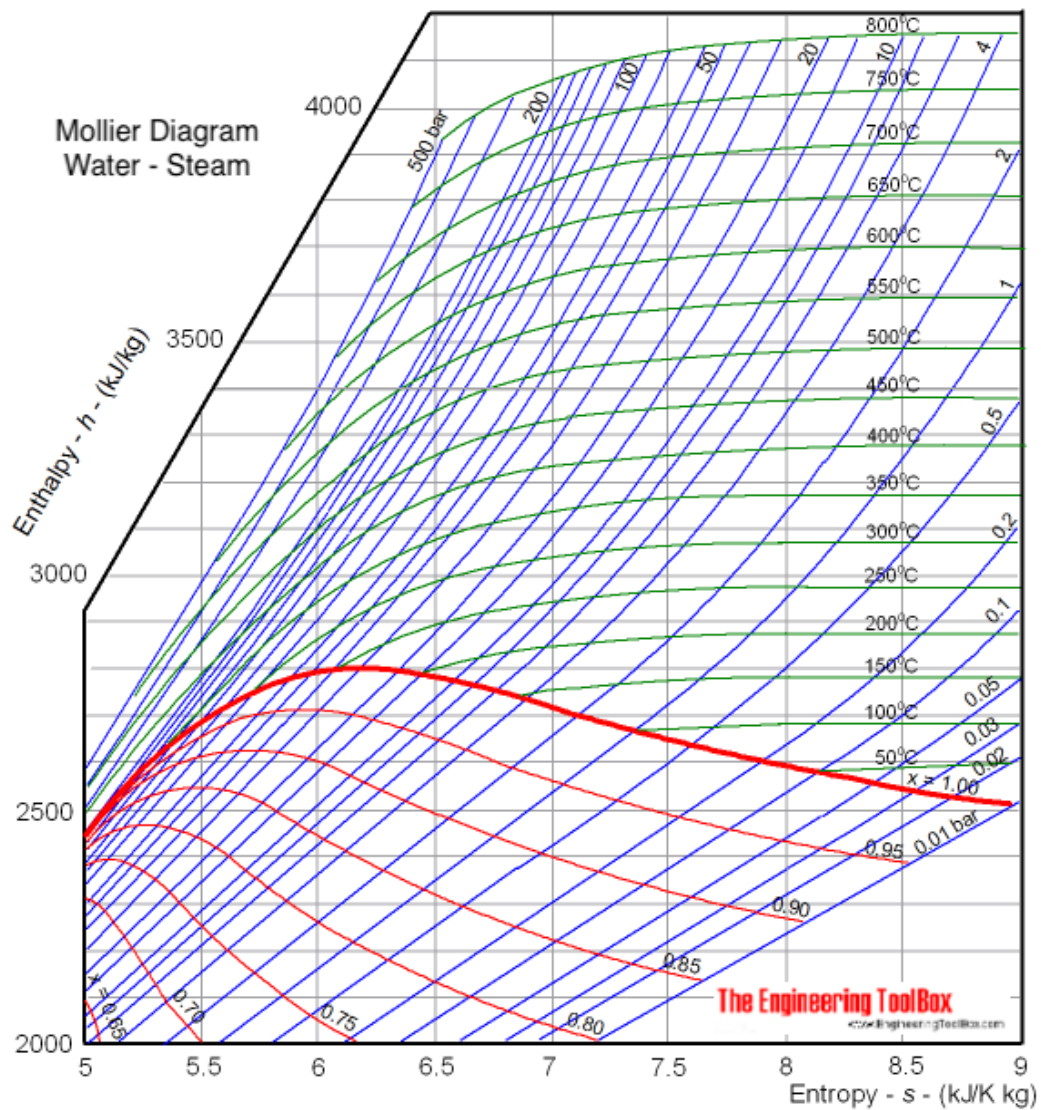
X Steam Tables on Matlabille tehty ohjelma (kuva 13), jolla voidaan laskea höyryn ja veden termodynaamisia ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lämpötila, paine, entalpia, entropia, tiheys, isobaarinen ja isokoorinen lämpöka-
pasiteetti. X Steam -ohjelmasta on saatavilla MS Excel makro, joten sitä voidaan
hyödyntää myös Excel laskentataulukossa. X Steam -ohjelman laskut perustuvat
IAPWS IF97-dokumenttiin, jonka avulla saadaan erittäin tarkkoja arvoja höyrylle
ja vedelle 0–1 000 bar ja 0–2 000 °C välille. X Steam -ohjelmalla voidaan laskea
kaikki höyryn ominaisuudet, kun tunnetaan paine ja lämpötila, paine ja entalpia
tai entalpia ja entropia. (Holmgren 2022; IAPWS IF97 2012.)

Saturation properties given temperature		Saturation properties given pressure	
Temperature	100,00 °C	Pressure	100,000 kPa
Saturation pressure	101,418 kPa	Saturation temperatur	99,61 °C
Liquid		Liquid	
Enthalpy	419,1 kJ/kg	Enthalpy	417,4 kJ/kg
Density	958,35 kg/m ³	Density	958,64 kg/m ³
Entropy	1,31 kJ/kgK	Entropy	1,30 kJ/kgK
Vapour		Vapour	
Vapour enthalpy	2675,6 kJ/kg	Vapour enthalpy	2674,9 kJ/kg
Vapour density	0,60 kg/m ³	Vapour density	0,59 kg/m ³
Vapour Entropy	7,35 kJ/kgK	vapour Entropy	7,36 kJ/kgK
Evaporation energy	2256,5 kJ/kg	Evaporation energy	2257,5 kJ/kg
Properties given pressure and temperature		Properties given pressure and enthalpy	
Pressure	7592,00 kPa	Pressure	7592,00 kPa
Temperature	479,50 °C	Enthalpy	3353,60 kJ/kg
Enthalpy	3353,6 kJ/kg	Temperature	479,5 °C
Density	23,43 kg/m ³	Density	23,43 kg/m ³
Entropy	6,69 kJ/kgK	Entropy	6,69 kJ/kgK
Vapour fraction	100 %	Vapour fraction	100 %
IF97 Region	0	IF97 Region	0
Phase		Phase	
Isobaric heat capacity	2,486508184 kJ/kg	Isobaric heat capacity	2,4865 kJ/kg
Speed of sound	643,8386184 m/s	Speed of sound	643,84 m/s

Kuva 13. X Steam Tables Excel työkalu.

6.2.2 Mollier hs-piirros

Höyryn ja veden entalpiain ja entropian saa selville myös ilman laskentaa. Mikäli tiedossa on höyryn tai veden ominaisuuksista paine ja lämpötila, voidaan entalpia ja entropia tulkita hs-piirroksista (kuva 14). Tällainen taulukon tulkinta ei ole tarkkaa, eikä sitä siitä syystä käytetty opinnäytetyössä lukuarvojen hankkimiseen. Mollier hs-piirros toimii suuntaa antavana työkaluna X Steam -ohjelman ohella.



Kuva 14. Mollier hs-piirros (TheEngineeringToolBox 2022).

7 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset liittyivät OptiVisionin energiaraportoinnin oikeellisuuteen ja ajantasaisuuteen erityisesti Ohje-sivun kaavojen osalta. Liitteessä 1 on nähtävillä OptiVisionin energiaraportin lämmönkulutus-sivu ja liitteessä 2 on nähtävillä energiaraportin tuotanto ja jakelu -sivu. OptiVisionin energiaraportin Ohje-sivu ja sen sisältämät kaavat ovat nähtävillä liitteissä 3 ja 4. Laskennoissa käytetyt lähtöarvot ovat nähtävillä liitteessä 5. Laskentojen tulokset on nähtävillä liitteessä 6.

OptiVisionin energiaraportointi osoittautui pääasiallisesti ajantasaiseksi. Höyryverkkoon on tehty muutoksia, joita ei ole päivitetty Ohje-sivulle eikä laskentaan tai höyryjakelukuvaan. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi uudet reduktioventtiilit ja keittämön höyrylinjojen muutokset. Vertailtaessa omien laskujen tuloksia OptiVisionin energiaraportin vastaaviin havaittiin muutamia suurempia poikkeamia.

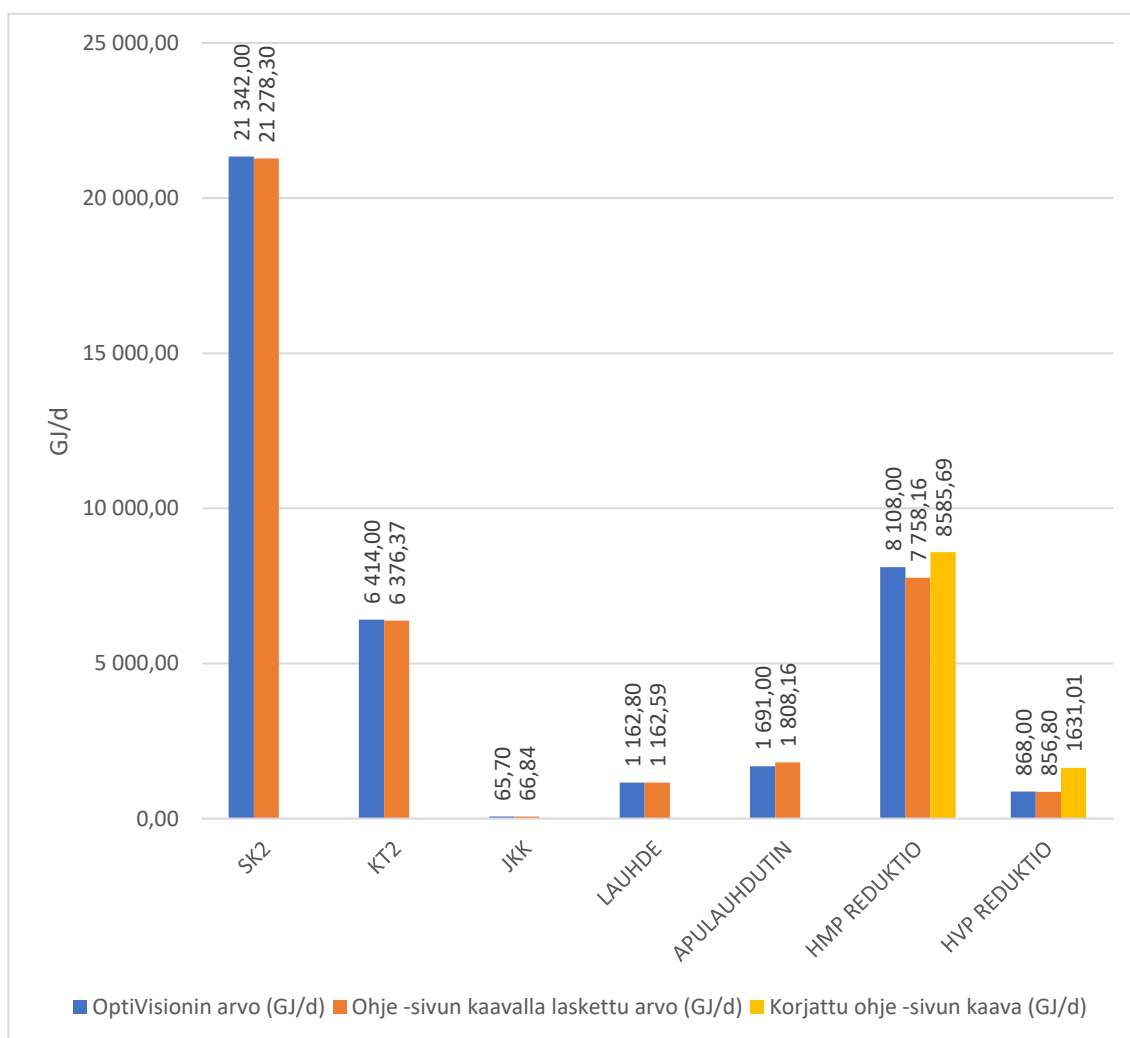
7.1 Tuotanto ja jakelu

Energiaraportin tuotanto- ja jakeluosassa laskennat ovat ajantasaisia, lukuun ottamatta HVP- ja HMP-reduktioita. Haastateltaessa voimalaitoksen käyttöpäällikköä ilmeni, että matala- ja välipainereduktioihin on tehty muutoksia. Reduktioventtiileitä on lisätty yksi kappale matalapaine- sekä välipaineverkkoon. Kunnossapitoinsinöörin haastattelussa saatiin selville, että kummankaan mittaukset eivät ole mukana laskennoissa.

Laskennasta puuttuu uuden välipainereduktion virtausmittaus, eikä sitä ole päivitetty myöskään Ohje-sivun kaavaan. Vertailtaessa raportoinnin Ohje-sivulta löytyvällä kaavalla laskettua höyryn kulutusta OptiVisionin raportoinnin taulukosta löytyvään arvoon havaittiin, että ne ovat lähellä toisiaan. Pieni ero tulee mahdollisesti entalpia arvon laskentatavasta ja pyörityksistä. Ohje-sivulla olevassa kaavassa on vain yhden reduktion mittaus. Käytössä on kuitenkin kaksi reduktiota, joista toisellekin löytyi arvoja samalle ajankohdalle. Lisättäessä tämä puuttuva

mittaus mukaan laskentaan, saatiin lähes 50 % suurempi tulos raportoinnin arvoon verrattuna (kaavio 1).

Matalapainehöyryverkkoon on myös lisätty yksi uusi reduktioventtiili. Vertaillen tuloksia havaittiin, että Ohje-sivun kaavalla laskettaessa saadaan lähes sama tulos OptiVisionin raportoinnin laskennan kanssa. Pieni ero voi johtua höyryn entalpian laskenta tavasta. Uuden reduktion virtausmittauksen arvot otettiin mukaan laskentaan, jolloin saatiin noin 6 % suurempi arvo OptiVisionin raportoinnin arvoon verrattuna. Tämä vain 6 % ero laskentojen välillä johtuu laskennoista puuttuvan reduktioventtiilin käytön vähyydestä tarkasteluajankohtana. Vaikka ero tarkasteluajankohtana on pieni, voisi tilanne olla se, että käytössä olisikin vain uusi reduktio. Tällöin energiaraporttiin ei kirjautuisi arvoja ollenkaan.



Kaavio 1. Tuotanto ja jakelu erot.

Tuotanto ja jakelu -taulukossa on kohta ”Sähkön jako”, jossa on eritelty Fortum ja EC (Enocell) (kuva 15). Voimalaitoksen käyttöpäällikön haastattelussa kävi ilmi, että tämä on jääne vanhasta mallista, joka ei ole enää käytössä. Laskennassa on ositettu sähkönjakelu Fortumille 52 % ja Enocellille 48 %. Haastattelussa kuitenkin kävi ilmi, että tällainen ositus ei ole enää käytössä. Lisäksi jätekaasukattilalle ja metanolikolonnille menevässä höyrylinjassa on haara ennen mittausta, joten höyryn kulutus jää pimentoon. Tällä linjalla syötetään höyryä jätekaasukattilan sekundääri-ilman lämmitykseen. Putkikoko on pieni ja höyryn kulutusta silloin, kun jätekaasukattila on käytössä. Tuotannon työntekijöiden mukaan tässä höyrylinjassa on talvella venttiili jatkuvasti hieman raollaan, jotta höyryputki ei jäätyisi. Kulutus on kuitenkin hyvin pientä eikä se vaikuta merkittävästi höyrytaseeseen.

TU2 Sähkön kehitys			Sähkön jako			Muu energia		
MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	GJ	GJ	GJ
Sähkö brutto	Vastapaine	Lauhde	Omakäyttö	Fortum	EC	Apu-lauhdutin	HMP reduktio	HVP reduktio
1809	1150	658,5	46,50	916,2	845,8	212,3	0,0	0,0
1957	1197	780,6	45,50	994,2	917,7	152,2	0,0	0,0
2002	1273	729,4	44,00	1018	940,0	62,5	0,0	0,0
2294	1205	1089	48,40	1168	1078	1691	0,0	0,0
2217	1237	979,4	48,70	1127	1041	408,6	0,0	0,0
2120	1182	927,5	47,30	1078	994,8	354,1	0,0	0,0

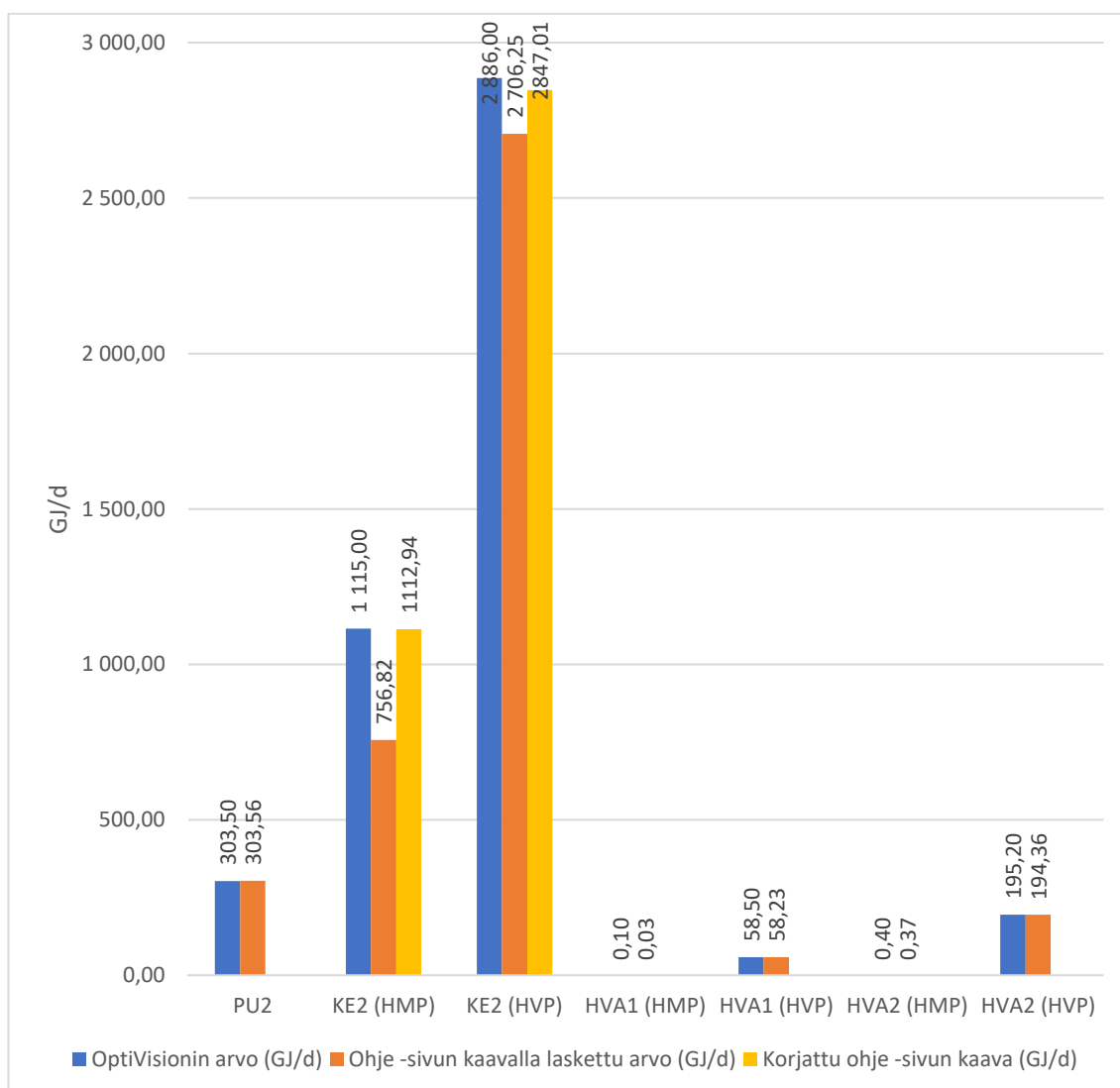
Kuva 15. Energiaraportin tuotanto ja jakelu -osiosta leike.

7.2 Lämmönkulutus

Energiaraportin lämmönkulutus osan tarkistuksessa ilmeni myös muutamia suurempia poikkeamia. Eroja havaittiin KE2:n (keittämö), HA2:n (haihuttamo) ja sahan kohdalla (kaaviot 2–4). Lisäksi sahanpurunkäsittelyn höyrynkulutus puuttuu kokonaan raportoinnista.

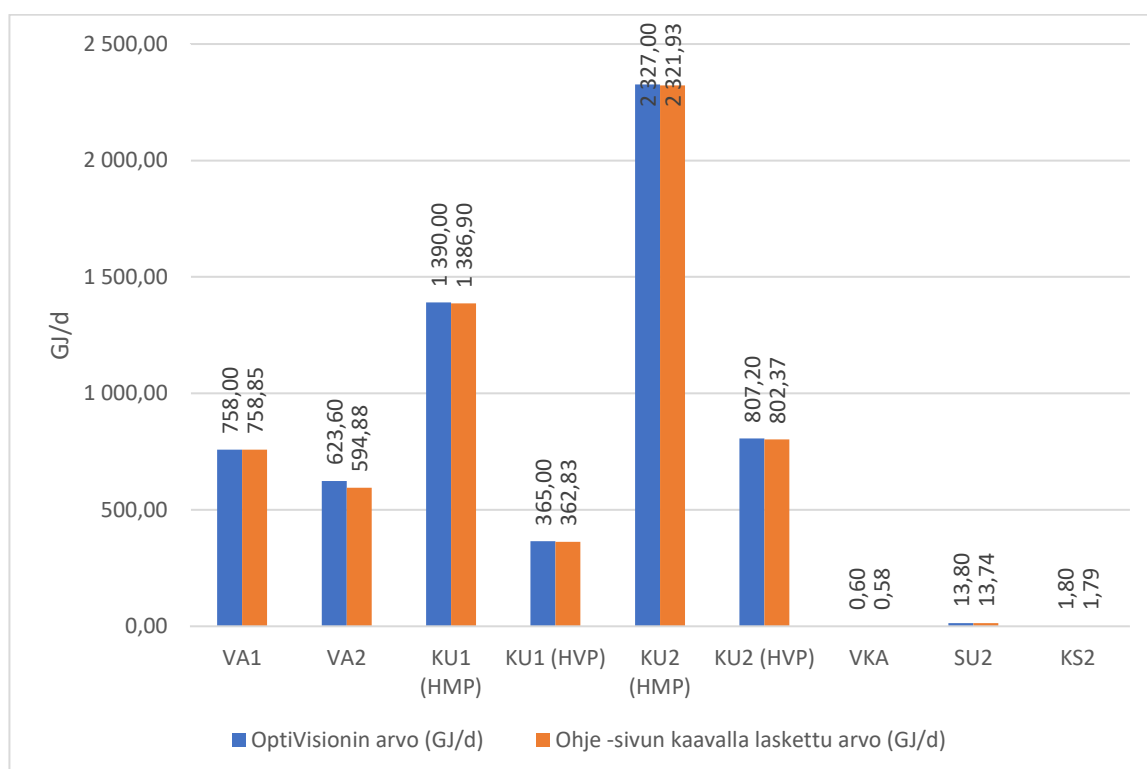
Keittämö kuluttaa väli- ja matalapainehöyryä. Keittämön osastoinöörin ja voimalaitoksen käyttöpäällikön haastattelussa ilmeni, että keittämön höyrynkulutuksen laskennat eivät ole HMP:n ja HVP:n osalta ajan tasalla.

KE2 HMP laskentaa tarkistaessa ero OptiVisionin energiaraportin lukeman ja Ohje-sivun kaavalla lasketun välillä huomattavan suuri (kaavio 2). Ero laskentojen välillä oli noin 30 %. Haastatteluissa kävi ilmi, että KE2 HMP laskentaan on tehty muutos lauhteen palautuksen osalta. Lauhteen palautuksen arvoksi on asetettu nolla. Näin laskettuna saatiin tulos, joka erosi OptiVisionin arvosta lähes 0 %. Lisäksi keittämön osastoinsinöörin ja voimalaitoksen käyttöpäällikön haastattelussa ilmeni, että keittämön matalapainehöyrylinjoihin on tehty paljon muutoksia. Näitä muutoksia ei ole vielä kartoitettu ja asia vaatii laajoja lisäselvityksiä. Tämän tiedon ilmettyä käytiin keskustelu toimeksiantajan kanssa, jossa todettiin, että selvitystyötä ei tehdä tähän opinnäytetyöhön sen pitkittymisen ehkäisemiseksi. Vaadittavat lisäselvitykset olisivat laajoja ja vaatisivat paljon aikaa.



Kaavio 2. Lämmönkulutus erot PU2 – HVA2 (HVP).

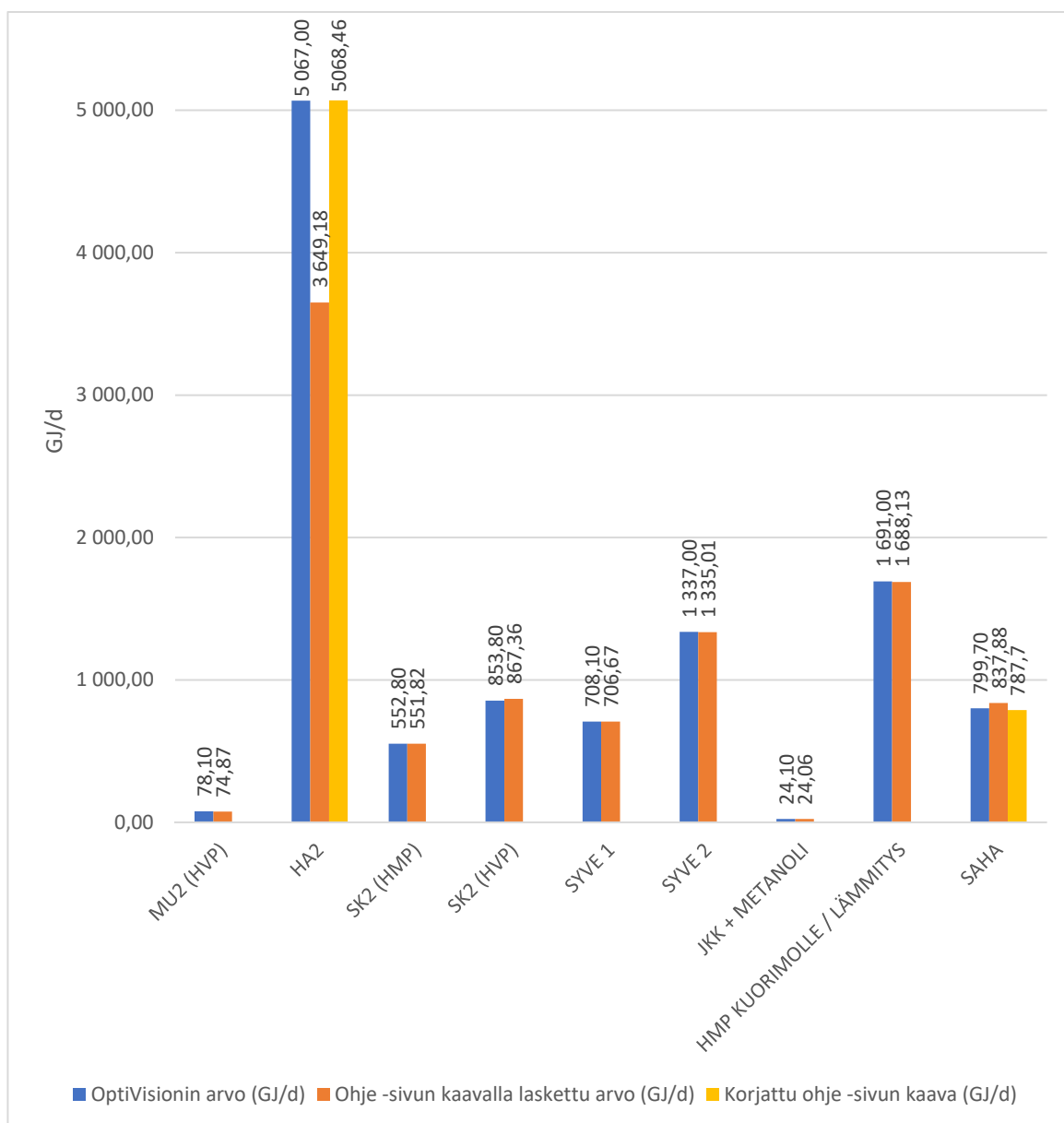
Tarkistettaessa keittämön HVP laskentaa ero OptiVisionin energiaraportin lukeman ja Ohje-sivun kaavalla lasketun välillä oli noin 7 %. Keittämön osastoinisnööri haastattelussa ilmeni, että Ohje-sivun kaava ei pidä enää paikkaansa, ja laskennan kaava on päivitetty. Laskennassa oleva kaava on ajantasainen keittämön muutoksiin nähden. Ohje-sivun kaavasta sen sijaan puuttuu useita mittauksia ja mittaus 641FI023 on ylimääräinen. Haastattelun perusteella Ohje-sivun kaavasta puuttuu mittaukset 641FI5960, 641FI5919 ja 641FI5956. Mittaus 641FI023 on ylimääräinen, sillä se on samassa höyrylinjassa mittauksen 641FI003 kanssa ja 641FI003 on ennen mittausta 641FI023. Ohje-sivun kaavaan lisättiin puuttuvat virtausmittaukset ja lauhteen virtausmittaukseksi asetettiin mittauksen 641FI248 arvot. Näin laskettuna tulos erosi OptiVisionin laskemasta arvosta noin 1 % (kaavio 2). Haastattelussa ilmeni, että lauhteen palautus keittämöltä mitataan mittarilla 641FI284. Tämä mittari kertoo keittämöltä palautuvan lauhteen kokonaismäärän, sisältäen matala- ja välipainehöyryn. Tämä on otettava huomioon, kun keittämön höyrynkulutuksen laskentoja päivitetään.



Kaavio 3. Lämmönkulutus erot VA1 – KS2.

Laskettaessa haihduttamon höyrynkulutusta energiaraportin Ohje-sivun kaavalla saatiin tulokseksi noin 30 % liian pieni tulos. Haihduttamolle on tehty isoja muutoksia, jossa haihduttamolle on tullut lisää höyrynkulutuskohdeita. PI-kaaviota tarkasteltaessa havaittiin, että höyrylinja haarautuu näille uusille kulutuskohteille ennen energiaraportin Ohje-sivulla olevaa virtausmittausta. Haastateltaessa voimalaitoksen insinöörejä kävi ilmi, että haihduttamon laskentoihin on tehty muutoksia, jotka on jäänyt päivittämättä Ohje-sivun kaavaan. Höyryvirtaus tietoa ei oteta höyrynkulutuksen virtausmittareilta, vaan OptiVision laskee energiaraporttiin kokonahöyryvirtauksen lauhteen virtausmittauksen (761FI314) tiedoilla. Tämä mittaustapa on asetettu haihduttamolla siten, että sen ohi kulkee kaikki haihduttamolle syötetyn höyrynkulutuslauhde. Laskettaessa tällä mainitulla lauhteen virtausmittauksen tiedoilla saatiin tulos, jonka ero OptiVisionin arvoon oli lähes 0 %. Lisäksi vahvaliipäyksille on oma höyrylinja höyrypesuja varten. Tämä linja on kuitenkin pieni ja sen käyttö vähäistä, joten höyrynkulutuksen merkittävyys jää hyvin vähäiseksi.

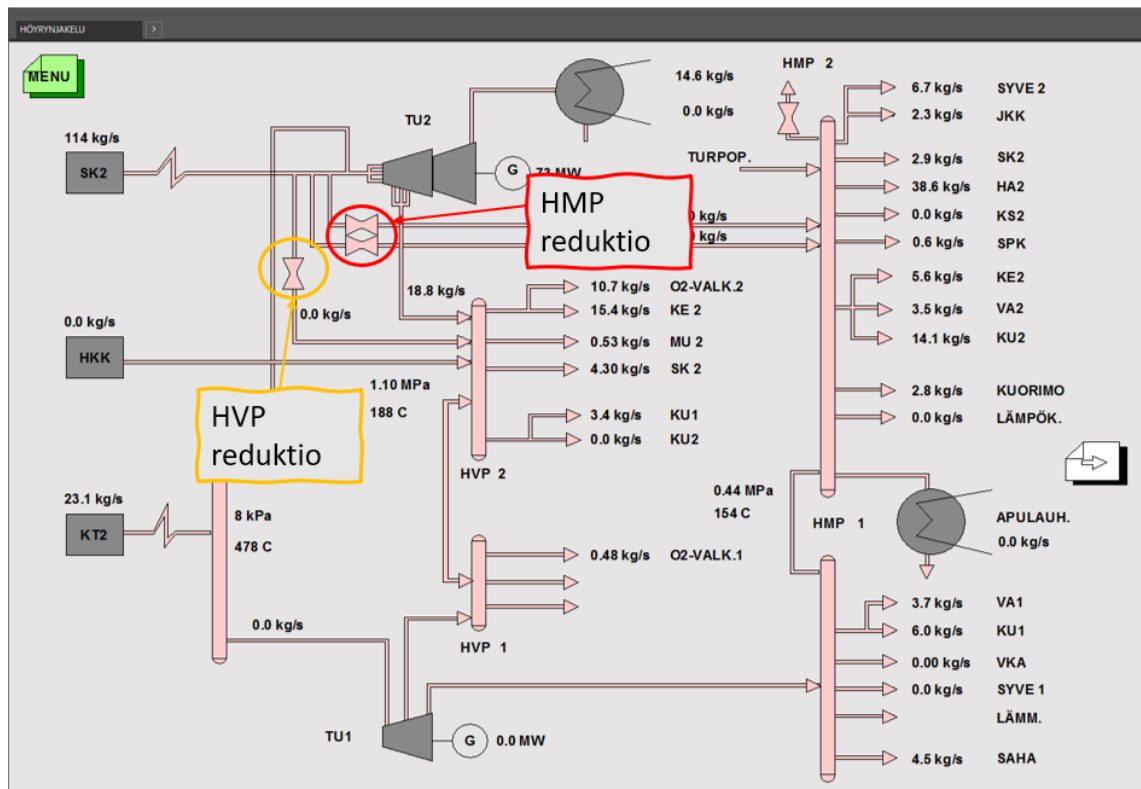
Enocellin tehdas toimittaa höyrynkulutusta Uimaharjun sahalle, ja näin ollen myös sahan höyrynkulutus on mukana energiaraportissa. Sahan osalta OptiVisionin antama arvo on noin 5 % suurempi kuin Ohje-sivun kaavalla laskettuna (kaavio 4). Ohje-sivun kaavassa on kerroin 0,65, joka kuvaa lauhteen palautusprosenttia. Haastattelusta selvisi, että tämä kerroin ei ole enää käytössä, vaan lauhteen palautuksen oletetaan olevan 100 %. Lauhteen palautus on jouduttu lisäämään laskentaan olettamana, sillä lauhtelinjassa sahalla voimalaitokselle ei ole virtausmittausta. Ohje-sivun kaavaa muutettiin ottamalla kerroin 0,65 pois kaavasta, ja näin saatiin tulos, joka oli likimain sama OptiVisionin arvon kanssa (kaavio 4).



Kaavio 4. Lämmönkulutus erot MU2 (HVP) – SAHA.

Sahanpurunkäsittelyyn johdetaan matalapainehöyryä, jota käytetään muiden lämmönlähteiden (esimerkiksi soodakattilan savukaasupesurin hukkalämpö) apuna lämmityspiirissä käytettävän glykolin lämmittämiseen. SPK:lla on omat lämmönvaihtimet hukkalämmölle ja HMP:lle. Sahanpurunkäsittelyyn menevässä matalapainehöyrylinjassa ei ole virtausmittausta. Lämmönvaihtimen jälkeen on olemassa lauhteen virtausmittaus 764FI867, jota voitaisiin käyttää laskennassa. Sahanpurunkäsittelyn energiankulutus laskettiin soveltamalla sahan laskukaavaa. Kaava nähtävissä liitteessä 6. Näin laskettuna SPK:n lisääminen energiaraportiin nostaisi lämmönkulutus -sivun energiankulutuksen kokonaissummaa tarkasteluajankohtana 0,44 %.

PI-kaavioita tarkastellessa havaittiin, että ”höyry ja lauhde” jakelukaaviossa (piirustus numero 5215006) on merkattu virtausmittaus 723FI121 linjaan 723-004-HVP-80-25C1B. Mittaus on todellisuudessa linjassa 723-003-HVP-400-25C1A-A. Lisäksi Experion PKS höyrynjakelukuvasta puuttuu tuotanto ja jakelu kappaleessa mainitut matala- ja välipainereduktiot (kuva 16).



Kuva 16. Reduktioventtiilit höyrynjakelukuvassa. (Experion PKS 2022).

7.3 Kehitysehdotukset ja jatkotoimenpiteet

Opinnäytetyön tuloksista ilmeni, että OptiVisionin energiaraportoinnin Ohje-sivu on osittain ristiriidassa laskentojen kanssa, laskennoista puuttuu mittauksia ja Experion PKS höyrynjakelukuva ei ole ajantasainen. Ajantasaiset tiedot energiaraportoinnin Ohje-sivulla helpottavat insinöörien työskentelyä, mikäli laskentoja jostain syystä joudutaan tarkistamaan. Laskentojen tulisi olla ajan tasalla, jotta raportointia voitaisiin käyttää viranomaisraportointeihin. Tuotantojen ennustaminen myös helpottuisi.

Ensimmäinen kehitysehdotukseni koskee OptiVisionin energiaraportin tuotanto ja jakelu -sivun laskentoja sekä Ohje-sivua. Välipainereduktion laskentaan lisätään puuttuvan reduktion virtausmittaus ja lisätään Ohje-sivun kaavaan puuttuva positio (723FI180). Matalapainereduktion laskentaan ja Ohje-sivun kaavaan lisätään puuttuvan reduktion virtausmittaus (723FI188). Poistetaan taulukosta sarakke Fortum ja laskennasta kohdasta "EC" poistetaan kerroin 0,48.

Toinen kehitysehdotukseni koskee OptiVisionin energiaraportin lämmönkulutus -sivun laskentoja ja Ohje-sivua. KE2 (HVP) laskennan kaava päivitetään Ohje-sivulle. HMP ja HVP lauhteiden palautuksen ositus selvitetään ja päivitetään laskentaan. HA2 ja SAHA laskentojen kaavat päivitetään Ohje-sivulle. Lisätään taulukkoon kohta SPK ja lisätään laskennat taulukkoon sekä kaava Ohje-sivulle.

Kolmas kehitysehdotukseni koskee Experionin höyrynjakelukuvaa ja PI-kaaviota (piirustus numero 5215006). Lisätään höyrynjakelukuvaan (kuva 16) puuttuvat reduktiot. PI-kaavioon korjataan mittaus 723FI121 osoittamaan oikeaan linjaan. Lisäksi ehdottaisin, että energiaraportoinnin Ohje-sivua päivitetäisiin samaa tahtia, kuin laskentoihin tehdään muutoksia. Näin säästyttäisiin mahdollisilta väärinkäsityksiltä ja Ohje-sivu olisi luotettava tiedonlähde.

Laajempia jatkotoimenpiteitä vaatii KE2 HMP laskennan tarkistaminen ja päivittäminen. KE2 matalapainehöyrylinjan muutokset, HMP kulutuskohteet ja niiden mittaukset tulee kartoittaa. Kartoituksen tulosten perusteella KE2 (HMP) laskenta ja Ohje-sivun kaava tarkistetaan ja päivitetään ajan tasaiseksi. Keittämön osastoinöörin haastattelussa kävi ilmi, että kartoitukseen kuluu paljon aikaa, sillä PI-kaaviot eivät välttämättä ole ajan tasalla keittämön matalapainehöyryverkon osalta. Näin ollen höyrylinjat täytyy käydä kartoittamassa prosessissa kävellen. Ehdottaisinkin tämän toimenpiteen suorittamista projektinomaisesti, jolloin työ saadaan tehtyä kerralla loppuun saakka.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Stora Enson Enocellin sellutehtaalla käytössä olevan energiaraportin ajantasaisuus. Aikaisempia vastaavanlaisia toteutuksia ja tutkimuksia oli tehty lauhdetaseesta sekä muutamia diplomitöitä, joihin liittyi höyrytaseen käsittelyä. Tietoperustan rakentamiseen oli saatavilla hyvin aineistoa suomeksi ja englanniksi. Enocellin tehtaan höyryntuotantoon ja muihin prosesseihin oltiin päästy tutustumaan jo entuudestaan, joka osaltaan helpotti opinnäytetyön tekemistä. Opinnäytetyön tekeminen lisäsi tekijän tietoutta Enocellin höyryverkostosta ja automaatiojärjestelmien toiminnasta. Jatkotutkimuksia voisi tehdä Enocellin sellutehtaan vesitaseen osalta. Näin saataisiin ajantasainen kuva myös tehtaan lauhdetaseesta sekä raakaveden käytöstä.

Alustavien tietojen perusteella oli odotettavissa puutteita ja virheitä OptiVisionin laskennoissa ja Ohje-sivun kaavoissa. Lopputulokset olivat ennako-odotusten mukaisia ja linjassa muutosten kanssa, joita prosessiin on tehty. Omia laskelmia pystyttiin vertaamaan OptiVisionin laskelmiin, vaikkakin raportoinnin latauksen purkua ei pystytty tekemään. Enocellin tuotantopäälliköltä saatujen tietojen pohjalta voitiin olla varmoja, että höyryn entalpiat lasketaan paineen ja lämpötilan funktiona. Opinnäytetyön myötä toimeksiantaja sai tietoa OptiVisionin energiaraportin ajantasaisuudesta.

Opinnäytetyön tekeminen tuki erinomaisesti aikaisemmin opittuja tietoja, sekä täydensi hyvin Karelia ammattikorkeakoulun tarjoamia opintoja. Kokemus oli kokonaisuudessaan mielekäs ja sopivan vaativa. Opinnäytetyössä jouduttiin selvittämään asioita, jotka eivät olleet opiskelijan vahvinta osaamisaluetta, ja työ muodostui näin myös hyödylliseksi oppimistapahtumaksi. Opinnäytetyö tehtiin osittain etätöyöskentelynä ja osittain paikan päällä Enocellin sellutehtaalla.

Lopuksi opiskelija haluaisi kiittää Stora Enso Enocellin tuotannon ja voimalaitoksen osastoinsinöörejä, käyttöpäälliköitä ja tuotantopäällikköä sekä kunnossapidon insinöörejä ja automaatioinsinöörejä. Kiitos myös Honeywell Oy:n Tuulalle.

Lähteet

- Holmgren, M. 2022. X-Steam for Matlab. <https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9817-x-steam-thermodynamic-properties-of-water-and-steam>. 9.3.2022.
- Honeywell Oy. 2022. Experion PKS. Käyttöliittymän käyttöohje. Sisäinen asiakirja.
- Honeywell Oy. 2021. OptiVision – MES for Pulp, Paper and Flat Sheet Industries. <https://urly.fi/2kJw>. 26.11.2021.
- Honeywell Oy. 2021. Yrityksen verkkosivusto. <https://www.honeywell.com/fi/fi>. 24.11.2021.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki Oy Edita Ab.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2016. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.
- Incropera, F., Dewitt, D., Bergman, T. & Lavine, A. 2013. Principles of Heat and Mass Transfer. Seventh edition. International Student Version. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- Joronen, T., Kovács, J. & Majanne, Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. Suomen Automaatioseura ry.
- Kaakinen, A. 2020. Experion PKS Orion Console PMD valvomo käyttöliittymä. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö (AMK). https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/345461/Kaakinen_Arttu.pdf?sequence=2&isAllowed=y. 14.12.2021.
- Kalliorinne, K., Kankaanperä, A., Kivinen & A., Liukkonen, S. 1990. Fysikaalinen kemia 2. Termodynamiikka. Oy Länsi-Suomi.
- Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki Edita Prima Oy.
- KnowPulp. 2022. <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/knowpulp.htm>. 13.1.2022.
- Lapp Automaatio Oy. 2022. EPIC® SENSORS. <https://www.epicsensors.fi/etusivu/>. 19.1.2022.
- Leskelä, M. & Turunen, T. 2012. Höyry- lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden mittaussopas. https://www.motiva.fi/files/6319/Hoyry-_lauhdesiirtojarjestelman_energiatehokkuuden_mittaussopas_verkkoon.pdf. 2.12.2021.
- Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. uudistettu painos. Opetushallitus.
- Spirax Oy. 2017. Spirax Sarco SV60 and SV60H Safety Valves Installation and Maintenance Instructions. <https://content.spiraxsarco.com/-/media/spiraxsarco/international/documents/en/im/sv60-im-p317-01-en.ashx?rev=c62add0698a842b2a23266f484cfb465>. 12.1.2022.
- Stora Enso. 2021. Tietoa Stora Ensosta, Enocellin tehdas. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>. 13.01.2022.
- Stora Enso. 2022. Stora Enso Oyj Enocellin tehdas yleisesittely.
- Suni, N. 2018. Jännitteensäädön ja loistehonhallinnan kehittäminen Enocellin sellutehtaalla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/155307/DI-ty%F6%20Niko%20Suni.pdf?sequence=1>. 14.12.2021.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2004. SFS-ISO 14617-6. Kaavioissa käytettävät piirrosmerkit. Osa 6: Mittaus- ja ohjaustoiminnot.
- Tapalinen, V. 2017. Sellutehtaan höyrytase ja vastapaineturbiinin tuotannon kasvassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/143974/Tapalinen_Ville_Diplomity%C3%B6.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 14.12.2021.
- The Engineering ToolBox. 2022. Water-Steam Mollier Diagram. https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d_308.html. 9.3.2022.

- The International Association for the Properties of Water and Steam, IAPWS. 2007. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. <http://www.iapws.org/rel-guide/IF97-Rev.pdf>. 9.3.2022.
- Teir, S. 2003. Steam boiler technology, 2nd edition. Helsinki University of Technology, Laboratory of Energy Engineering and Environmental Protection. Picaset Oy.
- Trimble Inc. 2021. Wedge käyttöopas. Sisäinen asiakirja.
- Trimble Inc. 2022. Wedge Process Diagnostics System. <https://wedge.trimble.com/>. 7.3.2022.

Energiaraportti: Lämmönkulutus

Vuosi	Kuukausi	Päivä	Sellun- tuotanto		PU2	KE2			HWA1		HWA2		VA1	VA2	KU1		KU2		VKA	MÖ	KS2	MU2		HA2	SK2		SYVE 1	SYVE 2	JKK+Me OH	Lämmitys 5 lämmönk ulutus	Saha lämpö	Tasaero
			Adt	GJ		GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ			GJ	GJ	GJ	GJ				GJ	GJ		GJ	GJ						
2021		11 01.11.2021	1163	19549	2.800	1169	2467	0,0	176,1	0,0	285,8	1102	734,0	1486	304,7	1708	0,0	0,300	16,30	0,0	99,8	0	5803	567,1	861,9	85,0	1507	22,90	0,0	890,7	301,7	
		02.11.2021	1201	20099	2.600	1020	2402	0,0	165,0	0,0	201,3	888,2	483,0	1472	303,2	1765	0,0	0,300	13,70	0,0	103,8	0	6897	560,4	867,4	0,0	1449	22,90	0,0	932,4	570,9	
		03.11.2021	1299	21285	2.800	1084	2432	0,0	175,3	0,0	221,8	889,0	538,3	1423	299,2	1936	0,0	0,300	14,80	0,0	104,1	0	7869	557,7	874,3	0,0	1491	22,90	0,0	853,6	697,6	
		04.11.2021	1112	19097	1.900	833,5	2080	0,0	125,5	0,0	234,4	783,8	511,4	1344	297,7	1980	0,0	0,300	12,10	0,0	114,6	0	6730	566,5	879,9	25,10	1457	22,90	0,0	797,2	319,9	
		05.11.2021	1158	20865	2.500	1087	2558	0,0	153,4	0,0	222,6	582,2	374,2	1289	298,1	1755	0,0	0,300	9,200	0,0	122,1	0	7643	561,6	878,2	19,70	1415	22,90	0,0	792,7	919,6	
		06.11.2021	1200	19906	3.000	1083	2484	0,0	141,8	0,0	208,2	702,8	465,2	1312	297,2	1751	0,0	0,300	12,40	0,0	104,4	0	6781	568,6	884,1	5,900	1483	22,90	0,0	822,5	804,7	
		07.11.2021	1273	20604	4.100	1149	2587	0,0	96,2	0,0	206,6	738,6	493,0	1370	298,3	1749	0,0	0,300	9,400	0,0	103,3	0	7061	562,2	870,3	55,8	1495	22,90	0,0	828,8	963,7	
		08.11.2021	1257	22446	6.100	1191	2771	0,0	138,7	0,0	176,1	629,0	388,1	1437	296,9	1824	0,0	0,400	9,600	0,0	101,4	0	8039	562,4	870,6	0,0	1515	22,90	0,0	899,5	1568	
		09.11.2021	1397	22336	3.500	1088	2510	0,0	116,3	0,0	183,9	590,0	318,4	1488	298,2	1947	0,0	0,700	6,100	0,0	104,1	0	8285	571,7	878,5	0,0	1481	22,90	1,000	908,6	1818	
		10.11.2021	1184	21788	3.600	1131	2831	0,0	132,7	0,0	189,9	470,0	278,5	1474	298,5	1723	0,0	0,600	5,100	0,0	102,4	0	7651	571,0	886,9	0,0	1511	22,90	0,0	860,9	1644	
		11.11.2021	1004	19696	1.500	998,1	2250	0,0	110,9	0,0	204,2	423,2	302,1	869,0	298,2	1847	0,0	0,400	0,900	0,0	111,0	0	7442	574,0	884,6	0,0	1480	22,90	0,0	865,4	1031	
		12.11.2021	1349	21835	4.700	1204	2860	0,0	101,9	0,0	193,5	734,9	523,7	1377	302,8	1899	0,0	0,400	0,300	0,0	106,5	0	7337	569,8	885,4	0,0	1582	22,90	0,0	830,9	1499	
		13.11.2021	1358	21954	4.300	1133	2511	0,0	122,1	0,0	215,3	656,7	352,4	1323	301,9	1911	0,0	0,400	0,900	0,0	107,5	0	7945	574,7	880,8	0,0	1522	22,90	0,0	806,2	1583	
		14.11.2021	1310	21942	4.500	1169	2694	0,0	96,9	0,0	249,4	652,1	434,0	1421	303,1	1839	0,0	0,500	1,200	0,0	102,8	0	7538	576,2	881,9	0,0	1553	22,90	0,0	825,8	1576	
		15.11.2021	1367	22539	5.500	1198	2802	0,0	131,6	0,0	237,6	705,4	425,8	1428	304,7	1982	0,0	0,400	7,900	0,0	100,5	0	7658	572,2	899,6	1,100	1559	22,90	55,4	831,3	1620	
		16.11.2021	1348	21858	5.200	1042	2558	0,0	111,1	0,0	205,4	788,0	440,8	1412	302,8	1938	0,0	0,400	2,600	0,0	104,5	0	8030	568,2	895,6	0,0	1456	22,90	0,0	831,1	1193	
		17.11.2021	1202	19289	7.100	764,2	2275	0,0	133,0	0,0	171,4	793,7	655,9	1234	303,9	1918	0,0	0,400	15,80	0,0	117,7	0	6852	565,6	853,4	0,900	1346	22,90	0,0	888,4	370,7	
		18.11.2021	1088	21078	4.400	1020	2630	0,0	86,6	0,0	256,6	853,4	584,5	1003	308,0	1964	0,0	0,400	12,50	0,0	104,7	0	7386	560,8	859,4	0,0	1526	19,20	0,0	888,0	1051	
		19.11.2021	1346	23303	5.300	1156	2782	0,0	120,6	0,0	278,5	1014	562,4	1415	305,2	1967	0,0	0,400	11,10	0,0	104,2	0	8742	548,2	858,9	0,0	1549	19,30	0,0	870,6	1011	
		20.11.2021	1298	22167	4.700	1080	2338	0,0	108,2	0,0	288,1	905,5	499,1	1449	307,0	1984	0,0	0,500	11,90	0,0	107,8	0	8033	555,1	863,9	0,0	1507	22,90	1,600	902,1	1221	
		21.11.2021	1341	21787	8.600	1072	2425	0,0	78,1	0,0	230,8	982,6	488,5	1482	307,2	1985	0,0	0,400	9,400	0,0	114,9	0	7688	569,8	883,2	0,0	1531	22,90	382,3	883,4	745,3	
		22.11.2021	1312	21907	10.00	1101	2678	0,0	125,2	0,0	195,9	1025	534,5	1460	308,9	1984	0,0	0,500	13,60	0,0	120,0	0	7251	563,1	876,5	21,80	1577	22,90	1348	902,9	-193,88	
		23.11.2021	1356	22835	8.900	1131	2617	0,0	108,6	0,0	191,5	999,6	452,6	1459	306,7	1859	0,0	0,400	8,100	0,0	116,3	0	8219	554,0	864,7	3,300	1553	22,90	437,8	854,2	1067	
		24.11.2021	1319	22262	15,70	1145	2691	0,0	96,6	0,0	104,6	1071	482,9	1458	308,5	1849	0,0	0,500	5,800	0,0	111,5	0	7485	557,6	857,0	3,700	1540	22,90	490,9	882,4	983,6	
		25.11.2021	1009	21620	41,40	1159	2579	0,0	84,9	0,0	240,2	876,3	461,3	782,2	307,7	1863	0,0	0,400	6,400	0,0	113,8	0	7401	564,5	863,5	8,900	1554	22,90	950,4	882,0	897,7	
		26.11.2021	1303	22315	40,60	1177	2586	0,0	94,7	0,0	228,7	1013	433,2	1393	308,8	1881	0,0	0,500	11,90	0,0	112,8	0	7348	565,7	868,4	0,0	1617	22,90	1417	877,9	357,7	
		27.11.2021	1307	20988	24,10	1013	2428	0,0	121,9	0,0	101,0	1151	547,7	1441	307,7	1849	0,0	0,500	13,10	0,0	117,7	0	7033	572,9	856,5	28,80	1492	22,90	1629	856,4	-820,01	
		28.11.2021	1042	19110	14,30	832,3	1960	0,0	82,1	0,0	120,5	657,1	759,0	1314	306,8	1968	0,0	0,900	8,800	0,0	119,5	0	5855	581,5	864,9	120,3	1430	22,90	2046	903,9	-854,04	
		29.11.2021	825,0	17262	272,6	1135	2293	0,0	11,50	0,0	222,6	138,6	1000	453,2	311,3	2329	0,0	0,600	5,400	0,0	102,3	0	3438	564,6	907,8	362,1	1371	22,90	2166	986,1	-801,61	
		30.11.2021	567,1	15390	101,7	586,1	1975	0,0	121,4	0,0	97,1	1235	274,8	1329	308,2	539,1	0,0	0,800	6,600	0,0	113,0	0	3887	533,1	874,9	474,3	1213	23,00	1626	981,5	-890,30	
Keskiarvo	1210	20962	20,600	1063,7	2492	0,0	113,6	0,0	207,7	799,1	493,6	1318	303,5	1847	0,0	0,450	8,76	0,0	109,0	0	7169	564,0	872,4	39,9	1490	22,66	418,4	867,2	741,1			
Yhteensä	36303	628869	618,000	31910,1	74773	0,0	3406,9	0,0	6231,5	23973,7	14806,5	39546	9105,4	55408	0,0	13,500	262,90	0,0	3268,8	0	215063	16920,8	26173,0	1196,7	44711	679,80	12551,5	26014,7	22234,2			

	Sellun- tuotanto	Prosessi- höyry	PU2	KE2	HWA1	HWA2	VA1	VA2	KU1	KU2	VKA	MÖ	KS2	MU2	HA2	SK2	SYVE 1	SYVE 2	JKK+MeOH	Lämmitys lämmönkul utus	Saha lämpö	Tasaero
Os. Yht.	36303	628869	618,000	106683,1	3406,9	6231,5	23973,7	14806,5	48852	55408	13.500	262,90	0,0	3268,8	215063	43093,8	1196,7	44711	679,80	12551,5	26014,7	22234,2

Energiaraportti: Tuotanto ja jakelu

Vuosi	Kuukausi	Päivä	Sellun tuotanto	Tuotanto			TU2 Höyryn jakelu		TU2 Sähkön kehitys			Sähkön jako			Muu energia		
			Adt	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	GJ	GJ	GJ
			-	SK2	KT2	JKK	Sähkön kehitys	Prosessi-höyry	Sähkö brutto	Vastapaine	Lauhde	Omak+muuntoh.	Fortum	EC	Apu-lauhdutin	HMP reduktio	HVP reduktio
2021	11	01.11.2021	1163	28104	4842	0,0	11398	19549	1809	1150	658,5	46,50	916,2	845,8	212,3	0,0	0,0
		02.11.2021	1201	28823	4023	0,0	12546	20099	1957	1197	760,6	45,50	994,2	917,7	152,2	0,0	0,0
		03.11.2021	1299	30331	3392	0,0	12438	21285	2002	1273	729,4	44,00	1018	940,0	62,5	0,0	0,0
		04.11.2021	1112	31800	4660	0,0	17362	19097	2294	1205	1089	48,40	1168	1078	1691	0,0	0,0
		05.11.2021	1156	31037	4794	0,0	15167	20665	2217	1237	979,4	48,70	1127	1041	408,6	0,0	0,0
		06.11.2021	1200	30217	4154	0,0	14466	19906	2120	1182	937,5	47,30	1078	994,8	354,1	0,0	0,0
		07.11.2021	1273	28285	4785	0,0	12467	20804	1969	1234	735,3	49,10	998,3	921,6	176,2	0,0	0,0
		08.11.2021	1257	29190	3905	0,0	10649	22446	1868	1344	524,2	45,50	947,8	874,9	63,8	0,0	0,0
		09.11.2021	1397	31732	3742	0,0	13138	22336	2098	1330	768,2	45,50	1067	985,1	170,1	0,500	4,300
		10.11.2021	1164	32489	4654	0,0	15355	21788	2266	1279	987,1	48,20	1153	1065	380,2	0,0	0,0
		11.11.2021	1004	31679	4125	0,0	16107	19696	2244	1170	1074	46,40	1143	1055	688,5	0,0	0,0
		12.11.2021	1349	30797	3815	0,0	12777	21835	2051	1300	750,6	43,90	1043	963,2	75,6	0,0	0,0
		13.11.2021	1368	30584	4016	0,0	12646	21954	2043	1312	730,9	45,70	1038	958,6	100,9	0,0	0,0
		14.11.2021	1310	30109	4523	0,0	12690	21942	2046	1306	739,8	46,90	1039	959,3	76,1	0,0	0,0
		15.11.2021	1367	30411	3973	0,0	11845	22539	1982	1334	647,2	47,20	1006	928,5	78,7	0,0	0,0
		16.11.2021	1348	30885	5188	0,0	14215	21858	2178	1316	862,8	48,80	1107	1022	349,8	0,0	0,0
		17.11.2021	1202	28331	4761	0,0	13823	19269	2030	1146	884,5	48,60	1030	951,1	401,7	0,0	0,0
		18.11.2021	1088	29205	4376	0,0	12505	21078	1995	1261	734,1	46,90	1013	934,9	140,5	0,0	0,0
		19.11.2021	1346	30795	5244	0,0	12737	23303	2117	1416	700,9	49,60	1075	992,1	95,3	0,0	0,0
		20.11.2021	1298	32555	5364	0,0	15751	22167	2336	1336	1000	51,0	1188	1097	421,5	0,0	0,0
		21.11.2021	1341	31791	5196	0,0	15220	21767	2279	1313	965,8	49,90	1159	1070	317,0	0,0	0,0
		22.11.2021	1312	31480	5186	0,0	14739	21907	2237	1321	918,3	49,90	1138	1050	300,4	0,0	0,0
		23.11.2021	1356	31676	5189	0,0	14029	22835	2216	1379	837,4	49,40	1127	1040	162,1	0,0	0,0
		24.11.2021	1319	31803	5374	0,0	14915	22262	2259	1335	924,1	50,8	1148	1060	362,8	0,0	0,0
		25.11.2021	1009	30967	5370	0,0	14717	21620	2200	1292	907,6	51,1	1117	1031	506,8	0,0	0,0
		26.11.2021	1303	31077	4981	0,0	13743	22315	2148	1339	809,3	49,70	1091	1007	331,7	0,0	0,0
		27.11.2021	1307	31908	5240	0,0	16158	20988	2296	1271	1026	51,0	1168	1078	864,2	0,0	0,0
		28.11.2021	1042	28821	5239	0,0	14950	19110	2106	1162	944,4	50,0	1069	987,0	892,4	0,0	0,0
		29.11.2021	825,0	20174	5473	0,0	8385	17262	1409	967,8	441,0	48,20	707,5	653,1	104,0	0,0	0,0
		30.11.2021	597,1	18883	6052	0,0	9528	15390	1445	847,1	598,3	50,2	725,5	689,7	116,6	0,0	4,300
	Keskiarvo		1210	29790	4721	0,0	13549	20962	2074	1252	822,1	48,12	1053,4	972,3	335,2	0,0	0,3
	Yhteensä		36303	893696	141637	0,0	406464	628869	62215	37551	24663,5	1443,70	31601,0	29170,1	10057,2	0,5	8,6

	Sellun tuotanto	Tuotanto	TU2 Höyryn jakelu	TU2 Sähkön kehitys	Sähkön jako	Muu energia
Os. Yht.	36303	1035333	1035333	124429	62214,80	10066,3

OptiVision energi raportointi: Ohje-sivu

entalpia(HMP) entalpia(HVP) entalpia(lauhde)	hentalpia(723TI134,723PC135-1) hentalpia(723TI114,723PC112) entalpia(716TI113)	höyry höyry kylläinen vesi	
TUOTANTO JA JAKELU			
SK2 höyry	500 $((764FI228 * hentalpia(764TI226, 764PI227)) - (764FI1103 * hentalpia(764TI111))) / 1000$	On jo SAS tieto	
KT2 höyry	501 $(742FI139 * hentalpia(742TC136, 742PC1138)) - (742FI123 * hentalpia(742TI125)) / 1000$	On jo SAS tieto	
JKK höyry	502 $(694FI201 * hentalpia(694TI199, 694PC197)) - (694FI207 * hentalpia(716TI138)) / 1000$	On-jo-SAS-tieto	Ei ole SAS:sa. Lisätty 11.8.2006.
Prosessihöyry	503 500+501+502-505	On jo SAS tieto	SAS:n tiedosta puuttuu 502. Lisättävä raportissa!
Sähkönkehityksen höyry	505 $((747341E30 - 1.05 * 723FI203 + 0.65 * 723FI213) / 1000) * 0.935 + ((723FI203 * (hentalpia(747TI105, 747PI104) - hentalpia(723TI200))) / 1000) + ((723FI213 * (hentalpia(747TI105, 747PI104) - hentalpia(723TI215))) / 1000)$	On jo SAS tieto	
Sähko	506 747341E30 Lasketaan tuntitasolle keskiarvo ja ne lasketaan yhteen vuorokauden jaksolssa.	Vanha Alcont-raportti-tieto	
Vastapaine	507 506-508	Vanha Alcont-raportti-tieto	
Lauhde	508 723FI203 * 1.05 Lasketaan tuntitasolle keskiarvo ja ne lasketaan yhteen vuorokauden jaksolssa.	Vanha Alcont-raportti-tieto	
Apulauhdutin	509 $723FI213 * (entalpia(HMP) - vesientalpia(723TI215)) / 1000$		
HMP reduktio	510 $((723FI130 + 723FI140) * (hentalpia(723TI901, 723PC132-1) - entalpia(lauhde))) / 1000$		
HVP reduktio	511 $(723FI110 * (hentalpia(723TI901, 723PC132-1) - entalpia(lauhde))) / 1000$		
Omak + muuntoh.	512 $((K32A.CNT - K32L3.CNT + K611L5.CNT + K61L2.CNT + K33L4.CNT) / 1000) + ((K11A.CNT - K11L4.CNT + KW1J34K.CNT - 747_J36.CNT) / 1000) + (711_J08.CNT / 1000) + ((747_J08.CNT + 724_J09.CNT) / 1000) + ((0.045 * ((115/120) * (115/120))) + 0.317 * ((747341E30 * 747341E30 + 747341E40 * 747341E40) * ((117*117) * ((120/115) * (120/115))))))$	Vanha Alcont-raportti-tieto	
Fortum	513 $0.76 * (724J20HP + 747341E30) * (506-512) * 0.52$ Ehdot: $(0.75 * (724J20HP + 747341E30)) <= 50$, muutoin 50	Vanha Alcont-raportti-tieto	Lasketaan SAS:ssa
EC	514 Vanha alcont-tieto 506-512-513 $(506-512) * 0.40$ Ehdot: ≥ 0	Vanha Alcont-raportti-tieto	Lasketaan SAS:ssa
LÄMMÖNKULUTUS			
PU2	517 $723FI103 * entalpia(HMP) / 1000$	Lauhteenpalautus 0	
KE2	518 $(641FI004 * entalpia(HMP)) - (641FI284 - 641FI023) * entalpia(lauhde) / 1000$ Ehdot: $641FI284 - 641FI023 \geq 0$, jos < 0 , niin tällöin $641FI284 - 641FI023 = 0$		
KE2	519 $((641FI003 + 641FI023) * entalpia(HVP)) - (641FI023 * entalpia(lauhde)) / 1000$ Ehdot: $641FI023 = 641FI023$, kun $641FI284 > 5 \text{ kg/s}$, muutoin $641FI023 = 0$		<<< Kaavaa muutettu 9.11.2010
520			

LÄMMÖNKULUTUS			
PU2	517	723F1103*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
KE2	518	(641F1004*entalpia(HMP) - (641F1284-641F1023)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: 641F1284-641F1023 ≥ 0, jos <0, niin talloin 641F1284-641F1023 = 0	
KE2	519	((641F1003+641F1023)*entalpia(HVP) - (641F1023*entalpia(lauhde)))/1000 Ehdot: 641F1023 = 641F1023, kun 641F1284 > 5kg/s, muutoin 641F1023 = 0	<<<- Kaavaa muutettu 9.11.2010
HVA1	520	633F1102*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
HVA1	521	633FC115*entalpia(HVP)/1000	Lauhteenpalautus 0
HVA2	522	643F1202*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
HVA2	523	643FC215*entalpia(HVP)/1000	Lauhteenpalautus 0
VA1	524	633F1795*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
VA2	525	643F1610*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
KU1	526	(681F1370*entalpia(HMP) - 681F1370*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: 681F1370*entalpia(lauhde) = 681F1370*entalpia(lauhde), kun 681F1367>1.kg/s Muutoin 681F1370*entalpia(lauhde)=0	Kaava muutettu: (681F1370*entalpia(HMP) - 681F1370*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: oltava>0
KU1	527	(781F1372*entalpia(HVP) - (681F1363-681F1370)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: 681F1367-681F1370 ≥ 0, jos <0, niin 681F1367-681F1370 = 0	(781F1372*entalpia(HVP) - 681F1372*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: oltava>0
KU2	528	(682F1420*entalpia(HMP) - (682F1363 - 682F1424)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: (682F1363 - 682F1424) ≥ 0, (682F1363 - 682F1424) = (682F1363 - 682F1424) jos 682LV2362 > 5 %, muutoin (682F1363 - 682F1424) = 0	(682F1420*entalpia(HMP) - 682F1420*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: oltava>0
KU2	529	(682F1424*entalpia(HVP) - (682F1363 - 682F1420)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: (682F1363 - 682F1420) ≥ 0, (682F1363 - 682F1420) = (682F1363 - 682F1420) jos 682LV2362 > 5 %, muutoin (682F1363 - 682F1420) = 0	(682F1424*entalpia(HVP) - 682F1424*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: oltava>0
VKA	530	(781F1265+781F1274+781F1494)*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0 Yksiköt virtauksissa muutettava kg/s
SU2	531	763F1112*entalpia(HMP)/1000	Mittaus tulossa syksyllä, lauhteenpalautus 0
KS2	532	723F1104*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0
MU2	533	723F1122*entalpia(HVP)/1000	Lauhteenpalautus 0
HA2	534	(761FC201*entalpia(HMP) - (761FC201-761FC322)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: (761FC201-761FC322) ≥ 0 761FC322 = 761FC322, kun 761H1319 > 15 %, muutoin 761FC322 = 0	(761FC201*entalpia(HMP) - 761FC201*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: oltava>0
SK2	535	(764F1653*entalpia(HMP) - 764F1635*entalpia(lauhde))/1000	
SK2	536	(764F1654*entalpia(HVP) - (764F1654 - 0.5 kg/s)*entalpia(lauhde))/1000 Ehdot: (764F1654 - 0.5 kg/s) ≥ 0, muutoin (764F1654 - 0.5 kg/s) = 0	0.5 kg/s on hajotushöyryn menetetty lauhde.
SYVE1	537	742F1110*entalpia(HMP)/1000	Lauhteenpalautus 0 Mittaus SK2 järjestelmän puolella.

SYVE1	537	$742FI110 * entalpia(HMP) / 1000$	Lauhteenpalautus 0 Mittaus SK2 järjestelmän puolella. Lauhteenpalautus 0
SYVE2	538	$716FI134 * entalpia(HMP) / 1000$	Lauhteenpalautus 0
JKK + MeOH	539	$694FC111 * entalpia(HMP) / 1000$	Yksiköt virtauksissa muutettava kg/s Lauhteenpalautus 0
Lämmitys	540	$(723FI109 * entalpia(HMP) - 723FI109 * entalpia(lauhde)) / 1000$	Mittau tsekattava
Saha	541	$(723FI941 * (entalpia(HMP) - (0.65 * entalpia(716TI113))) / 1000$	On jo valmiina SAS järjestelmässä Lauhteenpalautus 65 %
Tase-ero	542	$503 - (517 + \dots + 541)$	

Laskennoissa käytetyt lähtöarvot

ENTALPIA(HMP)						
Positiotunnus		4.11.2021	10.1.2022	16.1.2022	24.1.2022	26.1.2022
723TI134	Lämpötila (°C)	153,800	153,000	152,400	152,600	152,500
723PC135-1	Paine (bar)	4,270	4,173	4,133	4,133	4,125
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	2759,100	2758,100	2757,100	2757,500	2757,400

ENTALPIA(HVP)		
Positiotunnus		26.1.2022
723TI114	Lämpötila (°C)	187,90
723PC112	Paine (bar)	11,01
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	2791,00

ENTALPIA(HVP) JKK		
Positiotunnus		30.9.2021
694TI199	Lämpötila (°C)	212,60
694PC197	Paine (bar)	11,45
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	2850,70

KORKEAPAINEHÖYRY ENTALPIA SK2		
Positiotunnus		26.1.2022
764TI226	Lämpötila (°C)	474,70
764PI227	Paine (bar)	75,74
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	3341,90

KORKEAPAINEHÖYRY ENTALPIA KT2		
Positiotunnus		26.1.2022
742TC136	Lämpötila (°C)	480,20
742PC1138	Paine (bar)	77,54
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	3353,20

ENTALPIA(HKP) REDUKTIOT		
Positiotunnus		14.8.2021
723TI901	Lämpötila (°C)	479,50
723PC132-1	Paine (bar)	75,92
X Steam Tables	Entalpia (kJ/kg)	3353,60

ENTALPIA(LAUHDE) / MUUT LÄMPÖTILAT					
Positiotunnus	Yksikkö	14.8.2021	30.9.2021	4.11.2021	26.1.2022
716TI113	°C	95,92			101,5
716TI138	°C		74,06		
723TI215	°C			11,74	
764TI111	°C				124,2
742TI125	°C				113,7

VIRTAUKSET							
Positiotunnus	Yksikkö	14.8.2021	30.9.2021	4.11.2021	16.1.2022	24.1.2022	26.1.2022
764FI228	kg/d						7 670 950,06
764FI1103	kg/d						8 384 925,69
742FI139	kg/d						2 222 023,76
742FI123	kg/d						2 258 717,38
694FI201	kg/d		26 706,06				
694FI207	kg/d		29 973,41				
723FI203	kg/d						1 107 228,48
723FI213	kg/d			667 223,20			
723FI130	kg/d	3 466,79					
723FI140	kg/d	2 624 396,44					
723FI188	kg/d	280 300,95					
723FI110	kg/d	290 216,30					
723FI180	kg/d	196 129,65					
723FI103	kg/d						110 090,42
641FI004	kg/d						403 619,71
641FI284	kg/d						838 560,18
641FI023	kg/d						0,00
641FI003	kg/d						969 635,40
643FIQ5960	kg/d						0,00
643FI5919	kg/d						41 409,30
643FI5956	kg/d						136 617,59
633FI102	kg/d						10,25
633FC115	kg/d						20 863,95
643FI202	kg/d						113,66
643FC215	kg/d						69 638,81
633FI795	kg/d						274 479,90

VIRTAUKSET							
643FI610	kg/d						201 256,68
681FI370	kg/d						594 539,40
681FI372	kg/d						153 329,28
682FI420	kg/d						995 373,75
682FI424	kg/d						339 077,13
781FI265	kg/d						99 268,34
781FI274	kg/d						7 678,57
781FI494	kg/d						103 920,40
Positiotun- nus	Yk- sikkö	14.8.2021	30.9.2021	4.11.2021	16.1.2022	24.1.2022	26.1.2022
763FI112	kg/d					4 983,17	
723FI104	kg/d						648,42
723FI122	kg/d						26 827,20
761FC201	kg/d						1 564 343,48
761FI314	kg/d						2 168 096,29
764FI653	kg/d						236 558,01
764FI654	kg/d						358 790,90
742FI110	kg/d						256 281,42
716FI134	kg/d						484 153,89
694FC111	kg/d						8 726,12
723FI109	kg/d						723 672,53
723FI941	kg/d						337 669,97
764FI867	kg/d						41 731,56

OptiVision energiaraportointi: Ohje-sivun kaavat

	Tuotanto ja jakelu
	Kaava
entalpia(HMP)	hentalpia(723TI134,723PC135-1)
entalpia(HVP)	hentalpia(723TI114,723PC112)
entalpia(lauhde)	Entalpia(716TI113)
SK2 höyry	$((764FI228*ENTALPIA(764TI226,764PI227))-(764FI1103*LENTALPIA(764TI111)))/1000$
KT2 höyry	$((742FI139*HENTALPIA(742TC136,742PC1138))-(742FI123*LENTALPIA(742TI125)))/1000$
JKK höyry	$((694FI201*HENTALPIA(694TI199,694PC197))-(694FI207*LENTALPIA(716TI138)))/1000$
LAUHDE	723FI203*1,05
APULAUHDUTIN	$723FI213*(ENTALPIA(HMP)-VESIENTALPIA(723TI215))/1000$
HMP REDUKTIO	$((723FI130+723FI140)*(HENTALPIA(723TI901,723PC132-1)-ENTALPIA(LAUHDE)))/1000$
HVP REDUKTIO	$(723FI110*(HENTALPIA(723TI901,723PC132-1)-ENTALPIA(LAUHDE)))/1000$

	Lämmönkulutus
	Kaava
PU2	723FI103*ENTALPIA(HMP)/1000
KE2 (HMP)	(641FI004*ENTALPIA(HMP)-(641FI284-641FI023)*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
KE2 (HVP)	((641FI003+641FI023)*ENTALPIA(HVP)-(641FI023*ENTALPIA(LAUHDE)))/1000
HVA1 (HMP)	633FI102*ENTALPIA(HMP)/1000
HVA1 (HVP)	633FC115*ENTALPIA(HVP)/1000
HVA2 (HMP)	643FI202*ENTALPIA(HMP)/1000
HVA2 (HVP)	643FC215*ENTALPIA(HVP)/1000
VA1	633FI795*ENTALPIA(HMP)/1000
VA2	643FI610*ENTALPIA(HMP)/1000
KU1 (HMP)	(681FI370*ENTALPIA(HMP)-681FI370*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
KU1 (HVP)	681FI372*ENTALPIA(HVP)-681FI372*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
KU2 (HMP)	682FI420*ENTALPIA(HMP)-682FI420*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
KU2 (HVP)	(682FI424*ENTALPIA(HVP)-682FI424*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
VKA	(781FI265+781FI274+781FI494)/1000*ENTALPIA(HMP)/1000
SU2	763FI112*ENTALPIA(HMP)/1000
KS2	723FI104*ENTALPIA(HMP)/1000
MU2 (HVP)	723FI122*ENTALPIA(HVP)/1000
HA2	761FC201*(ENTALPIA(723TI134,723PC135-1)-(0,47*ENTALPIA(716TI113)))/1000
SK2 (HMP)	(764FI653*ENTALPIA(HMP)-764FI653*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
SK2 (HVP)	(764FI654*ENTALPIA(HVP)-(764FI654-0,5 kg/s)*ENTALPIA(LAUHDE))/1000
SYVE 1	742FI110*ENTALPIA(HMP)/1000
SYVE 2	716FI134*ENTALPIA(HMP)/1000
JKK + METANOLI	694FC111*ENTALPIA(HMP)/1000

	Lämmönkulutus
	Kaava
HMP KUORIMOLLE / LÄMMITYS	$(723FI109*ENTALPIA(HMP)-723FI109*ENTALPIA(LAUHDE))/1000$
SAHA	$(723FI941*(ENTALPIA(HMP)-(0,65*ENTALPIA(716TI113))))/1000$

Laskentojen tulokset

Tuotanto ja jakelu					
	Päivä- määrä	OptiVisionin arvo (GJ/d)	Ohje-sivun kaa- valla laskettu arvo (GJ/d)	Korjattu kaavaa (GJ/d)	Korjattu kaava
SK2 höyry	26.1.2022	21 342,00	21 278,30	-	-
KT2 höyry	26.1.2022	6 414,00	6 376,37	-	-
JKK höyry	30.9.2021	65,70	66,84	-	-
LAUHDE	26.1.2022	1 162,80	1 162,59	-	-
APULAUHDU- TIN	4.11.2021	1 691,00	1 808,16	-	-
HMP REDUKTIO	14.8.2021	8 108,00	7 758,16	8585,69	$((723FI130+723FI140+723FI188)*(HENTALPIA(723TI901,723PC132-1)-ENTALPIA(LAUHDE)))/1000$
HVP REDUKTIO	14.8.2021	868,00	856,80	1631,01	$((723FI110+723FI180)*(HENTALPIA(723TI901,723PC132-1)-ENTALPIA(LAUHDE)))/1000$

Lämmönkulutus					
	Päivämäärä	OptiVisionin arvo (GJ/d)	Ohje-sivun kaavalla laskettu arvo (GJ/d)	Korjattu kaavaa (GJ/d)	Korjattu kaava
PU2	26.1.2022	303,50	303,56	-	-
KE2 (HMP)	26.1.2022	1 115,00	756,82	1112,94	$(641FI004*ENTALPIA(HMP))/1000$
KE2 (HVP)	26.1.2022	2 886,00	2 706,25	2847,01	$((641FI003+643FI5960+641FI5919+641FI5956)*ENTALPIA(HVP)-(641FI284*ENTALPIA(LAUHDE)))/1000$
HVA1 (HMP)	16.1.2022	0,10	0,03	-	-
HVA1 (HVP)	26.1.2022	58,50	58,23	-	-
HVA2 (HMP)	10.1.2022	0,40	0,37	-	-
HVA2 (HVP)	26.1.2022	195,20	194,36	-	-
VA1	26.1.2022	758,00	758,85	-	-
VA2	26.1.2022	623,60	594,88	-	-
KU1 (HMP)	26.1.2022	1 390,00	1 386,90	-	-
KU1 (HVP)	26.1.2022	365,00	362,83	-	-
KU2 (HMP)	26.1.2022	2 327,00	2 321,93	-	-
KU2 (HVP)	26.1.2022	807,20	802,37	-	-
VKA	26.1.2022	0,60	0,58	-	-
SU2	24.1.2022	13,80	13,74	-	-
KS2	26.1.2022	1,80	1,79	-	-
MU2 (HVP)	26.1.2022	78,10	74,87	-	-
HA2	26.1.2022	5 067,00	3 649,18	5068,46	$761FI314 * (hentalpia(723TI134,723PC135-1) - (1*ENTALPIA(716TI113)))/1000$
SK2 (HMP)	26.1.2022	552,80	551,82	-	-
SK2 (HVP)	26.1.2022	853,80	867,36	-	-
SYVE 1	26.1.2022	708,10	706,67	-	-
SYVE 2	26.1.2022	1 337,00	1 335,01	-	-

Lämmönkulutus					
	Päivämäärä	OptiVisionin arvo (GJ/d)	Ohje-sivun kaavalla laskettu arvo (GJ/d)	Korjattu kaavaa (GJ/d)	Korjattu kaava
JKK + METANOLI	26.1.2022	24,10	24,06	-	-
HMP KUORIMOLLE / LÄMMITYS	26.1.2022	1 691,00	1 688,13	-	-
SAHA	26.1.2022	799,70	837,88	787,7	$(723FI941*(ENTALPIA(HMP)-(ENTALPIA(716TI113))))/1000$
SPK	26.1.2022	-	-	97,35	$(764FI867*(ENTALPIA(HMP)-(ENTAPIA(716TI113))))/1000$