

PINTALAUHDUTTIMIEN VERTAILU HAIHDUTTA- MOLLA

TEKIJÄ: Nico Kalliokoski

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Nico Kalliokoski	
Työn nimi Pintalauhduttimien vertailu haihduttamalla	
Päiväys	30.1.2019
Sivumäärä/Liitteet	27
Ohjaaja(t) Markku Huhtinen, Antti Savander, Harri Heikura	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ANDRITZ Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Andritz Oy ja aiheena oli pintalauhduttimien vertailu haihduttamalla. Työssä tutkittiin haihduttamon A, B ja C pintalauhduttimia, ja niihin liittyvien teräsrakenteiden ja prosessiputkien massoja sekä hintoja.</p> <p>Tarkoituksena oli tutkia, miten massat ja hinnat muuttuvat, jos pintalauhdutintyyppi vaihtuu. Vertailussa mukana olevat pintalauhdutintyyppit olivat putkilämmönvaihdin, box-mallinen pintalauhdutin ja ns. perinteinen lieriön muotoinen malli lamellipaketilla.</p> <p>Massoja ja hintoja laskettiin pääasiassa taulukkolaskentaohjelma Microsoft Excelin avulla. Lisäksi AutoCAD-ohjelmaa käytettiin esimerkiksi putkien pituuksien arvioinnissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville, että pintalauhdutintyyppi ei vaikuta massoihin ja materiaalihintoihin merkittävästi. Asennuskustannuksilta putkilämmönvaihdin oli ylivoimaisesti halvin. Tämän takia putkilämmönvaihdin oli edullisin vaihtoehto jokaisessa vertailussa.</p>	
Avainsanat Haihduttamo, pintalauhdutin, Excel, ADMS	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Nico Kalliokoski			
Title of Thesis Comparison of Surface Condensers at Evaporation Plant			
Date	30.1.2019	Pages/Appendices	27
Supervisor(s) Markku Huhtinen, Antti Savander, Harri Heikura			
Client Organisation /Partners Andritz Oy			
<p>Abstract</p> <p>The commissioner of this thesis was Andritz Oy and the subject was comparison of surface condensers at evaporation plants. In this thesis, the main goal was to research the weights and costs of surface condensers, steel structures and process pipes at evaporation plants A, B and C.</p> <p>The goal was to research how weights and costs would change if a different type of surface condenser were used instead. Three types of surface condensers were contained in this study and they were a box-type, a tubular heat exchanger and a so-called traditional cylinder surface condenser. The weights were calculated with Microsoft Excel. AutoCAD was used to calculate length of pipes.</p> <p>The outcome of this study was that the type of the surface condenser does not affect the weights and material costs significantly, but the installation costs of the tubular heat exchanger were noticeably advantageous. This is the main reason why tubular heat exchanger were the most inexpensive surface condenser in every comparison.</p>			

Keywords Evaporation plant, surface condenser, Excel, ADMS

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Andritz	6
1.2	Työn kuvaus.....	6
2	SULFAATTIPROSESSIN KEMIKAALIKIERTO	8
2.1	Haihduuttamo.....	8
2.2	Soodakattila	9
2.3	Kaustisointi.....	9
2.4	Meesanpoltto.....	10
3	HAIHDUTTAMOPROSESSIT	11
3.1	Erilaisia haihdutinrakenteita	11
3.1.1	Nousevan kalvon haihdutin	11
3.1.2	Laskevan kalvon haihdutin	12
3.2	Haihduuttamotyyppejä	12
3.2.1	Monivaihehaiduuttamo	12
3.2.2	Komprimointihaiduuttamo.....	13
3.3	Lauhteiden käsittely	13
3.4	Haihduuttamon ongelmia	14
3.4.1	Vahtoaminen.....	14
3.4.2	Kapasiteetin aleneminen.....	14
3.4.3	Haihduuttimen likaantuminen	14
4	PINTALAUHDUTTAMET HAIHDUTTAMOLLA	15
5	TAUSTAMATERIAALIT JA PROJEKTIT	16
5.1	Haihduuttamo A	16
5.2	Haihduuttamo B.....	16
5.3	Haihduuttamo C	17
6	TULOKSET JA PINTALAUHDUTTAMET	18
6.1	Haihduuttamo A	18
6.1.1	Haihduuttamo A putkilämmönvaihtimella	18

6.1.2	Haihduuttamo A perinteisellä pintalauhduttimella	19
6.1.3	Haihduuttamo A yhteenveto	19
6.2	Haihduuttamo B.....	20
6.2.1	Haihduuttamo B putkilämmönvaihtimella	21
6.2.2	Haihduuttamo B perinteisellä pintalauhduttimella	21
6.2.3	Haihduuttamo B yhteenveto	22
6.3	Haihduuttamo C	23
6.3.1	Haihduuttamo C box-pintalauhduttimella	24
6.3.2	Haihduuttamo C perinteisellä pintalauhduttimella	24
6.3.3	Haihduuttamo C yhteenveto	25
7	YHTEENVETO.....	26
	LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

1.1 Andritz

“ANDRITZ on yksi maailman johtavista laitosten, laitteiden ja palvelujen toimittajista vesivoimateollisuudelle, sellu- ja paperiteollisuudelle, metalli- ja terästeollisuudelle sekä kunnallisiin ja teollisiin erotusteknologiaratkaisuihin. Muita keskeisiä liiketoimintasegmenttejä ovat eläinrehun ja biomassapellettien tuotanto sekä laaja valikoima IIoT-sektorin (Industrial Internet of Things) automaatiotuotteita ja -palveluja, joita ANDRITZ tarjoaa tuotenimellä Metris. Lisäksi kansainvälinen konserni toimii aktiivisesti energiantuotannon (höyrykattilalaitoksia, biomassakattiloita, soodakattiloita ja kaasutuslaitoksia energiantuotantoon) ja ympäristötekniikan alalla (savukaasunpuhdistuslaitoksia) sekä tarjoaa laitteita kuitukankaiden ja liukosellun tuotantoon sekä kuitulevyntuotantolaitoksia ja kierrätyslaitoksia.” (ANDRITZ Oy, intranet, 2.8.2018.)

“Keskeiset arvot, joihin ANDRITZ on sitoutunut, ovat intohimo innovatiiviseen teknologiaan, tinkimätön asiakaslähtöisyys, luotettavuus ja rehellisyys. ANDRITZ on pörssiyhtiö, jonka pääkonttori sijaitsee Itävallan Grazissa. Yli 160 vuoden kokemus sekä 26 000 työntekijää yli 40 maassa ja 250 toimipaikassa takaavat, että ANDRITZ on luotettava ja asiantunteva liikekumppani, joka auttaa asiakkaitaan saavuttamaan liiketoiminta- ja kestävä kehityksen tavoitteensa.” (ANDRITZ Oy, intranet, 2.8.2018.)

“ANDRITZ Oy on yksi maailman johtavista sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmien, laitteiden ja palvelujen toimittajista. Sen tuotealueita ovat puunkäsittely, kuituprosessit, kemikaalien talteenotto ja massankäsittely. Lisäksi ANDRITZ Oy tarjoaa erilaisia biomassakattiloita ja kaasutuslaitoksia energian tuotantoon. Tampereella sijaitseva ANDRITZ HYDRO Oy toimittaa järjestelmiä, laitteita ja palveluja vesivoimateollisuudelle. Suomessa ANDRITZ-yhtiöiden henkilöstön määrä on noin 1 200. Osaamiskeskukset ovat Kotkassa, Lahdessa, Lappeenrannassa, Savonlinnassa, Tampereella ja Varkaudessa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä. ANDRITZ Oy:n hallituksen puheenjohtajana toimii Wolfgang Leitner (ANDRITZ AG) ja toimitusjohtajana Kari Tuominen. Yhtiön omistaa itävaltalainen ANDRITZ AG.” (ANDRITZ Oy, intranet, 2.8.2018.)

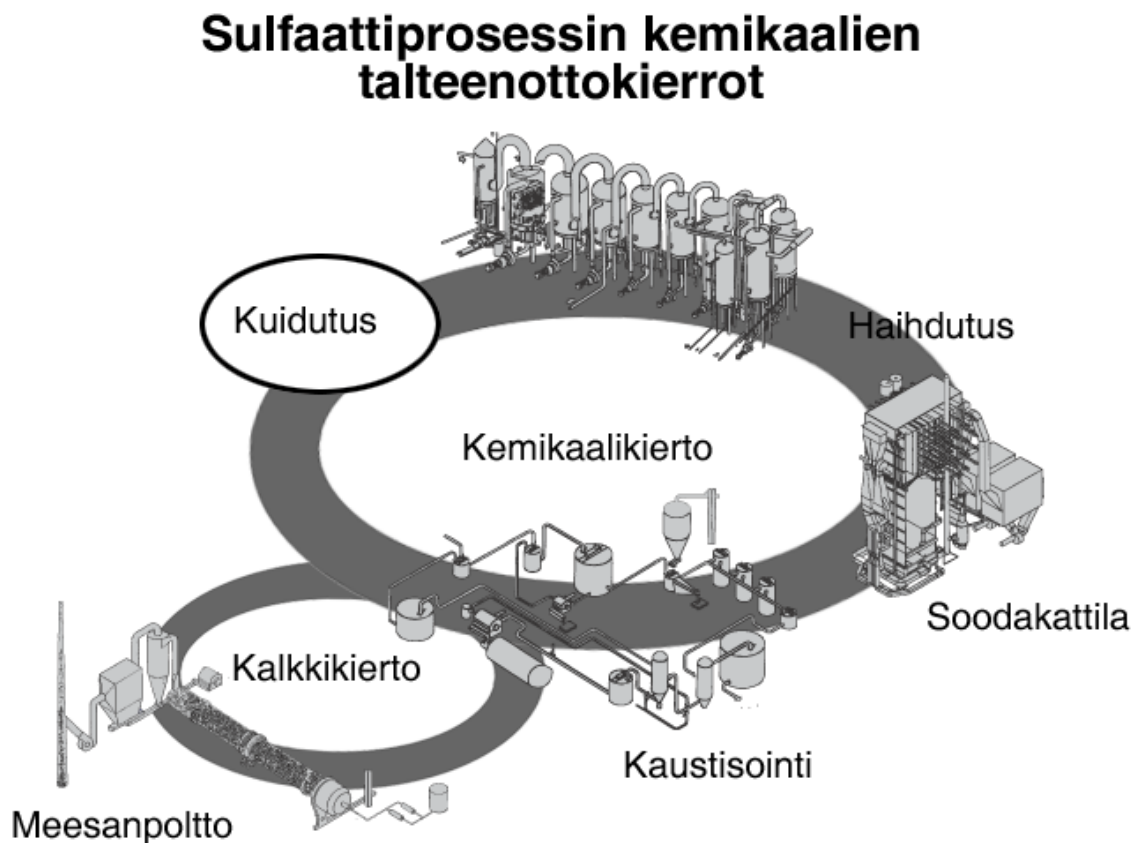
1.2 Työn kuvaus

Tässä työssä vertaillaan eri pintalauhdutintyyppien ja niihin liittyvien teräsrakenteiden, hönkäputkien ja prosessiputkien massoja sekä hintoja. Tavoitteena on saada tietoa, millainen pintalauhdutintyyppi on mahdollisesti edullisin vaihtoehto. Vertailussa on mukana kolme eri pintalauhdutintyyppiä. Box-pintalauhdutin, putkilämmönvaihdin, jota kutsutaan myös tuubipintalauhduttimeksi sekä ns. perinteinen lieriönmallinen pintalauhdutin. Tutkimuksessa on mukana haihduttamot A, B ja C.

Aluksi työssä etsitään ja kootaan painotiedot alkuperäisistä haihduttamon painoista Excel-taulukkoon. Suurin osa painoista löytyy ADMS-ohjelman (Andritz Document Management System) avulla. Kun painotiedot saadaan koottua, aletaan tutkia, millaiseksi pintalauhduksen, teräsrakenteiden ja prosessiputkien massat ja hinnat muuttuvat, jos pintalauhdutin olisi eri tyyppiä. Massojen laskemisessa käytetään pääasiassa Excel-taulukkoa sekä AutoCAD-suunnitteluohjelmaa. Uusien pintalauhduttimien massojen, mittojen ja hintojen arvioinnissa auttavat Andritizin työntekijät.

2 SULFAATTIPROSESSIN KEMIKAALIKIERTO

Sulfaattiprosessin tarkoitus on ottaa mustalipeästä kemikaaleja talteen uudelleenkäyttämistä varten. Tällä tavoin saadaan huomattavia säästöjä, sillä sulfaattisellun keittämiseen tarvittavat natriumyhdisteet ovat kalliita. (Knowpulp, 2018.)



KUVA 1. Kemikaalikierto (Knowpulp, 2018.)

2.1 Haihduttamo

Haihduttamon päätehtävä on nostaa mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta. Mustalipeä on sellunkeitossa syntyvä sivutuote. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus ennen haihduttamoaa on noin 15 % ja haihdutusprosessin jälkeen tavoite on noin 80 %. Korkea mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tärkeää, sillä se nostaa soodakattilan tuottaman höyryn määrää. Toinen haihduttamon tärkeä tehtävä on ottaa talteen puunkeitossa syntyviä sivutuotteita. Näitä sivutuotteita ovat esimerkiksi metanoli, tärpätti ja suopa. Haihduttamossa myös lauhdeiden puhtaus on tärkeää, sillä haihduttamon lauhdeita voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi kaustisoinnissa ja valkaisuissa. (Knowpulp, 2018.)

Mustalipeän haihduttamo



KUVA 2. Tyypillinen mustalipeän haihduttamo (Knowpulp, 2018.)

2.2 Soodakattila

Mustalipeä tulee haihduttamon kautta soodakattilaan poltettavaksi. Soodakattilan tärkeitä tehtäviä ovat lämmön talteenotto, keittokemikaalien talteenotto sekä orgaanisen aineksen ympäristöystävällinen poltto. (Knowpulp, 2018.)

Mustalipeän rikki pelkistetään natriumsulfidiksi soodakattilassa. Lisäksi mustalipeässä oleva natrium reagoi poltossa hiilidioksidin kanssa muodostaen natriumkarbonaattia. Mustalipeän polton yhteydessä tulipesän alaosan kautta ulos valuva kemikaalisula sisältää natriumsulfidia, natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia. Kun edellä mainittu kemikaalisula liotetaan laihavalkolipeään, saadaan viherlipeää. (Knowpulp, 2018.)

Mustalipeän polttaminen tulipesässä vapauttaa runsaasti lämpöenergiaa. Lämpöenergia saadaan talteen, kun se viedään soodakattilan vesi/höyry järjestelmän kattilaveteen. Kun vesi alkaa höyrystyä, voidaan höyry siirtää turbiiniin ja saadaan sähköä. Soodakattilalla saadaan tuotettua siis lämpöä sekä sähköä. (Knowpulp, 2018.)

2.3 Kaustisointi

Kaustisointi on kemikaalikierron osa, jossa soodakattilasta tuleva viherlipeä muutetaan valkolipeäksi. Kaustisoinnin tehtävä on muuttaa natriumkarbonaatti natriumhydroksidiksi. Natriumhydroksidi on valkolipeän aktiivinen kemikaali. Ennen kaustisointia viherlipeä täytyy vielä selkeyttää ei halutuista aineista, kuten noesta ja metallidioksidoista. (Knowpulp, 2018.)

Kaustisoinnissa käytetään kalsiumoksidia, joka reagoi viherlipeän ja veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia. Tämän jälkeen kalsiumhydroksidi reagoi viherlipeän natriumkarbonaatin kanssa muodostaen natriumhydroksidia. (Knowpulp, 2018.)

2.4 Meesanpoltto

Meesa eli kalsiumkarbonaatti on kaustisoinnissa kalkista muodostunut aine. Meesanpoltossa kalsiumkarbonaatti muutetaan lämmön avulla kalsiumoksidiksi. Kalsiumoksidi on tarpeellinen kemikaali kaustisoinnissa. Poltto suoritetaan n. 1100 °C lämpötilassa. (Knowpulp, 2018.)

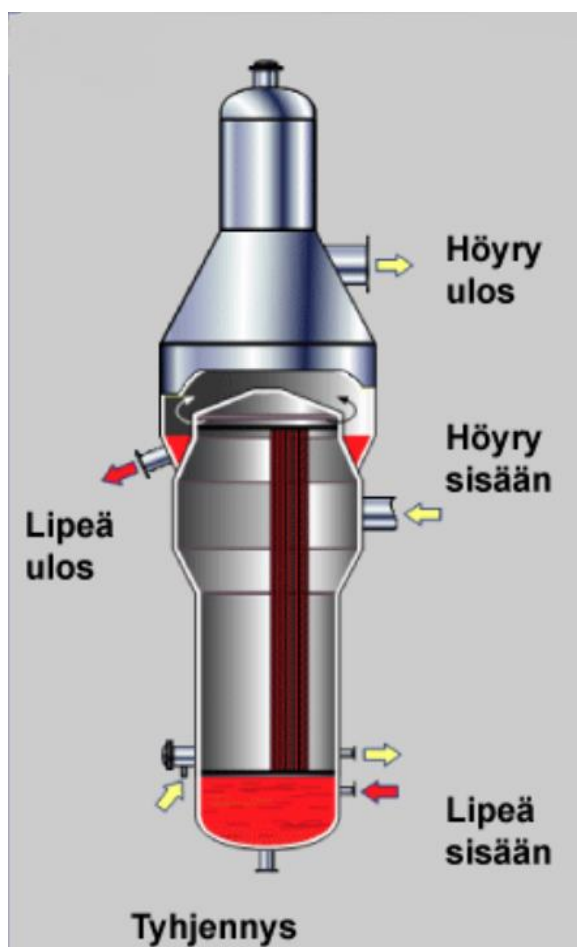
3 HAIHDUTTAMOPROSESSIT

Nykyään mustalipeän kuiva-ainepitoisuus halutaan yleensä nostaa yli 80%. Tämän takia haihdutusprosessiin on lisätty esimerkiksi esihaihduttimia ja konsentraattoreita. Polttolipeän varastoinnissa ja konsentraattoreissa käytetään nykyään korkeampia lämpötiloja, jotta mustalipeän viskositeettia saadaan alemmas. Myös lauhteiden puhtauteen tulee kiinnittää huomiota, sillä lauhteita halutaan käyttää uudelleen muualla tehtaalla. Tässä luvussa käsitellään haihduttamoprosessia tarkemmin. (Knowpulp, 2018.)

3.1 Erilaisia haihdutinrakenteita

3.1.1 Nousevan kalvon haihdutin

Nousevan kalvon haihduttimessa lipeä syötetään sisään pohjasta. Lipeä nousee putkea pitkin ylös kiehuessa vapautuvan höyryn avulla. Höyry lauhtuu putken ulkopinnalla. Nousevan kalvon haihduttimella korkein saavutettava kuiva-ainepitoisuus on noin 60 %. Tämä johtuu siitä, että korkea viskositeetti hidastaa lipeän nousua putkessa ja lämmönsiirto heikentyy. Nykypäivänä tällainen rakenne on korvattu usein laskevan kalvon haihduttimella. (Knowpulp, 2018.)



KUVA 3. Nousevan kalvon haihdutin (Knowpulp, 2018.)

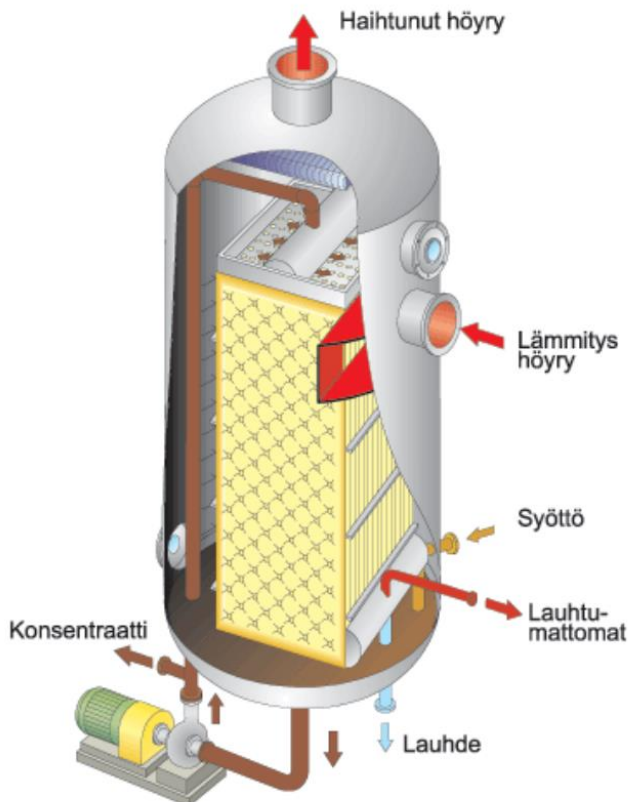
3.1.2 Laskevan kalvon haihdutin

Laskevan kalvon haihduttimessa lipeä syötetään haihduttimen pohjaan, josta se kiertopumpun avulla pumpataan haihduttimen yläosaan. Yläosassa Painovoiman avulla mustalipeä virtaa alaspäin tasaisena filminä lämpöpinnalle. Laskevan kalvon haihdutinta käytetään eniten uusissa haihduttamoissa. Laskevan kalvon haihduttimessa voidaan käyttää esimerkiksi levylämpöpintaa/lamellia tai putkirakennetta. (Tikka, 2008, 48.)

Levylämpöpinta-rakenteessa höyry lauhtuu lamellien sisällä, kun taas mustalipeä kiehuu lamellien ulkopinnalla. Tällaisen rakenteen yksi suurimmista eduista on lauhteiden puhtaus. (Knowpulp, 2018.)

Putkirakenteessa sekundäärihöyryn virtaussuunnat menevät alaspäin putkessa. Haihduttimen alapäädyssä erotetaan lipeä ja sekundäärihöyry. Putkirakenteen virtaussuunnat ovat siis päinvastaiset nousevan kalvon haihduttimeen nähden. (Knowpulp, 2018.)

Laskevan kalvon (FF) lamellihaihdutin



KUVA 4. Laskevan kalvon haihdutin (Knowpulp, 2018.)

3.2 Haihduttamotyyppejä

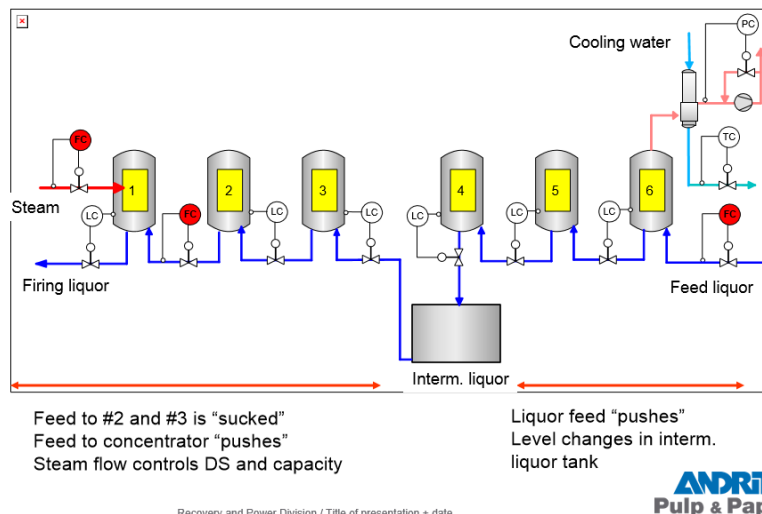
3.2.1 Monivaikehaiduttamo

Monivaikehaiduttamo on sellutehtaissa yleisimmin käytetty haihduttamotyyppi. Siinä primäärihöyry käytetään useaan kertaan ja edellisestä vaiheesta vapautunut höyry kiehuttaa vettä seuraavassa vaiheessa. Paine ja lämpötila putoavat, mitä pidemmälle vaiheita edetään ja lopulta ollaan jo alipai-

neessa. Pintalauhdutin lauhduttaa viimeisestä vaiheesta tulevan höyryn. Tyypillisesti monivaihehaiduttamon vaiheiden määrä on 5-7. Vaihemäärien lisääminen vähentää höyrynkulutusta. (Knowpulp, 2018.)

Multi Effect Lamella Evaporator

Main Controls (Soft Wood and birch)



9

Recovery and Power Division / Title of presentation + date

KUVA 5. Esimerkki monivaihehaiduttamosta (ANDRITZ Oy, intranet, 2.8.2018.)

3.2.2 Komprimointihaiduttamo

Haidutuksesta vapautunut höyry syötetään takaisin haihduttimeen käyttöenergiaksi. Höyryn komprimointi tehdään ejektorin avulla tai mekaanisesti. Mekaaninen komprimointi tapahtuu esimerkiksi kompressorilla ja puhaltimella. Puhallinhaiduttimet soveltuvat pääasiassa esihaiduttumiksi. (Knowpulp, 2018.)

3.3 Lauhteiden käsittely

Haiduttamon lauhteet pyritään kierrättämään muualla tehtaassa. Tämän takia lauhteiden puhtaus on erittäin tärkeää. Tavoitteena on, että lauhde sisältää mahdollisimman vähän lipeästä haihdutuksessa vapautuvia yhdisteitä. Näitä yhdisteitä ovat esimerkiksi metanoli, etanoli sekä haisevat rikkiyhdisteet. (Knowpulp, 2018.)

Lamellihaiduttamon suuri etu on sen sisäinen lauhteen puhdistus. Lauhteen sisältämä metanoli sekä rikkiyhdisteet saadaan strippautumaan tehokkaasti, sillä haihdutinyksikössä alaspäin valuva lauhde kohtaa ylöspäin virtaavan höyryn. Lamellin yläpäässä on jälkilauhdutinosia, jossa lauhdetaan noin 10 % höyrystä. 80 % metanolista siirtyy tähän likaislauhteeseen. Likaislauhde johdetaan stripperille, jossa likaislauhde puhdistetaan. (Knowpulp, 2018.)

3.4 Haihduttamon ongelmia

3.4.1 Vaahtoaminen

Vaahtoamisen aiheuttama likauslauhteiden lipeäpitoisuus estää lauhdestripperin toiminnan, koska likauslauhteiden puhdistus ei onnistu liian lipeäpitoisella lauhteella. Vaahtoamisen yleisin syy on liian laiha mustalipeä. Vaahtoamista vähennetään sekoittamalla laihalipeää syöttölipeään, jolloin mustalipeän väkevyyttä saadaan nostettua. Tarvittaessa voidaan myös laittaa lipeän sekaan vaahdonestoainetta. (Knowpulp, 2018.)

3.4.2 Kapasiteetin aleneminen

Kapasiteetin aleneminen johtuu esimerkiksi vaahtoamisesta, laiteviasta tai laitoksen likaantumisesta. Vikakohdat pystytään paikantamaan trendien avulla. Likaantumista voidaan helpottaa pesujärjestelmillä. (Knowpulp, 2018.)

3.4.3 Haihduttimen likaantuminen

Likaantumista aiheuttavat esimerkiksi liian iso kuitupitoisuus lipeässä. Kuitupitoisuuden tulisi olla alle 40 mg/l. Lämpöpintoja likaavia epäpuhtauksia ovat myös suopa, burkeitti ja kalsium. Pesujärjestelmien avulla likaantumista voidaan hallita. Likaantuminen ei ole pelkästään haihduttamon vastuulla, vaan koko kemikaalikierron tulee olla kunnossa. (Knowpulp, 2018.)

4 PINTALAUHDUTTAMET HAIHDUTTAMOLLA

Haihduuttamon pintalauhdutin lauhduttaa viimeisestä haihdutusyksiköstä tulevan sekundäärihöyryn jäähdytysveden avulla. Pintalauhduttimesta ulos tuleva lämminvesi on lämpötilaltaan yleensä 40-45 °C. Pintalauhduttimelta lauhtumattomat kaasut poistetaan tyhjöpumpuilla tai höyryejektorilla. Lauhtumattomien kaasujen tyhjentäminen on tärkeää haihduttamon normaalin toiminnan kannalta. (Tikka, 2008, 52.)

Pintalauhduttimessa on kaksi erillistä lauhdutusosaa, esilauhdutus- sekä jälkilauhdutusosa. Viimeisimmästä haihdutusyksiköstä tuleva höyry tulee esilauhdutukseen, josta höyry siirtyy jälkilauhdutukseen. Jälkilauhdutuksesta lauhtumattomat kaasut ohjataan imuun ejektoreilla tai pumpuilla. Jäähdytysvesi virtaa lämpöelementtien ulkopuolella. (Tikka, 2008, 52.)

Putkilämmönvaihtimissa on erikseen esilauhdutin ja jälkilauhdutin. Viimeisestä haihdutusyksiköstä tuleva höyry haihtuu putkilämmönvaihtimen erillisessä osassa alipaineessa. Lauhduttimen vesiosaa, jossa on lämmin vesi, pysyy paineistettuna. (Tikka, 2008, 52.)

5 TAUSTAMATERIAALIT JA PROJEKTIT

Työssä tutkittiin kolmen eri haihduttamon pintalauhduttimia. Vertailussa olivat mukana haihduttamot A, B ja C. Viimeisen haihdutinyksikön ja pintalauhduttimen välisen hönkäputken ja teräsrakenteiden massat laskettiin. Lisäksi laskettiin prosessiputkien ja pintalauhduttimen massat. Tämän jälkeen vertailtiin, miten painot muuttuvat, jos pintalauhdutintyyppiä vaihtaa. Suurin osa painotiedoista saatiin selville suunnitteludokumenteista, jotka löydettiin ADMS-käyttöjärjestelmästä. Osa painoista laskettiin itse. Massojen hahmottamisessa apuna käytettiin AutoCAD-ohjelmaa ja massat taulukoitiin ja laskettiin Excel-ohjelman avulla. Kun massat saatiin selvitettyä, tämän jälkeen arvioitiin materiaali- ja konepajavalmistuksen hintoja sekä asennuskustannuksia. Hinnat saatiin laskettua €/kg arvioiden avulla, jonka Andritzin työntekijät olivat antaneet. Putkien ja teräsrakenteiden hinnat arvioitiin ruostumattoman teräksen hinnan mukaan.

5.1 Haihduttamo A

Haihduttamolla A on box-pintalauhdutin. Hönkäputkien massa on x , teräsrakenteiden massa x , ja prosessiputkien massa x . Pintalauhduttimen massa on noin x .

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 612 800 €, teräsrakenteet 14 400 €, prosessiputket 97 500 € ja pintalauhdutin 862 800 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 1 587 500 €.

Asennushinnoilta hönkäputki on noin 766 000 €, teräsrakenteet 16 000 €, prosessiputket 221 000 € ja pintalauhdutin 431 400 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 1 434 400 €.

5.2 Haihduttamo B

Haihduttamo B:ssä on samankaltainen box-pintalauhdutin kuin haihduttamo A:ssa. Erona on kuitenkin se, että haihduttamo B:ssä pintalauhdutin on nostettu korkealle. Syynä tähän on se, että vesi voisi pudota vapaalla virtauksella alas, eikä lämminvesisäiliötä tarvitse. Hönkäputken massa on x . Teräsrakenteiden massa on x . Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin x . Pintalauhduttimen massa on x .

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 510 400 €, teräsrakenteet 143 400 €, prosessiputket 315 750 € ja pintalauhdutin 1 068 600 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 2 038 150 €.

Asennushinnoilta hönkäputki on noin 638 000 €, teräsrakenteet 191 200 €, prosessiputket 715 700 € ja pintalauhdutin 534 300 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 2 079 200 €.

5.3 Haihduttamo C

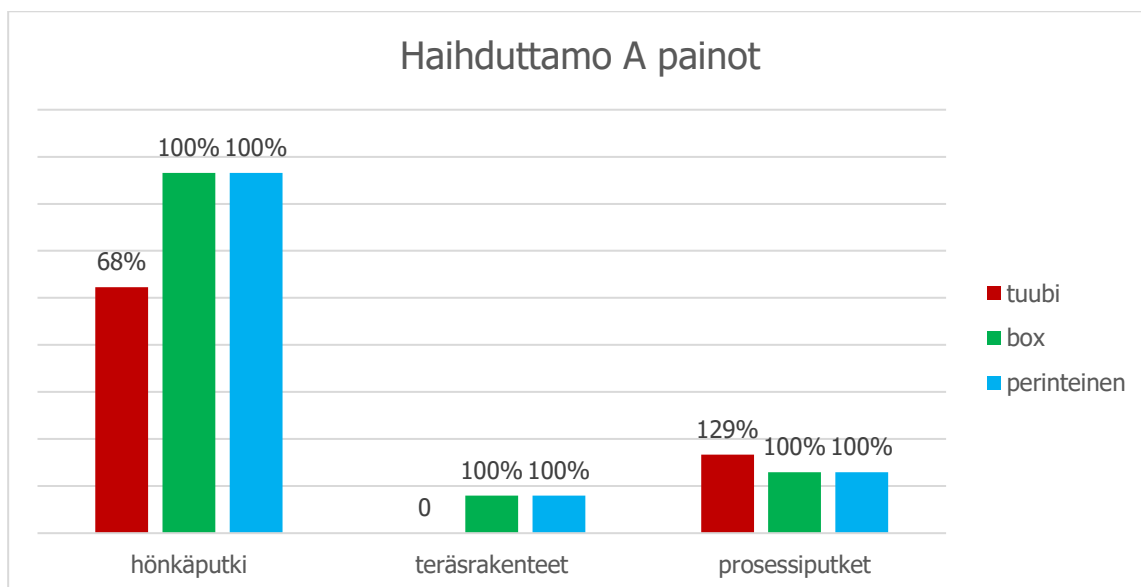
Haihduttamo C:n pintalauhdutin on tuubimallinen putkilämmönvaihdin. Putkilämmönvaihtimessa on mukana päälauhdutin sekä jälkilauhdutin. Hönkäputken massa on noin x ja prosessiputkien massa noin x. Teräsrakenteita ei ole juuri ollenkaan. Pintalauhduttimen massa on x.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 106 400 €, prosessiputket 16 500 € ja pintalauhdutin 432 000 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 554 900 €.

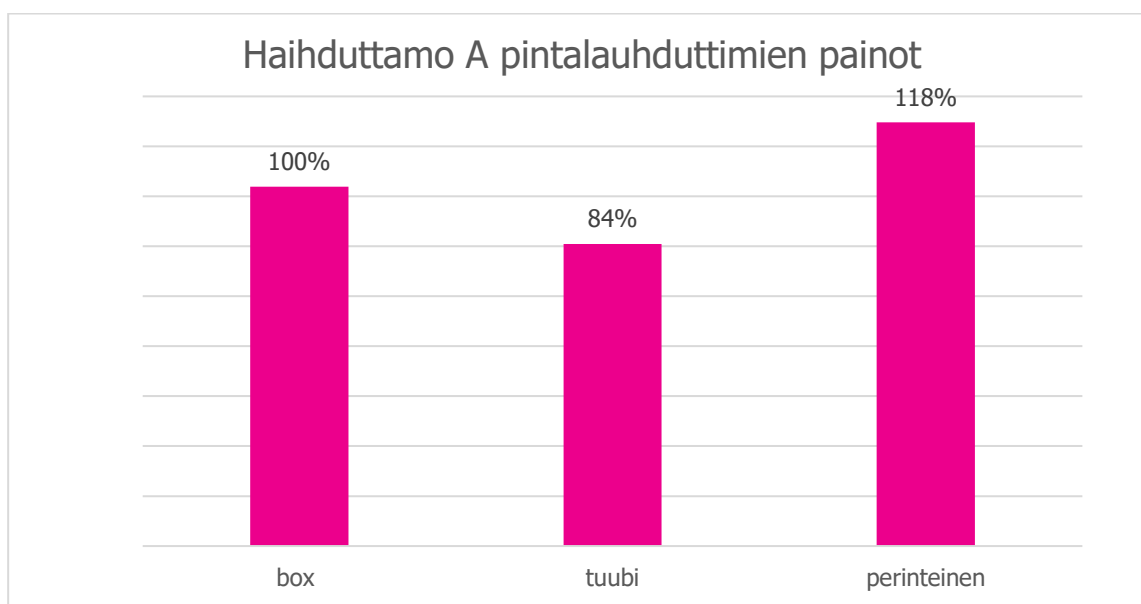
Asennushinnoilta hönkäputki on noin 133 000 €, prosessiputket 37 400 € ja pintalauhdutin 22 000 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 192 400 €.

6 TULOKSET JA PINTALAUHDUTTIMIT

6.1 Haihduttamo A



KUVA 6. Haihduttamo A:n painoarvioita



KUVA 7. Haihduttamo A:n pintalauhduttimien painoarviot

6.1.1 Haihduttamo A putkilämmönvaihtimella

Haihduttamo A:n kokoluokalle ei ole vielä tehty putkilämmönvaihtimia, joten lauhduttimen koko täytyi arvioida ensin. Päälauhduttimen pituudeksi arvioitiin 12,66 m ja halkaisijaksi 4,4 m. Jälkilauhduttimen pituudeksi arvioitiin 10,48 m ja halkaisijaksi 3,6 m.

Hönkäputken massa on arviolta 68 % alkuperäisen hönkäputken painosta. Putkilämmönvaihdin ei tarvitse käytännössä ollenkaan teräsrakenteita, koska sitä ei ole nostettu korkealle. Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin 129 % alkuperäiseen verrattuna. Putkilämmönvaihtimen paino, jossa on mukana sekä päälauhdutin että jälkilauhdutin, on arviolta 84 % box-pintalauhduttimen painosta.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 418 400 €, prosessiputket 125 250 € ja pintalauhdutin 725 400 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 1 269 050 €.

Asennushinnoilta hönkäputki on noin 523 000 €, prosessiputket 283 900 € ja pintalauhdutin 22 000 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 828 900 €.

Putkilämmönvaihtimen etuna on asennuskustannuksien pienuus, sillä pintalauhdutin tuodaan yleensä kokonaisena pakettina haihduttamolle. Putkilämmönvaihdin saadaan asennettua yleensä yhdessä päivässä, kun taas esimerkiksi box-pintalauhduttimen asentamisessa kestää useampi päivä.

6.1.2 Haihduttamo A perinteisellä pintalauhduttimella

Perinteisen pintalauhduttimen koko arvioitiin box-pintalauhduttimen mittakuvien avulla. Pintalauhduttimen halkaisijaksi arvioitiin 9,2 metriä ja korkeudeksi 13 metriä.

Perinteisen pintalauhduttimen hönkäputken massa on arviolta noin 100 % alkuperäisen hönkäputken painosta. Teräsrakenteiden massa on noin 100 % alkuperäiseen verrattuna. Prosessiputkien massa on myös arviolta 100 % verrattuna alkuperäisiin painoihin. Perinteisen pintalauhduttimen arvioitu massa on noin 118 % verrattuna box-pintalauhduttimeen.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 612 800 €, teräsrakenteet 14 400 €, prosessiputket 99 750 € ja pintalauhdutin 1 017 600 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 1 744 550 €.

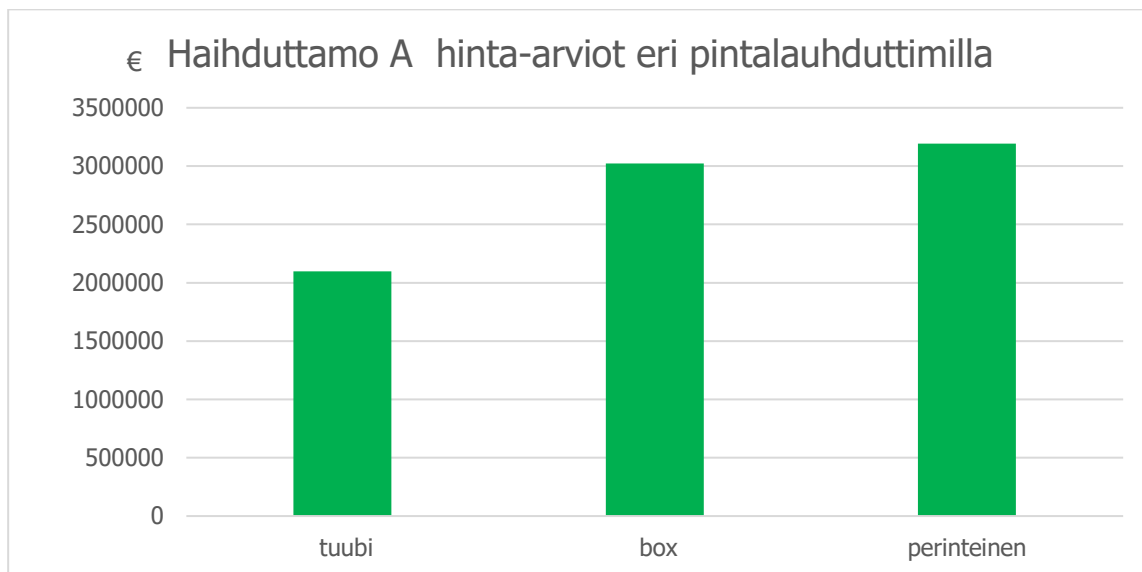
Asennushinnalta hönkäputki on noin 766 000 €, teräsrakenteet 16 000 €, prosessiputket 226 100 € ja pintalauhdutin noin 440 960 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 1 449 060 €.

6.1.3 Haihduttamo A yhteenveto

Haihduttamolla A pintalauhdutintyyppi ei vaikuta teräsrakenteisiin juuri ollenkaan, sillä pintalauhdutinta ei ole nostettu korkealle. Hönkäputki on kokonaismassaltaan kevyin putkilämmönvaihtimella. Prosessiputkien massa ei eroa merkittävästi pintalauhdutintyyppistä riippumatta. Pintalauhduttimien massoista putkilämmönvaihdin on kevyin, box-pintalauhdutin painaa hieman enemmän ja painavin on perinteinen malli.

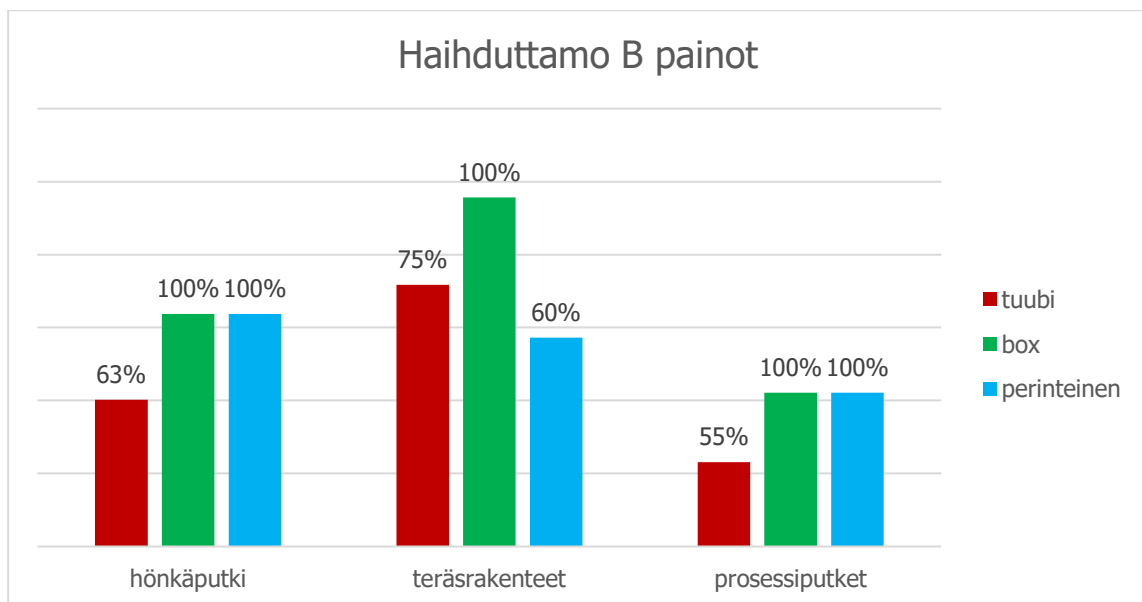
Yhteishinnalta hönkäputket, teräsrakenteet, prosessiputket sekä pintalauhdutin ovat putkilämmönvaihtimella noin 2 097 950 €, box-pintalauhduttimella 3 021 900 € ja perinteisellä pintalauhduttimella

3 193 610 €. Box-pintalauhduttimen ja perinteisen mallin hinta on melkein sama, mutta putkilämmönvaihdin on selvästi halvin. Ero johtuu pääasiassa siitä, että asennuskustannukset putkilämmönvaihtimille ovat ylivoimaisesti halvimmat. Lisäksi putkilämmönvaihtimella hönkäputkiin saadaan säästöä.

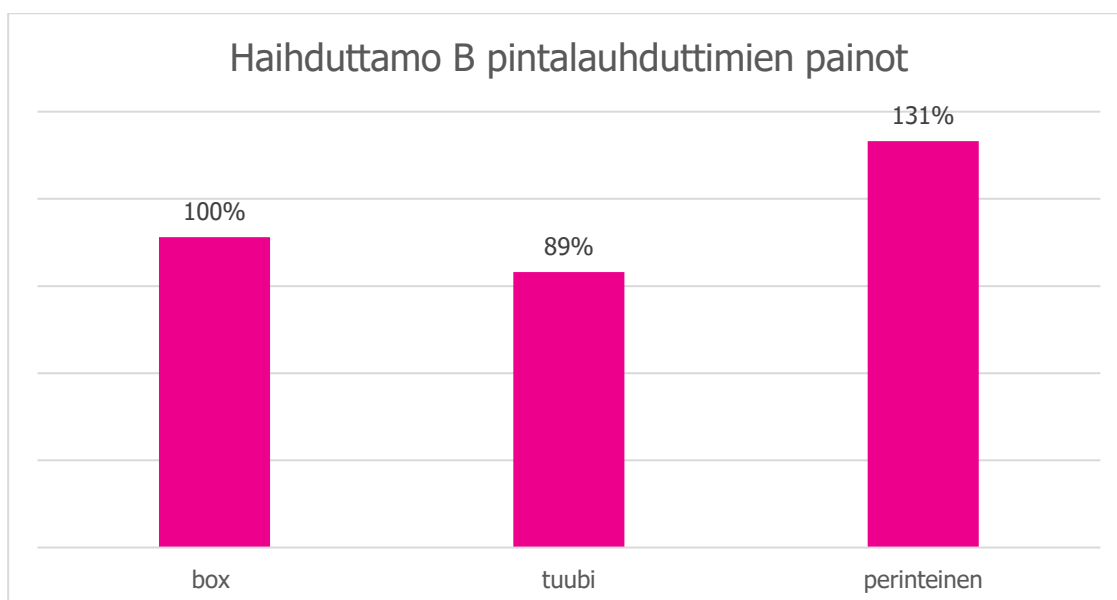


Kuva 8. Haihduttamo A:n hinta-arvioita. Mukana materiaali- ja asennushinnat.

6.2 Haihduttamo B



KUVA 9. Haihduttamo B:n painoarvioita



KUVA 10. Haihduttamo B:n pintalauhduttimien painoarviot

6.2.1 Haihduttamo B putkilämmönvaihtimella

B haihduttamon kokoluokalle ei ole vielä tehty putkilämmönvaihdinta, joten lauhduttimen koko täytyi arvioida ensin. Päälauhduttimen halkaisijaksi arvioitiin 4,1 m ja pituudeksi arvioitiin 14,19 m. Jälkilauhduttimen halkaisijaksi arvioitiin 3,9 m ja pituudeksi arvioitiin 11,71 m. Lauhduttimien yhteispainoksi arvioitiin noin x.

Putkilämmönvaihtimen hönkäputken massaksi arvioitiin noin 63 % alkuperäisen hönkäputken painosta. Massa pieneni verrattuna box-pintalauhduttimeen, koska hönkäputki menee vain yhdestä kohdasta kiinni pintalauhduttimeen. Teräsrakenteiden massaksi arvioitiin noin 75 % alkuperäiseen verrattuna. Putkilämmönvaihtimen ei tarvitse olla niin korkealla kuin box-pintalauhduttimen, joten teräsrakenteissa tulisi hieman säästöä. Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin 55 % alkuperäiseen verrattuna. Prosessiputkien paino on pienempi, koska putkilämmönvaihdin on matalammalla kuin box-pintalauhdutin. Putkilämmönvaihtimen yhteismassa, johon lasketaan sekä päälauhdutin että jälkilauhdutin, on arviolta noin 89 % verrattuna box-pintalauhduttimeen.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 321 600 €, teräsrakenteet 107 550 € prosessiputket 173 250 € ja pintalauhdutin 948 000 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 1 550 400 €.

Asennushinnat hönkäputkelle ovat noin 402 000 €, teräsrakenteille 143 400 €, prosessiputkille 392 700 € ja pintalauhduttimelle 22 000 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 960 100 €.

6.2.2 Haihduttamo B perinteisellä pintalauhduttimella

Perinteisen pintalauhduttimen koko arvioitiin haihduttamo B box-pintalauhduttimen mittakuvien avulla. Lauhduttimen halkaisijaksi arvioitiin 11,6 m. Korkeudeksi arvioitiin 13 m.

Perinteisen pintalauhduttimen hönkäputken massaksi arvioitiin noin 100 % alkuperäisen hönkäputken painosta. Teräsrakenteiden massaksi arvioitiin noin 60 % alkuperäiseen verrattuna. Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin 100 % alkuperäisiin verrattuna. Perinteisen pintalauhduttimen massaksi arvioitiin noin 131 % verrattuna box-pintalauhduttimeen.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta hönkäputki on noin 510 400 €, teräsrakenteet 85 800 €, prosessiputket 315 750 € ja pintalauhdutin 1 398 600 €. Yhteishinnalta materiaalit ovat noin 2 310 550 €.

Asennushinnalta hönkäputki on noin 638 000 €, teräsrakenteet 114 400 €, prosessiputket 715 700 € ja pintalauhdutin 606 060 €. Yhteishinnalta asennukset ovat noin 2 074 160 €.

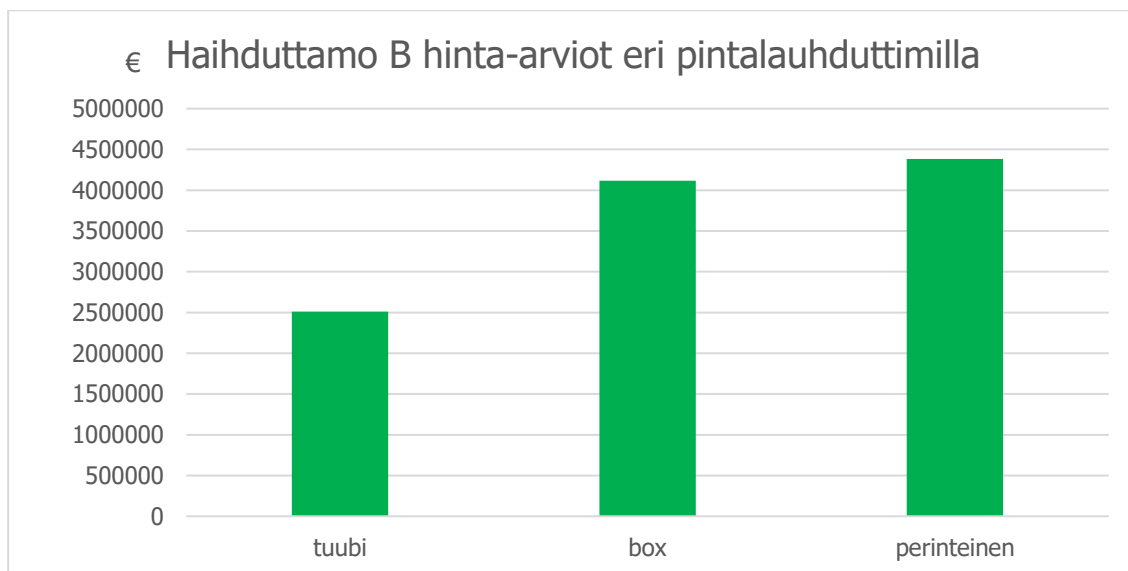
6.2.3 Haihduttamo B yhteenveto

Haihduttamo B:ssä box-pintalauhdutin on nostettu korkealle, joten teräsrakenteiden paino on massiivinen. Sekä putkilämmönvaihtimella että perinteisellä pintalauhduttimella teräsrakenteiden paino on pienempi kuin box-pintalauhduttimella. Etenkin putkilämmönvaihtimella teräspainot vähenevät, koska korkealle nostaminen ei ole tarpeellista. Toisaalta terästukirakennetta joudutaan hieman leventämään, jotta myös jälkilauhdutin mahtuu kannakkeille.

Putkilämmönvaihtimen hönkäputki on kevyempi kuin box-pintalauhduttimella ja perinteisellä pintalauhduttimella. Lisäksi prosessiputkien massa on pienin putkilämmönvaihtimella, koska lauhdutin on alempana, joten putkien pituus on pienempi. Pintalauhduttimista kevyin on putkilämmönvaihdin, box-pintalauhdutin on hieman painavampi ja selvästi painavin on perinteinen pintalauhdutin.

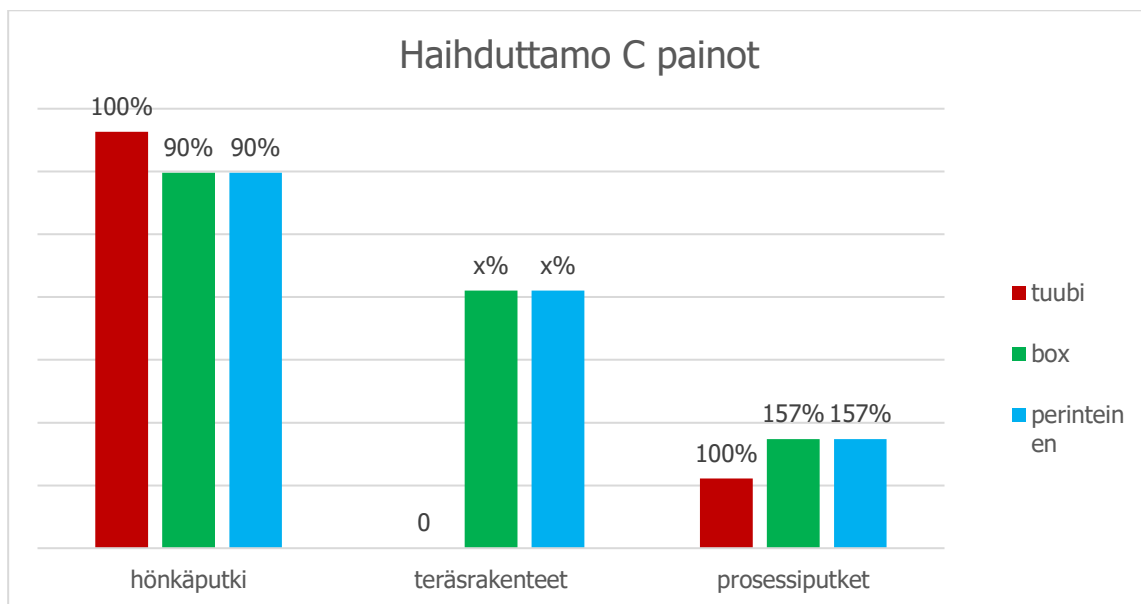
Yhteishinnalta hönkäputket, teräsrakenteet, prosessiputket sekä pintalauhdutin ovat putkilämmönvaihtimella noin 2 510 500 €, box-pintalauhduttimella 4 117 350 € ja perinteisellä pintalauhduttimella 4 384 710 €.

Putkilämmönvaihdin on selvästi halvin vaihtoehto. Halvempi hinta verrattuna box-pintalauhduttimeen sekä perinteiseen malliin, johtuu pääasiassa putkilämmönvaihtimen asentamisen edullisuudesta. Lisäksi putkien massat ovat pienemmät, koska putkilämmönvaihdinta ei tarvitse nostaa korkealle. Box-mallin sekä perinteisen mallin yhteishinnoilla ei ollut suurta eroa, mutta box-pintalauhduttimella hinnat olivat hieman halvemmat.

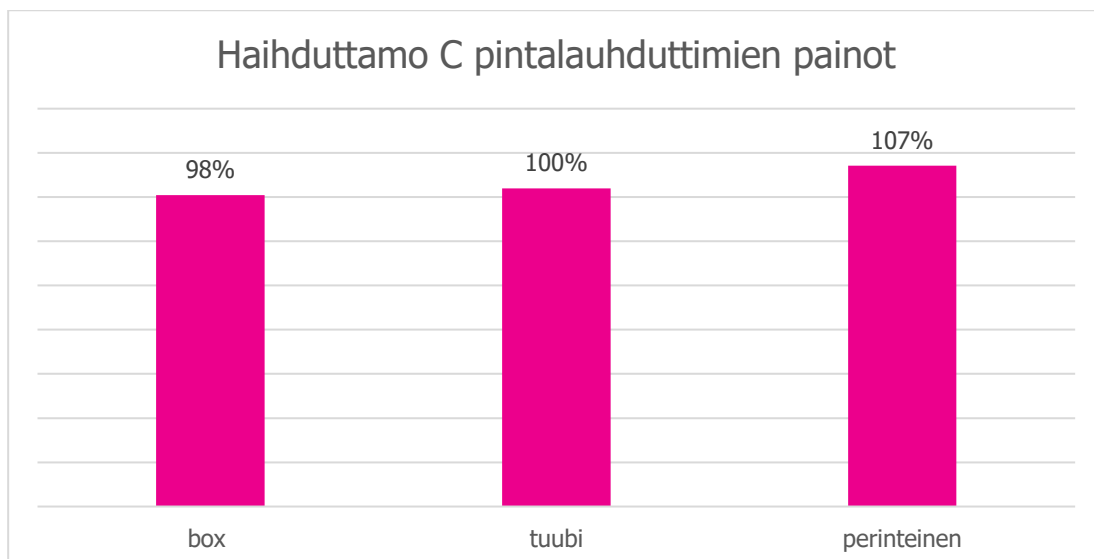


KUVA 11. Haihduttamo B:n hinta-arvioita. Mukana materiaali- ja asennushinnat.

6.3 Haihduttamo C



KUVA 12. Haihduttamo C:n painoarvioita



KUVA 13. Haihduuttamo C pintalauhduttimien painoarvioita

6.3.1 Haihduuttamo C box-pintalauhduttimella

Box-pintalauhduttimen mitat saatiin haihduuttamo X:n box-pintalauhduttimen mittakuvista. Arvioitiin, että haihduuttamo X:n pintalauhdutin on suunnilleen sopivaa kokoluokkaa haihduuttamolle C.

Höikäputken massaksi arvioitiin noin 90 % alkuperäisen höikäputken painosta. Teräsrakenteiden massa kasvoi hieman. Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin 157 % alkuperäisiin verrattuna. Box-pintalauhduttimen massa on noin 98 % verrattuna putkilämmönvaihtimeen.

Materiaali- ja konepajavalmistukselta höikäputki on noin 96 000 €, teräsrakenteet 14 760 €, prosessiputket 26 250 € ja pintalauhdutin 423 000 €. Yhteishinta materiaaleille on noin 560 010 €.

Asennushinnalta höikäputki on noin 120 000 €, teräsrakenteet 16 400 €, prosessiputket 59 500 € ja pintalauhdutin 211 500 €. Yhteishinta asennuksille on noin 407 400 €

6.3.2 Haihduuttamo C perinteisellä pintalauhduttimella

Perinteisen pintalauhduttimen mitat saatiin haihduuttamo X:n pintalauhduttimen mittakuvista, koska perinteisen pintalauhduttimen halkaisija saadaan arvioitua box-pintalauhduttimen mitoista. Perinteisen pintalauhduttimen halkaisijaksi arvioitiin 6,12 metriä ja korkeudeksi arvioitiin 10,2 metriä.

Höikäputken massaksi arvioitiin noin 90 % alkuperäisen höikäputken painosta. Teräsrakenteiden massa kasvoi hieman. Prosessiputkien massaksi arvioitiin noin 157 % alkuperäisistä. Perinteisen pintalauhduttimen massaksi arvioitiin noin 107 % verrattuna putkilämmönvaihtimeen.

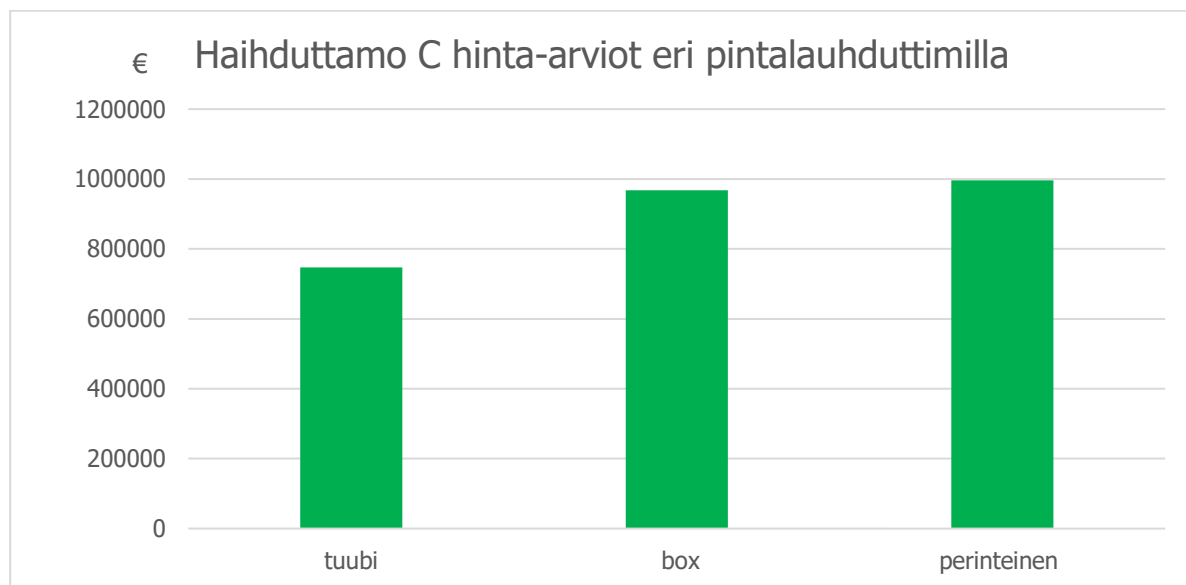
Materiaali- ja konepajavalmistukselta höikäputki on noin 96 000 €, teräsrakenteet 14 760 €, prosessiputket 26 250 € ja pintalauhdutin 462 600 €. Yhteishinta materiaaleille on noin 599 610 €.

Asennushinnalta hönkäputki on noin 120 000 €, teräsrakenteet 16 400 €, prosessiputket noin 59 500 € ja pintalauhdutin 200 460 €. Yhteishinta asennuksille on noin 396 360 €.

6.3.3 Haihduttamo C yhteenveto

Merkittäviä painoeroja ei tullut teräsrakenteiden, hönkäputkien, prosessiputkien, sekä pintalauhduttimien välille. Yhteispainoissa putkilämmönvaihtimella oli pienimmät painot, mutta erot olivat minimaalisia. Tämän takia materiaali- ja konepajavalmistuksen hinnoilla ei ollut juurikaan eroa. Putkilämmönvaihtimen asennushinta on ylivoimaisesti halvin verrattuna box-malliin ja perinteiseen malliin.

Yhteishinnalta hönkäputket, teräsrakenteet, prosessiputket sekä pintalauhdutin ovat putkilämmönvaihtimella noin 747 300 €, box-pintalauhduttimella 967 410 € ja perinteisellä mallilla 995 970 €. Putkilämmönvaihtimen yhteishinta on selvästi halvin. Tämä johtuu melkein täysin putkilämmönvaihtimen asentamisen edullisuudesta. Putkilämmönvaihtimen asentaminen maksaa yhteensä noin 22 000 € kun taas box-pintalauhduttimen ja perinteisen mallin asennushinta on hieman päälle 200 000 €.



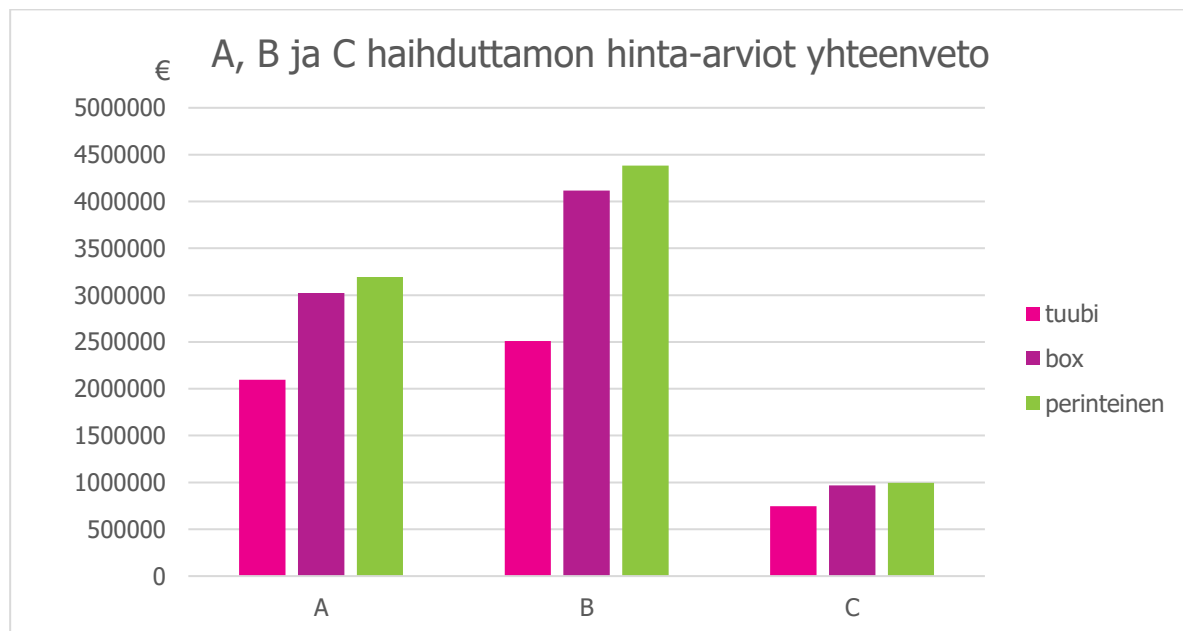
KUVA 14. Haihduttamo C hinta-arvioita. Mukana materiaali- ja asennushinnat.

7 YHTEENVETO

Hönkäputkien, teräsrakenteiden ja prosessiputkien massojen erot olivat yleensä erittäin pienet. Tästä johtuen materiaali- ja konepajavalmistuksen hinnoille ei tule suurta eroa. Pintalauhduttimista putkilämmönvaihdin ja box-malli ovat painoiltaan samaa luokkaa. Perinteinen pintalauhdutin on yleensä painavin. Tämän takia perinteisen pintalauhduttimen materiaalihinta on yleensä kallein.

Koska materiaali- ja konepajavalmistuksen hintojen erot eivät olleet merkittävän suuria, pintalauhduttimen hinnassa tulee kiinnittää huomiota asennuskustannuksiin. Pintalauhduttimien asennuskustannuksissa putkilämmönvaihdin on ylivoimaisesti halvin. Putkilämmönvaihtimet saadaan usein kokonaisuutena paketteina haihduttamolle ja asennus kestää yleensä päivän. Sen sijaan box-pintalauhduttimen asentaminen on ollut huomattavasti hitaampaa. Perinteisen pintalauhduttimen asennustunnit ovat samaa luokkaa kuin box-pintalauhduttimessa. Putkilämmönvaihtimen asennushinta on noin 22 000 €. Kun taas esimerkiksi C haihduttamon kokoluokan perinteisen mallin pintalauhduttimen asentaminen maksaa arviolta noin 200 000 €.

Tutkimuksen perusteella putkilämmönvaihdin on yhteishinnalta edullisin vaihtoehto. On kuitenkin hyvä huomioida, että hintaerot johtuvat pääasiassa putkilämmönvaihtimen asennuskustannuksien edullisuudesta. Mikäli tulevaisuudessa box-pintalauhduttimen sekä perinteisen mallin asennuskustannuksia saadaan pudotettua, hintaerot olisivat todella pieniä.



KUVA 15. Hintojen yhteenveto

LÄHTEET

Andritz Oy, intranet [viitattu 2018-08-02.] Saatavissa: <https://www.andritz.com/group-en>

KnowPulp, <http://www.knowpulp.com>

TIKKA, Panu. 2008. Chemical Pulping Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. Jyväskylä: Gummerrus.