



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VAIHTOEHTOISET MATERIAALIT SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOLLE

Andritz oy, KRP divisioona, Varkaus

TEKIJÄ/T: Aku Röpelinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Aku Röpelinen			
Työn nimi Vaihtoehtoiset materiaalit soodakattilan prosessiputkistoille			
Päiväys	17.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	46
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja ja Markku Huhtinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ANDRITZ Oy – Varkauden toimipiste / Tero Nokka			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnätetyö tehtiin Andritz Oy:n KRP-divisioonalle ja siinä perehdyttiin soodakattilan järjestelmiin, prosessiputkistoihin ja niissä käytettyihin materiaaleihin, sekä materiaaleihin, joilla voitaisiin potentiaalisesti korvata nykyään prosessiputkistoissa käytettyjä materiaaleja.</p> <p>Opinnätetyössä tavoitteena oli etsiä materiaaleja, joilla voitaisiin korvata soodakattiloissa käytettyjä teräsputkia. Materiaalejen selvittämisen jälkeen selvitettiin, pystyisikö niitä käyttämään soodakattiloissa. Kun vaihtoehtoisten materiaalien käyttökelpoisuus oli tiedossa, tehtiin materiaaleille kustannusvertailu, jossa selvitettiin teräsputkien korvaamisella saatavat säästöt.</p> <p>Työssä käydään läpi Andritzin soodakattilan perusratkaisun prosessiputkistot ja mitä ne kuljettavat, vaihtoehtoiset materiaalit, se kuinka tutkittavat putkistot rajattiin, eri materiaalien kustannukset sekä kustannusvertailu ja kustannusvertailujen tulokset.</p> <p>Kustannusten selvittämistä varten tehtiin erään keskikokoisen/suuren soodakattilan putkiston tietojen perusteella esimerkiputkisto. Esimerkiputkistoa tehdessä käytettiin Microsoft Exceliä, jolla valittiin putket suodattamalla niitä erilaisten tietojen perusteella. Esimerkiputkistosta saatiin selville putkiston putkien ja osien määrät, joiden avulla kustannukset eri materiaaleille saatiin selville ja sitä kautta tehtyä kustannusvertailu.</p> <p>Asennuskustannuksia yritettiin selvittää asennusfirmoilta sähköpostin kautta, mutta niiltä ei saatu vastauksia. Lopulta asennuskustannukset ja sitä kautta myös kokonaiskustannukset päädyttiin laskemaan arviolta aiempien tietojen perusteella.</p> <p>Esimerkiputkiston kaltaisessa putkistossa säästöjen arvioitiin olevan noin 200 000 – 250 000€ suuruusluokkaa, jos ruostumattomat teräsputket korvattaisiin PVC:llä. Putkia esimerkiputkistossa oli noin 7300 metriä ja ne olivat kaikki vain DN150 tai pienempiä.</p>			
Avainsanat soodakattila, putkisto, materiaali, muovi, teräs, kustannukset			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Aku Röpelin			
Title of Thesis Alternative Materials for the Process Piping of a Recovery Boiler			
Date	17.12.2018	Pages/Appendices	46
Supervisor(s) Heikki Salkinoja and Markku Huhtinen			
Client Organisation /Partners ANDRITZ Oy – Varkaus / Tero Nokka			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was done for the KRP division at Andritz Oy and it covers recovery boiler systems, process piping, materials used in them as well as materials that could potentially replace the materials used in the process piping today.</p> <p>The aim of the thesis was to find materials that could replace steel pipes used in recovery boilers. After finding the materials, it was determined whether they could be used in recovery boilers. After the usability of alternative materials was known, a cost comparison was made for the materials, in which the potential savings attained by replacing steel pipes were determined.</p> <p>The thesis goes through the basic solution for recovery boiler process piping and what they carry at Andritz, the alternative materials, how the studied pipelines were selected, the cost of different pipe materials and the cost comparison and its results.</p> <p>To determine the costs, an example pipeline was made using the basis of piping data of a medium/large sized recovery boiler. In making the example pipeline, Microsoft Excel was used to filter the pipes based on different data. The example pipeline contained the quantities of straight pipe and piping parts of the pipeline, which were used to determine the costs for different materials and therefore enabled doing a cost comparison.</p> <p>Attempts were made to find out the installation costs by emailing installation companies, but no replies were received. Eventually the cost of installation, and thus the total costs were calculated on the basis of existing data.</p> <p>In pipelines similar to the example pipeline, the savings were estimated to be around € 200,000 if stainless steel pipes were to be replaced with PVC. There were about 7300 metres of pipes in the example pipeline and they were only the size of DN150 or smaller.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Recovery boiler, piping, material, plastic, steel, costs</p>			

SISÄLTÖ

Lyhenteet ja määritelmät	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tausta ja tavoite	7
2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	8
2.1 ANDRITZ AG.....	8
2.2 Andritz Pulp and paper ja Recovery and Power divisioona	8
2.3 Andritz Oy	8
3 SOODAKATTILA	9
3.1 Soodakattila osana kemikaalikiertoa	9
3.2 Soodakattilan järjestelmät.....	10
3.2.1 Polttoliipeäjärjestelmä	10
3.2.2 Viherlipeäjärjestelmä.....	11
3.2.3 Öljy- ja kaasujärjestelmä	12
3.2.4 Ilmajärjestelmä	12
3.2.5 Savukaasujärjestelmä.....	13
3.2.6 Vesi- ja höyryjärjestelmä	13
3.2.7 Apujärjestelmät	14
3.2.8 Hajukaasut.....	14
4 SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOT.....	16
4.1 Prosessiputkistojen materiaalit.....	16
4.2 Prosessiputkiston jaottelu.....	16
4.2.1 Apuhöyryputkisto.....	17
4.2.2 Lauhdeputkisto	17
4.2.3 Paineilmaputkisto.....	18
4.2.4 Ilmaputkisto.....	18
4.2.5 Vesiputkisto	18
4.2.6 Tuuletus-, tyhjennys-, ja ylivuotoputkisto	18
4.2.7 Muu lauhdeputkisto.....	19
4.2.8 Apujärjestelmäputkisto	19
4.2.9 Polttoaineputkisto	19
4.2.10 Muu lipeäputkisto.....	20

4.2.11	Kaasuputkisto.....	20
4.2.12	Sulakourujen jäähdytysjärjestelmäputkisto.....	20
5	MUOVIPUTKISTOT	21
5.1	Hyvät ja huonot ominaisuudet.....	22
5.2	PVC-putket	22
5.3	PP-putket	23
5.4	PVDF-putket	23
5.5	ABS-putket.....	23
5.6	Komposiitti-putket.....	24
6	PROSESSIPUTKISTON JAKAMINEN KATEGORIOIHIN	26
6.1	Tutkittavat putkistot	27
6.2	Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät putkistot	28
7	VAIHTOEHTOISET MATERIAALIT.....	29
7.1	Materiaalien selvitys	29
7.2	Materiaalien sopivuus medioihin.....	29
7.3	Käyttöön soveltuminen (ulkoiset olosuhteet)	29
8	KUSTANNUKSET	30
8.1	Materiaalikustannukset	31
8.2	Asennuskustannukset	34
8.2.1	Asennusfirmojen asennuskustannukset.....	34
8.2.2	Asennuskustannuksista etsimällä löydettyä tietoa	34
8.3	Ylläpitokustannukset.....	35
9	KUSTANNUSVERTAILU	37
9.1	Materiaalikustannusten vertailu.....	37
9.2	Asennuskustannusten vertailu.....	39
9.2.1	Internetistä saatua tietoa.....	39
9.3	Ylläpitokustannusten vertailu	41
9.4	PVC:n vs ruostumattoman teräksen kustannukset.....	42
10	TUTKIMUKSEN TULOKSET	45
	LÄHTEET	46

Lyhenteet ja määritelmät

Media	Putken sisällä virtaava aine
DNCG	Diluted Non-Condencible Gases, rikkiyhdisteinen laimea hajukaasu
CNCG	Concentrated Non-Condencible gases, rikkiyhdisteinen vahva hajukaasu
Komposiitti	Kahden tai useamman sekoittumattoman materiaalin yhdistelmä
P235GH	Hiiliteräs, kuumaluja seostamaton teräs
1.4307	Ruostumaton teräs, Austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs
1.4432	Haponkestävä teräs, Austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs
1.4462	Duplex teräs, Austeniittis-ferriittinen ruostumaton teräs
PVC	Polyvinyylikloridi, Muovimateriaali
CPVC	Kloorattu Polyvinyylikloridi, Muovimateriaali
PP	Polypropyleeni, Muovimateriaali
PVDF	Polyvinyyliideenifluoridi, Muovimateriaali
ABS	Akryliniitriilibutadieenistyreeni, Muovimateriaali
Supistaja	Putkiston osa, joka pienentää tai suurentaa putkikokoa
T-haara	Putkiston risteytysosa
Käyrä/kulma	Putkiston osa, mutka

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoite

Soodakattiloissa prosessiputkistojen hinnoittelun määrää enimmäkseen putkistojen paino ja materiaalit. Prosessiputkistoissa on aina käytetty materiaalina erilaisia teräsmateriaaleja, mutta nykyään vaihtoehtona olisi käyttää muitakin materiaaleja, kuten muoveja tai komposiitteja, joita ei ole vielä käytössä soodakattiloissa. Työmailla on esimerkiksi monesti mietitty, voisiko jokin putki hyvin olla jotain halvempaa materiaalia.

Prosessiputkistojen hinnan osuus soodakattilan kokonaishinnasta on muutamia prosentteja, mutta pitkällä aikavälillä pienetkin prosentuaaliset säästöt vaikuttavat huomattavasti. Kehitystyö on ollut kasvavassa roolissa yrityksissä, koska sillä saadaan alennettua eri osa-alueiden kustannuksia. Vaikka työstä ei saataisikaan haluttua tulosta, niin ainakin asia ollaan tutkittu, eikä sitä tarvitse enää miettiä tulevaisuudessa.

Prosessiputkistojen kokonaishinta koostuu lähinnä suunnittelusta, standardeista, lujuslaskuista, tarkistuksista, vaaranarvioinneista, ylläpidosta, asennuksista, putkistojen määristä, tarkistuksista, käytetyistä materiaaleista ja muista liittyvistä osista. Tässä opinnäytetyössä prosessiputkisto on rajattu koskemaan vain materiaaleja, asennuksia, osia ja ylläpitoa. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, olisiko mahdollista ja kannattavaa korvata prosessiputkiston teräsputkistoja vaihtoehtoisilla materiaaleilla, kuten muoveilla.

Opinnäytetyössä etsitään sopivia materiaaleja potentiaalisesti korvaamaan soodakattiloissa yleisesti käytettyjä teräsputkistoja. Materiaalien etsimisen jälkeen selvitetään, millaisia putkistoja niillä voitaisiin korvata. Joissain putkistoissa sisältö ei sovellu muoviputkille, tai lämpötila tai paine oli liian korkea vaihtoehtoisille materiaaleille, joten tehdään erään esimerkkisoodakattilan putkistojen perusteella esimerkkiputkisto, jota käytetään kustannusvertailussa. Esimerkkiputkiston putkistot rajataan sisältämään vain sellaisia medioita, jotka sopivat kaikille materiaaleille, eli lähinnä vesiä ja ilmoja. Kustannusvertailussa saadaan selville, mitkä materiaalit olisivat halvempia ja siten kannattavampia käyttää, kuin teräsputkistot.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

2.1 ANDRITZ AG

Andritz on yksi maailman johtavista kansainvälisistä laitosten, laitteiden ja palveluiden tuottajista vesivoimalaitoksille, sellu- ja paperiteollisuudelle, metalli- ja terästeollisuudelle sekä kunnallisiin ja teollisiin erotusteknologioihin. Andritzin pääkonttori sijaitsee Grazissa Itävallassa. Andritzin alaisena työskentelee noin 26000 työntekijää. Andritz toimii maailmanlaajuisesti yli 250 toimipaikalla yli 40 eri maassa. (ANDRITZ Oy intranet, 2018)

2.2 Andritz Pulp and paper ja Recovery and Power divisioona

ANDRITZ PULP & PAPER on Andritzin toimiala, joka sisältää laitteiden, järjestelmien ja palveluiden toimittamisen kaiken tyyppisen sellun, paperin, pehmopaperin ja pahvin tuotantoon. Pulp and paper toimialaan kuuluu monta divisioonaa, joista yksi on Recovery and Power (KRP) divisioona. KRP divisioonaan kuuluu talteenottokokonaisuudet, jotka sisältävät haihduttamon, soodakattilan, voimakattilan, valkolipeälaitoksen ja niihin liittyvät teknologiat. KRP toimittaa myös voimakattiloita ja kaasuttimia sähkön tuotantoon. (ANDRITZ Oy intranet, 2018)

2.3 Andritz Oy

Andritz Oy on Andritzin alakonserni, joka kattaa kaikki Suomen toimipisteet. Andritz Oy:llä on toimipisteitä Helsingissä, Varkaudessa, Lahdessa, Kotkassa, Tampereella ja Savonlinnassa. Varkaudessa ja Savonlinnassa sijaitsevat myös Andritz Oy:n tytäryhtiöt Warkaus Works Oy ja Savonlinna Works Oy, jotka ovat tuotantolaitoksia, joissa valmistetaan osia ja komponentteja teolliseen käyttöön. Warkaus Works valmistaa paineen kestäviä komponentteja soodakattiloihin ja voimakattiloihin. Savonlinna Worksilla tuotetaan ja kootaan avainkomponentteja sekä varaosia ja kulutusosia Andritzin laitteita ja järjestelmiä varten. (ANDRITZ Oy intranet, 2018)

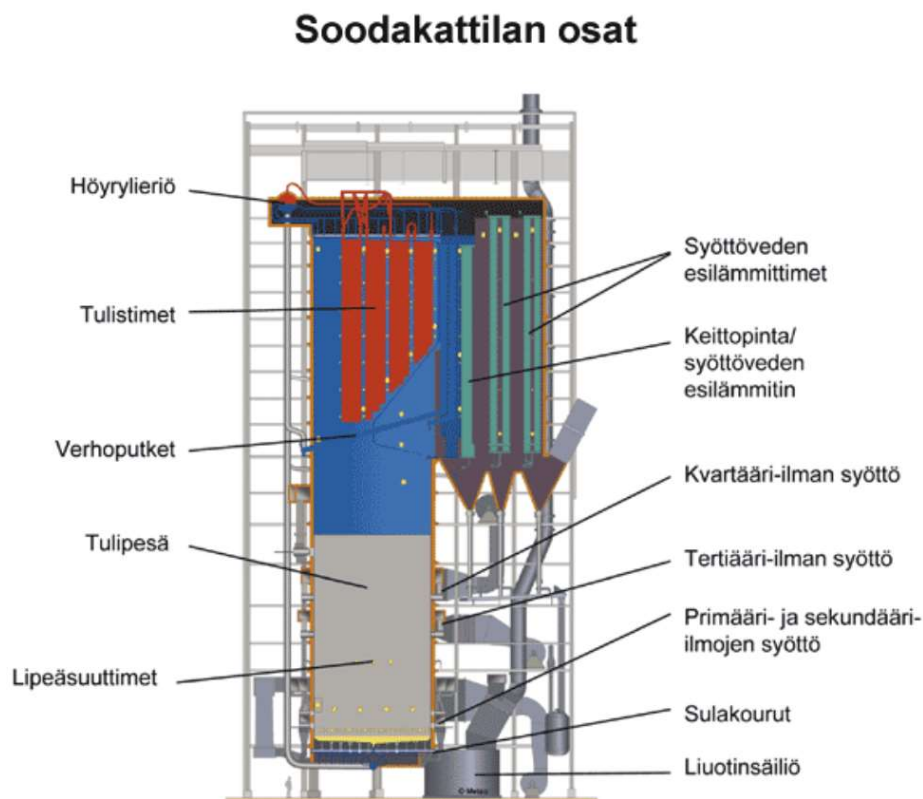
Andritz Oy on yksi maailmanlaajuisesti johtavista Sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmien, laitteiden ja palveluiden toimittajista, mukaan lukien puunjalostus, kuidun jalostus, kemikaalien talteenotto, varastointi sekä biomassakattilat, biomassan pelletointilaitokset ja kaasuttimet energiantuotantoon. Kaikki Andritz Oy:n Suomen toimipisteet, paitsi Tampereella sijaitseva Andritz Hydro Oy kuuluvat Pulp and paper - toimialaan. (ANDRITZ Oy intranet, 2018)

Andritz Oy työllistää yhteensä noin 1200 työntekijää ympäri Suomea. (ANDRITZ Oy intranet, 2018)

3 SOODAKATTILA

3.1 Soodakattila osana kemikaalikiertoa

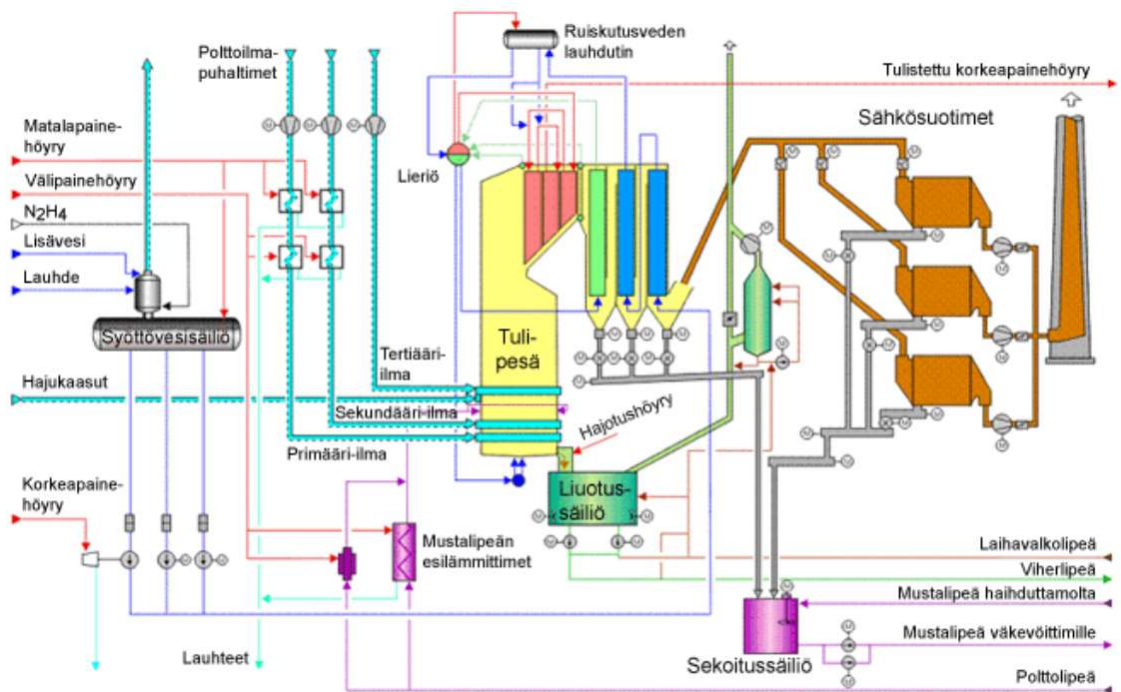
Soodakattila on tärkeä osa kemikaalikiertoa, joka kuuluu sulfaattiselluloosan valmistusprosessiin. Sulfaattisellutehtaissa syntyy mustalipeää, kun sellunkeitossa käytetty valkolipeä reagoi puun ligniinin ja muiden ainesosien kanssa. Mustalipeä erotetaan sellusta keiton jälkeisissä pesuvaiheissa. Pesuvaiheiden jälkeen mustalipeään on sekoittunut vettä, joten se johdetaan pesemöltä haihduttamoon, jossa ylimääräinen vesi haihdutetaan pois ja saadaan vahvamustalipeää, jonka kuiva-ainepitoisuus on suurempi (nykyään yleensä yli 75%). Haihduttamon jälkeen mustalipeä menee soodakattilalle, jossa siitä otetaan talteen keitossa käytettävät kemikaalit, jotka regeneroidaan, eli muodostetaan uudelleen. Mustalipeän orgaanista osaa käytetään soodakattilassa polttoaineena. Talteenoton ja regeneroinnin lisäksi soodakattilan tehtäviin kuuluu mustalipeän palamisesta syntyvän lämpöenergian talteenotto ja sen hyödyntäminen lämpönä ja sähköntuotannossa. Sulfaattiselluolosuhteissa syntyy suuria määriä mustalipeää, joka voidaan kemikaalien talteenoton ja regeneroinnin ansiosta kierrättää yhä uudelleen. Keitossa käytettävät kemikaalit ovat todella kalliita, joten sulfaattisellutehtaiden kannattavuus perustuu niiden uudelleen käyttämiseen. Energian suhteen sellutehtaat ovat omavaraisia. Mustalipeää polttamalla saatu lämpöenergia käytetään höyryn tuottamiseen, jolloin soodakattila toimii höyrykattilana. Oheisessa kuvassa (kuva 1) nähdään soodakattilan rakenne. (Knowpulp)



KUVA 1. Soodakattilan rakenne (knowpulp)

3.2 Soodakattilan järjestelmät

Soodakattilan osaprosesseihin kuuluvat polttolipeäjärjestelmä, viherlipeäjärjestelmä, öljy- ja kaasu-järjestelmä, ilmajärjestelmä, vesi- ja höryjärjestelmä sekä apupolttoainejärjestelmä. Näiden lisäksi soodakattilassa on myös apujärjestelmiä. Kaikki järjestelmät vaativat omat putkistonsa sekä laitteistonsa. Tässä luvussa esitellään tärkeimpien osaprosessien järjestelmät. Kuvassa 2 näkyy soodakattilan tärkeimpien prosessien periaatepiirros, jossa prosessien mediat eli sisällöt on piirretty omilla väreillä.



KUVA 2. Soodakattilan prosessikuva (knowpulp)

3.2.1 Polttolipeäjärjestelmä

Vahvamustalipeää tuodaan haihduttamolta pumppujen avulla sekoitussäiliöön. Yleensä laitoksissa on käytössä kaksi mustalipeäpumppua. Sekoitussäiliössä vahvamustalipeän sekaan tuodaan tuhkaa soodakattilan suppiloista ja sähkösuodattimilta (pääasiassa natriumsulfaattia ja natriumkarbonaattia). Tuhkan sekoittaminen mustalipeään pienentää tuhkan taipumusta saostua väkevöintiyksikön lämpöpinnoille. Sekoitussäiliössä kuuma tuhka sekoittuu mustalipeään pyörivän sekoituslaitteen avulla. Lipeä otetaan sekoitussäiliöstä sihtiverkon läpi imukammioon, josta polttolipeän pumput imevät sitä eteenpäin. Polttolipeäpumppuja on yleensä kaksi, joista toinen on varalla. Mustalipeää, joka on väkevöity haihduttamolla, kutsutaan vahvalipeäksi. Polttolipeä on vahvalipeää, johon on lisätty soodakattilan tuhkaa. (Knowpulp)

Pumppujen jälkeen polttolipeä menee esilämmittimelle, jotta lipeän lämpötila saadaan optimoitua siten, että viskositeetti pysyy riittävän korkeana turvalliseen pumppaamiseen. Lipeän viskositeetti vaikuttaa sen pisarakokoon ruiskutuksessa ja sitä kautta palamiseen. Esilämmityksen jälkeen mustalipeä johdetaan soodakattilan tulipesään lipeäruiskujen kautta, jotka sijaitsevat n. 6-8 m korkeudella tulipesän pohjasta joka seinällä (kuva 3). Lipeäruiskut ruiskuttavat lipeää n. 2 mm kokoisiksi pisaroiksi, jotka lentävät kattilan pohjalla olevan keon päälle palamaan ja matkalla kerkeävät kuivamaan ja menevät kattilan pohjalle sulaan petiin, jossa varsinainen palaminen tapahtuu. Soodakattiloiden käynnistykseen ja pysäytykseen vaaditaan lisäpolttoainetta, joka on yleensä öljyä tai kaasua. Polttolipeäjärjestelmään kuuluu myös tyhjennys säiliö, johon kerätään kaikki liian laimeat lipeät, koska niiden kuiva-aine pitoisuus on liian matala polttolipeäsäiliöön. Tyhjennys säiliöstä lipeä pumpataan takaisin haihduttamolle. (knowpulp)



KUVA 3. Lipeäruiskuja kattilan seinässä (Knowpulp)

3.2.2 Viherlipeäjärjestelmä

Viherlipeää syntyy, kun lipeänpoltossa orgaanisen aineen palamisen jälkeen muodostuvaan epäorgaaniseen sulamateriaaliin sekoitetaan valkolipeää, tämä tapahtuu liuotussäiliössä, johon sulamateriaali johdetaan sulakourun kautta. Sula on happipitoisessa ympäristössä todella aggressiivista ja ilman kunnan jäädytystä se syövyttää sulakourun nopeasti. Kalkki on kiertävä apukemikaali, jota käytetään soodakattilasta tulevan viherlipeän muuttamisessa valkolipeäksi. Sulan liuottamisessa vapautuu hajukaasuja, jotka johdetaan erilliseen pesuriin, joka pesee niistä pois pölyä ja rikkiyhdisteitä. Nykyään hajukaasuja on ruvettu polttamaan uudelleen soodakattiloissa. Viherlipeän putkistoon

kuuluu kaksi päälinjaa, toinen linja vie viherlipeää kaustisointiin ja toinen tuo valkolipeää liuotinsäiliölle. Viherlipeän pumppuja on yleensä myös kaksi, yksi kummallekin linjalle. (Knowpulp)

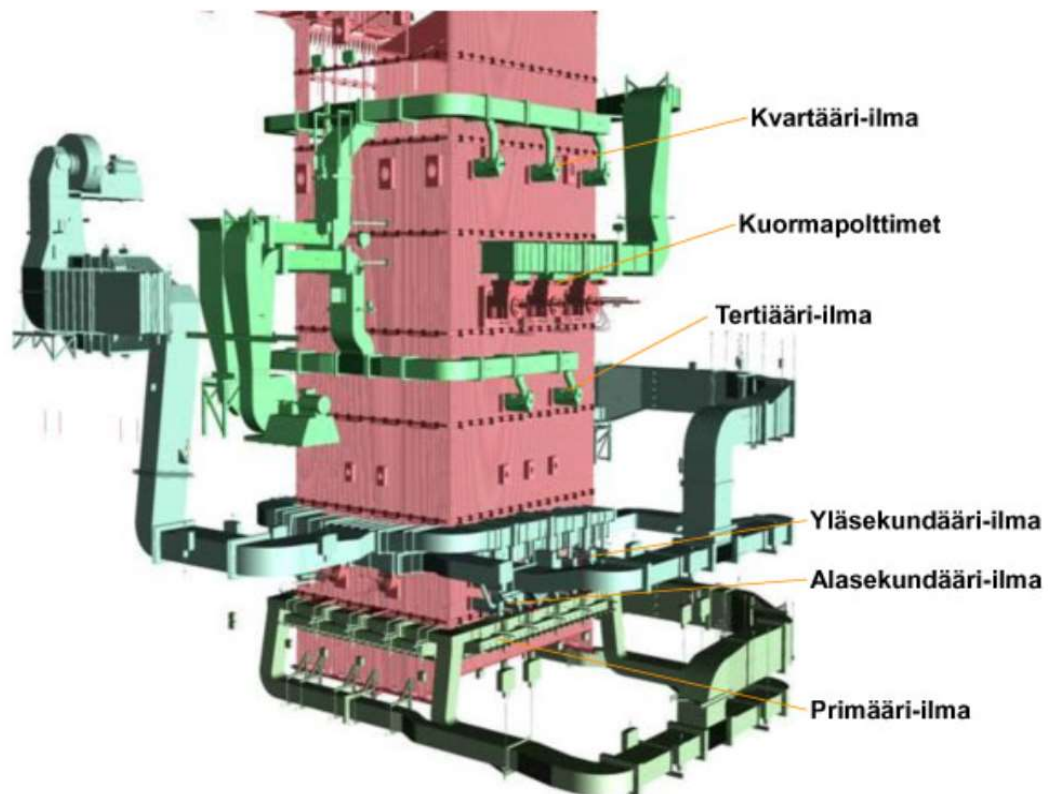
3.2.3 Öljy- ja kaasujärjestelmä

Apupolttoaineena soodakattiloissa käytetään öljyä käynnistysöljypolttimissa laitoksen käynnistämiseen ja pysäyttämiseen, lipeäpoltton tukena ja keon muotoilussa ja loppuun poltossa. Joskus käytetään myös montaa eri polttoainetta, kuten raskasta polttoöljyä, kevyttä polttoöljyä tai esim. maakaasua. Jokaiselle apupolttoaineelle on omat järjestelmänsä. Liekki sytytetään yleensä kaasukäyttöisellä sytyttimellä. Yleensä apupolttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä. Apupolttoaineilla on muitakin tehtäviä, esimerkiksi kuormitusöljypolttimia varten, jotka ovat tarkoitettu lisäämään kattilan höyryntuottoa. Kaikissa öljypolttimissa on oltava automatisoidut liekkiinvarjainlaitteet, jotka sulkevat öljyn tulon, jos polttimessa oleva liekki jostain syystä sammuu. Öljynsyöttö katkaistaan pikasulkuventtiileillä. (Vakkilainen, 2005)

3.2.4 Ilmajärjestelmä

Mustalipeän palamisen ylläpitämiseen vaaditaan sitä enemmän ilmaa, mitä enemmän mustalipeää poltetaan. Tärkeimmät vaatimukset kattilan ilmajärjestelmälle on oikeanlainen ilman jakaminen ja maksimaalinen sekoitus. Ilmaa syötetään kattilaan eri korkeuksista, jotta taataan täydellinen palaminen ja päästöt saadaan minimoitua. Ilmavirtaa hallitaan kattilassa olevilla pelleillä ja ilmanpuhaltimilla. Ilmaa esilämmitetään ennen kattilalle menoa, joka johtaa korkeampaan tulipesän lämpötilaan ja siten tarvitaan vähemmän pintaa lämmönsiirtoon ja se nostaa lämmönsiirtoa höyryyn. Ilmaa otetaan käyttöön tulipesään vähintään kolmelta ilmatasolta: primääri, sekundääri ja tertiääri (katso kuva 4). Primääri ja sekundääri sijaitsevat lähellä kattilan lattiaa mustalipeäruiskujen alapuolella ja tertiääri-ilma tulee käyttöön lipeäruiskujen yläpuolella. Isommissa kattiloissa kaikilla ilmatasoilla on omat tuulettimensa. Primääri-ilmaa puhalletaan tasaisesti kattilaan ja sen avulla sulakeko pidetään poissa kattilan seiniltä lisäämällä keon reunoilta palamista. Sekundääri-ilma tulee käyttöön heti keon yläpuolella ja sillä pidetään yllä tietty lämpötila kattilan alaosassa ja sen avulla päästöt pienenevät. Sekundääri-ilman päätarkoitus on polttaa keosta nousevat kaasut. Tertiääri-ilma polttaa jäljelle jäävät palavat ainekset, jotka nousevat alemmalta tasolta. (Vakkilainen, 2005)

Esimerkki soodakattilan ilmanavistosta



KUVA 4. Esimerkki soodakattilan ilmanavistosta. (Knowpulp)

3.2.5 Savukaasujärjestelmä

Savukaasujärjestelmän avulla voidaan kuljettaa poltetut materiaalit tulipesästä turvallisesti ilmaan. Tulipesästä tulevat savukaasut johdetaan lämmönsiirtopintojen läpi, jotta niissä oleva lämpöenergia saataisiin talteen mahdollisimman hyvin. Sen jälkeen savukaasu menee savukaasukanavien, savupeltien, savukaasutuulettimen, sähkösuotimen sekä mahdollisesti puhdistimen läpi. Tiheyserojen aiheuttama luonnollinen virta ei riitä savukaasujen imemiseen kattilan tulipesästä, joten sitä säädetään tuulettimilla. Savukaasukanavat yhdistävät laitteita. Sähkösuosuoitimia ja muita päästövähennyslaitteita käytetään saastuttamisen vähentämiseksi. (Vakkilainen, 2005)

3.2.6 Vesi- ja höyryjärjestelmä

Syöttövesisäiliö on soodakattilan suurin vesisäiliö, josta alkaa keittoveden ja höyryn kierto. Vesi- ja höyrykomponentit kuljettavat, paineistavat, lämmittävät, haihuttavat ja tulistavat vettä höyryksi. Syöttövesijärjestelmä koostuu syöttövesitankista, syöttövesipumpuista, säätöventtileistä ja syöttövesiputkistosta, jonka jälkeen syöttövesi menee lämmönsiirtopinnalle esilämmittimeen. Esilämmittimessä savukaasun lämpöä käytetään syöttöveden lämmitykseen lähes kiehumispisteeseen asti. Esilämmittimestä tulevaa vettä käytetään veden lämmönsäätelyssä tai höyryn lämmön alentamisessa,

jonka jälkeen syöttövesi virtaa lieriölle, jossa höyry ja vesi erotetaan toisistaan gravitaatiolla, seuloilla ja sykloonierottimilla. Laskuputkien kautta kyllästetty syöttövesi menee haihdutuspinnoille. Suurimman osan haihduttamisesta tekee tulipesän seinät ja veden tuottama höyry kulkeutuu lieriölle, josta se poistuu tulistimille. Tulistinten tehtävä on kuumentaa höyryä. Veden kierron aiheuttaa tiheyserot höyrytäyteisten lämpöpintojen ja laskuputkien välillä. kiertoa voidaan auttaa pumpulla. (Vakkilainen, 2005)

3.2.7 Apujärjestelmät

Soodakattilat tarvitsevat toimiakseen myös apujärjestelmiä pääjärjestelmien rinnalla. Soodakattiloissa on paljon laitteita, jotka parantavat soodakattilan prosessia.

Automaattisen puhdistusjärjestelmän tarkoitus on pitää kaikki ilma-aukot suurimman osan ajasta niin auki, kuin mahdollista. Laitteet puhdistavat ilma-aukot tietyn ajan välein. Eniten puhdistusta vaativat lipeäruiskujen alapuolella sijaitsevat aukot, koska ylempänä sijaitsevat aukot eivät tukkeudu niin helposti isomman paineen ja aukon koon takia. (KnowPulp)

Soodakattilassa tuulettimet tuovat primääri ja sekundääri-ilmaa tulipesään. Ilmaa käytetään pääosin polttoaineiden polttamiseen, mutta sitä voidaan käyttää hyödyksi myös paineilmana polttoaineiden ja muiden kiinteiden materiaalien kuljetuksessa tulipesälle. Tuulettimien ansiosta tulipesässä on pieni alipaine. (KnowPulp)

Soodakattiloissa on myös paljon muita laitteita, kuten eri aineiden esilämmittimiä, puhaltimia, sähkösuotimia, tuhkan kuljetuslaitteisto, erilaisia säiliöitä, ylösajopolttimia, haihduttimia, jäähdytysjärjestelmiä sekä muita tarvittavia laitteistoja. Kaikissa soodakattiloissa ei ole aina samoja laitteita saman verran, vaan laitteiden määrä riippuu kattilan koosta ja siitä, mitä prosesseja siellä käytetään. (KnowPulp)

3.2.8 Hajukaasut

Jokaisessa prosessilaitteessa, jossa käsitellään lipeää, syntyy hajukaasuja. Hajukaasuja on laimeita hajukaasuja, eli DNG (Diluted Non-Condencible Gases) ja väkeviä hajukaasuja eli CNCG (Concentrated Non-Condencible Gases). Hajukaasuja poltetaan nykyään ensisijaisesti soodakattilassa, jonka ansiosta erillistä hajukaasukattilaa ei tarvita. Ennen polttoa väkevät ja laimeat hajukaasut erotellaan toisistaan. CNCG kaasut ovat räjähdysherkkiä. (KnowPulp)

Laimeita hajukaasuja kerätään atmosfäärisistä lähteistä, eli esimerkiksi säiliöistä, kanaaleista ja pesuista. Kaasut johdetaan kondensoivan pesurin läpi, jossa poistetaan kaasujen sisältämää vesihöyryä ja tärpättiä, jonka jälkeen ne lämmitetään esilämmittimessä ennen soodakattilaan johtamista. Lai-

meat hajukaasut menevät soodakattilaan joko omista suuttimista tertiääri-ilmatasolla, tai sekoitetuna polttoilman kanssa. Happipitoisuus laimeissa hajukaasuissa on suunnilleen sama kuin ilmassa, joten palamisilmaa voidaan vähentää suunnilleen sama määrä kuin mitä laimeita hajukaasuja käytetään. (KnowPulp)

Väkevät hajukaasut (CNCG) pyritään polttamaan soodakattiloissa, koska se vähentää rikki päästöjä. Ennen väkeviä hajukaasuja poltettiin erillisissä polttolaitoksissa ja meesauuneissa. Väkevät hajukaasut kerätään talteen haihduttamolta, stripperiltä, sellun keittimeltä ja väkevoittimiltä. Väkevien hajukaasujen polttaminen soodakattilalla on monimutkaisempaa kuin laimeiden hajukaasujen poltto. Väkevät hajukaasut ovat myrkyllisiä ja räjähdysherkkiä, jonka takia ne kerätään siten, ettei niihin pääse vuotoilmaa. Väkevien kaasujen putkistot on varustettu erilaisilla turvasysteemeillä kuten pisan erottimilla, liekinestimillä, vesityksillä, staattisen sähkön maadoituksilla ja muilla turvalaitteilla. Väkeville hajukaasuille on oma CNCG-poltin, joka sijaitsee lipeäruiskutasolla tai sen alapuolella. Häiriötilanteen tapahtuessa väkevien hajukaasujen poltto lopetetaan soodakattilassa ja kaasut johdetaan varapolttimille. Väkevissä hajukaasuissa on paljon rikkiä, mutta se ei aiheuta rikkioksidia (SO_2) -päästöjä, koska tulipesässä vapautuva natrium sitoo sen lentotuhkaan, joka saadaan talteen sähkösuotimissa. (KnowPulp)

4 SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOT

4.1 Prosessiputkistojen materiaalit

Prosessiputkiston materiaalit jakautuvat karkeasti kahteen eri ryhmään, hiiliteräksiin ja ruostumattomiin teräksiin. Hiiliteräksiä käytetään vain yhdenlaista, eli kuimalujaa seostamatonta terästä (P235GH), kun taas ruostumattomia teräksiä käytetään kolmea erilaista. Ruostumattomat teräkset jaetaan austeniittisiin sekä austeniittis-ferriittisiin teräksiin. Austeniittiset teräkset on puolestaan jaettu ruostumattomiin teräksiin (EN 1.4307) ja haponkestäviin teräksiin (EN 1.4432 ja EN 1.4404). Austeniittis-ferriittinen teräsmateriaali (EN 1.4462) on duplex-terästä, jossa yhdistyy lujuus ja korroosion kestävyys. Prosessiputkistojen materiaali koostuu pääosin näistä neljästä eri materiaalista. Suurin osa prosessiputkiston putkista on hiiliterästä. Toiseksi yleisin materiaali on ruostumaton teräs. Haponkestävää terästä ja duplex-terästä käytetään vain pienessä osassa putkistoa. Hiiliteräs on halvin putkimateriaali, joten sitä pyritään käyttämään mahdollisimman paljon. Yleisistä soodakattilan prosessiputkistoissa käytetyistä materiaaleista kallein on duplex-teräs. (PSK-käsikirja 7 PUTKILUOKAT)

Putkistomateriaalin valintaan vaikuttavat sisäiset tekijät, joita ovat putken sisällä virtaava aine, lämpötila ja paine. Niiden lisäksi valintaan vaikuttavat myös kustannuksiin vaikuttavat tekijät, kuten materiaalin hinta, valmistuskustannukset, saatavuus, asennuskustannukset, ylläpitokustannukset ja käyttöikä. Materiaalin valintaan vaikuttaa myös ulkoiset tekijät, eli ympäristölliset tekijät. Ympäristöllisiä tekijöitä voi olla esimerkiksi kattilalta roiskuvat sularoiskeet tai ilman lämpötila, joka voi kattilan läheisyydessä nousta yli 200 °C.

4.2 Prosessiputkiston jaottelu

Soodakattiloissa on tuhansia putkia ja soodakattilan putkistot jaetaan korkeapaineputkistoon ja prosessiputkistoon. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain prosessiputkistoon. Prosessiputkisto on erillinen kokonaisuus soodakattilan vesi- ja höyrykierrosta. Prosessiputket kuljettavat eri aineita laitteistojen ja järjestelmien välillä. Tähän opinnäytetyöhön kuuluvat putkistot ovat Andritzin perusratkaisun putkistot, jotka ovat aina joka laitoksessa. Niihin kuuluvat alla olevan taulukon (taulukko 1) mukaiset putkistot.

TAULUKKO 1. Soodakattilan perusratkaisun prosessiputkistot

AUXILIARY STEAM PIPING	APUHÖYRYPUTKISTO
CONDENSATE PIPES	APUHÖYRYPUTKISTON LAUHDEPUTKISTO
COMPRESSED AIR PIPING	PAINELMAPUTKISTO
AIR PIPING	ILMAPUTKISTO
WATER PIPING	VESIPUTKISTO
VENT - DRAIN-&OVERFLOW PIPING	TUULETUS-, TYHJENNYS-, JA YLIVUOTOPUTKISTO
CONDENSATE PIPING	MUU LAUHDEPUTKISTO
AUXILIARY SYSTEM PIPING	APUJÄRJESTELMÄPUTKISTO
FUEL PIPING	POLTTOAINEPUTKISTO
OTHER LIQUOR PIPING	MUU LIPEÄPUTKISTO
GAS PIPING	KAASUPUTKISTO
SMELT SPOUTS WITH COOL SYSTEM	SULAKOURUJEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄPUTKISTO

Taulukon putkistot on jaettu vielä pienempiin osiin, joista käy ilmi niiden tehtävät. Kaasuputkistoon kuuluu esimerkiksi kaikki hajukaasut, kuten DNCG-, SOG- ja GNCG -kaasut. (Andritz Oy)

4.2.1 Apuhöyryputkisto

Apuhöyryputkistoon kuuluvat matalapaineiset ja keskipaineiset apuhöyrylinjat, kemikaalisulan pirstoutumishöyrylinjat ja hajukaasujen höyrylinjat. Apuhöyryputkiston tehtävänä on kuljettaa höyryä soodakattilan eri laitteiden välillä, jotka sitä käyttävät, kuten esilämmittimille, nuohoimille ja sulakourujen höyrysuuttimiin. Apuhöyryputkiston sisältö on kuumaa höyryä, joten putken materiaalin täytyy kestää korkeita lämpötiloja ja painetta, jonka takia putkistossa käytetään kuumalujaa seostamatonta terästä (P235GH). Suurin osa putkiston suunnittelulämpötiloista on 180 °C ja 250 °C. PN-luokka putkistossa vaihtelee PN10 ja PN25 välillä. (Andritz Oy)

4.2.2 Lauhdeputkisto

Apuhöyryputkistossa käytettävästä höyrystä muodostuu lauhdetta sen lämpötilan pienentyessä esimerkiksi ilman esilämmittimissä. Lauhdeputkia on kolmelle eri kategorialle: ilman esilämmittimille, höyryputkistolle ja hajukaasujen putkistolle. Esilämmittimiltä tuleva lauhde kerätään lauhdesäiliöihin ja käytetään uudelleen. CNCG-hajukaasuputkien lauhteet on vietävä CNCG-lauhdesäiliöön. Tavallisen höyryn lauhteen, kuten esilämmittimistä ja höyryputkistosta tulevan lauhteen putkien sisältö on kuumaa nestettä ja höyryä ja niiden putkiston materiaalina käytetään P235GH kuumalujaa seostamatonta terästä. Joidenkin höyrylauhdeputkien suunnittelulämpötila on 366 °C, mutta suurin osa suunnittelulämpötiloista on 180 °C ja 250 °C. Apuhöyryputkiston tapaan putkiston PN-luokka vaihtelee PN10 ja PN25 välillä. (Andritz Oy)

Hajukaasujen lauhdetta kerätään hajukaasuputkistosta ja -kanavistosta. Hajukaasujen lauhdeputkiston suunnittelulämpötila vaihtelee 100 °C ja 180 °C välillä ja niiden PN-luokka on PN10. Materiaalina

hajukaasujen lauhdeputkissa käytetään ruostumatonta terästä (1.4307) ja haponkestävää terästä (1.4432), koska hajukaasujen lauhteissa on ruostuttavia ja syövyttäviä yhdisteitä. (Andritz Oy)

4.2.3 Paineilmaputkisto

Paineilmaputkisto kuljettaa tehdasilmaa ja instrumentti-ilmaa soodakattilan laitteille, jotka sitä tarvitsevat, kuten ylösajopolttimille ja CNCG- polttimille. Tehdasilma on tavallista paineistettua ilmaa ja instrumentti-ilma on puhdistettua ja kovempipaineista ilmaa, jota käytetään nimensä mukaisesti eri instrumenteissa ja paineilmatyökaluissa, kuten venttiileissä tai pumpuissa. Putkiston paine ja lämpötila ovat matalat, kaikki putket paineilmaputkistossa ovat PN10-luokkaa ja suunnittelulämpötila niissä on 50 °C tai alle. Materiaalina paineilmaputkistossa käytetään ruostumatonta terästä (1.4307), koska silloin putkille ei tarvita pintakäsittelyä, eivätkä lauhteet aiheuta korroosiota. (Andritz Oy)

4.2.4 Ilmaputkisto

Ilmaputkistossa kulkee tavallista ilmaa pääasiassa nuohoimille, mutta myös muualle, missä sitä tarvitaan. Suurin osa ilmaputkistosta kulkee kattilan läheisyydessä, jossa lämpötila on korkea, mikä pitää huomioida putken materiaalia valitessa. Ilmaputkiston putket ovat matalapaineisia ja kuuluvat PN10-luokkaan sekä niiden sisältämän ilman lämpötila on alhainen. Suurin osa ilmaputkista on suunnittelulämpötilaltaan 50 °C ja niiden materiaalina käytetään ruostumatonta terästä (1.4307). (Andritz Oy)

4.2.5 Vesiputkisto

Vesiputkiston tehtävä on kuljettaa tehdasvettä, lämmintä vettä, suoloista puhdistettua vettä, näytteenottovettä, palovettä, puhdistusvesiä, jäähdytysvesiä ja muita vesiä soodakattilan eri osiin laitteistolle. Soodakattilassa on paljon laitteistoja ja järjestelmiä, jotka tarvitsevat erilaisia vesiä toimiakseen. Suurimmassa osassa vesiputkistoa suunnittelulämpötila on matala, yleensä 100 °C tai vähemmän, näiden putkien paineluokka on PN10 tai PN16, kovemman paineluokan vaativia putkia ovat esimerkiksi sammutusvesiputket, koska niissä paineen pitää riittää myös kattilarakennuksen yläosiin. Keskipaineistetussa vesiputkistossa, jossa suunnittelulämpötila on 165 °C käytetään kuumalujaa seostamatonta terästä (P235GH) ja niiden paineluokka on PN40. Toisin kuin sammutusvedessä, keskipaineistetun putkiston paine on korkea siksi, että vesi pysyy nesteenä, vaikka sen lämpötila on reilusti yli 100 °C. Näytteenottovesiputkissa käytetään materiaalina haponkestävää putkea (1.4432). (Andritz Oy)

4.2.6 Tuuletus-, tyhjennys-, ja ylivuotoputkisto

Tuuletusputkistoa käytetään lauhdesäiliön, jatkuvan ulospuhallussäiliön, syöttövesisäiliön ilmanerotimen ja sekoitussäiliön pesurin tuuletuksessa. Tuuletusputket yhdistyvät isoon ulospuhallussäiliön

putkeen, joka johtaa höyryt kattilarakennuksen katon läpi ilmastoon. Järjestelmiä tuuletetaan, jotta ei pääse muodostumaan ilmataskuja, koska ne aiheuttavat räjähdysvaaran. Ulospuhallussäiliöön yhdistyy lauhdeputkia, tyhjennysputkia, varoventtiilien tyhjennysputkia ja ylivuotoputkia. Tuuletusputkistossa käytetään pääosin ruostumatonta terästä (1.4307). (Andritz Oy)

Tyhjennysputkistoa käytetään säiliöiden tyhjentämiseen seisokin aikana ja käytettyjen vesien ja sadevesien keräämiseen. Ylivuotoputkistoa käytetään säiliöiden pinnankorkeuden säätämiseen, eli jos säiliön pinnankorkeus nousee liian korkeaksi, vettä lasketaan pois ylivuotoputkien kautta. Näissä putkistoissa käytetään hiiliterästä (P235GH) ja ruostumatonta terästä (1.4307). (Andritz Oy)

4.2.7 Muu lauhdeputkisto

Kaikki muu paitsi höyryputkiston lauhdeputkistoon kuuluvat lauhdeputkistot kuuluvat tähän ryhmään. Niitä ovat pääasiassa ilmanavien lauhdeputket. (Andritz Oy)

4.2.8 Apujärjestelmäputkisto

Apujärjestelmäputkisto kuljettaa enimmäkseen kuumaa vettä savukaasujen lämmön talteenottojärjestelmään ja sen sisällä. Lisävesiputkiston lämpötila ja paine ovat korkeita. Paine kuuluu PN40 luokkaan ja suunnittelulämpötila on useimmiten yli 200 °C. Lisävesiputkiston materiaali on enimmäkseen kuumalujaa seostamatonta terästä (P235GH). (Andritz Oy)

4.2.9 Polttoaineputkisto

Polttoaineputkisto kuljettaa erilaisia polttoaineita, kuten kevyttä ja raskasta polttoöljyä, sytytyskaasua (propaani), maakaasua ja mustalipeää. Polttoöljyjä kuljettavat putket ovat kuumalujaa seostamatonta terästä (P235GH) ja niiden suunnittelulämpötila on yleensä 160 °C ja paineluokka PN40. Propania ja maakaasua sisältävässä putkistossa on käytetty materiaalina myös P235GH ja sen suunnittelulämpötila ja PN-luokka ovat matalat, 40 °C ja PN10. Mustalipeää lipeäsuuttimille vievässä putkistossa on käytetty materiaalina duplex-terästä (1.4462), jossa yhdistyy kuumuuden ja korroosion kestävyys. Lipeäsuuttimille menevä putkisto myös kiertää kattilan lähellä, joten sen ulkopuolinenkin lämpötila voi olla korkea ja lipeäaukoista voi tulla roiskeita. Mustalipeää suuttimille vievän putkiston suunnittelulämpötila on n. 200 °C ja paineluokka PN25. Muu mustalipeää kuljettava putkisto on ruostumatonta terästä (1.4307), mutta niidenkin suunnittelulämpötila ja paineluokka pysyvät samoissa tai hieman alempana. (Andritz Oy)

4.2.10 Muu lipeäputkisto

Viher- ja valkolipeälle on erillinen putkisto mustalipeäputkiston lisäksi. Viherlipeää kuljetetaan liuotussäiliöstä viherlipeäpumpuille, jotka pumppaavat viherlipeän tie-in alueelle, josta putket jatkuvat kaustistamolle. Viherlipeää kuljettavat putket ovat PN10 paineluokkaan kuuluvia ja niiden suunnittelulämpötila on 110 °C. Viherlipeäputket ovat haponkestävää terästä (1.4432). (Andritz Oy)

Heikkovalkolipeää käytetään sulakourujen huuviin pesemisessä ja jäädytyksessä ja myös liuotussäiliössä liuotussäiliön sekoittimien jäädytyksessä. Valkolipeää käytetään myös tuuletushormin sisäpintojen puhdistuksessa ja joskus myös tehdasveden lämmityksessä lämmönsiirtimessä. Valkolipeäputket ovat pääosin myös haponkestävää terästä (1.4432) ja niiden paineluokka on PN10 ja suunnittelulämpötila 80 °C ja 110 °C välillä. Osassa valkolipeäputkista käytetään myös ruostumatonta terästä (1.4307). (Andritz Oy)

4.2.11 Kaasuputkisto

Kaasuputkisto sisältää CNCG, DNCG ja SOG (Stripper Off-Gas) kaasuja, jotka kaikki viedään polttimoille palamaan. Materiaalina putkissa käytetään haponkestävää terästä (1.4432), koska hajukaasut ovat syövyttäviä. Kaasuputkistossa suunnittelulämpötila on suurimmilta osin 180 °C ja paineluokka PN10. (Andritz Oy)

4.2.12 Sulakourujen jäädytysjärjestelmäputkisto

Sulakourujen jäädytysjärjestelmäputkisto on erillinen järjestelmä vesiputkistosta. Järjestelmä sisältää sisään ja ulostuontiputkiston sulakouruilta, jossa on lämmönsiirtimiä ja pumppuja. Suuri osa sulakourujen jäädytysjärjestelmäputkistosta kulkee kattilan lähellä, jossa lämpötila on korkea. (Andritz Oy)

5 MUOVIPUTKISTOT

Muoviputkia on kolmea erilaista perustyyppiä, kiinteäseinäputkia, rakenneseinäputkia ja komposiittiputkia. Kiinteäseinäputket ovat yhdestä kerroksesta homogeenisestä kestumuovimassasta pursotettuja putkia, jotka ovat valmiita käyttöön putkilinjassa. Rakenneseinäputket on suunniteltu siten, että niillä on pyritty optimoimaan materiaalikäyttö ja saavuttamaan fyysiset, mekaaniset ja suorituskyvyn vaatimukset. Komposiittiputkissa on taipuisa, yleensä metallinen kerros keskellä kolmea yhdistettyä kerrosta. Metallinen kerros estää aineiden liikkumisen putken läpi. (Teppfa, 2018)

Muoviputket valmistetaan yleensä pursottamismenetelmällä, jossa materiaali sulatetaan ja ajetaan pursottimen läpi, jossa on muotti joka muokkaa muovin putkeksi, joka kovettuu jäähtyessä. Toisin kuin teräsputket, muoviputkissa on monta eri liitostapaa. Muoviputket liitetään liitoskappaleilla, joissa on kumitiiviste tai liuotinliimasysteemi tai hitsaamalla. Yleensä suorat putket liitetään liitoskappaleella, joka menee kahden peräkkäisen putken väliin. Paljon erilaisia sovittimia käytetään haaroituksiin, kulmiin ja muihin liitoksiin. Oheisessa kuvassa 5 nähdään erilaisia putkiston liitoskappaleita. (Teppfa, 2018)

Muoviputkien paineenkesto pienenee sitä enemmän, mitä isompi putken lämpötila on, jonka takia muovimateriaalit eivät yleisesti sovi kuumiin olosuhteisiin, eikä kuumille sisällöille. Sama tapahtuu myös teräsputkistoille, mutta huomattavasti pienemmällä vaikutuksella. Tämän takia opinnäytetyössä keskitytään vain matalalämpöisiin putkistoihin.

Muoviputkilla on pitkä elinikä, niitä on onnistuneesti käytetty toiminnassa yli 50 vuotta ja ennustettu elinikä niille ylittää 100 vuotta. (Teppfa, 2018). Iso syy tähän on se, ettei muoviputkissa esiinny paljoa korroosiota, koska niiden kemiallinen kestävyys on todella hyvä sekä sisältö on yleensä lähinnä vettä.



KUVA 5 Muoviputkien (tässä kuvassa PVC) erilaisia liitososia (Miraj Pipes & Fittings)

5.1 Hyvät ja huonot ominaisuudet

Muovit ovat hyvin monipuolisia materiaaleja ja niitä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen, koska niillä on erilaisia ominaisuuksia. Erilaisia muoveja on lukematon määrä ja niiden ominaisuuksia voidaan muuttaa halutulla tavalla muuttamalla niiden kemiallista koostumusta. Yleensä suurin osa muoveista kuitenkin omaavat samoja ominaisuuksia.

Muoviputkistoissa hyviä ominaisuuksia ovat tyypillisesti muun muassa kevyt ominaispaino, hyvä kemiallinen kestävyys ja korroosionkesto, ruostumattomuus, myrkyttömyys, huono syttyvyys ja itseltään sammuvuus, hyvän virtaavuuden mahdollistava sileä pinta, helppo kuljetus, hyvä saatavuus, sekä huono lämmön- ja sähkönjohtavuus. Näiden ominaisuuksien lisäksi muoviputkistot voidaan kierrättää niiden käytön jälkeen. Materiaalien ominaisuuksien hyvien puolien lisäksi hyviä puolia ovat esimerkiksi helppo kuljetus sekä helppo ja nopea asennus.

Muoviputkistojen huonoista puolista merkittävimpiä ovat huono lämmönkesto ja paineenkesto, jotka ovat hyvin relevantteja asioita, tämän lisäksi paineenkesto huononee rajusti lämpötilan noustessa. Muita huonoja puolia ovat muun muassa suuri lämpölaajeneminen, huono iskunkestävyys, hauraus, UV-säteilyn heikkous ja huono käytettävyys ulkoilmassa.

5.2 PVC-putket

Polyvinyylikloridi eli PVC on kestumuovi ja se on yksi maailman vanhimmista muoveista ja myös yksi yleisimmistä. PVC on kevyttä ja sen paino on $1,45 \text{ g/cm}^3$. PVC materiaaleja on monia erilaisia, tässä työssä käsitellään vain PVC-U (Unplasticised) muovia, joka on kovaa ja jämääkää ja sillä on hyvä kemiallinen kestävyys, sekä CPVC:tä. Yleensä PVC-U putkia voidaan käyttää $60 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpöasteeseen asti, mutta varsinainen lämpöraja riippuu rasituksesta ja ympäristöllisistä tekijöistä. (Fluorotech, 2018)

PVC-U putkien tärkeimpiä käyttökohteita ovat muun muassa uimahallit, vedenpuhdistamot, teollisuus ja laitosputkistot. CPVC (Chlorinated) on samankaltaista PVC-U:n kanssa suurimmassa osaa ominaisuuksia, mutta sillä on korkeampi lämmönkesto ja se voi toimia jopa $95 \text{ }^\circ\text{C}$ asti. CPVC:n tyypillisimpiä käyttökohteita ovat teollisuus- ja laitosputkistot. (Fluorotech, 2018)

PVC putkien liitokset ovat joko liima-, laippa- tai kierreliliitoksia ja niiden kemiallinen kesto kattaa useimmat liuottimet, hapot ja emäkset. Maksimi paineenkesto on PN16 $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ asteisessa vedessä. (Fluorotech, 2018) (Vinidex, 2018)

Kuvassa 6 nähdään isokokoinen PVC-putkisto.



KUVA 6. Iso DN-kokoinen PVC putkisto (ipsflowsystems)

5.3 PP-putket

PP eli polypropeeni on myös kestumuvia, jota voi käyttää moneen käyttötarkoitukseen. Yksi näistä käyttötarkoituksista on muoviputket, joita käytetään lähinnä teollisuusputkistoissa sekä lujitemuovi-putkistojen sisäpintana. Polypropeeni on maailman kolmanneksi yleisin muovi ja sen ominaispaino on $0,91 \text{ g/cm}^3$ eli se on vielä reilusti PVC:tä kevyempää. Myös PP-muoveja on paljon erilaisia, mutta tässä työssä käsitellään PP-H muovia, joka on kovaa ja jäykkää. PP:stä voi valmistaa myös kumi-maista muovia. PP-H:n kemiallinen kestävyys kattaa useimmat liuottimet, hapot, emäkset, rasvat ja öljyt, eli se on todella hyvä. Käyttölämpötila PP-H putkille on $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$ välillä ja sen PN luokka on PN2,5-PN16 välillä sisällön lämpötilan ollessa $+20 \text{ }^\circ\text{C}$, eli melko matala. Liitännätapoina PP-H putkilla on puskuhitsaus, muhvihitsaus, kierre- ja laippaliitokset. (Fluorotech, 2018, Valuatlas, 2018)

5.4 PVDF-putket

Polyvinyyliideenifluoridi eli PVDF on kestumuovi, jonka kemiallinen kestävyys, mekaaninen lujuus sekä lämmönkestävyys ovat todella hyvät ja sen ominaispaino on $1,78 \text{ g/cm}^3$. Yleensä Polyvinyyliideenifluoridia käytetään vuorauksissa ja pinnoitteissa, mutta sitä käytetään myös koneen osissa ja prosessiputkistoissa sekä kemiallisissa puhtaissa putkistoissa. PVDF on suhteellisen kova ja jäykkä fluorimuovi, sen kulutuskestävyys on erinomainen ja se on myrkytöntä. PVDF kestää myös hyvin sääolosuhteita ja UV-säteilyä, eikä ylläpidä palamista. PVDF:n hitsattavuus ja työstettävyys ovat hyvät ja sen liitännätapoina on puskuhitsaus, muhvihitsaus sekä kierre- ja laippaliitokset. PVDF on muihin muoviputkiin verrattuna kallista, eikä siitä tehdä kovin isokokoisia putkia. Lämmönkestävyys PVDF:llä on $-40 \text{ }^\circ\text{C} - +140 \text{ }^\circ\text{C}$, eli muihin muoviputkiin verrattuna todella korkea, mutta muiden muoviputkien tavoin sen paineenkesto ei ole kovin hyvä, eli korkeintaan PN16 $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ lämmössä. (Fluorotech, 2018)

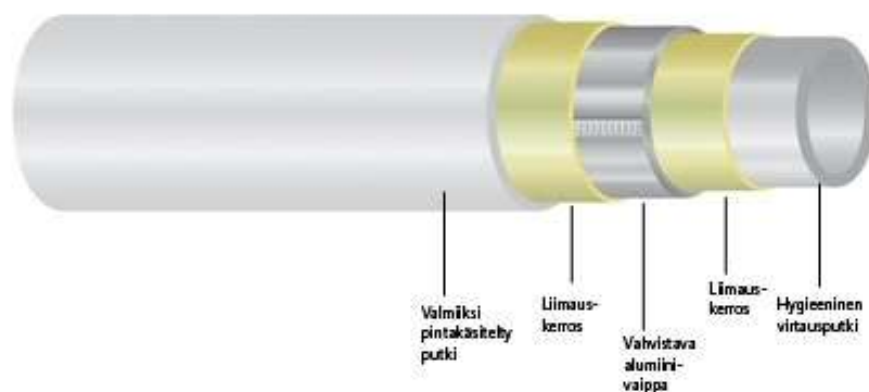
5.5 ABS-putket

ABS eli akryliniitriilbutadieenistryreeni on kestävä muovilaatu, joka on yksi yleisimmistä muovimateriaaleista. Siitä tehdään muun muassa legopalikoita ja sitä käytetään paljon elintarviketeollisuudessa.

ABS-putkilla on hyvä iskukestävyys ja sitä voi käyttää -40 °C - $+70\text{ °C}$ välillä, paineen ollessa korkeintaan PN16 luokkaa. Muihin muoviputkiin verrattuna ABS-putkien kemiallinen kesto ei ole yhtä hyvä. (Recair, 2018)

5.6 Komposiitti-putket

Komposiittiputket eroavat muista muoviputkista siten, että niissä on vähintään kahta eri materiaalia, jotka ovat sekoittumattomina toisiinsa. Yleensä komposiittiputkissa on muovinen sisä- ja ulkopinta, joiden välissä on ohut kerros metallia, kuten alumiinia, joka antaa putkelle happitiiviyden ja muotojäykkyyden. Muovikerrosten välissä oleva alumiini estää aineiden haihtumisen putken seinämän läpi. Yhdistämällä eri materiaaleja pystytään komposiittiputkien ominaisuuksiin vaikuttamaan monella tapaa. Komposiittiputket sopivat moniin eri käyttötarkoituksiin, kuten käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin. Komposiittiputkilla on pitkä käyttöikä metallisen välikerroksen ansiosta ja se kestää kaikkia vesilaatua syöpymättä. Muoviputkistoihin verrattuna komposiittiputket ovat melko uusi keksintö, ensimmäiset putket asennettiin vain yli 20 vuotta sitten. Komposiittiputkien paineenkesto on huono, vain PN10 ja lämpötilan kesto on $+70\text{ °C}$ jatkuvana lämpötilana ja $+95\text{ °C}$ hetkellisenä, Alin lämpötila on -40 °C . Komposiittiputkien liittäminen tapahtuu puristamalla, johon on tarkoitukseen suunniteltu työkalu. Komposiittiputkea ei tehdä isoja kokoja, isoin on DN100 ja pienin DN10. Pieniä putkikokoja voi taivuttaa käsin, mutta suuremmat putkikoot vaativat omat välineensä, kuten taivutusjouset. Komposiittiputkien kemiallinen kesto on huono. Oheisessa kuvassa 7 on esitetty tyypillisen komposiittiputken rakenne. (Uponor, 2018)



KUVA 7. Komposiittiputken rakennekerrokset (vuorikoski.fi, 2018)

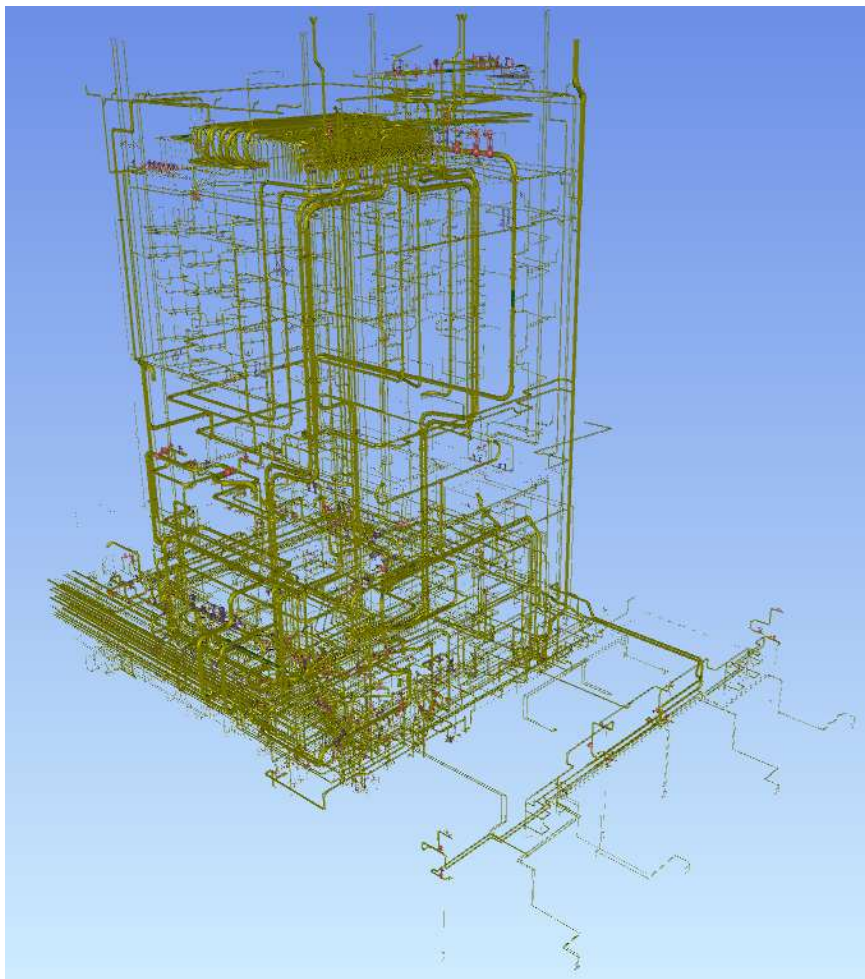
Komposiittiputket eroavat paljon muista putkista siten, että niitä voi asennusvaiheessa esimerkiksi taivuttaa työkaluilla, joka voi vähentää tarvittavien liitospalkkeiden määrää. Taivutuksen lisäksi komposiittiputkien liitostavat eroavat muoviputkista monella tapaa.

Tässä työssä on käytetty kahden erilaisen Uponorin komposiittiputken tietoja. Putket ovat Uponor Uni pipe PLUS ja Uponor MLC. Uponor Uni pipe PLUS putkea on vain DN10-DN25 kokoisena ja Uponor MLC putkea isompana DN32-DN100. Uponorin komposiittiputkissa on myös liitososia erilaisia pienille ja isoille putkille. Pienille putkille käytetään Uponor S-Press liitososia ja isommille putkille Uponor RS- liitinjärjestelmää. S-Press liitososat ovat perinteisen tapaisia yksiosaisia liitoksia, kuten muoviputkissa, mutta RS-liitinjärjestelmä on monipuolinen ja joustava järjestelmä, jossa 30 eri osalla pystyy rakentamaan satoja erilaisia liittimiä. (Uponor, 2018)

6 PROSESSIPUTKISTON JAKAMINEN KATEGORIOIHIN

Opinnäytetyötä aloittaessa prosessiputkiston putket rajattiin kahteen ryhmään: tutkittaviin putkiin ja tutkimuksen ulkopuolelle jätettäviin putkiin. Ryhmiin jako tehtiin medioiden eli putkien sisältöjen perusteella. Tutkittaviin putkiin otettiin suunnittelulämpötilaltaan matalalämpöisiä ja helppoja medioita, eli aineita, jotka eivät aiheuta esimerkiksi syöpmistä. Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin suunnittelulämpötilaltaan korkealämpöiset ja vaikeat mediat, kuten eroosiota aiheuttavat lipeät. Rajaus tehtiin siksi, koska on hyvin epätodennäköistä, että tutkimuksen ulkopuolelle jätettävien medioiden putkissa pystyisi käyttämään jotain muuta, kuin teräsmateriaaleja. Sen lisäksi opinnäytetyössä keskityttiin enemmän kustannuksien selvittämiseen ja vertailuun, jotta saataisiin selville, että onko ylipäättään kustannustehokasta käyttää muita kuin teräsputkistoja.

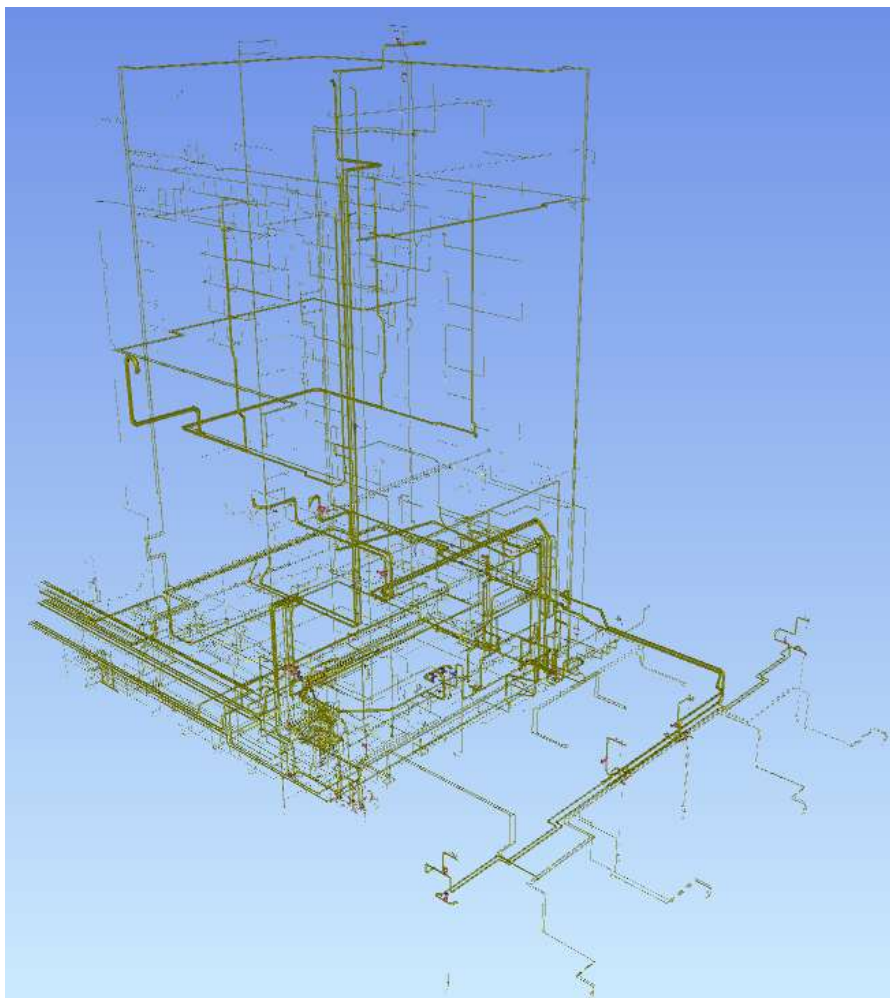
Tutkittavia ja tutkimuksesta pois jääviä putkistoja seulottiin erään soodakattilaprojektin Excel-tiedoston perusteella, jossa oli taulukoituna putkistojen sisältöjä, lämpötiloja ja paineita ja muita tietoja. Näiden perusteella valittiin tietyt putkistot tutkittaviksi putkistoiksi ja loput jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tämä oli melko iso vaihe työtä tehdessä, koska soodakattiloissa on satoja putkistoja. Jokaisella putkistolla on omat lyhenteensä, joita hyödyntämällä filteröinnissä saatiin myöhemmin työssä käytettävät tutkittavien putkistojen putkien ja osien määrät. Kuvassa 8 nähdään työssä käytetyn esimerkkilaitoksen putkistot, mukaan lukien korkeapaineputkistot.



KUVA 8. Esimerkkilaitoksena käytetyn soodakattilan putkistot

6.1 Tutkittavat putkistot

Tutkittavien putkistojen mediat olivat vesiä ja ilmoja. Näitä putkistoja löytyy paineilmaputkistosta, ilmaputkistosta, vesiputkistosta, apujärjestelmäputkistosta, sulakourujen jäähdytysjärjestelmäputkistosta sekä tuuletus-, tyhjennys- ja ylivuotoputkistosta. Tutkittavat putket ovat melko matalalämpöisiä ja helppoja medioita, suurin osa niistä on vesi- ja ilmaputkia. Tutkittavat mediat valittiin sen perusteella, että niissä ei ole kovin vaativia sisäisiä olosuhteita, eli mediat ovat helppoja medioita, joista suurimman osan materiaalin ei tarvitse olla kovan lämmön, paineen tai syöpymisen kestäviä. Suurin osa vettä sisältävistä putkista on vesiputkistossa, mutta niitä on myös apujärjestelmäputkistossa, sulakourujen jäähdytysjärjestelmäputkistossa sekä tyhjennys- ja ylivuotoputkistossa. Suurin osa tutkittavien putkien materiaaleista on ruostumatonta terästä (1.4307), mutta mukana on myös jonkin verran hiiliterästä (P235GH) sekä haponkestävää terästä (1.4432). Esimerkiksi sulakourujen jäähdytysjärjestelmän putkisto ei ole mahdollista korvata muoviputkistolla, koska sen putket kulkevat kattilan läheisyydessä. Ne ovat kuitenkin mukana tutkimuksessa sisällä virtaavan aineensa takia, joka on vettä. Kuvassa 9 nähdään suodattamisen jälkeen jäljelle jäävät putkistot.



KUVA 9. Esimerkkilaitoksena käytetyn soodakattilan tutkittavat putkistot.

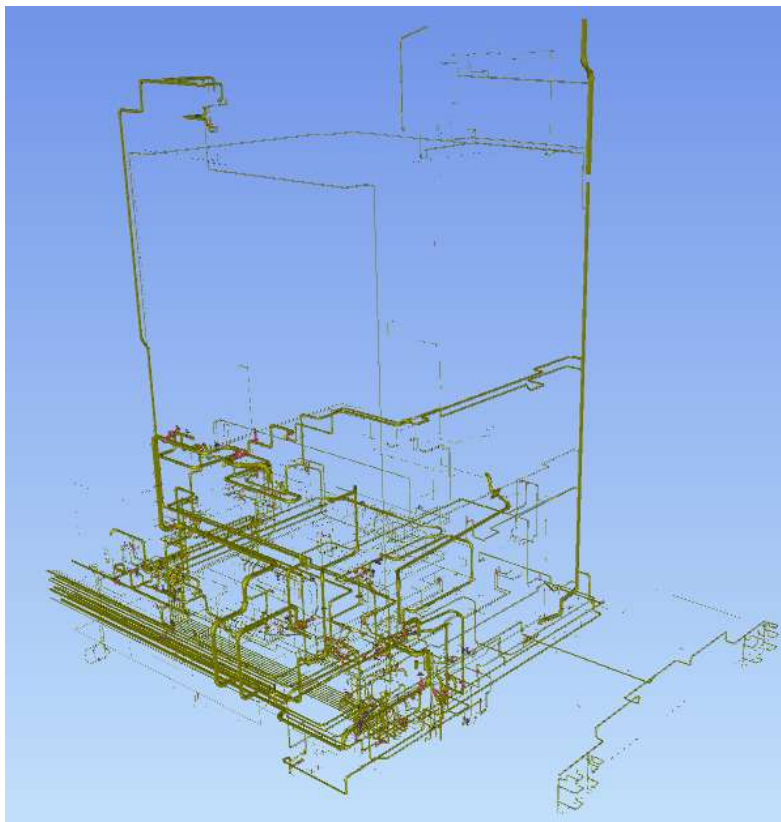
Kuvasta 9 huomataan, että seulomisenkin jälkeen putkistoja jäi jäljelle merkittävä määrä.

6.2 Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät putkistot

Tutkimuksen ulkopuolelle jätettävät putkistot ovat lipeä-, höyry-, kaasu-, polttoaine- ja lauhdeputkistoja. Näitä putkistoja löytyy apuhöyryputkistosta, lauhdeputkistosta, ilmanavien lauhdeputkistosta, polttoaineputkistosta, muusta lipeäputkistosta, kaasuputkistosta sekä tuuletus-, tyhjennys-, ja ylivuotoputkistosta. Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät putkistot nähdään kuvassa 10.

Lipeää on kolmea erilaista: mustalipeää, viherlipeää ja valkolipeää. Mustalipeää liikkuu polttoaineputkistossa, koska sitä käytetään soodakattilan polttoaineena. Viher- ja valkolipeää liikkuu lipeäputkistossa. Lipeää sisältävät putket jätettiin opinnäytetyön ulkopuolelle niiden eroosiota aiheuttavien ominaisuuksien takia. Mustalipeäputket ovat yksiä harvoista putkista, joissa käytetään duplex terästä (1.4462). Muissa lipeäputkissa käytetään joko ruostumatonta (1.4307) tai haponkestävää (1.4432) terästä.

Höyryputket jätetään tutkimatta niiden korkean lämpötilan takia, korkea lämpötila vaatii niille teräspankin koska muovi- tai komposiittiputket eivät kestä niin korkeita lämpötiloja. Samasta syystä myös lauhdeputkistot jäävät tutkimuksen ulkopuolelle. Lipeä- ja höyryputkien lisäksi palavien kaasujen putket jäävät työn ulkopuolelle. Palavia kaasuja liikkuu polttoaine- ja kaasuputkistoissa. Polttoaineputkistossa käytetään kattilan ylösajokaasuja ja sytytyskaasuja, kun taas kaasuputkistossa liikkuu lähinnä hajukaasuja ja metanolia. Lähes kaikki palavien kaasujen putket ovat haponkestävä terästä (1.4432). Kaasut jäävät tutkimuksen ulkopuolelle takaperin palojen riskin takia sekä lainsäädännöllisistä syistä.



KUVA 10. Esimerkkilaitoksena käytetyn soodakattilan tutkimuksen ulkopuolelle jäävät prosessiputkistot

7 VAIHTOEHTOISET MATERIAALIT

7.1 Materiaalien selvitys

Materiaaleja selviteltiin etsimällä tietoa internetistä ja sieltä löydettiin ja valittiin potentiaalisiksi vaihtoehtoisiksi materiaaleiksi PVC, CPVC, PP, PVDF, ABS ja komposiitti. Materiaalien selvittämisessä oli vaikeuksia, koska muoviputkia etsimällä etsintätyökalut tarjosivat monesti vain kaukolämpöputkia ja muita putkia, jotka eivät ole sopivia soodakattilan prosessiputkistoiksi, koska ne on suunniteltu maanalaisiksi putkiksi.

7.2 Materiaalien sopivuus medioihin

Koska muoviputkia on vain PN10 ja rajatusti PN16 paineluokissa ja koska muoviputkien lämmönkesto on teräsputkiin verrattuna todella huono, valittiin tutkimukseen vain putkistoja, joiden sisällöt olivat matalalämpöisiä, eivätkä vaatinut korkeaa paineenkestoja. Rajauksien jälkeen tutkittaviksi putkistoiksi jäi lähinnä vesi- ja ilmaputkia, jotka eivät vaadi putkistolta hyvää kemiallista kestoja, vaikka se onkin muoveilla usein reilusti teräsputkia parempi. Vesi- ja ilmaputkistojen paineet ja lämpötilat kuitenkin ovat vaihtelevia ja kaikkien muovimateriaalien paineen- ja lämmönkesto on heikko teräsputkiin verrattuna. Muoviputkille ominaista on myös se, että niiden paineenkesto heikkenee todella rajusti lämpötilan noustessa. Suurin osa vesi- ja ilmaputkistojen suunnittelulämpötilasta on alle 100 °C ja käyttölämpötila vielä reilusti matalampi, joten niiden osalta muoviputket ovat sopivia moniin putkiin. Iso osa tutkittavista putkistoista on myös suunnittelulämpötilaltaan alle +50 °C, joten muovimateriaaleille, joilla on pienempi lämmönkesto, voi löytyä käyttökohteita.

7.3 Käyttöön soveltuminen (ulkoiset olosuhteet)

Soodakattilarakennuksen sisätiloissa on eri lämpötiloja eri kohdissa rakennusta. Esimerkiksi kattilan läheisyydessä lämpötila voi nousta yli 200 °C, joten siellä ei pysty käyttämään minkäänlaisia muoviputkistoja. Yleensä suurin osa soodakattiloiden putkistoista kulkee soodakattilarakennuksen sisällä, jonne ei paista aurinko, eikä siellä ole pakkasta, joten UV-säteilystä tai pakkasasteista ei ole vaaraa muoviputkille, jotka yleensä ovat heikkoja niille. Kattilan suutinaukoista on myös mahdollista roiskua esimerkiksi kuumia lipeäroiskeita, jotka muoviputken päälle lentäessä voisivat vaurioittaa putkea ja tehdä siitä käyttökelvottoman. Joskus roiskeet lentävät jopa useita metrejä, joten aukkojen läheisyydessä muoviputkistojen käyttö ei ole mahdollista.

8 KUSTANNUKSET

Kustannuksien kokonaisuus koostuu putkiston materiaali-, asennus- ja ylläpitokustannuksista. Ensimmäisenä lähdettiin selvittämään teräsputkien materiaalihinnat, jonka jälkeen selvitettiin vaihtoehtomateriaalien materiaalihinnat. Materiaalihintojen selvittämisen jälkeen päätettiin, että kustannukset lasketaan valmiin soodakattilarakennuksen prosessiputkiston perusteella, jonka avulla putkien ja osien määrän voi arvioida realistisesti.

Putkiston kustannuksien selvittämiseksi oli otettava esimerkkiputkisto. Opinnäytetyössä päädyttiin käyttämään Excel-tiedostoa, joka sisälsi erään kapasiteetiltaan keskikokoisen/ison soodakattilan prosessiputkiston putkien, käyrien ja muiden osien määrän linjakohtaisesti. Tästä tiedostosta pystyttiin erottelemaan ja keräämään vain ne putkistot, jotka kuuluivat tutkimukseen, sekä selvittämään niiden sisältävien putkien ja osien pituudet ja määrät. Putkien ja osien määrien lajittelemisessa oli paljon työtä, koska soodakattiloissa on tuhansia putkia ja niissä vaihtelevasti käyriä ja muita osia, kuten supistajia, laippoja, päätyhattuja, haaraliitoksia, vahvistettuja haaraliitoksia ja T-haaroja.

Tutkimuksessa putkia suodattaessa ei otettu huomioon ulkoisia olosuhteita, koska niitä ei tiedosta saanut selville. Ulkoisten olosuhteiden lisäksi osa putkistojen lämpötiloista saattaa olla liian korkeita. Nämä tekijät aiheuttavat sen, että esimerkkiputkisto voi olla huomattavasti suurempi kuin mitä se olisi todellisuudessa.

Putkistojen osien määristä tehtiin taulukoita osakohtaisesti (esimerkkinä taulukko 2), joissa kerrottiin osan nimi, DN koko ja joko metri-, tai kappalemäärä. Tutkittavissa putkistoissa oli suoraa putkea yhteensä n. 9400 metriä, käyriä 3170 kpl, supistajia 401 kpl, T-Haaroja 147 kpl, haarayhteitä 39 kpl ja vahvistettuja haarayhteitä 317 kpl. Muoviputkissa suorien putkien arvoitu liitoskappaleiden määrä oli 1863 kpl. Liitoskappaleiden määrä piti arvioida teräsputkien jatkoshitsien perusteella, koska alkuperäisessä putkistossa oli käytössä vain teräsputkistoja. Tutkimukseen ei otettu kaikkia putkiston osia, kuten laippoja ja tiivisteitä, koska ne ovat sekä muovi että teräsputkistoissa samoista materiaaleista. Joitain osia taas oli niin vähäinen määrä, että niiden hinnalla ei olisi käytännöllistä merkitystä, joten niitä ei otettu mukaan tutkimukseen.

Kustannukset laskettiin ruostumattomalle teräkselle (1.4307), hiiliteräkselle (P235GH), PVC:lle, CPVC:lle, PP:lle, PVDF:lle, ABS:lle ja komposiitille.

TAULUKKO 2. Tutkittavien putkistojen suorien putkien määrä

Description	DN	Qty m/pcs
Pipe	10	178,79
Pipe	15	604,09
Pipe	20	217,2
Pipe	25	1346,95
Pipe	32	95,34
Pipe	40	669,9
Pipe	50	1788,02
Pipe	65	0,16
Pipe	80	1557,47
Pipe	100	1270,01
Pipe	150	628,88
Pipe	200	339,6
Pipe	250	522,18
Pipe	300	99,77
Pipe	400	48,5
Pipe	500	16,19
	yht:	9383,05

Kaikissa hinnoissa ja laskuissa on käytetty arvonlisäverona 0%.

Kustannuksissa ei ole otettu huomioon putkiston eristyksiä tai kannakointia, eikä venttiilejä tai mittareita tai muita putkiston instrumentteja. Näissäkin asioissa saattaisi kuitenkin olla potentiaalisesti mahdollista säästää, mutta ne jäävät tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

8.1 Materiaalikustannukset

Tutkittavien putkien suodattamisen jälkeen jäljelle jäi lähinnä vain ruostumattomia ja hiiliteräksisiä putkia. Tästä syystä teräsputkien kustannuksia selvitetessä ei selvitetty lainkaan duplex (1.4462) teräsputkien hintoja, koska niitä ei ollut ollenkaan käytössä tutkittavissa putkistoissa. Haponkestäviä teräsputkia tutkittavissa putkistoissa oli todella pieni määrä, lähinnä vain näytteenottoputket, joten niidenkään hintoja ei vertailtu tässä tutkimuksessa. On kuitenkin jo valmiiksi tiedossa, että haponkestävät ja duplex-teräsputket ovat kalliimpia kuin ruostumattomat tai hiiliteräsputket.

Muille teräsputkille ja teräsputkien osille etsittiin hinnat (Onnisen) hintataulukoista. Muoviputkien hinnat etsittiin internetistä ja päädyttiin käyttämään Fluorotechin hinnastoa PVC-, CPVC-, PP- sekä PVFD-materiaaleille. ABS:n hinnat ovat otettu Recairin Durapipe ABS muoviputkihinnastosta ja komposiittiputkiston hinnat Uponorin hinnastosta. Jokaiselle putkimateriaalille pyrittiin etsimään hinnat DN10 – DN500 väliltä. Monista materiaaleista ei kuitenkaan löytynyt kaikkia tarvittavia hintoja. Lähinnä vaihtoehtois materiaalien yli DN100 kokoluokan putkien ja osien hinnoista melko suurta osaa ei pystytty selvittämään. Pienimpiä, eli DN10 koon osia, ei myöskään saatu selville kaikista materiaaleista. Eniten selvittämättömiä materiaalihintoja oli CPVC:ssä, PVDF:ssä ja komposiitissa.

Putkimateriaalien hinnoista tehtiin myös osakohtaiset hintataulukot, esimerkkinä Taulukko 3.

TAULUKKO 3. Suorien putkien hinnat eri DN-luokille materiaaleittain

Description	DN	1.4307	P235GH	PVC	CPVC	PP	PVDF	ABS	Komposiitti	
Pipe	10	7,08	6,35	1,13	4,17	2,19	13,64	-	3,7	€/m
Pipe	15	6,30	5,26	1,45	6,22	1,23	21,01	2,06	4,9	€/m
Pipe	20	7,83	4,84	2,24	9,57	1,89	26,65	3,28	8,04	€/m
Pipe	25	9,79	5,63	1,80	14,06	3,00	42,95	4,93	11,12	€/m
Pipe	32	12,40	7,01	2,64	21,54	4,76	55,46	7,62	16,58	€/m
Pipe	40	14,10	8,29	4,14	32,71	7,36	83,44	11,38	23,08	€/m
Pipe	50	17,10	13,00	5,27	52,18	11,66	93,01	15,25	28,44	€/m
Pipe	65	21,60	15,70	7,47	73,70	16,16	124,62	24,4	55,08	€/m
Pipe	80	25,30	19,70	10,80	113,38	34,74	164,87	30,03	57,78	€/m
Pipe	100	32,90	27,90	15,82	169,16	45,13	219,35	46	72,76	€/m
Pipe	150	57,90	51,60	33,63	282,28	93,14	452,59	100,17	-	€/m
Pipe	200	74,60	96,30	51,84	-	178,89	966,09	205,96	-	€/m
Pipe	250	97,80	123,00	101,97	-	223,9	-	281,49	-	€/m
Pipe	300	160	171	127,97	-	283,92	-	375,33	-	€/m
Pipe	400	246	275	-	-	360,09	-	-	-	€/m
Pipe	500	296	844	-	-	-	-	-	-	€/m
										€/m

Osakohtaisten hintataulukkojen avulla saatiin esimerkkiputkiston taulukkoa käyttäen laskettua osakohtaiset kokonaishinnat materiaaleittain omiin taulukkoihinsa. Joidenkin osien hintojen puuttumisen takia taulukkoja ei saatu täytettyä kokonaan, joten päädyttiin tekemään taulukoista kaksi erillistä yhteenvetoa, jotka näkyvät alapuolella (Taulukko 4 ja taulukko 5). Näitä taulukoita käytettiin myöhemmin työssä kustannusvertailussa diagrammin tekemiseen.

Ensimmäisessä taulukossa oli kaikkien tutkittujen osien hinnat materiaaleittain DN15-DN100 kokojen väliltä ja niiden summat. Toisessa taulukossa oli samat asiat DN100-DN300 kokoväliltä, mutta vain niistä materiaaleista, joille se oli mahdollista laskea. Nämä kokovälit valittiin taulukoihin siksi, että saataisiin verrattua erikseen pienien ja isojen putkien eroja, koska muovimateriaalien hinta kasvaa suhteessa enemmän teräsmateriaaleihin verrattuna, mitä isompia ne ovat.

TAULUKKO 4. DN15-DN100 Putkien ja osien kokonaishinnat tutkittavissa putkistoissa materiaaleittain

DN15 - DN100	1.4307	P235GH	PVC	CPVC	PP	PVDF	ABS	Komposiitti	
Pipe	141087	107396	53148	533472	142852	839196	149410	269983	€
Elbow	19017	14147	14909	51487	24281	199713	48193	295252	€
Reducer	3076	1586	933	4408	2151	17742	3079	41145	€
T-piece	3115	2835	1332	4026	2488	20464	4248	26771	€
Branch connection	0	0	253	678	467	3926	808	5187	€
Reinforced branch connection	0	0	3741	8880	6912	58550	11868	70934	€
Straight pipe connection fitting	0	0	6575	22658	18407	86747	20866	174916	€
Yhteensä:	166294	125963	80892	625609	197557	1226338	238472	884188	€

TAULUKKO 5. DN100-DN300 putkien ja osien kokonaishinnat tutkittavissa putkistoissa materiaaleittain

DN100 - DN300	1.4307	P235GH	PVC	PP	ABS	
Pipe	170562	181876	124860	321883	375795	€
Elbow	35319	30712	57152	58685	137623	€
Reducer	4028	2440	2748	2702	9086	€
T-piece*	4937	5468	4704	6363	12434	€
Branch connection	0	0	4763	5475	11524	€
Reinforced branch connection	0	0	34812	40532	88291	€
Straight pipe connection fitting	0	0	53279	188415	94653	€
Yhteensä:	214846	220495	282317	624054	729405	€

*T-pieceen arvioitiin DN250 ja DN300 kokoisten T-haarojen hinta ruostumattomalle teräkselle, jotta taulukko saatiin tehtyä. Sen koon T-haaroja oli yhteensä vain 5, joten se ei vaikuta merkittävästi lopputuloksiin.

Branch connectioneilla eli haarayhteillä ei ole teräsmateriaaleissa asetettu hintaa, koska teräsputkissa ne tehdään tekemällä reikä putken kylkeen ja hitsaamalla toinen putki tehtyyn reikään. Myöskään vahvistetuilla haarayhteillä ei ole teräsmateriaaleissa hintaa, koska sitä ei löytenyt ja sen vaikutuksen lopputulokseen arvioitiin olevan lähes olematon. Muovimateriaaleissa haarayhteiden hinnoittelussa on käytetty T-haarojen materiaalihintoja, koska niissä haarayhteitä ei voi tehdä samalla tavalla kuin teräsputkissa. Straight pipe connection fitting, eli suoran putken liituskappaleilla ei ole myöskään omaa hintaa teräsputkissa, koska teräsputkissa suorat putket liitetään hitsaamalla kiinni toisiinsa, toisin kuin muoviputkissa, joissa suorat putket tarvitsevat välillensä liituskappaleen.

Koska alkuperäisessä esimerkkilaitoksessa oli käytössä vain teräsputkia, suorien putkien liituskappaleiden määrä jouduttiin arvioimaan muoviputkille. Määrä arvioitiin karkeasti samalla määrällä kuin mitä teräsputkissa on hitsausliitoksia suorien kappaleiden välillä. Muoviputket myydään yleensä viiden metrin pituisissa pätkissä, joten liituskappaleiden määrää arvioitiin DN-koko kohtaisesti jakamalla suoran putken pituus viidellä, jolloin esimerkiksi 1000 metrissä putkea olisi 200 liituskappaleita. Liituskappaleiden mukaan laskemisella oli noin 4%-30% vaikutus muoviputkien kokonaishintaan riippuen materiaalista ja kokoluokasta.

Komposiittiputkiston materiaalien laskemisessa oli enemmän työtä kuin muiden materiaalin laskemisessa, koska niissä liitostavat ovat erilaisia kuin muilla materiaaleilla. Komposiittiputkiston liittimisessä on monta osaa eri liitoksissa ja niiden hinnat on laskettu tarvittavien osien määrällä. Tästä syystä komposiittiputkistossa osien hinnat ovat melko korkeita, koska esimerkiksi yhteen supistuvaan T-haaraan saattaa tarvita jopa viisi erillistä osaa. Käytännössä komposiittiputkiston materiaalikustannukset kuitenkin voisivat olla huomattavasti alhaisemmat, koska niitä pystyy taivuttamaan ja sen avulla voitaisiin käyttää vähemmän käyriä ja liituskappaleita.

8.2 Asennuskustannukset

Asennuskustannuksiin vaikuttaa olennaisesti projektissa käytetyt materiaalit, putkien halkaisijat ja putkiluokat sekä putkistojen koot. Suurissa projekteissa asennushinnat annetaan usein putkiston kilomäärän perusteella. Asennuskustannuksia yritettiin selvittää sekä etsimällä tietoa netistä että kysymällä asennushintoja eri asennusfirmoilta sähköpostin kautta.

Muovi- ja teräsputkien asennus tulisi mielellään olla mahdollista saada samalta firmalta, koska on paljon monimutkaisempaa ja kalliimpaa, jos eri firmat ovat asentamassa eri putkistoja. Korvattavien putkistojen määrä tulisi olemaan kokonaisputkistojen määrään verrattuna melko pieni, joten muoviputkien asennusfirman asentajien lähettäminen esimerkiksi toiselle puolelle maapalloa asentamaan vain muutama sata metriä muoviputkea tulisi kalliiksi.

8.2.1 Asennusfirmojen asennuskustannukset

Asennuskustannuksien selvittämiseen käytettiin samoja listoja kuin materiaalikustannusten selvittämiseen. Mutta putkistojen asennushintoja ei pystytty selvittämään internetistä, joten listat lähetettiin sähköpostina putkistoja asentaville firmoille ja kysyttiin niiltä kustannusarviota putkistojen asentamiseksi. Asennusfirmoja olivat muutamat Andritzin käyttämät firmat sekä internetistä etsittyjä asennusfirmoja. Ongelma monessa asennusfirmassa oli se, että ne erikoistuivat vain joko muovi- tai teräsputkistoihin.

Asennuskustannuksia ei saatu selvitettyä asennusfirmoilta, joten suuntaa antavaa tietoa yritettiin etsiä muista lähteistä.

8.2.2 Asennuskustannuksista etsimällä löydettyä tietoa

David Chasis on kirjassaan Plastic Piping Systems vertaillut yleisien putkimateriaalien kustannuksia. Koska kirja on 1988 vuonna kirjoitettu, tässä työssä keskitytään vain sen sisältämiin asennuskustannuksiin, koska materiaalikustannukset ovat vaihdelleet niin paljon vuosien varrella.

Chasisin kirjasta otetun kuvan (kuva 11) kustannusvertailussa on käytetty esimerkkinä putkistoa, jossa on 400 jalkaa (120 m) putkea, kuusi 90° kulmaa ja kuusi T-haaraa. Putkistossa on 30 liitosta 20 jalan (6 m) putkenpätkistä ja 40 liitosta 10 jalan (3 m) putkenpätkistä. Kuva 11 on otettu Chasisin kirjasta, jossa on listattu eri putkimateriaalien materiaali, asennus ja asennetun putkiston hinta verrattuna PVC:hen. Kuvassa keskitytään vain asennuskustannukseen, joka on kuvassa 11 nimellä Labor index.

Table 6-5. Material/Labor Installed Cost Indexes of Commonly

Material	1-in. Pipe			2-in. Pipe			4-in. Pipe		
	Material Index	Labor Index	Installed Index	Material Index	Labor Index	Installed Index	Material Index	Labor Index	Installed Index
Alloy G	NCA ^a	NCA	NCA	27.65	2.62	4.51	18.42	2.14	3.73
Aluminum	4.16	2.15	2.23	3.24	2.46	2.63	3.85	2.00	2.38
Black iron	NCA	NCA	NCA	1.33	1.38	1.38	0.81	1.17	1.13
Carbon steel	1.92	1.45	1.58	1.46	1.38	1.39	1.37	1.17	1.19
Copper	2.11	1.00	1.04	2.42	1.00	1.11	2.91	2.00	2.07
CPVC	2.53	1.00	1.06	2.63	1.00	1.17	2.79	1.00	1.27
20Cr-25Ni-6 Mo	NCA	NCA	NCA	10.51	2.62	3.22	10.65	2.47	3.27
Galvanized steel	1.82	1.45	1.46	1.67	1.40	1.48	1.96	1.49	1.54
Polyethylene	1.12	0.71	0.73	0.94	0.67	0.69	0.98	0.72	0.75
Polypropylene	2.80	0.71	0.79	2.21	0.67	0.79	2.98	0.72	0.94
Polypropylene lined	37.44	3.50	4.80	20.99	3.23	4.57	13.99	2.21	3.36
PVC-40	0.79	1.00	0.99	0.75	1.00	0.98	0.62	1.00	0.96
PVC-80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PVDF ^b	18.66	0.71	1.40	16.35	0.67	1.86	19.69	0.72	2.57
PVDF lined	61.91	3.81	6.05	32.17	3.23	5.42	23.33	2.21	4.27
PTFE lined	80.60	4.73	7.65	46.20	3.23	6.48	34.13	2.21	5.34
Red brass	8.89	1.45	1.74	8.75	1.38	1.94	10.37	1.17	2.07
RTRP	15.89	1.00	1.57	7.12	1.00	1.50	3.87	1.00	1.28
Rubber lined	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	19.20	3.53	5.06
Stainless steel 304	6.53	2.15	2.32	4.66	2.46	2.63	3.67	2.00	2.16
Stainless steel 316	8.92	2.15	2.41	6.38	2.46	2.76	4.84	2.00	2.28

^aPVDF = Sch 80 pipe and fittings from 1 to 6 in.; 8 to 12 in. are 150-psi-rated piping system.

^b = not commonly available.

Used Aboveground Pressure Piping Materials (PVC 80 = 1.00)

6-in. Pipe			8-in. Pipe			10-in. Pipe			12-in. Pipe		
Material Index	Labor Index	Installed Index	Material Index	Labor Index	Installed Index	Material Index	Labor Index	Installed Index	Material Index	Labor Index	Installed Index
11.90	2.41	3.77	12.57	2.90	4.55	17.27	3.47	7.05	16.37	2.48	5.93
NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA
0.75	1.16	1.10	0.78	1.20	1.13	0.57	1.01	0.90	0.66	0.88	0.83
1.19	1.16	1.17	1.15	1.20	1.19	0.70	1.01	0.93	0.70	0.88	0.84
4.92	2.27	2.65	7.09	2.50	3.28	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA
2.95	1.00	1.42	3.70	1.00	1.63	3.85	1.00	1.74	NCA	NCA	NCA
5.63	2.35	2.82	5.76	2.82	3.32	8.01	2.70	4.08	7.55	2.44	3.71
1.81	1.77	1.78	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA
1.12	0.76	0.81	1.42	0.81	0.91	0.85	0.85	0.85	0.96	0.85	0.88
3.17	0.76	1.11	1.43	0.81	0.92	1.00	0.85	0.89	1.37	0.85	0.98
11.75	2.70	4.00	11.87	2.56	4.15	7.69	2.57	3.82	7.98	2.50	4.48
0.54	1.00	0.93	0.58	0.85	0.80	0.81	0.80	0.80	0.68	0.85	0.81
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
23.08	0.76	3.96	5.48	0.81	1.61	3.51	0.85	1.54	4.37	0.85	1.73
22.30	2.70	5.52	20.81	2.56	5.67	20.46	2.57	7.21	19.16	2.50	6.64
32.46	2.70	6.97	33.67	2.56	7.86	20.13	2.57	7.13	21.79	2.50	7.30
NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA	NCA
3.41	1.00	1.35	3.39	1.00	1.41	2.05	1.00	1.27	1.98	1.00	1.24
15.46	3.95	5.60	10.16	3.97	4.99	7.73	3.81	4.83	3.41	3.45	3.44
3.56	2.27	2.46	3.28	2.74	2.83	2.96	2.53	2.64	2.50	2.35	2.39
4.74	2.27	2.62	4.20	2.74	2.99	3.64	2.53	2.82	3.24	2.35	2.56

KUVA 11. Yleisien putkimateriaalien asennuskustannusten kerroin verrattuna PVC:hen (Chasis, 1988)

Tutkittavista materiaaleista kuvassa on hiiliteräs, CPVC, PP, PVC, PVDF ja ruostumaton teräs. Hintoja on verrattu PVC:n hintoihin, jonka kerroin kuvassa on yksi. Kuvan pohjalta tehtiin taulukko ja siitä diagrammi (kuva 17), jota käytettiin kustannusvertailuosiossa.

8.3 Ylläpitokustannukset

Vesi- ja ilmaputkistoissa ei tarvita määräaikaishuoltoja, joten ylläpitokustannukset ovat lähinnä putkiston käyttöikäen pitkällä aikavälillä perustuvia.

Ilma- ja vesiputkistoissa hiiliteräspuutket ja ruostumattomat teräspuutket ovat laitoksessa niin kauan, kuin laitos on toiminnassa. Ainoastaan onnettomuudet, kuten maanjäristykset voivat aiheuttaa putkistoille vahinkoa, joiden seurauksena ne joudutaan korvaamaan. Ilman onnettomuuksia näillä virtaavilla aineilla teräspuutkien käyttöikä on käytännössä ikuinen, ainakin ruostumattomalla teräksellä. (Nokka, 2018)

Tällä hetkellä vanhimmat käynnissä olevat soodakattilalaitokset ovat 71-vuotiaita ja yleensä laitokset tehdään 50 vuoden käyttöiälle. Tällä perusteella teräspuutkistot kestävät koko laitoksen elinajan vesi- ja ilmapuutkistoissa. (Nokka, 2018)

Muovipuutkistot ovat melko uusi keksintö, eikä niitä ole käytetty laajamittaisesti ennen 1970-lukua, joten tarkkoja elinikä niille ei pystytä vielä sanomaan. Aihe kaipaa lisää tutkimuksia. Eri lähteiden mukaan muovipuutkien arvioitu elinikä on kuitenkin yleensä noin 50-100 vuotta. Nykyään kuitenkin muovipuutkien standardit, valmistus- ja liitosmenetelmät ovat kehittyneemmät kuin aiemmin, joten todennäköisesti käyttöikäkin on pidempi kuin ennen. Suurin osa muovipuutkistojen ongelmista on huolettomasti tehdyn asennuksen tai väärinkäytön syytä.

Muovipuutkien käyttöikään vaikuttaa niiden olosuhteet, kuten lämpötilan vaihtelu ja kuormitus ja syystä tai toisesta saadut iskut.

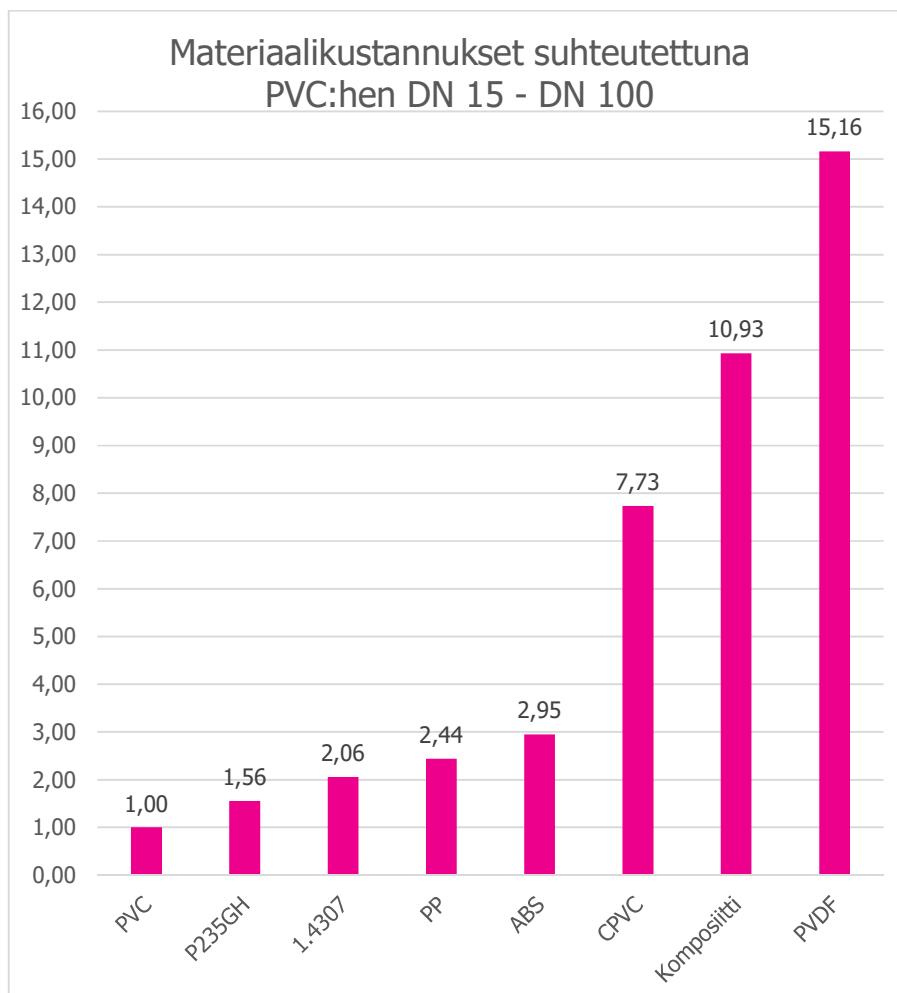
Komposiittipuutkisto on myös hyvin uusi järjestelmä, jonka käyttöikää kysyttiin Uponorilta, jonka mukaan sen turvallinen käyttöikä on vähintään 50 vuotta. Todennäköisesti komposiittipuutkistokin voi kestää paljon kauemminkin, mutta tästäkään ei vielä ole riittävästi dataa.

9 KUSTANNUSVERTAILU

Tässä osiossa vertaillaan eri materiaalien materiaalikustannuksia, asennuskustannuksia sekä ylläpito-kustannuksia.

9.1 Materiaalikustannusten vertailu

Materiaalikustannuksia vertailtiin ensin taulukon 4 pohjalta. Taulukosta tehtiin diagrammi (kuva 12), joissa saatuja materiaalien yhteiskustannuksia verrattiin toisiinsa materiaaleittain. Taulukossa halvimmaksi jäi PVC, joten muiden materiaalejen hintaa vertaillaan suhteessa PVC:hen, jonka kerroin on yksi.



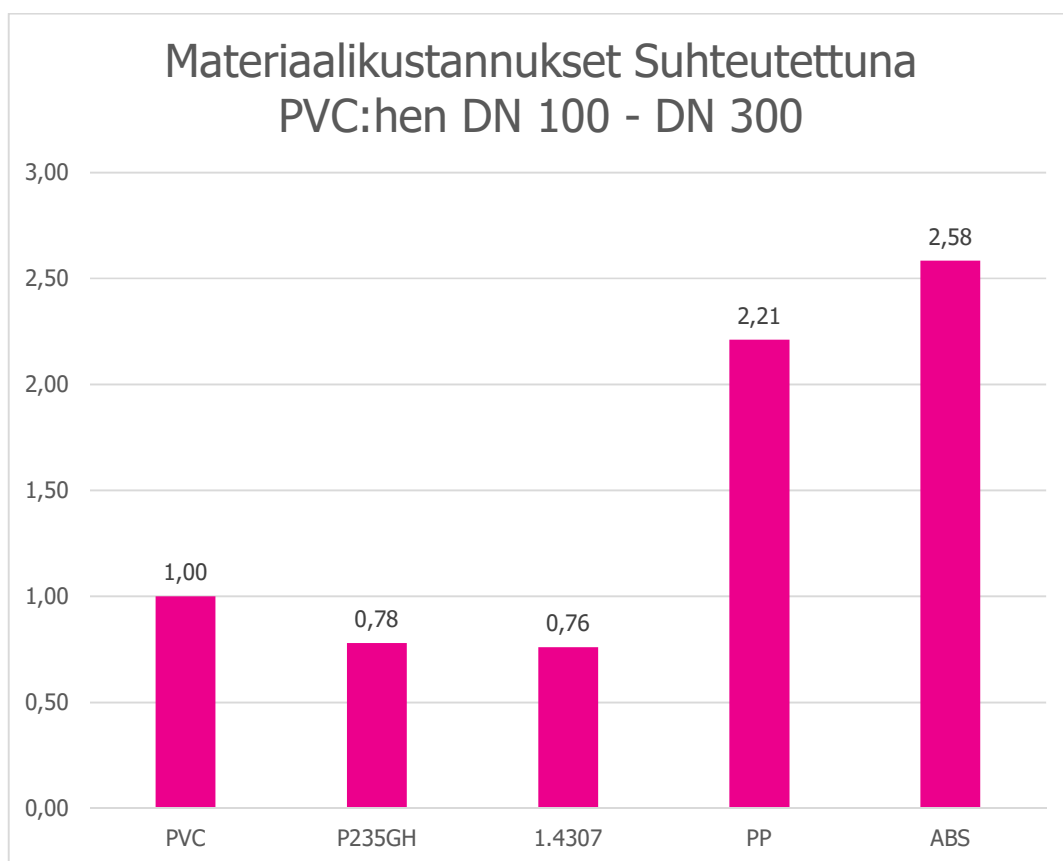
KUVA 12. Taulukon 4 pohjalta tehty materiaalikustannusvertailudiagrammi

Kuvasta 12 nähdään, että CPVC, komposiitti ja PVDF ovat aivan omilla lukemillaan muihin materiaaleihin verrattuna, joten materiaalikustannuksissa ne eivät ole lähellekään kilpailukykyisiä esimerkiksi PVDF:n hinnan noustessa jopa 15 kertaiseksi PVC:hen verrattuna. Kuva 12 näyttää materiaalikustannukset vain DN15 – DN100 kokoisille putkille ja osille, joten siitä ei voi päätellä isompien putkien hintaa.

Toiseksi halvimmaksi materiaalikustannuksissa pääsi hiiliteräs 1,56 kertoimella, joka tarkoittaa, että se on 56% kalliimpaa kuin PVC. Kolmanneksi ja neljänneksi pääsivät ruostumaton teräs ja polypropeeni 2,06 ja 2,44 kertoimilla ja viidenneksi ABS 2,95 kertoimella.

Taulukon perusteella voidaan olettaa, että materiaalikustannusten kannalta PVC on ylivoimaisesti halvin vaihtoehto putkistolle ja materiaalikustannusten säästöt olisivat todella merkittävät, jos PVC:llä korvaisi hiiliteräksisiä tai ruostumattomia teräsputkistoja.

Isoissa putkistoissa hintaerot kuitenkin muuttuvat ja se voidaan nähdä taulukko 5:n perusteella tehdystä diagrammista (kuva 13).

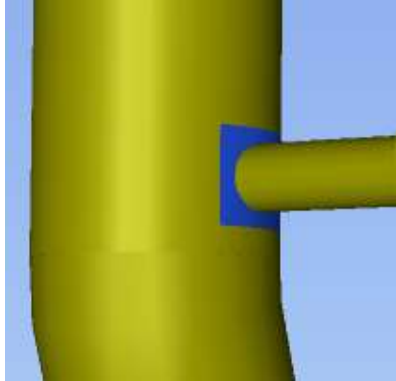


KUVA 13. Taulukko 5 pohjalta tehty materiaalikustannusvertailudiagrammi

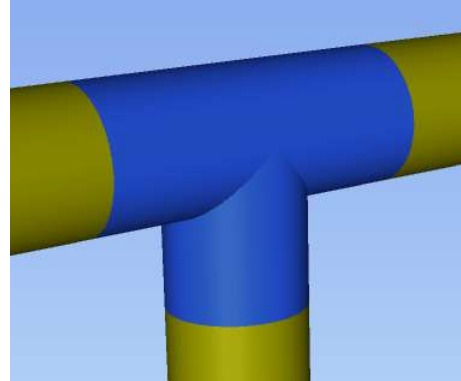
Isojen putkistojen diagrammista huomataan, että PVC ei ole halvin vaihtoehto, vaan hiiliteräs ja ruostumaton teräs ovat halvempia. Molemmat ovat alle 80% PVC:n hinnasta.

Materiaalikustannuksia selvittäessä huomattiin, että muoviputkien hinta kasvaa suhteessa teräsputkia enemmän, mitä isompi DN-koko putkistossa on. Saman voi huomata myös taulukoita 4 ja 5 vertailemalla.

Isompikokoisten putkistojen materiaalikustannuksiin vaikuttaa suurelta osalta myös se, että isokoisissa teräsputkistoissa käytetään enemmän haarayhteitä, jotka ovat teräsputkistoissa paljon halvempia, koska muoviputkistoissa niissä joudutaan käyttämään T-haaroja, kun taas teräsputkistoissa ne ovat vain reikä putkessa, johon toinen putki on hitsattu kiinni. Kuvissa 14 ja 15 nähdään vahvistettu haarayhde ja T-haara, ja miten ne eroavat toisistaan.



KUVA 14. vahvistettu haarayhde



KUVA 15. T-haara

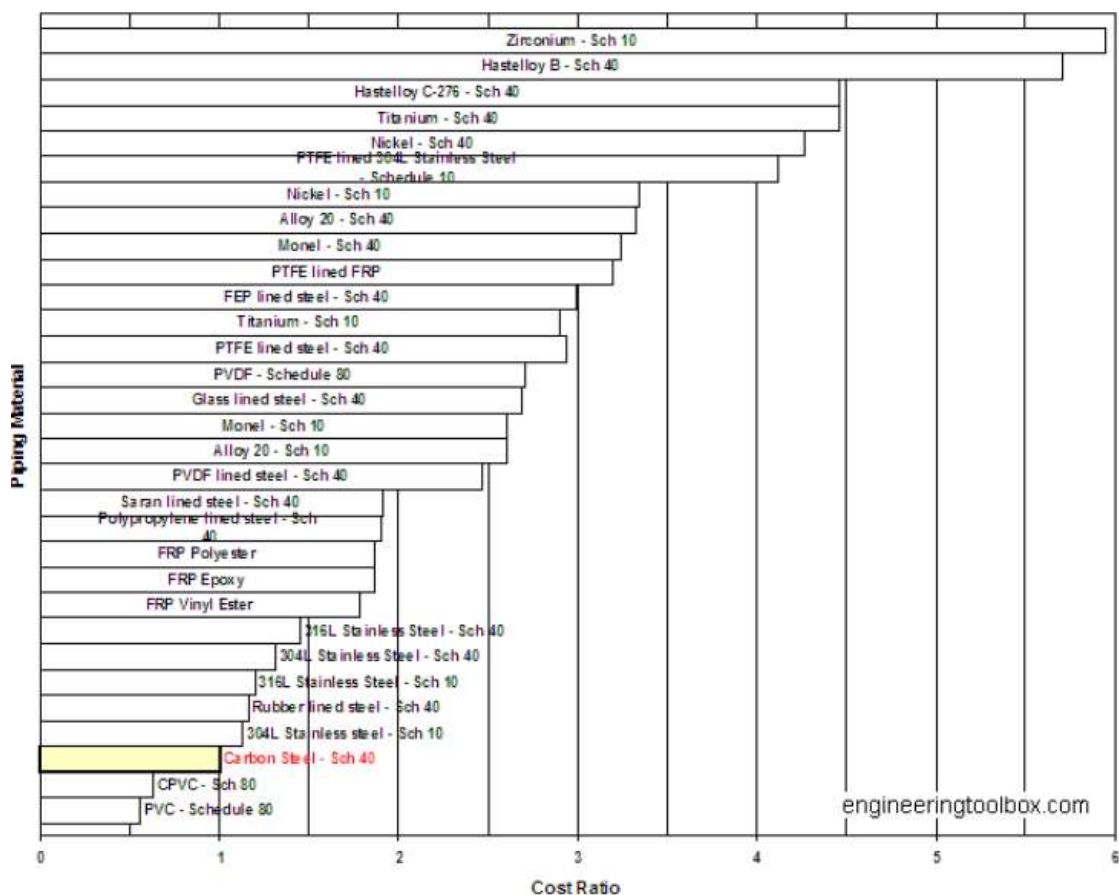
Kuvassa 14 oleva sininen osa on vahvistetun haarayhteen vahviste ja kuvassa 15 oleva sininen osa on T-haara. T-haaroja on myös supistuvia T-haaroja, mutta kun putkesta haarautuva osa on riittävän pieni, niin teräsputkissa käytetään haarayhteitä, jolloin ei tarvita T-haara osaa.

9.2 Asennuskustannusten vertailu

Koska asennuskustannuksia ei saatu selvitettyä kyselemällä niitä eri yrityksiltä, jouduttiin etsimään tietoa internetistä.

9.2.1 Internetistä saatua tietoa

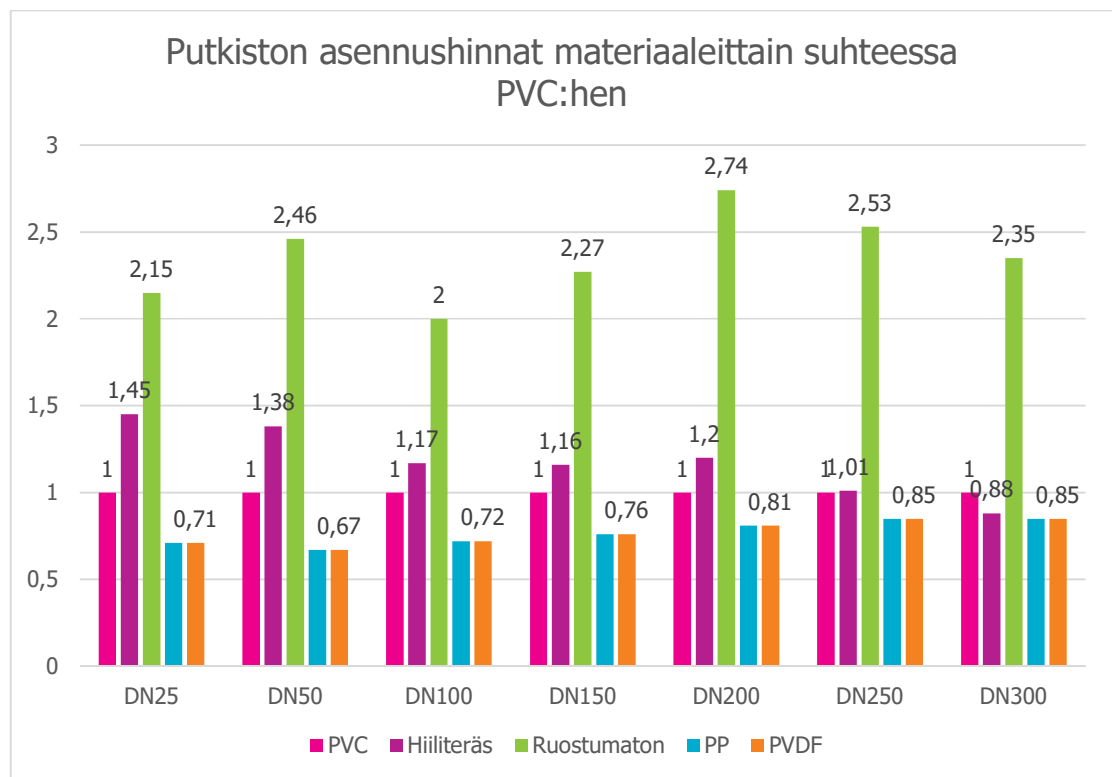
Internetistä tietoa etsimällä löydettiin diagrammi (kuva 16), jossa vertailtiin suosittujen putkistomateriaalien asennettuja hintoja, eli materiaali- ja asennuskustannukset yhteensä, verrattuna hiiliteräksen hintaan, jonka kerroin diagrammissa on yksi. Tutkimukseen kuuluvista materiaaleista tässä diagrammissa olivat vertailussa mukana PVC, CPVC, hiiliteräs, ruostumaton teräs ja PVDF. Netistä etsiessä saatiin myös selville, että ABS-muovin asennuskustannukset ovat samaa luokkaa PVC-muovin kanssa.



KUVA 16. suosittujen putkistomateriaalejen hinta verrattuna hiiliteräkseen (Engineeringtoolbox)

Kuvan kustannukset perustuvat 100 metriin DN 50 putken asennusta, jonka takia kerrointa voi käyttää vain suuntaa antavana. Diagrammin perusteella PVC:n hinta verrattuna hiiliteräkseen olisi noin 55%, CPVC:n 65%, ruostumattoman teräksen 115% ja PVDF 270%. Tuloksista huomataan, että PVC- ja CPVC-materiaaleilla voisi potentiaalisesti olla suuriakin säästöjä kustannuksissa, koska niillä korvattaisiin enimmäkseen ruostumattomia teräsputkia, jotka ovat kalliimpia asentaa kuin hiiliteräsputket, eli säästö olisi vielä suurempaa kuin hiiliteräsputkia korvattaessa.

Asennushintoja vertailtiin kuvan 11 perusteella, josta poimittiin siinä olevien tutkimukseen kuuluvien materiaalien arvot kohdasta Labor Index ja tehtiin niistä diagrammi (kuva 17).



KUVA 17. Kuvan 11. pohjalta tehdystä taulukosta tehty diagrammi

CPVC:n ja PVC:n asennushinnat ovat kuvassa 11 samat, joten niitä ei ole eroteltu diagrammissa.

Tästä diagrammista nähdään, että ruostumattoman teräksen asennushinta on huomattavasti muita materiaaleja kalliimpaa. Hiiliteräksen asennus on myös kalliimpaa, mutta vain putkikokojen ollessa pieniä. PP ja PVDF muovien asennuskustannukset verrattuna PVC:hen ovat 15-30% alaisemmat riippuen putkikoosta.

9.3 Ylläpitokustannusten vertailu

Muoviputkia ei ole vielä käytetty tarpeeksi pitkään, eikä niitä ole tutkittu vielä tarpeeksi, jotta saataisiin luotettavaa tietoa. Siksi ylläpitokustannusten vertailu on osittain spekulointia.

Vanhimmat soodakattilat ovat noin 70 vuotta vanhoja ja nykyään ne suunnitellaan kestävänsä 50 vuotta. Vesi- ja ilmaputkistoissa teräspanputket kestävät yli rakennuksen käyttöiän, eli käytännössä ikuisuuden.

Myös muoviputkilla yleinen vähimmäiskäyttöikä oletetaan olevan vähintään 50 vuotta, eli sama kuin soodakattiloiden käyttöikä. Aiheesta ei kuitenkaan ole tarpeeksi dataa, jotta saataisiin selvitettyä tarkkoja käyttöiä. Muoviputkissa käyttöikä voi myös alentaa huolettomasti tehdyt asennukset ja ulkopuoliset häiriötekijät, kuten iskut tai liiallinen lämpötilan ja paineen vaihtelu. Soodakattiloissa putkistot ovat useimmiten suurimmilta osin sisätiloissa, joten UV-säteilyn haittavaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon.

Komposiittiputkistoissa tilanne on sama kuin tavallisissa muoviputkistoissa.

Jos oletetaan, että muoviputkistot sekä teräsputkistot tulevat molemmat kestävämmän rakennuksen käyttöikää kauemmin, ylläpitokustannuksilla ei ole kokonaiskustannuksiin vaikutusta, ellei putkistoja oteta uusiokäyttöön tai laiteta kierrätykseen.

9.4 PVC:n vs ruostumattoman teräksen kustannukset

Koska materiaalien kustannusvertailussa huomattiin, että PVC on vaihtoehtoisista materiaaleista huomattavasti halvin sekä myös huomattavasti halvempaa kuin ruostumaton teräs, ja sen hinta kasvaa suhteessa enemmän teräsputkiin verrattuna putkikoon kasvaessa, päätettiin verrata ruostumatonta terästä ja PVC:tä toisiinsa. Tässä vertailussa aluetta ja kokoa rajattiin huomattavasti. Suurin osa tutkimuksesta olevista putkistoista oli ruostumatonta terästä, joten alkuperäisestä esimerkkiputkistosta karsittiin pois hiiliteräsputket. Tämän lisäksi vertailuun otettiin putkikoot vain siihen kokoon asti, jossa PVC oli vielä materiaalikustannuksiltaan edullisempaa kuin ruostumaton teräs, eli DN150. Suoran putken määrä putosi vertailun alkuperäisestä noin 9400 metristä noin 7300 metriin ja materiaaleina oli pelkästään ruostumaton teräs ja PVC.

Vertailu tehtiin samoilla periaatteilla kuin aiempikin vertailu ja tuloksena saatiin seuraavanlainen taulukko. (taulukko 6)

TAULUKKO 6. Ruostumattoman teräksen ja PVC:n materiaalikustannukset

osa	1.4307	PVC	
Pipe	161746,9	68606,9	€
Elbow	19972,0	18034,1	€
Connection fitting	0,0	9370,6	€
Reducer	3817,8	1410,0	€
T-piece	4521,7	2483,6	€
Branch connection	0,0	898,3	€
Reinforced branch connection	0,0	5716,3	€
Yhteensä:	190058,4	106519,8	€
säästö käytettäessä PVC:tä	83538,5	€	

Taulukosta nähdään, että jos ruostumattoman teräksen tilalla käytettäisiin PVC:tä esimerkkiputkiston mukaisessa putkistossa, jo pelkillä materiaalikustannuksilla pystyttäisiin säästämään yli 80 000 euroa. Todellisuudessa summa olisi kuitenkin pienempi, koska osassa putkistoa voi olla liian korkea lämpötila, vaativat ulkoiset olosuhteet tai jotain muita käytännön syitä, joiden takia teräsputkia ei voisi korvata, joten korvattavien putkien määrä olisi pienempi. Tällainen syy voisi olla esimerkiksi putken kulkureitti kattilan sisällä, jos se menisi esimerkiksi suutinaukkojen läheisyydestä, jossa muoviputkia ei pysty käyttämään mahdollisten kuumien roiskeiden takia.

Taulukosta voidaan myös laskea, että ruostumattoman teräksen materiaalihinnat laskelmien perusteella olisivat noin 1,78 kertaiset PVC:hen verrattuna.

Koska asennuskustannuksia ei saatu selvitettyä, niille jouduttiin arvioimaan hinta kuvan 16 diagrammin ja taulukon 6 avulla laskemalla. Ennen tätä jouduttiin kuitenkin selvittämään esimerkkisoodakattilan Excel-tiedoston avulla tutkittavan putkiston asennushinnan ja materiaalihinnan osuudet niiden yhteishinnasta esimerkkisoodakattilan rakennusajalta, eli vuodelta 2013. Kuvassa 18 nähdään esimerkkiputkistosta lasketut asennus- ja materiaalikustannusten osuudet kokonaiskustannuksista ja kuinka ne muodostuvat.

Description	Installation total price €	Material Purchase total
pipe	182371,2	83919,6
elbow	451871,8	14383,9
Reducer	72991,9	2218,3
T-piece	44525,3	3879,9
Branch connection	2300,6	0,0
Reinforced Branch connection	31481,7	7537,3
total:	785542,6	111938,9
kustannukset yhteensä:	897481,5 €	
	asennus	87,53 %
	materiaali	12,47 %

KUVA 18. Esimerkkisoodakattilan vuonna 2013 käytettyjen hintatietojen avulla lasketut asennus- ja materiaalikustannukset ja niiden osuus kokonaiskustannuksista

Asennuskustannukset muodostivat yhteishinnasta 87,53% ja materiaalikustannukset 12,47%. Kun samaa suhdetta käytettiin nykyisten materiaalikustannuksen hinnalla, niin saatiin selville ruostumattoman teräksen kokonaiskustannukset, jotka olivat noin 1523800 €.

Kun kokonaiskustannukset olivat tiedossa ja kuvan 16 diagrammista nähtiin PVC:n sekä ruostumattoman teräksen hinta suhteessa hiiliteräkseen, niiden hintasuhdetta voitiin myös verrata toisiinsa. PVC:n hinta suhteessa hiiliteräkseen oli noin 55% ja ruostumattoman teräksen hinta noin 125%, josta laskettiin ruostumattoman teräksen hinnan suhteessa PVC:hen olevan noin 2,27 kertainen. Kertoimen avulla pystyttiin laskemaan esimerkkiputkiston kokonaishinta myös PVC:lle, joka oli noin 671 300 €.

Kokonaiskustannusten ja materiaalikustannusten ollessa tiedossa, voitiin laskea myös asennuskustannukset molemmille materiaaleille ja asennuskustannusten ja materiaalikustannusten osuus kokonaiskustannuksista myös PVC:lle. PVC:llä asennuskustannukset olivat noin 564 800 € ja ruostumattomalla teräksellä 1 333 800 €, joten ruostumattoman teräksen asennushinnan suhde PVC:hen oli

2,36 kertainen. PVC putkistossa asennuskustannukset muodostivat 84,13% kokonaiskustannuksista ja materiaalikustannukset muodostivat jäljelle jäävät 15,87%. Lasketut arvot nähdään oheisessa kuvassa 19.

	PVC	1.4307
kokonaiskustannukset	671282,9	1523812,1
asennuskustannukset	564763	1333753,7
materiaalikustannukset	106519,8	190058,4
Kerroin	PVC	1.4307
kokonaiskustannukset	1	2,27
asennuskustannukset	1	2,36
materiaalikustannukset	1	1,78
PVC		
kokonaiskustannukset	671282,9	100 %
asennuskustannukset	564763,0	84,13 %
materiaalikustannukset	106519,8	15,87 %
1.4307		
kokonaiskustannukset	1523812,1	100 %
asennuskustannukset	1333753,7	87,53 %
materiaalikustannukset	190058,4	12,47 %

KUVA 19. PVC:n ja ruostumattoman teräksen kustannusten laskujen arvoja

Asennuskustannuksille saatiin ruostumattoman teräksen kertoimeksi 2,36 PVC:hen verrattuna, joka vastaa melko hyvin kuvan 17 diagrammin tuloksia. Myös kuvan 17 diagrammin perusteella ruostumattoman teräksen asennuskustannukset olivat PVC:hen verrattuna keskiarvoltaan 2,36 kertaiset kokoväliltä DN25 – DN300.

Kuvassa 19 olevan taulukon avulla voidaan laskea ruostumattoman teräksen ja PVC:n erotuksen avulla säästö, jonka saavuttaisi korvaamalla ruostumattomat putkistot PVC:llä. Materiaalikustannuksissa säästettäisiin noin 83 500 € ja asennuskustannuksissa noin 769 000 €, joka tekisi kokonaiskustannuksien säästökseen noin 852 500 €. Summa on laskettu tukkujen yksikköhinnoilla ja yleisesti löydettävissä olevien tietojen perusteella. Esimerkkiprojektin toteutuneiden kustannusten perusteella lasketut summat eivät kuitenkaan ole realistisia suuren tilausmäärän aiheuttamista yksikköhintojen muutoksista sekä esimerkkiprojektin toimitusrajan suuresta etäisyydestä johtuen. Yleensä toimitusraja eli tie-in on projekteissa metrin päässä seinästä, mutta esimerkkiprojektissa se oli 15 metrin päässä. Verrattuna esimerkkiprojektin toteutuneisiin kustannuksiin sekä yllä mainitut seikat huomioidaan ottaen kyseisen kaltaisen soodakattilaprojektin säästö esimerkkiputkistoilla olisi arviolta noin 200 000 – 250 000 €.

10 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa huomattiin, että mahdollisesti korvattavia putkistoja olisi lähinnä vesi- ja ilmaputkistoissa. Näiden putkistojen mediat ovat syövyttämättömiä ja suurimmassa osassa niistä on matala paine ja lämpötila. Näistä putkistoista kaikki paineluokaltaan PN10 tai alle ja suunnittelulämpötilaltaan alle 60 °C olevat putket voitaisiin korvata muoviputkilla, jos oletetaan, että ulkoiset olosuhteet sallivat sen. Näissä putkistoissa käytetään nykyään pääosin ruostumatonta terästä.

Tutkittavista putkistoista kuitenkin kaikki putkistot eivät ole korvattavissa muoviputkilla, koska joissain niissä oli liian korkea paine tai lämpötila. Esimerkkinä tällaisista putkistoista on vesiputkiston firewater, jonka paine on 40 bar eli neljäkymmentä baaria, sekä apujärjestelmien jotkin vesiputkistot, joiden suunnittelulämpötila on reilusti yli 100 °C. Osa putkistoista ei myöskään ole korvattavissa ulkoisien olosuhteiden, kuten kattilaa liian lähellä menevän kulkureitin takia, jossa lämpötila nousee liian korkeaksi. Liian lähellä kattilaa kulkevat esimerkiksi sulakourujen jäähdytysjärjestelmäputkistot.

Tutkimusta tehdessä huomattiin, että mitä isompikokoinen putkisto on kyseessä, sitä vähemmän kannattavaa se olisi korvata muoviputkilla, koska putkikoon kasvaessa muoviputkien materiaalihinnan nousu on suhteessa isompi kuin teräsputkien. Isokokoisien putkistojen asennuskustannuksia ei kuitenkaan saatu selvitettyä, joten aihe kaipaa lisää tutkimusta.

Pienikokoisissa putkistoissa (DN10 – DN150), materiaali- ja asennuskustannukset huomioon otettaessa ruostumattomien teräsputkien korvaaminen PVC:llä säästäisi karsitun esimerkkiputkiston mukaisessa putkistossa arviolta noin 200 000 €.

Isokokoisissa putkistoissa (DN100 – DN300) materiaalikustannukset ovat PVC:llä suuremmat, mutta asennuskustannuksissa voisi ainakin arvioiden mukaan säästää. Asennuskustannuksien tarkkojen lukemien puutteessa ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöstä siitä, olisiko teräsputkien korvaaminen kannattavaa. Aiheesta voi tarvittaessa tehdä jatkotutkimusta.

Tutkimuksessa saatiin myös selville, että putkiston materiaalikustannukset ovat yleensä paljon pienempi osa kokonaiskustannuksia kuin asennuskustannukset. Laskelmissa kävi ilmi, että esimerkiksi PVC-putkiston materiaalikustannukset ovat vain 15,87% asennuskustannusten ollessa loput 84,13%. Ruostumattomalla teräksellä materiaalikustannukset olivat 12,47% ja asennuskustannukset 87,53%. Tästä syystä voisi olla järkevää selvittää myös ainakin CPVC:n kannattavuus verrattuna ruostumattomaan teräkseen, jotta saataisiin vaihtoehtoinen materiaali käyttöön isommalle osalle putkistoa, koska CPVC:n lämmönkesto on tavallista PVC:tä suurempi.

Koska ainakin datan puuttumisen perusteella kaikki materiaalit pysyvät käyttökelpoisina kauemmin kuin soodakattilan suunniteltu ikä, ylläpitokustannuksilla ei ole juurikaan merkitystä. Tämän lisäksi vesi- ja ilmaputkistoissa ei ole määräaikaishuoltoja, joten niitä ei tarvitse asennuksen jälkeen huoltaa.

LÄHTEET

- Andritz Oy, Intranet [Viitattu 2018-09-07.]
- Andritz Oy, (Process piping engineering manual by Tero Nokka and Sivakumar Kannuchamy, 2017)
- Andritz Oy, Tero Nokka, 2018
- Chasis, David A. 1988. Plastic Piping Systems – Second edition. Industrial Press Inc
- Engineering ToolBox, (2007). Piping Materials and Cost Ratios. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa: https://www.engineeringtoolbox.com/piping-materials-cost-ratios-d_864.html
- Fluorotech Oy, [Viitattu 2018-10-22.] Saatavissa: <https://www.fluorotech.fi>
- IPS Flow Systems, Kuva muoviputkistosta, [Viitattu 2018-11-09.] Saatavissa: <http://www.ips-flowsystems.com>
- Knowpulp, [Viitattu 2018-09-11.] Saatavissa: <http://www.knowpulp.com>
- LVI Vuorikoski Oy, kuva komposiittiputkesta, [Viitattu 2018-11-09.] Saatavissa: <http://www.vuorikoski.fi/images/komposiittiputki.jpg>
- Miraj Pipes & Fittings, kuva muoviputkiston osista, [Viitattu 2018-11-09.] Saatavissa: <http://mirajpipes.com/industrial-pipe-fittings.html>
- PSK Standardisointiyhdistys ry, 2011, PSK-käsikirja 7, PUTKILUOKAT, 2. painos.
- Recair Oy, ABS-putkiston tuote-esite, [Viitattu 2018-12-11.] Saatavissa: http://www.recair.fi/pdf/tuote-esitteet/Durapipe-ABS-muoviputket/durapipe_abs_161-171.pdf
- TEPPFA, [Viitattu 2018-10-15.] Saatavissa: <https://www.teppfa.eu/production-processes/>
- TEPPFA, [Viitattu 2018-10-15.] Saatavissa: <https://www.teppfa.eu/why-use-plastic-pipe-systems/>
- Uponor Oy, Komposiittijärjestelmä, [Viitattu 2018-11-06.] Saatavissa: <https://www.uponor.fi/tuote-jarjestelmat/komposiitti>
- Uponor Oy, Uponorin hinnasto 2018, [viitattu 2018-11-05.] Saatavissa: <https://is-suu.com/uponorfi/docs/uponorin-hinnasto-2018>
- Vakkilainen, Esa K. 2005. Kraft recovery boilers – Principles and practice. Suomen Soodakattilayhdistys r.y., Valopaino Oy, Helsinki, Finland.
- Valuatlas, [Viitattu 2018-10-23.] Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PP_FI.pdf
- Vinidex Pty Limited, [Viitattu 2018-10-22.] Saatavissa: <https://www.vinidex.com.au/technical/material-properties/pvc-properties/>