

Ilida Ahvenainen

KUITULINJAPUTKISTON KUSTANNUSTEN ARVIONTI

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Iida Ahvenainen
Työn nimi	Kuitulinjaputkiston kustannusten arviointi
Toimeksiantaja	ANDRITZ Oy
Vuosi	2021
Sivut	48 sivua, liitteitä 1 sivu
Työn ohjaaja(t)	Sami Nisula, Tehdassuunnittelun päällikkö Kalle Tarhonen, Lehtori

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö tehtiin Andritz Oy:lle. Työn tavoitteena oli kehittää laskentamenetelmä tarkempaan kuitulinjaputkiston kustannusarvioon. Laskentamenetelmä kehitettiin Andritz Oy:n nykyisen, toteutettujen projektien perusteella tehtävän putkiston kustannusarvion tilalle. Työssä tarkasteltiin kuitulinjaa ja kuitulinjaputkistojen kustannusten muodostumista toteutuneiden projektien avulla. Tämän pohjalta laadittiin putkiston kustannusarvion laskentamalli.

Insinöörityön teoriaosuudessa tarkasteltiin kuitulinjan prosesseja sellutehtaalla, minkälaisia putkistoja kuitulinjalla käytetään, miten kuitulinjaputkistoja suunnitellaan ja kuinka putkistojen kustannukset muodostuvat. Tutkimusosuudessa tutkittiin kuitulinjan putkistoja ja niiden kustannusten muodostumista. Työ rajattiin putkiluokkiin E6H1A–E40H1A ja putkikokoihin DN25–DN600. Näiden pohjalta laadittiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla kuitulinjaputkiston kustannusarvion laskentamalli. Laskentamalliin katsottiin tilaajan käyttämästä putki- ja putkiosaluettelosta tarkasteltavan putkiluokan komponenttien paino.

Insinöörityön tuloksena saatiin Andritz Oy:n käyttöön laskentamalli, joka laskee kuitulinjaputkiston kustannusarvion. Laskentamalli laskee tarjottavan putkiston kokonaispainon ja kokonaiskustannusarvion putkiston paineluokkien mukaan. Laskentamalliin on asetettu yhden putkilinjan perusyksikön koostuvan 10 metristä suoraa putkea, 1 kappaleesta putkikäyrää, 1 supistuksesta, 1 kauluksesta ja 1 irtolaipasta. Tarjottavan putkiston kustannusarvio muodostuu putkiston kokonaispainosta, kannakkeiden painosta, sekä putkiston kustannuksesta asennettuna ja kannakkeiden kustannuksesta asennettuna.

Andritz Oy:n on mahdollista hyödyntää opinnäytetyön tuloksena saatua laskentapohjaa heidän tulevissa projekteissaan tarjouksen jättövaiheessa. Laskentamallia varten heidän tulee arvioida putkimetrien määrä tarjottavalle putkistolle. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin muut kuitulinjaputkistoissa esiintyvät putkiluokat ja putkikoot. Tulevaisuudessa olisi hyvä tarkentaa laskentamallissa käytettäviä putkilinjan yksiköitä, sekä ottaa huomioon muut kuitulinjassa esiintyvät putkiluokat.

Asiasanat: kuitulinja, kustannusarvio, putkistosuunnittelu, putkiluokat, putkilinja

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Iida Ahvenainen
Thesis title	Cost estimation of fiber line piping
Commissioned by	ANDRITZ Oy
Time	April 2021
Pages	48 pages, 1 page of appendices
Supervisor	Sami Nisula, Kalle Tarhonen

ABSTRACT

The objective of the thesis was to develop a calculation method for a more accurate cost estimate of fiber line piping. The calculation method was being developed to replace the commissioner's current pipeline cost estimate based on completed projects. The work examined the fiber line and the formation of the costs of fiber line pipelines with the help of completed projects. Based on this, a calculation model for the pipeline cost estimate was developed.

The theoretical part of the engineering work examined fiber line processes at the pulp mill, types of pipelines used on the fiber line, how fiber line pipelines are designed, and how the costs of the pipelines are formed. The research section examined the pipelines of the fiber line and the formation of their costs. The work was limited to pipe classes E6H1A–E40H1A and pipe sizes DN25–DN600. Based on these, a calculation model for the cost estimate of the fiber line pipeline was prepared with the Excel program. The weight of the components of the pipe under consideration was used by the list of pipes and pipe sections by the customer.

As a result of the engineering work, the commissioner was provided with a calculation model that calculates the cost estimate for the fiber line piping. The calculation model calculates the total weight of the pipeline to be provided and the total cost estimate according to the pressure classes of the pipeline.

The commissioner can utilize the calculation basis in their future projects at the bidding stage. For the calculation model, they should estimate the number of pipe meters for the piping to be offered. Other pipe categories and pipe sizes present in fiber line pipelines were excluded from the review. In the future, it would be good to specify the pipeline units used in the calculation model, as well as to consider other pipeline categories present in the fiber line.

Keywords: fiber line, quotation, piping design, pipe classes, pipeline

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KITULINJA SELLUN VALMISTUKSESSA	8
2.1	Puunkäsittely	9
2.2	Keitto	10
2.3	Pesu	11
2.4	Happidelignifointi.....	11
2.5	Lajittelu	12
2.6	Valkaisu	12
2.7	Kuivatus ja lajittelu	14
3	KITULINJAPUTKISTON SUUNNITTELU JA KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN	
	14	
3.1	Putkistosuunnittelu.....	15
3.2	3D-mallinnus.....	16
3.3	Putkistosuunnittelua määrittelevät standardit	18
3.4	Putkimateriaalit	21
3.5	Putkiston osat	21
3.6	Putkiston kannakointi.....	24
3.7	Putkiston kustannukset.....	25
4	KITULINJAN PUTKISTOT	28
4.1	Ruskean massan putkistot.....	29
4.2	Valkaisuputkistot.....	30
4.3	Keskisakean massan putkistot.....	31
5	PUTKISTON KUSTANNUSARVIOTYÖKALU	33
5.1	Työn toteutuksen kuvaus ja rajaus	33
5.2	Käytetyt menetelmät	34
5.3	Laskentamallin käyttö	36
6	LASKENTAMALLIN TULOKSET	37

6.1	Laskentamallin todenmukaisuus.....	41
7	YHTEENVETO	43
	LÄHTEET.....	45

LIITTEET

Liite 1. Excel-laskentamallin alkunäkymä.

Lyhenteet

ASME	American Society of Mechanical Engineers. Amerikkalainen insinöörien yhdistys.
ECF	Elementally Chlorine Free. Valkaisumenetelmä jossa ei käytetä klooria.
FRP	Fiberglass Composite Pipe.
MC	Medium Consistency.
PED	Pressure Equipment Directive. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.
PN	Pressure nominal. Paineluokka.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
TCF	Total Chlorine Free. Valkaisumenetelmä, jossa ei käytetä klooria tai klooriyhdisteitä.
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.

1 JOHDANTO

Insinööri työ on tehty Andritz Oy:n kuitulinjaosastolle. Andritz toimittaa maailmanlaajuisesti tehtaita, järjestelmiä, laitteita ja palveluja eri teollisuudenaloille. Heidän pääliiketoiminta-alueitaan ovat sellu- ja paperiteollisuus, metalli- ja terästeollisuus, vesivoimateollisuus sekä kiinteiden ja nestemäisten aineiden erottelutekniikat. (Passion for innovative technologies that shape world. s.a.)

Insinööri työssä tutkitaan Andritz Oy:n kuitulinjan putkistoja sekä niiden kustannuksien toteumaa suhteessa hinnoiteltuihin kustannuksiin. Lähtötietona on, että etenkin pienten ja keskisuurten laitosten kohdalla hinnoitellut putkiston kustannukset poikkeavat toteutuneista melko paljon. Analysoitavan tiedon perusteella on tarkoitus kehittää ohjelma putkiston kustannusten tarkempaa arviota varten. Ohjelman avulla pyritään saamaan riittävän tarkka arvio putkiston kustannuksista jo tarjouksen jättövaiheessa. Ohjelman tulee olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja nopea.

Teoriaosuudessa tarkastellaan ensin yleisellä tasolla kuitulinjaa ja sen vaiheita sellun valmistuksessa. Työssä perehdytään kuitulinjan putkistoihin, niiden tarkoituksiin ja erikoisuuksiin. Erikoisuuksilla on usein oleellinen merkitys putkiston kustannuksien muodostumisessa. Seuraavaksi tarkastellaan kuitulinjaputkiston suunnittelua ja kustannusten muodostumista kuitulinjan eri vaiheissa. Lisäksi kerrotaan nykyisestä putkistojen kustannuslaskennasta ja pohditaan sen parantamista.

Tutkimusosuus päätettiin tilaajan toimesta rajata H1A-putkiluokkaan, sillä kuitulinjan putkistoista suurin osa on valmistettu kyseisellä putkiluokalla. Näin työstä ei tule liian laaja. Tutkimusosuudessa tutkitaan H1A-putkiluokan eri paineluokilla eri putkikokojen eroavaisuutta massoissa (kg) ja verrataan niitä toisiinsa. Näitä vertaamalla saadaan selville H1A-putkiluokan kustannusarvio eri paineluokissa. Kehitellyn putkiston kustannusarviomenetelmän todenmukaisuutta voidaan testata toteutuneiden projektien avulla. Tarkoituksena on tutkia, mistä putkistojen suurimmat kustannukset muodostuvat, sekä tuottaa menetelmä niiden mahdollisimman tarkkaan kustannuslaskentaan.

2 KUITULINJA SELLUN VALMISTUKSESSA

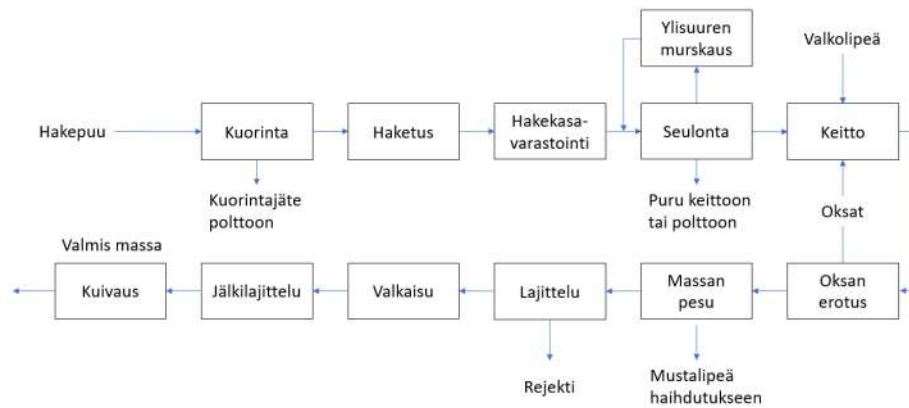
Sellun valmistus on kemiallinen prosessi, jossa puun sisältämä ligniini poistetaan lämpötilan, paineen ja kemikaalien avulla, kuitenkin kuitujen rakenne ja lujuus säilyttäen. Sellun tuotantoprosessi voidaan jakaa kahteen osaan: kuitulinjaan ja kemikaalikiertoon. Olennainen osa prosessia on myös jätevesien käsittely. Kuvassa 1 on esitetty Andritz toimittama kuitulinja Brasiliassa sijaitsevalla sellutehtaalla.



Kuva 1. Kuitulinja sellun valmistuksessa (ANDRITZ fiberlines for chemical pulping s.a.).

Kuvassa 1 nähdään vasemmalta katsottuna valkaistun massan varastotorni, valkaisu- ja happivaiheen reaktorit, ruskean massan puskusäiliö ja edessä pesurit sekä keitin.

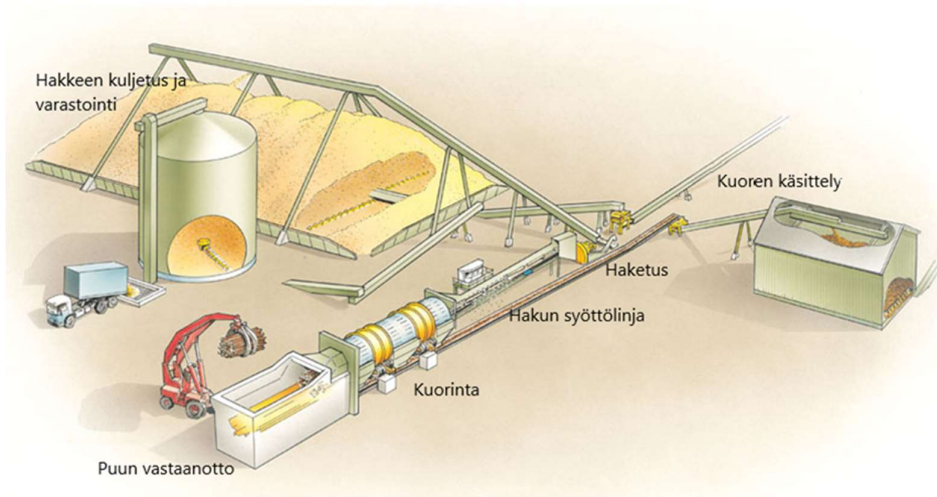
Kuitulinjaksi kutsutaan prosessia, jolla puusta saadaan sellua. Puunkäsittely, keitto, pesu, happidelignifointi, lajittelu, valkaisu ja kuivatus kuuluvat kuitulinjaan. Kemikaalikierrossa kuitulinjalla käytetyt kemikaalit otetaan talteen uudelleenkäyttöä varten ja hyödynnetään prosessissa syntyvä energia mahdollisimman hyvin. Kemikaalikiertoon kuuluvat haihduttamo, soodakattila ja valkoliipeälaitos. Jätevesien käsittelyn tarkoituksena on varmistaa, ettei ympäristöön joudu haitallisia aineita. (Know Pulp s.a.f; UPM 2012.) Kuvassa 2 on esitetty vuokaavio kuitulinjan eri vaiheista.



Kuva 2. Vuokaavio kuitulinjan prosessien vaiheista (Härkönen 2019, 11).

2.1 Puunkäsittely

Puunkäsittely on sellun valmistuksen prosesseista ensimmäinen. Pääsääntöisesti puu tuodaan tukkeina tehtaalle autolla tai junalla kuljetettuna. Puunkäsittelyssä tukit kuoritaan, haketetaan, seulotaan ja varastoidaan. Päättarkoituksena on saada oikean kokoista ja muotoista haketta keittoa varten, jotta keittoliipeä kyllästää hakkeen mahdollisimman nopeasti ja tasaiseksi massaksi. (Know Pulp s.a.e.) Kuvassa 3 nähdään puunkäsittelyn osaprosessit sellutehtaalla.



Kuva 3. Puunkäsittelyn osaprosessit sellutehtaalla (Know Pulp s.a.e).

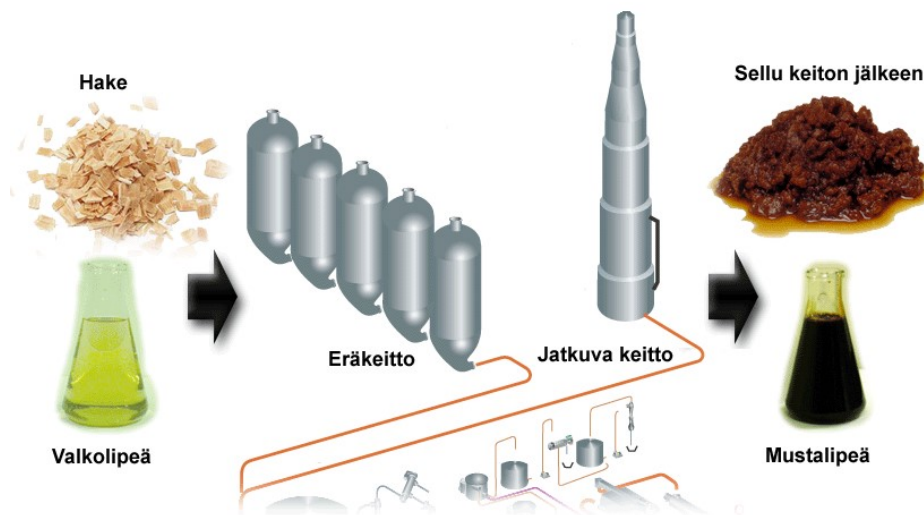
Eri puulajien puukuiduilla on eroja. Sellunvalmistuksen kuituraaka-aineet ovat pääosin havu- ja lehtipuita. Havupuut (mm. mänty) ovat pitkäkuituisia, kun taas lehtipuut (mm. koivu) ovat lyhytkuituisia. Pohjoisen sellutehtaat käyttävät

pääosin pitkäkuituisia havupuita sillä täällä sitä on helpoiten saatavilla. Tropiikin tehtaas sijaan käyttävät lyhytkuituisia lehtipuita sen paremman saatavuuden takia. (Nisula 2021.)

2.2 Keitto

Kuituja sitovaa ligniiniä poistetaan kemikaalien, paineen ja lämmön avulla keitossa. Näin hake saadaan kuituuntumaan helposti. Selluloosapitoiset kuidut pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkinä, ehjinä ja vahvoina laadukkaan sellun takaamiseksi. (Know Pulp s.a.b.)

Kuvassa neljä on yksinkertaistettu sellunkeiton periaate, jossa hake ja valkoliipeä lisätään keittimeen. Tämän jälkeen saadaan ruskeaa sellumassaa ja mustaliipeä. Ruskea sellu jatkaa prosessissa eteenpäin ja mustaliipeä otetaan talteen kemikaalikiertoa varten.



Kuva 4. Sellunkeitto yksinkertaistettuna (Know Pulp s.a.b.).

Keitto voidaan jakaa jatkuvatoimiseen keittoon ja eräkeittoon. Jatkuvassa- eli vuokeitossa sellun keittoon kuuluvat reaktiot tapahtuvat yhdessä keitinastiassa. Tässä hake annostellaan matalapainesulkusyöttimen kautta pasutusastiaan, jonka jälkeen seuraavat vaiheet ovat pasutus, hakkeen ja keittoliipeän syöttö keittimeen, imeytys, keitinpesu ja pusku. Keittimen yläosaan syötetään haketta ja kemikaaleja, jotka kulkevat keittimessä alaspäin. Keitinastiassa kiertävä kuuma valkoliipeä erottaa selluloosan hakkeesta. Kiertoja voi olla use-

ampia. Näin keittimen alaosaan mennessä puusta on liuotettu kaikki muut aineet, paitsi jäljelle jäänyt selluloosa. Tämän jälkeen ruskea sellumassa siirretään keittimen pohjalta prosessissa eteenpäin. (Know Pulp s.a.b.)

Eräkeitossa on monta keitintä, joissa keittovaiheet ovat keitinkohtaisia. Keiton vaiheet ovat hakkeentäyttö ja imeytys lipeällä, jossa keitin täytetään hakkeella ja lipeällä, keiton lämmitys ja keitto sekä loppusyrjäytys ja pusku. (Know Pulp s.a.b.)

2.3 Pesu

Sellunkeiton jälkeen massa pestään ja lajitellaan keittymättömästä hakkeesta ja muista liuenneista kemikaaleista. Massa pestään yksittäisillä pesureilla keiton ja happivaiheen jälkeen, sekä valkaisu vaiheiden välissä. Yleisesti massan pesun tarkoituksena on saada poistettua kaikki ei liukenevat epäpuhtaudet, jolloin jäljelle jää puhdasta sellumassaa. Massan pesu tehdään mahdollisimman taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti minimoimalla pesuveden käyttöä. Tämä tehdään kierrättämällä samaa pesuvettä vastavirtaperiaatteella. (Tolonen 2018; Know Pulp s.a.d.)

Ruskean massan pesu aloitetaan jo keittimessä ja sitä jatketaan erillisillä pesulaitteilla useammassa vaiheessa. Ruskean massan pesussa halutaan puhdistaa massa jatkokäsittelyjä varten sekä ottaa jäteliuos talteen mahdollisimman tehokkaasti. Talteenoton tarkoituksena on jäteliuoksen sisältämien kemikaalien ja energian uudelleenkäyttö, sekä vesistöjen suojeleminen. Tehokas ruskean massan pesu on välttämätön ennen happivaihetta, jotta massan laatu säilyy hyvänä. Happivaiheen jälkeen pesussa halutaan saavuttaa mahdollisimman alhainen liuenneen orgaanisen aineen kulkeutuminen prosessissa eteenpäin. Näin saadaan minimoitua kemikaalin kulutus ja lukuustason lasku seuraavissa valkaisu vaiheissa. (Know Pulp s.a.d; Virkola 1983, 683.)

2.4 Happidelignifiointi

Ennen valkaisua massasta poistetaan viimeiset ligniinit happivaiheessa happidelignifioinnin avulla, joka on suora jatko keitossa tapahtuvalle ligniinin pois-

tolle. Tässä vaikuttavina aineina ovat happi ja alkali. Happi sekoitetaan massaan dynaamisella sekoittimella, jonka jälkeen sen annetaan reagoida paineastiassa. (Know Pulp s.a.a.)

Happivaihe hajottaa ja hapettaa ligniiniä alkaliin liukenevaan muotoon, tuhoaa ligniinissä olevia värillisiä yhdisteitä ja poistaa epäpuhtauksia massasta. Näin saadaan minimoitua kemikaalin kulutus ja lujuustason lasku seuraavissa valkaisuvaiheissa. Happidelignifioinnilla on suuri vaikutus tehtaan päästöihin, sillä päästöjen väheneminen on suoraan verrannollinen kappareduktioon eli ennen valkaisua poistettuun ligniiniin. (Know Pulp s.a.a.)

2.5 Lajittelu

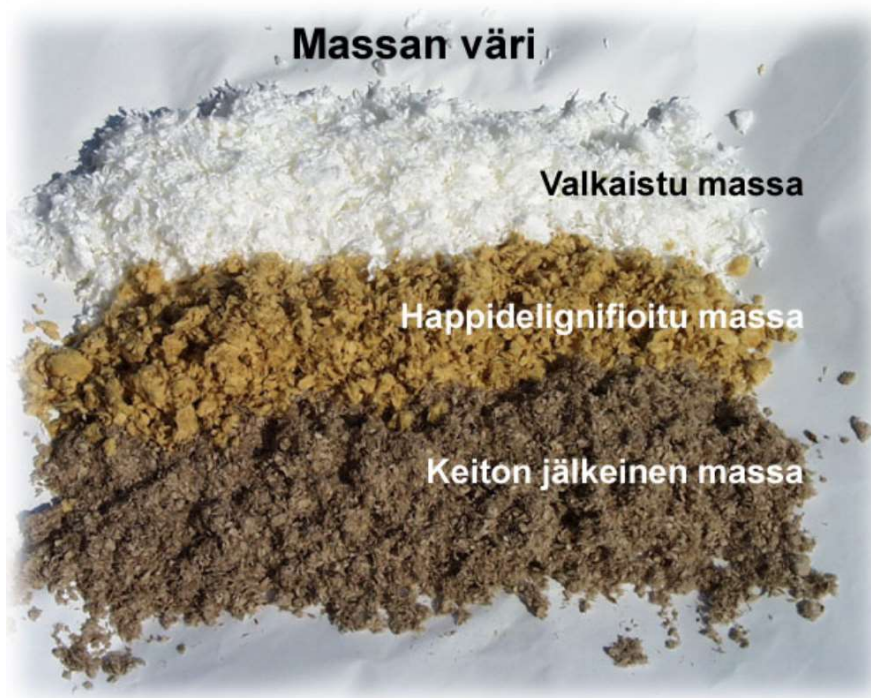
Keiton jälkeen massa sisältää epäpuhtauksia, jotka ovat peräisin itse raaka-aineesta, sen käsittelystä, varastoinnista ja massanvalmistusprosessista. Epäpuhtauksia, jotka ovat päässeet hakkeen mukana keittoon ovat keittymättömät hakepalat sekä puunkuori, hiekka, kivet ja metallit. Lajittelun tarkoituksena on poistaa massasta edellä mainitut epäpuhtaudet. (Know Pulp s.a.d.; Virkola 1983, 707-710.)

Epäpuhtaudet tulee erottaa, sillä ne heikentävät lopputuotteen laatua, voivat vahingoittaa prosessilaitteita ja aiheuttaa ajettavuusongelmia. Epäpuhtaudet erotetaan massasta kuitulinjan alkuvaiheiden aikana lajittamossa osasten koon tai painon perusteella. Osien kokoon perustuva erottaminen tapahtuu mekaanisesti sihtilevyjen avulla ja painoon perustuva erottaminen paino- tai keskipakovoimalla. Lajittimessa suuremmat epäpuhtaudet jäävät sihtilevyn päälle ja pienemmät kulkeutuvat sen läpi paine-eron vaikutuksesta. (Know Pulp s.a.d.; Virkola 1983, 707-710.)

2.6 Valkaisu

Valkaisun tehtävänä on nimensä mukaisesti valkaista ja puhdistaa massa ligniinistä ja puun uuteaineista, jotta massa saavuttaa halutun vaalennusasteen. Tämä tehdään joko poistamalla tai vaalentamalla massan värillisiä aineita eri valkaisuvaiheissa. Valkaisu jaetaan klooridioksidivalkaisuun (ECF) ja happikemikaalivalkaisuun (TCF). (Know Pulp s.a.g.)

ECF-valkaisussa ei käytetä kloorikaasua tai hypokloriittia, sen sijaan käytetään klooridioksidia yhdessä tai useammassa vaiheessa. TCF-valkaisu on kloorikemikaaliton menetelmä, jossa käytetään happikemikaaleja. Massaan sekoitetaan kemikaalit dynaamisilla sekoittimilla tai MC-pumppujen avulla. Tehokas kemikaalisekoitus takaa tasaisesti valkaistun sellun. Huonoilla sekoitusolosuhteilla osa kuiduista joutuu liian voimakkaaseen kemialliseen käsittelyyn ja menettää lujuutensa ja osa kuiduista jää vaillinaisesti valkaistuksi ja vaaleuden keskiarvo huononee. (Virkola 1983, 811-816; Pratima 2010, 20-22.) Kuvassa viisi on esitetty keiton jälkeinen massa, happidelignifioitu massa ja valkaistu massa.



Kuva 5. Massan väri sellun tuotantoprosessien jälkeen (Know Pulp s.a.g).

Kuvasta viisi nähdään, että massan väri vaalenee mitä pidemmälle prosessissa mennään. Valkaisun jälkeen massassa ei ole enää jäljellä ruskeaa väritystä.

Valkaisu kuluttaa eniten vettä sellun valmistuksen osaprosesseista. Valkaisujätevesien mukana ympäristöön joutuu mm. kiintoainetta (kuitu ja nollakuitu), liuenneita orgaanisia yhdisteitä, jotka mm. värjäävät vettä ja hidastavat normaalia fotosynteesiä sekä voivat aiheuttaa geneettisiä muutoksia, ja epäor-

gaanisia aineita (klorideja ja natriumia). Haitat, joita orgaaniset yhdisteet aiheuttavat, ovat pahempia kuin epäorgaanisten aineiden, sillä epäorgaaniset yhdisteet ovat vesistöön joutuessaan inerttejä. Valkaisimon päästöjä pienennetään sisäisin menetelmin tai jätevesien ulkoisen puhdistuksen avulla. (Virkola 1983, 905-906.)

2.7 Kuivatus ja lajittelu

Viimeisenä valkaistu massa lajitellaan ja kuivataan. Jälkilajittelun tarkoituksena on poistaa massasta jäljelle jääneet pienet roskat. Puhdistussysteemi koostuu raskasrejektin (hiekkä, tikut, kuoriroskat) ja kevytrejektin (muovi) poistosta. Puhdistukseen käytetään pyörrepuhdistimia, paineellisia rako- tai reikäsihtejä tai paineellisia sihtejä ja pyörrepuhdistimia painesihtien rejektille. (Tarhonen 2020.)

Jos kyseessä ei ole tehdasintegraatti, on sellu kuivattava ja paalattava. Tämä tapahtuu paperikoneen omaisella prosessilla, jossa viiran avulla saadaan sellu kuivattua ja tämän jälkeen arkitettua ja paalattua. Sellu pumpataan massansyöttöjärjestelmään, jonka avulla saadaan tasainen massavirta perälaatikoon. Perälaatikon tehtävänä on syöttää massa tasaisena rainana viiraosalle, jolla pyritään saamaan rainalle mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus. Puristinosalla poistetaan vettä rainasta, tiivistetään ja lujitetaan rainaa. Puristinosalta tulevan massarainan kuiva-ainepitoisuus on noin 50–55 %. Kuivaimella massan kuiva-ainepitoisuus nostetaan noin 90 %:iin haihduttamalla radalle puhallettavan kuumen ilman avulla. Tämän jälkeen selluraina arkitetaan ja paalataan kuljetusta varten. (Tarhonen 2020; Know Pulp s.a.c.)

3 KUITULINJAPUTKISTON SUUNNITTELU JA KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

Kuitulinjaputkiston suunnittelu on yksi osa-alue uuden sellutehtaan tai sellutehdas uusinnan suunnittelussa. Putkistosuunnittelu on tiiviissä yhteistyössä muiden eri suunnittelun osa-alueiden kanssa koko projektin aikana. (Kohvakka 2018.) Putkistosuunnittelun tarkoitus on löytää teknisesti ja taloudellisesti järkevä ratkaisu PI-kaaviosta valmiiksi putkistoksi. Putkiston tulee täyttää lainsäädännön sekä putkiston käytettävyyden ja kunnossapidon asettamat vaatimukset. (PSK 2402: 2021, 13.)

Putkiston kustannuksiin vaikuttaa putkimateriaalin lisäksi paineluokka, putkikoko, putkiston osat ja putkiston asennus. Huolellisella ja järkevällä putkistosuunnittelulla on vaikutus putkiston kustannuksiin. Esimerkiksi taitavasti tehdyllä putkiston reitittämisellä ja tarpeettomien putken osien pois jättämisellä voidaan vaikuttaa putkiston lopullisiin kustannuksiin.

3.1 Putkistosuunnittelu

Putkistosuunnittelu alkaa lähtötietojen keräämisellä eri lähteistä. Asiakkaalta saadaan tietoja, joissa tarkennetaan suunnittelun laajuus, materiaalien hankinta sekä käytettävät suunnittelustandardit. Lisäksi mahdollisista tehdasstandardeista saadaan tietoa asiakkaalta. Prosessisuunnittelu määrittää putkistosuunnittelun raamit. Prosessisuunnittelu tekee prosessikaaviot, josta näkee nimettyinä laitoksen kaikki laitteet, putkistot ja kanavat. Prosessisuunnittelulta saadaan lisäksi putkilinjaluettelot, venttiililuettelot ja laiteluettelot, joita käytetään putkistosuunnittelun lähtötietoina. Näistä saadaan selville mm. putkistoissa käytettävät paineluokat, putkiluokat, materiaalit, PED-luokitukset ja eristykset. (Kohvakka 2018, 26; PSK 2402: 2021, 13.)

Putkiston paineluokka (PN) tarkoittaa putkiston osien mekaanisten ominaisuuksien ja mittojen yhteensopivuutta. Paineluokka kertoo putkiston suurimman sallitun käyttöpaineen yksikössä baari. Tämä riippuu mm. materiaalista, suunnittelupaineesta ja sallitusta lämpötilasta. (SFS-EN 1092-1: 2018, 9.)

Putkistoihin vaikuttaa niiden käyttöiän aikana erilaisia kuormituksia. Kuormituksia voivat olla esimerkiksi sisäinen ja/tai ulkoinen paine, lämpötila, putkiston ja sisällön paine, sisällön dynaamiset vaikutukset, maaperän ja rakennusten liikkeet, ilmastolliset kuormat, värähtelyt sekä maanjäristykset. Erilaiset kuormitukset tulee myös ottaa huomioon putkistosuunnittelussa. (SFS-EN 13480-3: 2017, 7.)

Putkiston tarkoituksena on kuljettaa nesteet tai kaasut turvallisesti ja luotettavasti paikasta toiseen. Putkistosuunnittelun tavoitteena on konfiguroida ja asettaa putkistot, laitteet ja muut tarvikkeet, kuten venttiilit siten, että niiden sijoitus on toimiva sekä standardien ja lakisääteisten määräysten mukainen. Putkistosuunnittelussa putkimateriaalit valitaan nesteen ominaisuuksien ja

käyttöolosuhteiden mukaan, huomioiden maksimipaineet ja käyttölämpötilat. Tavoitteena on löytää taloudellinen putken halkaisija ja seinämän paksuus. (Bhatia s.a., 18–19.) Painelaitedirektiivissä edellytetään, että suunnittelun on perustuttava laskentamenetelmään tai suunnittelumenetelmään riittävän lujuuden takaamiseksi (SFS-EN 10253-2: 2007, 20).

Putkistosuunnittelu sisältää putkiston yksityiskohtaisen reitittämisen, kannakoinnin, venttiilien ja instrumenttien sijoittamisen sekä liitännät laitteisiin. Tämä tapahtuu 3D-mallinnusohjelman avulla. 3D-mallinnuksen jälkeen suunnittelija tekee materiaali- ja kannakelistat mallinnetusta putkistosta. Materiaali- ja kannakelistojen avulla hankitaan putkistojen rakentamiseen tarvittavat komponentit. Suunnittelijan tehtäviin kuuluu myös putkistodokumenttien tuottaminen. Putkistopiirustuksia ovat sijoituspiirustukset, putkikohtaiset isometrit ja kannakuvat. Niiden perusteella rakennetaan putkilinjat ja niiden kannakointi. (Kohvakka 2018.)

Putkien välisissä etäisyyksissä on otettava huomioon eristepaksuudet, putkistovarusteet, laippaliitokset ja putkiston lämpöliikkeet (PSK 2402: 2021, 7–8). Putkiston painokuorman ja lämpölaajenemisen vaikutusten hallintaan voidaan vaikuttaa suunnittelussa oikealla putkiston kannakoinnilla ja riittävän joustavalla putkireitillä (PSK 2402: 2021, 10).

3.2 3D-mallinnus

3D-mallintaminen on kasvattanut merkittävästi osuuttaan suunnittelussa ja tulevaisuudessa yritykset siirtyvät yhä enemmän 3D-mallinnusohjelmien käyttöön. 3D-mallintaminen on huomattavasti tehokkaampaa ja visuaalisempaa 2D-ohjelmaan verrattuna. (Tuhola & Viitanen 2008, 13.) Kuvassa kuusi on esitetty 3D-malli kuitulinjasta Avevan E3D-ohjelmassa.



Kuva 6. 3D-malli kuitulinjasta Aveva E3D-ohjelmassa (Andritz Oy s.a.).

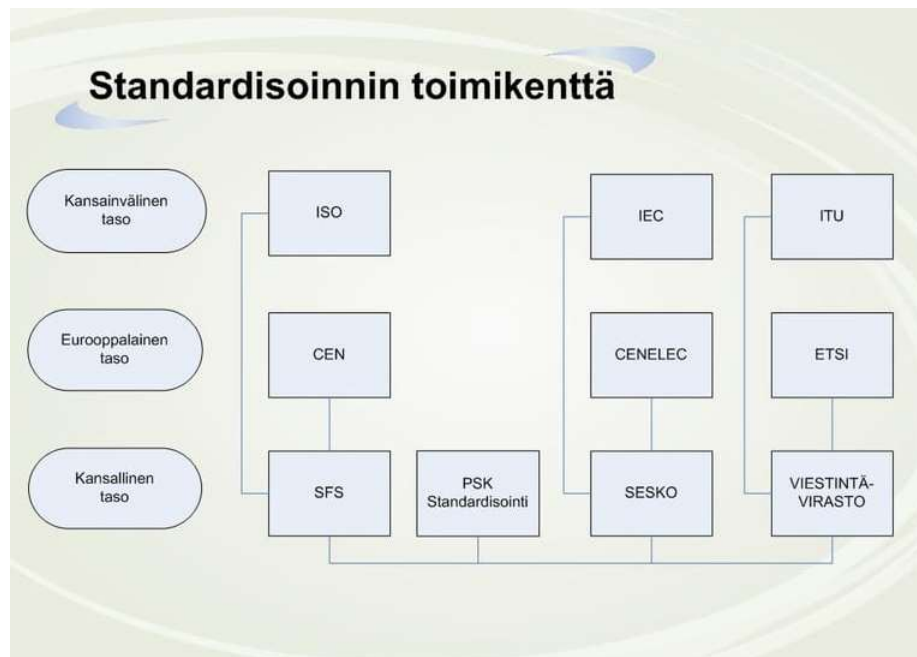
Andritzilla kuitulinjaputkistojen putkistosuunnittelu tehdään 3D-suunnitteluohjelmalla. Suunnitteluohjelmanä käytetään Avevan PDMS-ohjelmaa, sekä uudempaa E3D-ohjelmaa. Näissä ohjelmien peruseriaate on samanlainen. Kolmiulotteiseen ympäristöön suunnitellaan koko laitos, joka sisältää eri osa-alueet kuten teräsrakenteet, laitteet, kanavat, putkistot ja kaapelihiyllyt. Suunnittelutyötä tekee useampi henkilö samanaikaisesti. Mallista nähdään myös muiden suunnittelun osa-alueiden edistymisen ja muutokset. 3D-mallin avulla voidaan varmistaa, etteivät putkilinjat törmää toisiinsa tai muihin rakenteisiin.

3D-ohjelmalla suunnitellaan putkistot putkisto-osilla käyttäen sovitun standardin mukaisia putkistospesifikaatioita. Putkistospesifikaatio sisältää putkiosien mitat ja standardivaatimukset tekstitietona. Putkisto rakennetaan putkistokomponenteilla lisäämällä niitä haluttuun järjestykseen. Putkea reitittäessä siihen tehdään tarvittavat laiteliitokset sekä lisätään tarvittavat instrumentit ja venttiilit. Putkistoreitityksen valmistuttua lisätään primääri- ja sekundäärikannakkeet. Putkistosuunnittelun ollessa kokonaan valmis, katselmoitu ja viimeistelty, tehdään 3D-mallista tarvittavat putkistopiirustukset ja massalista, jotka sisältävät tarvittavan tiedon putkiston kokoonpanoa varten. (Kohvakka 2018.)

3.3 Putkistosuunnittelua määrittelevät standardit

Andritzilla kuitulinjaputkistoja suunnitellaan eri lainsäädäntöjen ja standardien mukaan riippuen toimituksen kohdemaasta ja asiakkaasta. Lainsäädännöt ja standardit vaihtelevat maan ja laitoksen sijainnin mukaan. Standardien avulla varmistetaan putkistoissa virtaavan nesteen tai kaasun kuljettaminen turvallisesti ja luotettavasti. (Bhatia s.a., 3.) Putkistostandardit määrittävät putkistojen minimivaatimukset turvallisuusnäkökulmasta. Kyseiset standardit määrittävät mm. putkistojen luokittelun, käytettävät materiaalit, mitoituksen, valmistuksen, asennuksen, tarkastukset ja testaukset. (SFS-EN 13480-1: 2017, 5.)

Standardit voidaan jakaa kolmeen tasoon, joita ovat kansallinen, eurooppalainen ja kansainvälinen taso (PSK Standardisointi s.a.). Kuvassa seitsemän on esitetty standardisoinnin tasot Suomen näkökulmasta.



Kuva 7. Standardisoinnin tasot (PSK Standardisointi s.a.).

Painelaitedirektiivi PED on yksi tärkeimmistä eurooppalaisissa projekteissa noudatettavista standardeista (Kohvakka 2018). Painelaitedirektiivi (PED) (2014/68/EU) on EU:n laatima ja sitä voidaan soveltaa painelaitteiden suunnitteluun, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuden arviointiin, joiden suurin sallittu paine on yli 0,5 baaria ylipainetta. Direktiivin pääperiaatteena on painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien vapaa liikkuvuus ja korkea turvallisuustaso,

missä tahansa EU-maassa. Painelaitteella tarkoitetaan säiliöitä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/68/EU.) PED pohjautuu painelaitelakiin (1144/2016), joka sisältää laitteiden suunnittelun, valmistuksen ja käytön lakitason säännökset (PSK 4911: 2020).

Painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien tulee täyttää lainsäädännön asettamat turvallisuusvaatimukset. Niistä ei saa aiheutua vaaraa kenenkään terveydelle, turvallisuudelle eikä omaisuudelle. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) valvoo edellä mainittujen tavoitteiden toteutumista. Painelaitteet luokitellaan kasvavan vaaran mukaan luokkiin I–IV. Luokat I–IV määrittelevät painelaitteet vaativuusjärjestykseen kevyimmästä vaativimpaan. Painelaitteen luokan muodostumiseen vaikuttaa mm. sisällön olomuoto ja vaarallisuus, suurin sallittu käyttöpaine ja se, onko kyseessä putkisto vai säiliö. Mitä korkeampi luokka on kyseessä, sitä enemmän tarvitaan tarkastuksia suunnitteluvaiheessa kolmannelta osapuolelta. Asennusvaiheessa korkeampi luokka vaatii enemmän tarkastuskäyntejä työmaalla. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukainen arviointi s.a.)

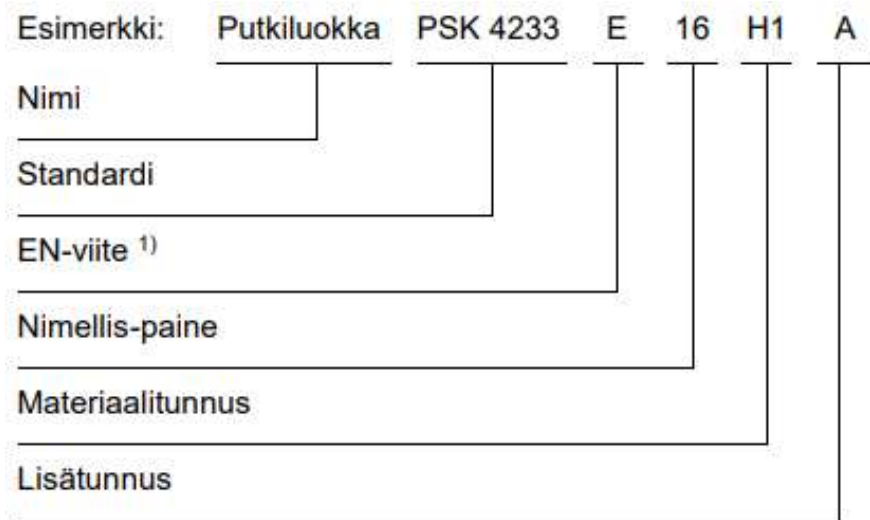
Euroopassa käytettäviä standardeja kutsutaan EN-standardeiksi. EN-standardien mukaan suunniteltavan putkiston tärkein suunnittelussa käytettävä standardi on metallisia teollisuusputkistoja käsittelevä standardi SFS-EN 13480. Standardi on kahdeksan osainen. (EU ja standardisointi s.a.) EN-standardien mukaan suunnitellussa putkistossa on mahdollista käyttää valmiiksi lujuuslas-kettuja PSK:n putkiluokkia.

EN-standardeissa putkikoot annetaan nimelliskokoina. Standardeissa annetaan myös seinämänpaksuussarjat eri putken halkaisijoille. (SFS-EN 10253-2: 2007.) Nimelliskoko (DN) on putkiston osille tarkoitettu halkaisijan kokoluokan ilmaiseva esitystapa (PSK 2402: 2021, 6). Nimellissuuruus ilmoitetaan etuliitteellä DN ja luku, esimerkiksi DN50. Luku on pyöristetty viitearvo todellisesta koosta.

Suomessa käytetään putkistosuunnitteluun PSK-standardeja, jotka on koottu SFS-EN 13480:n pohjalta. Putkiluokkien standardit on standardien ryhmä 42.

Putkiluokalla tarkoitetaan samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa, joiden mitat ja materiaalit on määritetty. PSK- standardin mukaisten osien lujuudet on laskettu ja niitä voidaan näin ollen käyttää myös paineistettujen putkistojen osina. Putkistostandardissa määritetään putkistoon soveltuvat materiaalit, pultit ja kiertetiet sekä tarvittavat komponenttien materiaalitodistukset. (PSK 4201: 2017.)

Käytettävä putkiluokka määritetään virtaavan aineen, korroosio-olosuhteiden, paineen ja lämpötilan mukaan. Putkiluokat on mitoitettu putkiluokan nimellispaineen mukaan huoneenlämpötilassa. (PSK 4201: 2017, 1.) Putkiluokan tunnus muodostuu kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Putkiluokan tunnuksen merkintä (PSK 4201: 2017, 2).

Kuvassa 8 on esimerkkinä standardin PSK 4233 putkiluokka, jonka paineluokka on PN16 ja materiaali on austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs (PSK 4201: 2017, 2–3).

Euroopan ulkopuolella käytetään mm. amerikkalaista ASME-putkistostandardia. ASME on yksi maailman johtavista standardien kehittäjistä, jolla on monia putkistosuunnitteluun liittyviä standardeja. Putkistosuunnittelun kannalta yleisimmät ASME-standardit ovat joko ASME B31.1 Power Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31 tai ASME B31.3 Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31. (About ASME s.a.)

Lisäksi on olemassa monia muita putkistosuunnitteluun liittyviä standardeja, kuten Ruotsissa toimiva SSG ja Japanissa toimiva teollisuusstandardeihin viittaavaa JIS. Eri standardien käytössä luonnollisesti käytetään kyseisen standardin mukaisia vaatimuksia esimerkiksi laskentamenetelmissä sekä osien ja materiaalien valinnassa. Tässä työssä näitä ei kuitenkaan käsitellä tarkemmin.

3.4 Putkimateriaalit

Suurin osa putkistoista voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden putkimateriaalin perusteella. Austeniittisesta teräksestä valmistettuihin putkiin (ns. kirkkaisiin putkiin) sekä hiiliteräsputkiin (ns. mustiin putkiin), jotka on valmistettu seostamattomasta teräksestä. (Perälä 2017, 4.) Ruostumattomat ja haponkestävät teräsmateriaalit ovat yleisimmin käytettyjä putkimateriaaleja sellu- ja paperiteollisuudessa, sillä prosesseissa käytetään korroosiota aiheuttavia nesteitä. (Comparison ISO/ANSI Piping System, 3.)

Kuitulinjaputkistoissa korroosiolle aiheutuvia prosessipaikkoja on mm. valkaisu- ja haihduttamossa. Noin 75 % kuitulinjan putkistoista valmistetaan materiaalin H1A-putkiluokilla. (Andritz Oy s.a.) H1A-putkiluokalla valmistetut putket ovat austeniittisia ruostumattomia CrNi-teräksiä, jonka materiaalitunnus on 1.4307. Hiiliteräsputkia käytetään usein kohteissa, joissa ei käytetä korroosiota aiheuttavia nesteitä. Kuitulinjaputkistoissa mm. höyryputkille käytetään kuumalujia hiiliteräsputkia, sillä niiden lämmönkesto on parempi austeniittisiin teräsputkiin verrattuna. Yleisin hiiliteräksissä käytettävä putkimateriaali on P235GH. Kuitulinjaputkistoissa käytetään putkimateriaalina myös titaania. Titaaniputket ovat erittäin kalliita. Tämän takia niitä käytetään vain kohteissa, joissa se on välttämätöntä, esim. valkaisun putkistossa klooridioksidin lisäyksen jälkeen. (Andritz Oy s.a.)

3.5 Putkiston osat

Kuitulinjan putkisto koostuu putkilinjoista, jotka muodostavat prosessikytkentöjen mukaiset laitteiden ja säiliöiden yhdistykset. Putkilinja alkaa ja päättyy aina johonkin, esimerkiksi pumpusta säiliöön. Putkilinja koostuu erilaisista putkenosista, joita ovat suoran putken lisäksi käyrät, supistuskappaleet, T-kappaleet, laipat ja putkistovarusteet. Putkistovarusteita ovat mm. erilaiset venttiilit, lauhteenpoistolevyt, sihdit, instrumentit ja mittalaitteet. PSK-standardissa on

eritelty jokaiselle putkenosalle mitat ja materiaalit niiden putkiluokan mukaan. (PSK 4201: 2017.) Putkiston osat laippoja lukuun ottamatta valmistetaan standardin SFS-EN 13480-2...5 mukaan. Laipat valmistetaan standardin SFS-EN 1092-1:2018 mukaan. (PSK 4233: 2021, 1.)

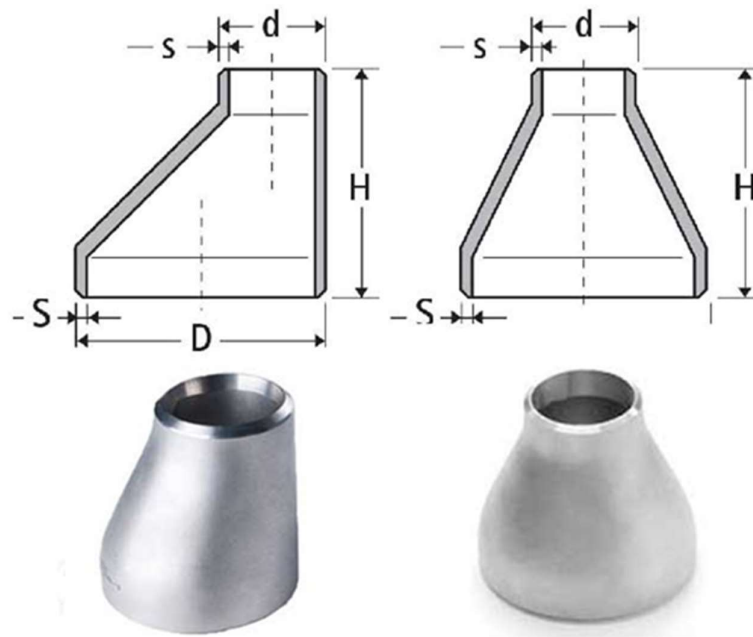
Kuvassa yhdeksän on esitetty erilaisia putkenosia. Yleisimmät käytettävät putkenosat ovat 90 asteen putkikäyrä, t-haara ja supistuskappale.



Kuva 9. Erilaisia putkiston komponentteja (Introduction to Piping System s.a).

90 asteen putkikäyrä on yleisin putkistoissa käytettävä komponentti. Putkikäyrät eritellään käynnöksen asteluvun ja käynnöksen käynnösäteen mukaan. Yleisin käynnösäde käyrälle on 1,5 kertaa putkikoon ulkohalkaisija, jonka merkintätapa EN-standardien mukaan on 3D. (Perälä 2017.)

Supistuskappaleet ovat osia, joita käytetään putkikoon muuttamiseen. Supistuskappaleita on keskeisiä ja epäkeskeisiä. Kuvassa 10 on esitetty epäkeskeinen supistuskappale ja keskeinen supistuskappale.



Kuva 10. Epäkeskeinen ja keskeinen supistuskappale (ASME B16.9 Reducer Manufacturers s.a).

Kuvasta 10 nähdään, että keskeisten supistuskappaleiden putkien keskilinjat ovat samassa linjassa ja epäkeskeisten supistuskappaleiden toinen sivu on suora eikä putkilinjojen keskilinjat ole linjassa. Epäkeskeisiä supistuskappaleita voidaan käyttää esimerkiksi pumppujen imulinjoissa. Näin voidaan varmistaa, että ilmaa ei pääse kerääntymään putkeen. (Reducers in Process Piping s.a.)

Putkiston haaroittamiseen voidaan käyttää T-kappaletta tai putki-istutusta. T-kappale on t:n muotoinen putken osa, jonka avulla on mahdollista haaroittaa putki. Putki-istutuksessa halkaisijaltaan suurempaan putkeen tehdään reikä, johon hitsataan halkaisijaltaan pienempi putki. T-kappaleita voi olla supistettuja tai täysikokoisia. (Perälä 2017.)

Laippoja käytetään, kun putkistoon halutaan liittää laitteita, venttiilejä tai muita erikoisuuksia, kuten sokeoinnit ja erotukset. Yleisimmät laippatyypit ovat kaululaippa sekä kaulus ja irtolaippa. Edellä mainitut laipat on esitetty kuvassa 11. Laippaliitos koostuu laipasta, tiivisteestä ja pulteista. Näiden valinta tehdään standardien mukaan. Liitântälaippojen lisäksi käytetään umpilaippaa. Umpilaippa on umpinainen laippa, jonka tarkoitus on sulkea putki, venttiili tai laiteyhde. Umpilaippa mahdollistaa helpon avaamisen, joka on hyödyllinen

esimerkiksi huolto- tai tyhjennystarkoitukseen. (Introduction to Flanges s.a.)
Umpilaippa nähdään kuvassa 11.



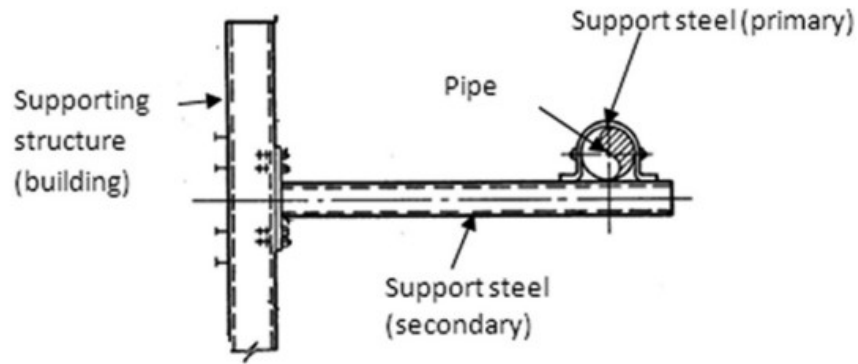
Kuva 11. Irtolaippa ja kaulus, kauluslaippa ja umpilaippa (Flange s.a).

Putkistoissa tarvitaan venttiilejä virtauksen säätämiseen prosessin sisällä. Venttiilit voivat olla käsiventtiilejä tai automaattitoimisia. Käsiventtiilit ovat venttiilejä, joiden säätäminen ja sulkeminen tapahtuu manuaalisesti. Automaattiventtiilejä ohjataan automaatiojärjestelmällä ja ne vaativat erillisen pneumaattisen, hydraulisen tai sähkökäyttöisen toimilaitteen. Venttiilit tulee valita huolellisesti. Ne ovat putkiston kalleimpia varusteita ja ohjaavat prosessin toimintaa. (Introduction to Valves s.a.)

3.6 Putkiston kannakointi

Putkiston kannakoinnin tehtävänä on kannatella putkiston aiheuttama painokuorma, ohjata putkiston liikkeitä sekä ohjata ja siirtää putkistosta aiheutuvat staattiset (tai mahdolliset dynaamiset) kuormat ympäröiviin rakenteisiin. Putkistojen kannakointi koostuu putkistoon asennettavista primääri- ja sekundäärikannakkeista. Putkiston kannakointi tehdään standardien mukaan. Osa kuitulinjan putkistoista on suurihalkaisisia putkilinjoja. Tällöin kannakointi on tehtävä huolellisesti, koska kyseisistä putkistoista tulee erittäin painavia. (SFS-EN 13480-3: 2017, 136.) Opinnäytetyössä putkistojen kannakoinnin kustannus otetaan huomioon putkiston kokonaiskustannusarviossa.

Primäärikannakkeet ovat suoraan putkistoon kiinnitettäviä kannakkeita. Nämä kiinnitetään putkeen hitsaamalla tai pulttikiristeisellä sangalla. Primäärikannakkeita ovat mm. liukukannattimet, putkisangat ja riippukannattimet. Sekundäärikannakkeet ovat laitoksen rakenteisiin kiinnitettäviä tukia, joiden ylä- tai alapuolelle asennetaan primäärikannakkeet. Sekundäärikannakkeet valmistetaan erilaisista tukiraudoista. (SFS-EN 13480-3: 2017, 136–138.)



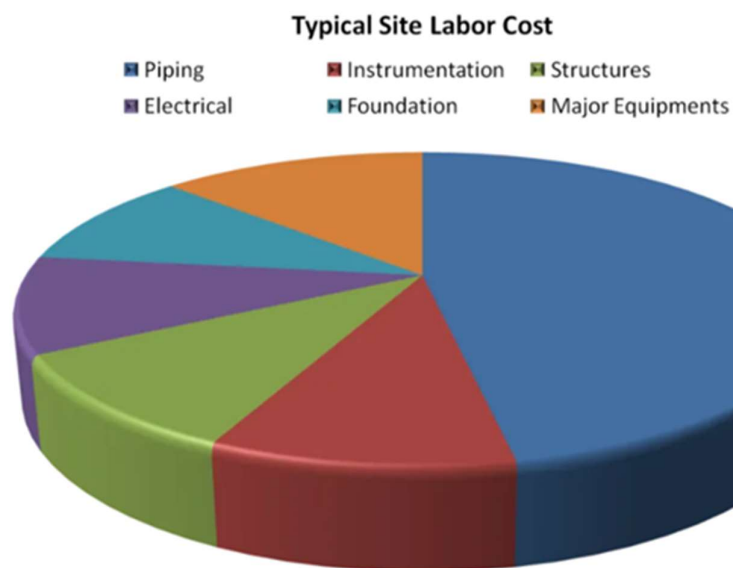
Kuva 12. Primääri- ja sekundäärikannake putkiston kannakoinnin tukena (Kleio 2017, 2).

Kuvassa 12 on esitetty esimerkki putken kannakoinnista. Sekundäärikannake on kiinnitetty laitoksen rakenteisiin ja sen päälle on asennettu primäärikannake.

3.7 Putkiston kustannukset

Putkiston kustannukset ovat merkittävässä roolissa koko työmaakustannuksista. Andritzin nykyinen putkiston kustannuslaskenta perustuu toteutuneista projekteista kerättyyn dataan. (Nisula 2021.)

Kuvassa 13 on esitetty laitospöjektin asennuskustannusten jakautuminen.



Kuva 13. Laitoksen asennuskustannusten jakautuminen (Overview to Piping Engineering).

Kuvasta 13 huomataan, että putkiston kustannusten osuus on merkittävä koko laitoksen asennuksien kokonaiskustannuksista.

Putkiston kustannukset muodostuvat suunnittelukustannuksista, materiaalikustannuksista ja asennuskustannuksista. Putkiston suunnittelukustannukset ovat noin 5 % (Perälä 2017), materiaalikustannukset noin 30 % (Bhatia s.a., 30) ja asennuskustannukset noin 65 % putkiston kokonaiskustannuksista. Prosentuaaliset kustannukset ovat suuntaa antavia. Esimerkiksi vähemmän käytetyt, seostetut materiaalit ovat huomattavasti kalliimpia ns. tavallisiin hiili-teräksistä valmistettuihin putkiin verrattuna. Seostettuja putkimateriaaleja käytäessä nousevat materiaalikustannukset selvästi.

Putkiston kokonaiskustannuksiin vaikuttaa myös eristekustannukset ja kannakustannukset.

Putkiston suunnittelukustannukset

Suunnittelukustannuksiin vaikuttaa projektin tyyppi. Kokonaan uuden kuitulinjan putkistosuunnittelu voi olla kustannustehokkaampaa verrattuna vanhaan yksikköön tehtäviin muutostöihin. Vanhaan yksikköön tehtävät muutostyöt vaativat putkistosuunnittelulta enemmän vierailuja laitoksella. Nykyään vanhojen tehtaiden muutoksissa voidaan usein hyödyntää laser-keilauksia, joiden avulla työmaakäynnit vähentyvät ja saadaan mittatarkkaa informaatiota putkistosta. (Perälä 2017.)

Kuitulinjaputkiston suunnittelukustannuksiin voi vaikuttaa myös suunnitelmiin tehtävien muutostöiden määrä. Jo tehtyjen putkistosuunnitelmien muuttaminen lisää automaattisesti suunnitteluun käytettäviä työtunteja. Joka tapauksessa putkistosuunnitteluun joudutaan tekemään muutoksia, sillä projektin alussa ei ole selvillä kaikkia tarvittavia lähtötietoja laitteista, venttiileistä ja instrumenteista yms. Nämä tiedetään vasta varusteiden tilaamisen jälkeen. (Perälä 2017.)

Putkiston materiaalikustannukset

Kuitulinjaputkiston materiaalikustannukset riippuvat toimitettavan kohteen vaatimuksista. Kuitulinjaputkistojen paineluokat eivät ole kovin suuria, mutta putkikoot ovat suuria. Suuri putkikoko nostaa putken seinämävahvuutta, jolloin putkisto vie huomattavasti enemmän materiaalia metriä kohden. (EU ja standardisointi, Yhdenmukaistetut standardit s.a.) Suoran putken seinämävahvuus e voidaan laskea kaavan 1 avulla, jos ulkohalkaisijan suhde sisähalkaisijaan on alle 1.7. Kaavasta 1 huomataan ulkohalkaisijan vaikutus seinämävahvuuteen. (SFS-EN 13480-3: 2017, 19.)

$$e = \frac{p_c D_o}{2fz + p_c} \quad (1)$$

jossa	e	seinämävahvuus	[mm]
	p_c	laskentapaine	
		[MPa]	
	D_o	ulkohalkaisija	[mm]
	f	suunnittelujännitys	
		[MPa]	
	z	liitoksen lujuuskerroin	[-]

Käytettävän materiaalin, paineluokan, putkikoon ja seinämäpaksuuden perusteella määritetään putken materiaalin metrihinta (Bhatia s.a., 26). Suuri putkikoko nostaa automaattisesti putkiston kustannuksia. Myös putkilinjoihin sijoitettavat komponentit, esimerkiksi venttiilit nostavat putkiston materiaalikustannuksia. Komponentit ovat tyypillisesti kalliimpia kuin suora putki.

Myös laippojen valinnalla voidaan vaikuttaa putkiston materiaalikustannuksiin. Suurien putkikokojen kohdalla on yleensä järkevää käyttää kaulusta ja irtolaippaa, sillä seostetusta teräksestä valmistettu kauluslaippa on kallis putkiosa. Kaulus valmistetaan seostetusta teräksestä ja irtolaippa mustasta teräksestä. Putkiluokkastandardien mukainen kaulus valmistetaan koneistamalla. Puristetun kauluksen käyttö on halvempi ratkaisu verrattuna koneistettuun kaulukseen. Puristetun kauluksen kanssa tulee ottaa huomioon putkiston paine, sillä puristettu kaulus ei ole yhtä paineenkestävä kuin koneistettu.

Kustannukset eri putkimateriaalien välillä vaihtelevat suuresti. Erikoisempien putkimateriaalien käyttämisellä putkistoissa on huomattava kustannusvaikutus. Esimerkiksi ruostumattomat teräsputket ovat austeniittisista putkimateriaaleista edullisimpia. Niitä käytetään paljon prosessiteollisuudessa ja ne ovat helposti saatavilla. Haponkestävät putket ovat kalliimpia ruostumattomiin teräsputkiin verrattuna. Ne kestävät paremmin korroosiota seostuksensa vuoksi. Seostus tekee niistä myös kalliimpia. Kuitulinjaputkistot vaativat myös titaaniputkia tiettyihin prosessin osiin. Titaaniputket ovat haponkestäviä kalliimpia putkia. (Andritz Oy s.a.)

Putkiston asennuskustannukset

Kuitulinjaputkiston asennuskustannuksien suuruuteen vaikuttaa laitoksen kapasiteetti. Mitä suurempi laitos on kyseessä, sitä suuremmat paineluokat ja putkikoot tarvitaan. Putkiston asennuskustannuksiin vaikuttaa olennaisesti putkiston materiaali, putkiluokka ja putkikoko. Suuri putkikoko lisää seinämäpaksuuden ja paineluokan kasvua, jotka lisäävät hitsausaumojen hitsaamiseen kuluvaa aikaa. Tämä nostaa automaattisesti asennuskustannuksia.

Erilaisilla materiaaleilla voi olla erityisvaatimuksia mm. lämpökäsittelyistä ja tarkastusvaatimuksista, mikä tulee ottaa huomioon asennuskustannuksissa. Asennuskustannuksiin vaikuttaa myös putkivarusteiden määrä, sillä hitsausaumojen ja laippaliitosten määrä nostaa automaattisesti asennuskustannuksia. (Perälä 2017.)

4 KUITULINJAN PUTKISTOT

Yleisesti kuitulinjaan kuuluu kuitulinjan prosessit puunkäsittelystä sellun kuivaamiseen ja lajitteluun. Andritzilla kuitulinja alkaa keitosta ja päättyy valkaisuun. Täten työssäni tutkittavat putkistot rajautuvat Andritzn organisaatiojaon osaluueiden mukaan. Sellutehtailla ruostumattomat teräsputket ovat yleisiä. Lähes kaikki putket ovat ruostumattomia tai haponkestäviä teräsputkia paitsi höyry- ja lauhdeputket. (Comparison ISO/ANSI Piping System, 3.) Kuitulinjan putkistojen paineluokat ovat suurimmaksi osaksi paineluokkia PN6–PN25. Joissakin tapauksissa käytetään myös PN40 paineluokkaa. (Andritz Oy s.a.)

4.1 Ruskean massan putkistot

Ruskean massan putkistoihin kuuluvat keiton, pesun, happivaiheen ja lajittelun putkistot. Ruskean massan putkistot ovat suurimmaksi osaksi austeniittista ruostumatonta CrNi-terästä, jonka putkiluokkatunnus on H1 ja materiaalitunnus 1.4307. Paineluokat vaihtelevat PN10–PN25 välillä. Ruskean puolen putkistojen putkikoot vaihtelevat, pienimmät putkilinjat ovat DN15 ja suurimmat putkilinjat DN1200. (Andritz Oy s.a.)

Väli- ja matalapainehöyryputkien putkimateriaaleina käytetään kuumalujia ja seostamattomia teräksiä. Näiden putkiluokkatunnuksia ovat C1 ja B1 ja materiaalitunnus P235GH. Matalapainehöyryputket valmistetaan PED I:n mukaan ja välipainehöyryt PED II:n ja III:n mukaan. Hönkäsystemi on suunnittelun kannalta haastava keittämölle ja pesulle, sillä se on suuri linja, joka sisältää monia haaroituksia. (Andritz Oy s.a.)

Keiton tärkeimpiä putkistoja ovat höyryputket, kemikaalinsyöttöputket ja hajukaasujen keräily. Massalinjaa ei tässä luvussa käsitellä, sillä siitä kerrotaan MC-putkistojen luvussa. Keiton putkistot koostuvat monista eri putkilinjoista ja pisimmät putkilinjat ovat jopa yli 100 metriä pitkiä. Keiton putkistoissa virtaa mm. happoja, emäksiä, lipeää ja alkalioita, palavia kaasuja, höyryä ja ilmoja, palavia nesteitä, lietteitä ja sulppuja sekä vesiä ja lauhdeita. (Andritz Oy s.a.)

Keiton putkistot ovat pääsääntöisesti ruostumatonta terästä, jonka putkiluokkatunnus on H1 ja paineluokat PN10–PN25 välillä. Putkistoista löytyy myös hiiliteräsputkia (C1 ja B1), muoviputkia sekä Duplex-teräsputkia. Keittämön putkistojen suunnittelu on monimutkaista ja vaativaa, sillä putkistoja varten on tehtävä paljon jännitysanalyysejä vaativaa laskentaa. Tämä johtuu siitä, että keittämössä on monta putkilinjaa, joissa on korkea paine ja lämpötila. (Andritz Oy s.a.)

Keiton putkistot alkavat hakesiilolta ja päättyvät ruskean massan puskusäiliöön. Hakeputkissa virtaa nimensä mukaisesti haketta, joka menee keittimeen usein imeytystornin kautta. Imetystorniin lisätään hakkeen lisäksi keittolipeää.

Itse keittimeen tulee pesu- ja keittolipeäputkistoja, höyryputkia, laihamustalipeäputki ja paineilmaputkia. Keittimen jälkeen on laiha mustalipeäputkisto sekä hajukaasu- ja paisuntahöyryputkistoja. (Andritz Oy s.a.)

Ruskean massan pesun putkistot alkavat ruskean massan puskusäiliöstä ja päättyvät happidelignifointivaiheeseen. Pesun putkistoissa virtaa lipeää, lietteitä ja sulppuja, ilmoja, vesiä, lauhteita ja muita nesteitä, kuten magnesiumsulfaattia. Putkistot valmistetaan pääosin H1A-putkiluokalla, jonka putkimateriaali on 1.4307. Nollavesilinjoiissa sekä pesunjälkeisessä massalinjassa käytetään putkiluokkaa H2A ja putkimateriaalia 1.4432. Pesureilta lähtevät suodolinjat on suunnittelussa tärkeää huomioida, sillä ne ovat melko suuria putkia ja niissä virtaa pesuvesi. (Andritz Oy s.a.)

Happivaiheen putkistoissa virtaa vesiä, höyryä, ilmoja, lipeää, kaasuja ja sulppuja. Myös happivaiheessa suurin osa putkistoista valmistetaan H1A-putkiluokalla ja putkimateriaalilla 1.4307. (Andritz Oy s.a.)

4.2 Valkaisuputkistot

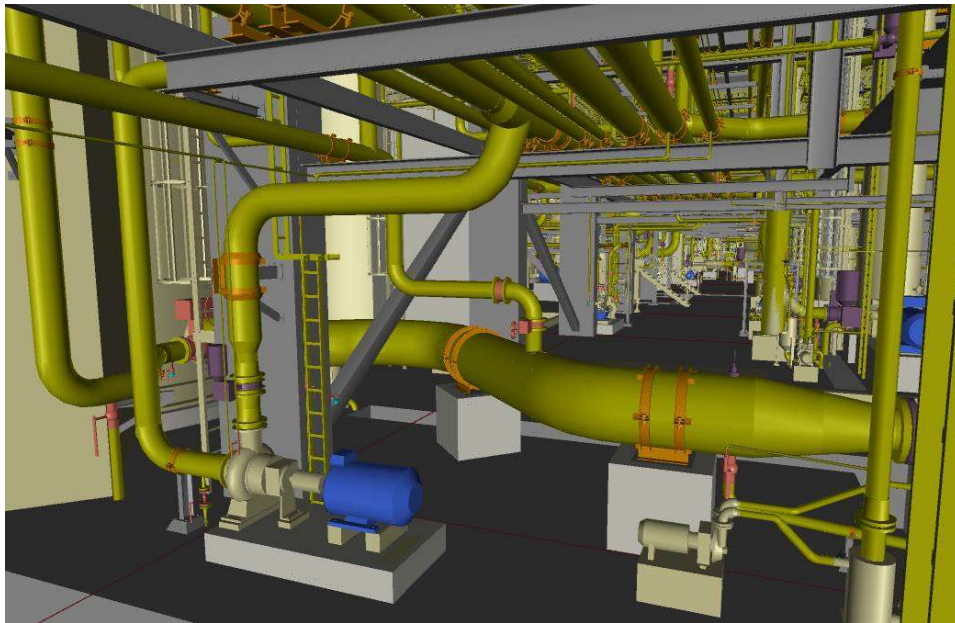
Valkaisuputkistoja ei tässä opinnäytetyössä käsitellä tarkasti, sillä ne eivät sisälly työn aihepiiriin. Valkaisuputkistoissa käytetään eri putkiluokkia, kuin muissa kuitulinjan putkistoissa. Valkaisuputkistojen paineluokat ovat PN10 ja PN25 välillä. Valkaisuputkistot alkavat ruskean massan varastotornista ja päättyvät valkaistun massan varastotorneihin. Valkaisussa on kolme vaiheita ja jokaisella vaiheella on omat putkistot. Valkaisuvaiheita ovat D0, EOP ja D1. EOP-vaiheessa prosessissa kiertää emäksistä suodosta ja D0- sekä D1-vaiheissa prosessissa kiertää hapanta suodosta. (Andritz Oy s.a.)

Putkistoissa tulee käyttää vähintään haponkestävää teräsmateriaalia. Eri valkaisuvaiheiden välillä käytetään erilaisia putkimateriaaleja. Esimerkiksi putkistoissa tulee käyttää putkimateriaalina titaania, kun prosessiin on lisätty klooridioksidi ja putkimateriaali vaihtuu frp-komposiittiputkeen, kun klooridioksidi on reagoinut prosessissa. (Andritz Oy s.a.)

4.3 Keskisakean massan putkistot

Keskisakean massan putkistot eli MC-putkistot ovat lähinnä massalinjoja. Massa on sakeaa (10–12 %) ja se kuljetetaan erityisillä keskisakean massan pumppuilla. Putkistoissa hake virtaa prosessin eri vaiheissa eteenpäin muuttuen lopulta selluksi. Suurin osa massalinjoista valmistetaan H1A- tai H2A-putkiluokalla ja niiden paineluokkana käytetään PN25. H1A-putkiluokan materiaalina käytetään austeniittista ruostumatonta CrNi-terästä, jonka materiaalitunnus on 1.4307. H2A-putkiluokan materiaali on austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs ja materiaalitunnus 1.4432. Massalinjojen putkikoot ovat suuria ja ne vaihtelevat putkikokojen DN250–DN1200 välillä. (Andritz Oy s.a.)

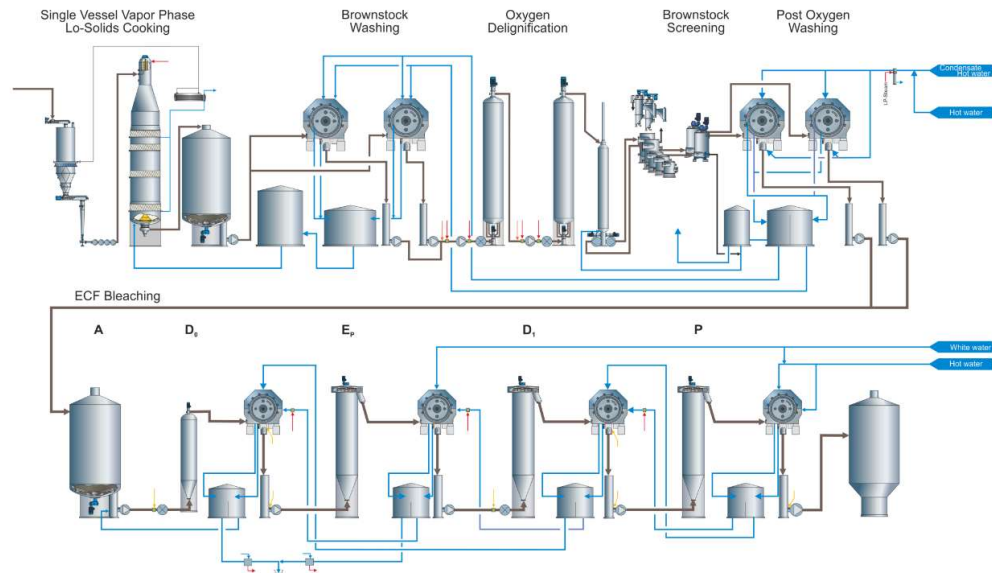
Keskisakean massan putkistojen suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota putkien vaatimaan kannakointiin, sillä putkikoot ja paineet ovat suuria. Kuvassa 14 on esitetty massalinja kuitulinjalla.



Kuva 14. Massalinja kuitulinjalla (Andritz Oy s.a).

Kuvassa 14 massalinja on selvästi suurempi putkikooltaan verrattuna muihin kuvassa näkyviin putkistoihin. Kuvassa nähdään esimerkki, kuinka massalinja voidaan kannakoida.

Kuvassa 15 on esitetty ruskealla keskisakean massan putkisto kuitulinjan eri vaiheissa. Kuvasta nähdään, että massalinja alkaa hakesiilolta ja etenee monen prosessivaiheen läpi valkaistun massan varastotornille.



Kuva 15. Keskisakean massan putkisto kuitulinjan prosessien vaiheissa (Andritz Oy s.a.).

Massalinja alkaa hakesiilolta, josta se pumpataan kolmen hakepumpun avulla keittimeen. Hakeputki menee ensin imeytystorniin, josta se syötetään keittimen yläosaan. Keittimen alaosasta sulppu syötetään massalinjaa pitkin ruskean massan puskusäiliöön. Puskusäiliön pohjalta sulppu menee pudotusputkeen, josta se pumpataan MC-pumpun avulla pesuriin. Pesun jälkeen sulppu jatkaa happidelignifiointivaiheeseen. (Andritz Oy s.a.)

Happivaiheessa pesusta tuleva sulppu menee pesun jälkeiseen hapen syöttöpudotusputkeen. Pudotusputkesta massa pumpataan MC-pumpulla kahden happireaktorin kautta puskusäiliöön. Ennen happireaktoria massalinjaan sekoitetaan happea. Happivaiheen jälkeinen pesu tapahtuu samalla periaatteella, kuin ruskean massan pesu. Pesurilta massa menee pudotusputkeen, josta se pumpataan MC-pumpulla ruskean massan varastotorniin. (Andritz Oy s.a.)

Ruskean massan varastotornista massa syötetään pudotusputkeen, josta se pumpataan MC-pumpulla valkaisun D0-reaktoriin. Ennen MC-pumppua massaan lisätään laimea rikkihappo ja ennen reaktoria siihen sekoitetaan klooridioksidia. Klooridioksidivedestä johtuen sekoittimen ja reaktorin välinen putki on titaania. Reaktorista massa syötetään pesuriin ja sieltä EOP-syöttöpudotusputkeen. Pudotusputkesta massa pumpataan MC-pumpulla EOP-reaktoriin hapensyöttimen kautta, jossa massaan sekoitetaan vetyperoksidia. EOP-reaktorista massa menee pesuriin ja täältä D1-pudotusputkeen. (Andritz Oy s.a.)

D1-valkaisu on lähes samanlainen, kuin D0-valkaisuprosessi. Pudotusputkesta massa pumpataan MC-pumpulla D1-torniin. Ennen MC-pumppua massaan lisätään laimeaa rikkihappoa, jonka seurauksena pumpun jälkeisen putken putkiluokka muuttuu H5A:n. Ennen D1-reaktoria massaan sekoitetaan klooridioksidivettä. Klooridioksidisekoittimen ja D1-reaktorin välinen putki on näin ollen titaania. D1-reaktorista massalinja menee pesuriin ja sieltä valkaistun massan pudotusputkeen. Pudotusputkesta valkaistu massa pumpataan MC-pumpulla valkaistun massan varastotorniin. (Andritz Oy s.a.)

5 PUTKISTON KUSTANNUSARVIOTYÖKALU

5.1 Työn toteutuksen kuvaus ja rajaus

Andritzn kuitulinjaosaston toimituskokonaisuuksiin sisältyy usein myös laitteiden väliset putkistot. Nykyisin tarjottavien laitekokonaisuuksien putkiston kustannusarvio tehdään toteutettujen projektien perusteella. Harvoin on kuitenkaan aivan samanlaisia projekteja, joten vanhojen vertailu voi olla hankalaa. Käytettävällä kustannuslaskentamenetelmällä on todettu myös suurehko virheen mahdollisuus. Työn tavoitteena on kehittää laskentamalli, jonka avulla voidaan laskea kustannusarvio tarjottavasta putkistosta. Laskentamallin tulee olla nopeasti toteutettava ja mahdollisimman tarkka.

Työn alussa tutkittiin kuitulinjan putkistoja. Putkistot jaoteltiin putkiluokan ja putkilinjat putkenosien mukaan. Kuitulinjaputkistoista todettiin noin 75 % olevan H1A-putkiluokkaa. Tämän johdosta valittiin tarkasteltavaksi putkiluokaksi H1A. Laskentamalliin rajattiin putkikoot DN25–DN600 ja käytettävät paineluoikat ovat PN6–PN40. Koska kuitulinjan putkistot ovat niin suuri kokonaisuus, oli työn laajuutta rajattava. Toisaalta työtä haluttiin myös rajata siinä mielessä,

että voitaisiin tehdä mallinnus laskentaohjelmaa käyttäen johonkin putkiston osuuteen. Saatujen tulosten perusteella tehdään tarvittavia johtopäätöksiä jatkokkehitystä varten.

Tilaajan kokemusperäiseen tietoon nojaten ja kuitulinjan putkistoihin perehtymisen ansiosta päätettiin alustavasti yhden putkilinjan koostuvan pituuden mukaan seuraavasti: 10 metrin putkiosa arvioidaan koostuvan suoran putken lisäksi 1 kappaleesta putkikäyrää, 1 supistuksesta, 1 kauluksesta ja 1 irtolapasta.

Putkiston kustannusten arvioinnin todettiin olevan mahdollista joko pituuteen tai painoon perustuvalla menetelmällä. Kustannusarvio valittiin muodostettavan putkiston kokonaispainon perusteella. Tähän päädyttiin koska Andritzilla on enemmän käytettävissä olevaa massoihin perustuvaa kustannustietoa. Kustannusarvio muodostetaan massojen ja yksikköhintojen perusteella. Yksikköhintaa käytetään putkimateriaalien ja asennuksen kustannuslaskentaan.

Putkistovarusteita ei tässä työssä oteta huomioon, sillä Andritzilla niiden ei katsota kuuluvan putkistoon hinnoittelumielessä. Putkistovarusteita ovat mm. venttiilit, suodattimet ja instrumentit. Työssä jätetään myös huomioimatta putkistojen eristekustannukset. Eristykset hinnoitellaan omana kokonaisuutena, eikä se täten kuulu Andritzilla putkistojen kustannusarvioon.

5.2 Käytetyt menetelmät

Työn tuloksena on tehty kuitulinjaputkiston kustannusarvion laskentamalli, josta saadaan selville kuitulinjaputkiston kokonaiskustannusten muodostuminen putkiluokkien mukaan. Työn alkuvaiheessa päädyttiin laskentamallin pohja tekemään Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Valinta tähän oli helppo, koska ohjelma on yleisesti käytössä. Olemassa oleva tieto on myös hyvin useasti Excel-taulukoissa ja näin ollen sen siirtäminen laskentapohjaan on helppoa.

Laskentamalliin on eritelty jokaiselle putkiluokalle oma välilehti, josta nähdään helposti kyseisen putkiluokan kustannusarvio. Tilaajan pyynnöstä opinnäytetyöstä saatavat kustannusarvioiden hinnat jätetään näyttämättä taulukoista ja

kuvaajista. Kustannusarvioista tehtiin kuvaaja, josta näkee jokaisen putkiluokan kustannusten muodostumisen sekä kuvaajia kustannusten jakautumisesta putkikoottain putkiluokkien välillä. Liitteessä 1 on esitetty laskentamallin yleisnäkymä.

Putkiluokkien seinämäpaksuudet valittiin PSK:n putkiluokkastandardien mukaan. Tarkasteltavan putkiluokan komponenttien paino on valittu tilaajan käyttämästä putki- ja putkiosaluettelosta (OSTP-Outokumpu Stainless Tubular Products s.a.) Osa putkikäyrien ja supistuksien painoista laskettiin itse, sillä kaikkien osien yksikköpainoa ei ollut saatavilla.

Putkikäyrän massan laskennassa käytettiin suoran ympyrälieriön tilavuuden kaavaa 2, jossa ympyrälieriön korkeutena (h) käytettiin käyrän keskihalkaisijan pituutta. Kaavan avulla laskettiin tilavuudet käyrän ulko- ja sisämitoille, jolloin seinämän tilavuus saatiin vähentämällä ulkomittojen tilavuudesta sisämittojen tilavuus.

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (2)$$

jossa	V	tilavuus	
	$[\text{mm}^3]$		
	D	halkaisija	$[\text{mm}]$
	h	korkeus	$[\text{mm}]$

Putken supistuskappaleen massa laskettiin katkaistun suoran ympyräkartion tilavuuden avulla kaavalla 3. Kaavan avulla laskettiin tilavuudet kappaleen ulko- ja sisämitoille. Supistuskappaleen seinämän tilavuus saatiin vähentämällä ulkomittojen tilavuudesta sisämittojen tilavuus.

$$V = \frac{\pi h}{12} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2) \quad (3)$$

jossa	V	tilavuus	
	$[\text{mm}^3]$		
	D_1	kartion suurempi halkaisija	$[\text{mm}]$

D_2	kartion pienempi halkaisija	[mm]
h	korkeus	[mm]

Tietopohjaan on asetettu vakioksi ns. sovittu putkilinjan perusyksikkö, joka koostuu aiemmin mainituista 10 metristä suoraa putkea, 1 kappaleesta putki-käyrää, 1 supistuksesta, 1 kauluksesta ja 1 irtolaipasta. Putkilinjan perusyksikkö on mahdollista muuttaa.

Putkiston kannakointien osalta käytetään myös yksikköhintaa kustannuslaskennassa.

5.3 Laskentamallin käyttö

Kustannusarviota varten tulee arvioida projektikohtaisesti putkimetrien määrä jokaiselle kyseisen paineluokan putkikoolle. Laskentamallia käytetään tarjoussenteko vaiheessa, jolloin käytössä on putkilinjaluettelo, PI-kaavio ja/tai alustava 3D-malli. Laskentamalliin syötettävät putkimetrit arvioidaan ko. aineistojen perusteella. Putkilistoista eritellään tarkasteltavat putkiluokat ja putkikoot. Tämän jälkeen poimitaan putkilinjojen putkimetrit.

Laskentamalliin syötetään putkilinjojen putkimetrit, josta Excel laskee automaattisesti kyseisen putkiluokan putkiston kokonaispainon ja kokonaiskustannusarvion. Laskentamalli laskee syötettyjen putkimetrien ja asetetun putkilinjan avulla ensin putkiston massan. Toteutuneiden kustannusten jälkilaskennasta on saatu kokemusperäinen tieto, että putkiston jälkeisestä kokonaispainosta noin 60 % on kannakkeiden kokonaispaino. Putkiston kokonaispainon perusteella muodostuu putkiston hinta. Putkiston kustannusarvio muodostuu putkiston kokonaispainosta, kannakkeiden painosta, sekä putkiston kustannuksesta asennettuna ja kannakkeiden kustannuksesta asennettuna.

Taulukossa 1 on esitetty E6H1A-putkiluokan arvioidut putkimäärät putkistolle, putkiston kokonaispaino 10 metrille sekä putkiston kokonaispaino, kun jokaisen putkikoon putkimetrejä on 100 metriä. Putkiston kokonaiskustannusarvio jätetään näyttämättä. Putkimetrien määrä on työn havainnollistamiseksi laitettu jokaiselle putkikoolle 100 metriä. Laskennassa on yhden perusyksikön

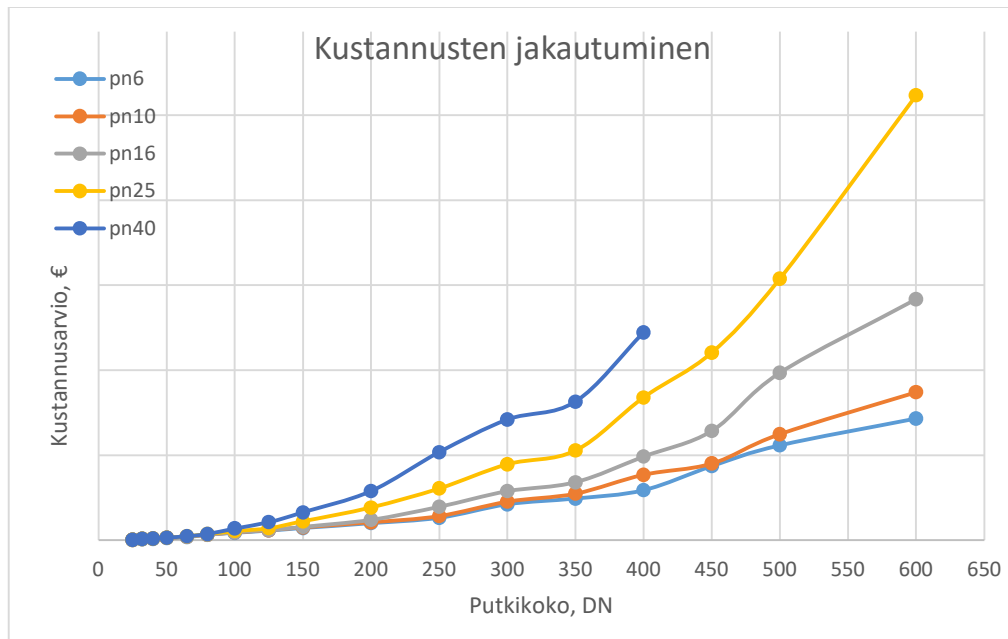
asetettu koostuvan 10 metristä suoraa putkea, 1 kappaleesta putkikäyrää, 1 supistuksesta, 1 kauluksesta ja 1 irtolaipasta.

Taulukko 1. Laskentamallin antamat tulokset E6H1A-putkiluokalle. Jokaiselle putkikoolle on arvioitu 100 metriä putkea. Taulukosta on jätetty pois putkiston kustannusarvio.

DN	Putkimetri kg/10m	Arvioitu putkimäärä, m	Käyrä kg/kpl	Supistus kg/kpl	KUITULINJAPUTKISTON ESTIMOINTI				Putkiston kokonaispaino, kg	Putkiston kokonaispaino, kg	Kannakkeet, 60% putkiston painosta, kg	Kustannusarvio- hinta, €
					Kaulus kg/kpl	Irtolaippa kg/kpl	Putkiston Kokonaispaino, kg/10m					
25	12,8	100	0,2	0,06	0,16	1	14	142	85			
32	16,3	100	0,3	0,1	0,2	2	19	189	113			
40	18,7	100	0,42	0,08	0,26	3	22	225	135			
50	23,5	100	0,7	0,2	0,36	3	28	278	167			
65	29,8	100	1,1	0,32	0,48	4	36	357	214			
80	43,5	100	1,56	0,32	0,62	6	52	520	312			
100	56,2	100	2,6	0,76	0,62	6	66	662	397			
125	68,9	100	4,2	0,92	0,78	8	83	828	497			
150	83,2	100	6	1,32	0,94	9	100	1005	603			
200	109	100	10,4	2,92	1,34	13	137	1367	820			
250	136	100	16	3,96	2,36	17	175	1753	1052			
300	209	100	30	6,8	3,8	23	273	2726	1636			
350	229	100	44,4	4,82	5	32	315	3152	1891			
400	263	100	58,6	8,4	8,4	38	376	3764	2258			
450	363	100	97,8	13,02	30	47	551	5508	3305			
500	504	100	120,8	14,58	11,4	51	702	7018	4211			
600	606	100	174,2	34	14,4	67	896	8956	5374			
		1700					3845	38449				

6 LASKENTAMALLIN TULOKSET

Laskentamallin tuloksena saatiin putkiston kokonaispaino ja kustannusarviohintaa jokaiselle putkiluokalle. Työnantajan pyynnöstä kustannusarviohintaa ei opinnäytetyössä esitetä taulukoissa ja kuvaajissa. Kustannusten jakautumisesta eri paineluokkien välillä laadittiin vertailua havainnollistava kuva (kuva 16), jossa x-akselilla on esitetty DN-putkikoot ja y-akselilla kustannusarviohintaa euroina.



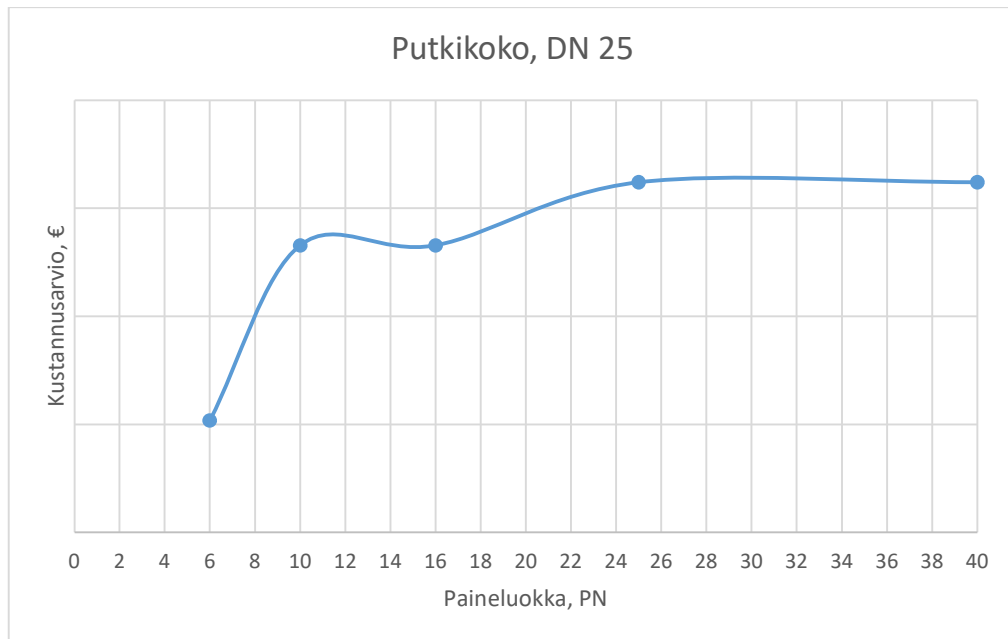
Kuva 16. Kustannusten jakautuminen putkiluokkien mukaan.

Kuvasta 16 nähdään, että putkiluokkien kustannukset eivät kasva lineaarisesti. Pienemmillä putkistoilla kokonaiskustannuksiin vaikuttaa putkiston osien kappalemäärä ja suuremmilla putkistoilla kokonaiskustannuksiin vaikuttaa putken halkaisijan ja sen seurauksena seinämäpaksuuden kasvu. Tästä voidaan päätellä, että putkiston oikeanlaisella reitittämisellä on mahdollista minimoida putkenosien ja putkimetrien määrästä aiheutuvia kustannuksia. Näin ollen hyvällä suunnittelulla voidaan vaikuttaa putkiston kokonaiskustannuksiin.

Kuvasta 16 havaitaan myös, että putkiluokkien väliset kustannuserot ovat putkikokoon DN100 asti hyvin lähellä toisiaan. Suuremmilla putkikoilla putkiluokkien väliset kustannuserot kasvavat. Tämän voidaan päätellä johtuvan putken seinämäpaksuuden kasvusta. Kuvasta 16 nähdään, että paineluokassa PN40 putkikoot loppuvat kokoon DN400, joka on kyseisen paineluokan suurin sallittu putkikoko. Putkistoilla, joissa on suuret putken halkaisijat, ei ole taloudellista kuljettaa korkeita paineita omaavia aineita.

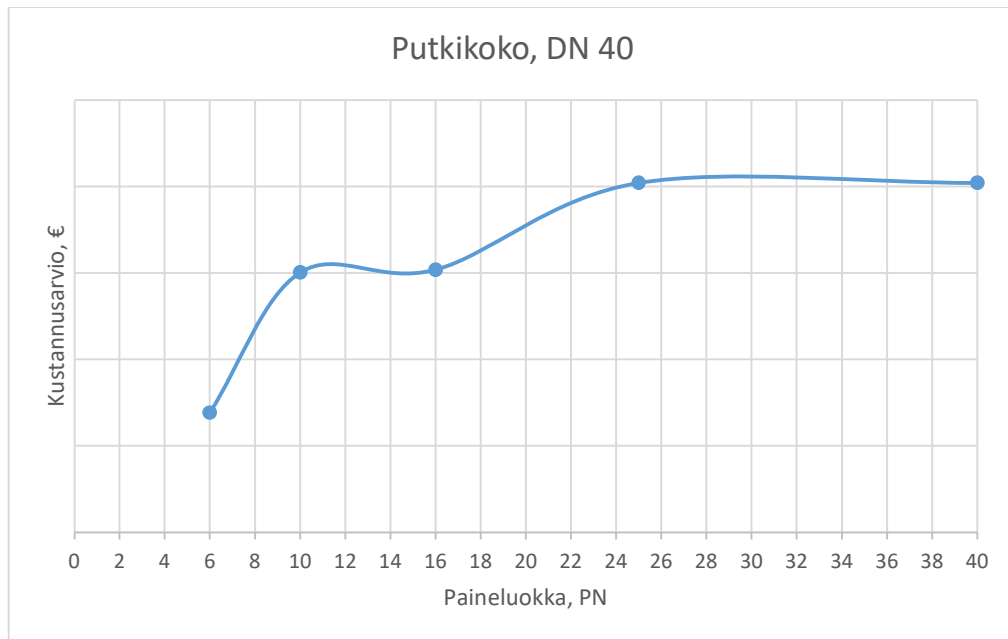
Laskentamallin tuloksista tehtiin myös putkikoko-kohtaisia kuvaajia. Kuvissa 17, 18, 19 ja 20 on esitetty putkikokojen DN25, DN40, DN100 ja DN400 kustannusarvioiden käyttäytymistä eri paineluokissa. Kuvaajissa x-akselilla on esitetty putkiston paineluokka (PN) ja y-akselilla on putkiston kustannusarvio hinta euroina. Kustannusarviohinnat on otettu pois myös näistä kuvaajista.

Kuvasta 17 nähdään, että putkikoon DN25 paineluokilla PN10 ja PN16, sekä paineluokilla PN25 ja PN40 kustannusarviot on samat. Tämän päätellään johtuvan siitä, että pienillä putkikoilla sama seinämävahvuus kattaa useamman paineluokan. Kuvasta 17 huomataan myös, että paineluokkien väliset kustannuserot eivät ole merkittäviä.



Kuva 17. Putkikoon DN25 kustannusten jakautuminen eri paineluokissa.

Kuvassa 18 on esitetty putkikoon DN40 kustannusarvioiden käyttäytyminen eri paineluokissa. Kuvista 17 ja 18 huomataan, että putkikokojen DN25 ja DN40 kustannusarvioiden kuvaajien käyttäytyminen on lähestulkoon samanlainen. Kuvaajien erona on kustannusarvion hinta. Kuvista 17 ja 18 nähdään, että putkikoolla DN40 on kalliimpi kustannusarviohintaa. Tästä voidaan päätellä, että putkiko DN40 tarvitsee vahvemman seinämäpaksuuden verrattuna putkikoon DN25, joka nostaa kustannusarvion hintaa.



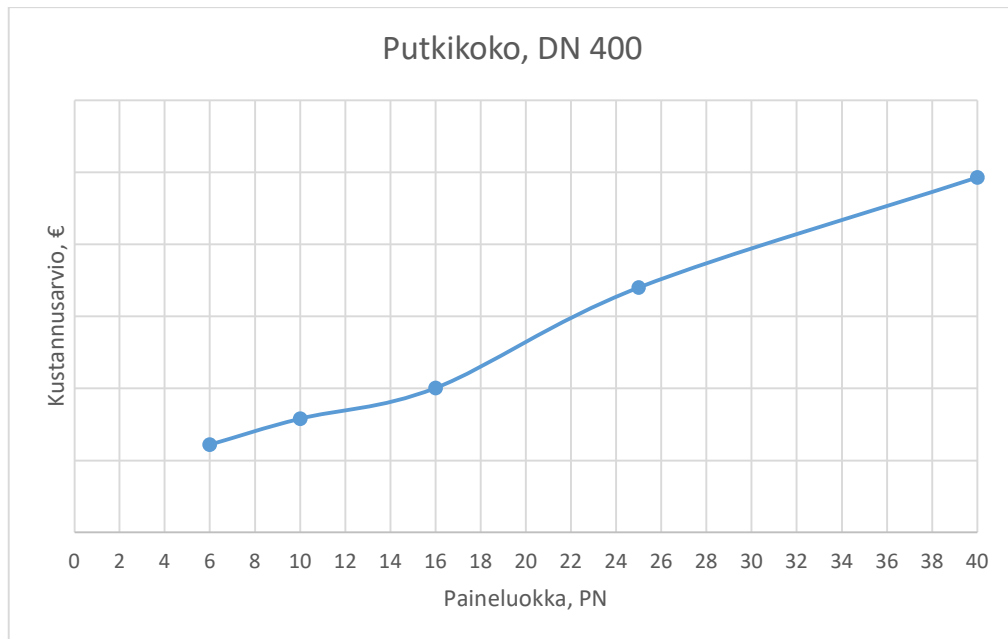
Kuva 18. Putkikoon DN40 kustannusten jakautuminen eri paineluokissa.

Kuvassa 19 on esitetty putkikoon DN100 kustannusten käyttäytyminen eri paineluokissa. Kuvasta huomataan, että paineluokkien PN6, PN10 ja PN16 kustannusarviot ovat lähellä toisiaan ja paineluokan PN16 jälkeen kustannusarvio nousee merkittävästi. Syynä tähän on suuren putkikoon tarvitsema vahvempi seinämäpaksuus suuremmilla paineluokilla.



Kuva 19. Putkikoon DN100 kustannusten jakautuminen eri paineluokissa.

Kuvassa 20 on esitetty putkikoon DN400 kustannusten käyttäytyminen eri paineluokissa. Kuvista 19 ja 20 havaitaan, että putkikokojen DN100 ja DN400 kuvaajien käyttäytyminen on samantapainen. Putkikoon DN400 kustannusarviohinta on kalliimpi, sillä putkikoko on suurempi. Kuvasta 20 voidaan todeta, että DN400 putkiston valmistaminen on kallista, sillä putkenhalkaisija on niin suuri ja se vaatii vahvan seinämäpaksuuden.



Kuva 20. Putkikoon DN400 kustannusten jakautuminen eri paineluokissa.

6.1 Laskentamallin todenmukaisuus

Laskentamallin todenmukaisuutta testattiin toteutuneen projektin avulla vertaamalla laskentamallin tuottamaa putkiston kokonaispainoa ja toteutuneen projektin kokonaispainoa keskenään. Testiprojektin oikea putkiston kokonaispaino on noin 33 tonnia. Työnantajalta saadusta putkilistasta poimittiin työn raajat putkiluokat ja putkikoot. Tämän jälkeen putkilistasta laskettiin putkimetrit jokaiselle putkikoolle ja putkiluokalle erikseen ja lisättiin putkimetriä määrä laskentamalliin. Tarkasteltavan putkiston kokonaispainoksi saatiin noin 27 tonnia ja sitä verrattuna todelliseen putkiston kokonaispainoon saadaan noin 6 tonnin ero putkistojen painoissa. Laskentamallista saatu, noin 18 %:n ero putkistojen kokonaispainoissa ei ollut riittävän tarkka.

Putkilistat käytiin uudestaan läpi, jotta tiedossa on varmasti oikeat putkimetrit. Koska putkistojen putkimetrit olivat riittävän lähellä toisiaan, ei putkistojen painoero tule putkimetreistä. Putkiston perusyksikön komponenttien määrää 10 metrille suoraa putkea muutettiin 2 kappaletta putkikäyriä, 2 supistuksia, 2 kauluksia ja 2 irtolaippoja. Putkiston komponenttien määrän muutoksella saatiin putkiston kokonaispainoksi noin 31 tonnia. Saatu tulos on riittävän tarkka, sillä opinnäytetyöhön ei sisälly koko testiprojektin kokonaispaino, vaan työssä käsiteltävien putkiluokkien ja -kokojen tuottama kokonaispaino.

Taulukossa 2 nähdään vihreällä testiprojektin putkimetrit, putkiston kokonaispaino 10 metrille ja putkiston kokonaispaino E10H1A-putkiluokalle. Aloituserametreihin on muutettu 10 metrille suoraa putkea 2 kappaletta putkikäyriä, 2 supistuksia, 2 kauluksia ja 2 irtolaippoja.

Taulukko 2. E10H1A-putkiluokan putkiston arvioidut putkimetrit, putkiston kokonaispaino kg/10 m ja putkiston kokonaispaino kg.

DN	Putkimetri kg/10m	Arvioitu putkimäärä, m	Käyrä kg/kpl	Supistus kg/kpl	KUITULINJAPUTKISTON ESTIMOINTI			Putkiston kokonaispaino, kg	Kannakkeet, 60% putkiston painosta, kg	Kustannusarvio- hinta, €
					Kaulus kg/kpl	Irtolaippa kg/kpl	Putkiston Kokonaispaino, kg/10m			
25	12,8	121,26	0,2	0,06	0,16	2	15	185	111	
32	16,3	18	0,3	0,1	0,2	4	21	38	23	
40	18,7	11	0,42	0,08	0,26	4	23	26	15	
50	23,5	150	0,7	0,2	0,36	5	30	446	268	
65	29,8	1	1,1	0,32	0,48	6	38	4	2	
80	43,5	354	1,56	0,32	0,62	7	53	1876	1126	
100	56,2	140	2,6	0,76	0,62	9	69	969	581	
125	68,9	0	4,2	0,92	0,78	11	86	0	0	
150	83,2	75	6	1,32	0,94	14	105	791	475	
200	109	72	10,4	2,92	2,12	18	142	1026	615	
250	136	164	21,2	3,96	3,16	23	187	3072	1843	
300	209	183	46	6,8	3,8	26	292	5336	3202	
350	229	12	59	4,82	19	39	351	421	253	
400	323	180	77,2	11,48	23,2	53	488	8782	5269	
450	363	0	97,8	13,02	30	65	569	0	0	
500	504	8	150,8	18,18	31,8	78	783	626	376	
600	757	1	137	42,4	46	105	1087	109	65	
		1490					4340	23706	14223	

Taulukosta huomataan, että putkimetrit vaihtelevat merkittävästi putkikokojen välillä. Taulukosta havaitaan myös, että putkikoolla DN400 on kallein kustannusarviohinta, vaikka putkimetrejä on lähes puolet vähemmän kuin putkikoon DN80 putkimetrejä. Tämä johtuu suuresta putken halkaisijasta ja sen vaatimasta seinämäpaksuudesta.

Epävarmuutta työn tuloksiin aiheuttaa vakioksi asetetun putkilinjan suoran putken metrimäärä sekä putkikomponenttien määrän arviointi. Testiprojektin tuloksissa huomattiin, että muuttamalla putkiston komponenttien kappalemäärä

yhdestä kahteen saatiin tarkkuutta työn tulokseen. Tulevaisuudessa myös vaikioksi asetetun putkilinjan suoran putken metrimäärää tarkentamalla voitaisiin vaikuttaa saatujen tulosten tarkkuuteen. Epävarmuutta työn tuloksiin aiheuttaa myös projektikohtaisesti saatavilla olevat tiedot ja niistä arvioidut putkimäärät jokaiselle putkiluokalle.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää kuitulinjaputkiston tarkempaa kustannusarviota varten laskentamalli, joka on helppokäyttöinen ja nopea. Tutkimustyössä etsittiin mahdollisimman tarkat laskennat todenmukaiseen kustannusarvioon. Konkreettisesti laskentamallin toteuttaminen sisälsi putkilinjalueteloiden ja 3D-mallien tutkimista, putkenosien painon etsimistä ja laskentamallin tuloksien testaamista. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt kustannusarvio on todenmukainen ja tietopohjaa on mahdollista käyttää suunnittelun apuna Andritzin tulevilla projekteilla. Tietopohjan avulla saadaan tarkempia kuitulinjaputkiston kustannusarvioita nopeammalla aikataululla myyntiosastolle.

Tuloksista huomataan, että putkistojen kustannukset eivät kasva lineaarisesti. Tuloksien pohjalta todetaan, että putkistojen kustannusarviot ovat putkikokoon DN100 lähestulkoon samat paineluokasta riippumatta. Opinnäytetyössä toteutetun testiprojektin tuloksista nähdään, että putkistojen putkimetrit vaihtelevat putkiluokittain sekä putkikoittain.

Työn tuloksissa esitetyt kuvaajat näyttävät, että putkistojen kustannuksiin vaikuttaa putkikoko sekä seinämäpaksuus. On myös selvää, että putkiston osien komponenttien valinnalla voidaan vaikuttaa lopullisiin kustannuksiin.

Testiprojektia laskiessa huomattiin, että lähtötietojen laajuudella ja tarkkuudella on suuri merkitys kustannusarvion todenmukaisuuteen. Tutkimusosuudessa yllätti, kuinka paljon aikaa lähtötietojen tutkiminen ja putkilinjojen erittely oikeisiin putkiluokkiin ja putkikokoihin vie. Myös putkiston komponenttien painoerot olivat vieläkin suuremmat, mitä ennakkoon arvioin.

Todettiin myös, että kuitulinjaputkiston kustannusarvioon saadaan tarkkuutta ottamalla huomioon kuitulinjaputkiston erikoisuudet. Putkistojen erikoisuuksia ovat MC-linja ja valkaisutornien putkistot.

Andritzilla on käytettävissä paljonkin tehtyjen projektien kustannustietoja, ongelmana on ollut ehkä kyseisen tiedon hyödyntäminen. Laskentamallissa on pyritty tuomaan tämä tieto helposti käytettävään muotoon. Mielestäni työssä on onnistuttu työn vaatimusten mukaisesti. Tehty laskentamalli on helppokäyttöinen ja alustavien kokeilujen perusteella riittävän tarkka. On selvää, että tarvitaan useampien projektien vertailutietoa, joilla laskentamallia tulee jatkossa päivittää. Opinnäytetyössä huomiotta jätetyt putkistot sisältävät mm. vaativan PED-luokituksen höyryputkistoja, joiden valmistuksen kustannukset ovat korkeat. Kun tietopohja on saatu päivitettyä muiden vertailukohteiden avulla, voidaan tietopohjaan ottaa huomioon eri putkiluokkia.

Opinnäytetyön tuloksia on mahdollista hyödyntää jatkotutkimuksen laatimisessa. Tutkimusta voisi jatkaa perehtymällä materiaalin valinnan vaikutuksiin putkiston massassa tai asennuskustannuksissa. Vertailuun voisi ottaa eri putkimateriaaleja, sillä näiden kustannuserot ovat suuria. Työn tuloksia voisi myös viedä eteenpäin kehitysidealla, jossa tietopohjassa käytettäviä yksiköitä tarkennetaan. Esimerkiksi käyttämällä 10 metrin suoran putken tilalla 11,5 metriä suoraa putkea, 2 putkikäyrän tilalla 2,5 putkikäyrää jne. Näitä voitaisiin myös ajaa tilastollisesti.

Opinnäytetyö tarjosi hyvän mahdollisuuden tutustua sellutehtaaseen ja erityisesti kuitulinjaan ja sen putkistoihin. Työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen. Työn edetessä opittiin, mitä tulee huomioida kuitulinjaputkiston suunnittelussa, kuten myös yleisistä putkistojen suunnitteluun käytetyistä putkistojen standardeista, suunnitteluohjelmista ja niiden käytöstä. Myös kuitulinjaputkistoissa käytettävät putkimateriaalit ja niiden kustannukset tuli tutuksi. Työssä opittiin, mistä muodostuu kuitulinjaputkistojen suurimmat kustannukset, sekä miten putkistojen kustannuslaskenta toteutetaan.

LÄHTEET

About ASME. s.a. The American Society of Mechanical Engineers. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://www.asme.org/about-asme> [Viitattu 18.2.2021].

ANDRITZ fiberlines for chemical pulping. s.a. Verkkosivusto. Andritz. Saatavissa: <https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/fiberline-technology> [Viitattu 25.3.2021].

Andritz Oy s.a. Sisäinen koulutusmateriaali. [Viitattu 23.3.2021].

ASME B16.9 Reducer Manufacturers. s.a. Verkkosivusto. Marcel Piping Projects Supply PVT.LTD. Saatavissa: <https://www.marcelpiping.com/pipe-reducer/> [Viitattu 24.2.2021].

Bhatia, A. s.a. Process Piping Fundamentals, Codes and Standards. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Process%20Piping%20Fundamentals,%20Codes%20and%20Standards%20-%20Module%201.pdf> [Viitattu 18.2.2021].

Comparison ISO/ANSI Piping System. s.a. Verkkosivusto. OSTP. Saatavissa: https://www.ostp.biz/sites/313/content/docs/OSTP_Comparison_ISO_ANSI_20141014.pdf [Viitattu 23.2.2021].

EU ja standardisointi, Yhdenmukaistetu standardit. s.a. Verkkosivusto. SFS ry. Saatavissa: <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/eu-ja-standardisointi/> [Viitattu 21.2.2021].

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2014. 2014/68/EU. 15.5.2014.

Flange. s.a. Verkkosivusto. Haihao Group. Saatavissa: <https://thepipefitting.com/flange/> [Viitattu 1.3.2021].

Härkönen, H. 2019. Keittoliipeän sulfiditeetin hallinnan parantaminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lutpub -tietokanta.

Introduction to Flanges. s.a. Verkkosivusto. The Process Piping. Saatavissa: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-flanges/> [Viitattu 1.3.2021].

Introduction to Piping System. s.a. Verkkosivusto. The Process Piping. Saatavissa: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-piping-system/> [Viitattu 24.2.2021].

Introduction to Valves. s.a. Verkkosivusto. The Process Piping. Saatavissa: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-valves/> [Viitattu 24.2.2021].

Kleio, A. 2017. Optimization of Piping Supports and Supporting Structure. PDF-tiedosto. Saatavissa: <http://esol.ise.illinois.edu/static2/pdf/Avrit-hiKim2017.pdf> [Viitattu 26.3.2021].

Know Pulp. s.a.a. Sulfaattisellun valmistus. Kuitulinja. Happidelignifiointi. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/fiberline/oxygen_de-lign/ui.htm [Viitattu 21.1.2021].

Know Pulp. s.a.b. Sulfaattisellun valmistus. Kuitulinja. Keitto. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/fiberline/cooking/ui.htm> [Viitattu 13.1.2021].

Know Pulp. s.a.c. Sulfaattisellun valmistus. Kuitulinja. Kuivatus ja jälkikäsittely. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/fiberline/finishing/ui.htm> [Viitattu 13.1.2021].

Know Pulp. s.a.d. Sulfaattisellun valmistus. Kuitulinja. Pesu ja lajittelu. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/fiberline/washing/ui.htm> [Viitattu 12.2.2021].

Know Pulp. s.a.e. Sulfaattisellun valmistus. Puun vastaanotto. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: http://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/wood_handling/1_wood_intake_slasher/frame.htm [Viitattu 7.1.2021].

Know Pulp. s.a.f. Sulfaattisellun valmistus. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/general/ui.htm> [Viitattu 7.1.2021].

Know Pulp. s.a.g. Sulfaattisellun valmistus. Kuitulinja. Valkaisu. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Verkkomateriaali. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/process/fiberline/bleaching/ui.htm> [Viitattu 21.1.2021].

Kohvakka, M. 2018. kattilalaitoksen proessiputkiston esisuunnittelun kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lutpub-tietokanta.

Nisula, S. 2021. Plant Engineering Manager. Andritz Oy. Kotka. Keskustelut 18.2. ja 1.3.2021.

OSTP-Outokumpu Stainless Tubular Products. 2012. Product Catalogue. PDF-dokumentti. Työnantajan hallussa.

Overview to Piping Engineering. Verkkosivusto. The Process Piping. Saatavissa: <https://www.theprocesspiping.com/overview-to-piping-engineering/> [Viitattu 22.3.2021].

Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukainen arviointi. s.a. Verkkomateriaali. Tukes. Saatavissa: <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi> [Viitattu 17.2.2021].

Passion for innovative technologies that shape world. Verkkosivusto. Andritz. Saatavissa: <https://www.andritz.com/group-en/about-us> [Viitattu 13.1.2021].

Perälä, T. 2017. Putkiston materiaalinhallinta prosessiteollisuuden investointiprojektissa. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Pratima, B. 2010. Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper, Overview of Pulp and Papermaking. E-kirja. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 13.1.2021].

PSK Standardisointi. Verkkosivusto. PSK Standardisointi. Saatavissa: <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/> [Viitattu 19.3.2021].

PSK 2402. 2021. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelun perusteet. PSK Standardisointi.

PSK 4201. 2017. Putkiluokat. Määrittely. Helsinki: PSK Standardisointi.

PSK 4233. 2021. Putkiluokka E16H1A painelaitekäyttöön. Helsinki: PSK Standardisointi.

PSK 4911. 2020. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. Painelaitteet. Käsitteet ja määrittelyt. Helsinki: PSK Standardisointi.

Reducers in Process Piping. s.a. Verkkosivusto. The Process Piping. Saatavissa: <https://www.theprocesspiping.com/reducers-in-process-piping/> [Viitattu 24.2.2021].

SFS-EN 1092-1. 2018. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 10253-2. 2007. Päittäinhitsattavat putkenosat. Osa 2: Toimintakohdaisiin tarkastettavat seostomattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 13480-1. 2017. Metallic industrial piping. Part 1: General. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 13480-3. 2017. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Tarhonen, K. 2020. Biotuotteet Sellutehtailla. Luentomateriaali. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu Xamk.

Tolonen, P. 2018. Kalvosuodatus sellutehtaan kuitulinjalla. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Lutpub-tietokanta.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

UPM. 2012. Sellun tuotanto. Youtube. Videoleike. Julkaistu 8.8.2012. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eWZw4ct2F0c> [Viitattu 7.2021].

Virkola, N. 1983. Puumassan valmistus II, osa 1.2. täysin uudistettu painos. Turku: Suomen Paperi-insinöörien Yhdistys.

KUITULINJAPUTKISTON ESTIMOINTI										
DN	Putkimetri kg/10m	An/oiutu putkimäärä, m	Käyrä kg/kpl	Supistus kg/kpl	Kaulus kg/kpl	Irtolaippa kg/kpl	Putkiston kokonaispaino, kg/10m	Putkiston kokonaispaino, kg	Kannakkeet, 60% putkiston painosta, kg	Kustannusarvio- hinta, €
25	12,8	100	0,2	0,06	0,16	1	14	142	85	
32	16,3	100	0,3	0,1	0,2	2	19	189	113	
40	18,7	100	0,42	0,08	0,26	3	22	225	135	Putkiston kustannus asennettuna €/kg
50	23,5	100	0,7	0,2	0,36	3	28	278	167	10
65	29,8	100	1,1	0,32	0,48	4	36	357	214	Käyrä, kpl
80	43,5	100	1,56	0,32	0,62	6	52	520	312	2
100	56,2	100	2,6	0,76	0,62	6	66	662	397	
125	68,9	100	4,2	0,92	0,78	8	83	828	497	Kannakkeet asennettuna €/kg
150	83,2	100	6	1,32	0,94	9	100	1005	603	
200	109	100	10,4	2,92	1,34	13	137	1367	820	Supistus, kpl
250	136	100	16	3,96	2,36	17	175	1753	1052	2
300	209	100	30	6,8	3,8	23	273	2726	1636	Kaulus, kpl
350	229	100	44,4	4,82	5	32	315	3152	1891	2
400	263	100	58,6	8,4	8,4	38	376	3764	2258	
450	363	100	97,8	13,02	30	47	551	5508	3305	Irtolaippa, kpl
500	504	100	120,8	14,58	11,4	51	702	7018	4211	2
600	606	100	174,2	34	14,4	67	896	8956	5374	
		1700					3845	38449		€, Yhteensä