



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

LASSI NIEPPOLA

Modulaarisen runkorakenteen parametrinen 3D-malli saostin- ja hiekankeräyskuljettimille

KONETEKNIikka

2020

Tekijä(t) Nieppola, Lassi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2020
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Modulaarisen runkorakenteen parametrinen 3D-malli saostin- ja hiekankeräyskuljettimille		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
Tiivistelmä Opinnäytetyön aiheena oli kehittää modulaarinen runkorakenne ja parametrinen 3D-malli saostin- ja hiekankeräyskuljettimille Valmet Technologies Oy:n Ulvilan toimipisteen tuotekansioon. Suunnitteluun liittyy vahvasti design-to-cost -ajattelu, mikä on huomioitu opinnäytetyössä. Työn ohessa tuli selvittää, miten design-to-cost näkyy Valmetin tuotekehityksessä. Käytännöntyö suoritettiin pääasiassa käyttämällä SolidWorks-suunnitteluohjelmaa ja se tehtiin yhteistyössä tuoteinsinöörin kanssa. Työ aloitettiin tutustumalla kuljettimien toimintaan ja rakenteeseen, minkä jälkeen rakennetta kehitettiin käynnissä olevien projektien perusteella. Teoriaosuudessa käytettiin paljon hyödyksi Valmetin sisäistä intraa, josta löydettiin hyödyllistä tietoa design-to-costista. Kulusäästöjen avulla voidaan saavuttaa yhä kilpailukykyisempi asema jatkuvasti kehittyvillä markkinoilla Laitteiden modulaarirakenteen ja parametrinen 3D-mallien avulla voidaan vastata markkinoiden kehitykseen lyhentämällä suunnittelu-aikaa ja -kuluja. Työn lopputuloksena saatiin toimivat parametrisoidut 3D-runkorakenteet kuljettimille sekä havainnollistava selvitys siitä, miten paljon modulaarisuus ja rakenteen mallien parametrisointi voi tuoda kulusäästöjä suunnittelukustannuksiin. Lisäksi työn aikana selvitettiin, miten design-to-costia on Valmetilla sovellettu. Opinnäytetyön aikana tehtiin tuotekehitystä, josta koitui massaeroja aikaisempiin laitteisiin verrattuna.		
Asiasanat: 3D-mallinnus, modulaarisuus, parametrisuunnittelu, massa- ja paperiteollisuus		

Author Nieppola, Lassi	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2020
	Number of pages 40	Language of publication: Finnish
Title of publication Parametric 3D model of modular frame structure for dewatering and sand collecting conveyors		
Degree programme Mechanical engineering		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to develop a modular frame and parametric 3D-model for dewatering and sand collecting conveyors to product folder for Valmet Technologies Inc. Ulvila. Design-to-cost is a relevant part of mechanical designing thus it is part of the thesis. In addition to this thesis, it was found out how design-to-cost is applied in Valmet's product development.</p> <p>Practical part of the thesis was done with Solidworks and it was done in cooperation with a Valmet's product engineer. It was started by learning how dewatering and sand collecting conveyors work and how they are built. After that their frames were improved using ongoing project as a reference. In theoretical part of the thesis, Valmet's intra was used where one could find useful information considering design-to-cost.</p> <p>In constantly emerging markets, one can be able to reach even more competitiveness by reducing costs of the process. With the help of products modular structures and parametric 3D-models the requirements for the competition can be met.</p> <p>The outcome of the thesis was working parametric 3D frame structures for dewatering and sand collecting conveyors. It was also found out by rough estimate how much a modularization and project ready parametric models can reduce costs from a design process. In addition to that it was explained how design-to-cost is applied within Valmet Technologies Ltd. Product development for the conveyors was done which resulted positive difference in the masses when compared to prior products.</p>		
Keywords: 3D modeling, modularity, parametric modeling, pulp and paper industry		

TERMEJÄ

Syöttökuljetin	Kuljetin, joka tuo raaka-ainetta laitteeseen.
Purkauskuljetin	Kuljetin, joka vie raaka-ainetta laitteesta.
Aksepti	Hyväksytty, sellun keittoon käytettävä hake.
Relaatio	Kahden eri piirteen, esimerkiksi viivan, suhde toisiinsa.
Sketch	Sketsiin voidaan hahmotella esimerkiksi osan profiili tai muoto.
Mate	CAD-ohjelmien työkalu, jolla osia saadaan liitettyä toisiinsa kokoonpanossa.
Assembly	CAD-ohjelmien mallin kokoonpano.
Skeleton	Yhteen osaan mallinnettu laitteen rungon mallipohja.
Detail -suunnittelu	Suunnitteluvaihe, jossa tuotetaan laitteen valmistuspiirustukset.
Master design	Malli, josta haluttaessa voidaan tehdä erilaisia konfiguraatioita

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
2.1 Valmet Technologies Oy	7
3 MODULAARISUUS JA PARAMETRISUUS LAITESUUNNITELUSSA.....	8
3.1 Modulaarisuus	8
3.2 Parametrisuus	9
4 PUUNKÄSITTELYLAITOKSEN TOIMINTA.....	10
4.1 Puun koostumus	10
4.2 Yleisesti	10
4.3 Puuaineksen syöttö-, sulatus- ja pesulinjasto	12
4.4 Kuorinta.....	12
4.4.1 Kuoren käsittely	14
4.4.2 Saostin- ja hiekankeräyskuljetin	14
4.5 Hakku	15
4.6 Hakkeen seulonta	16
4.7 Hakkeen varastointi	18
4.8 Lopputuotteet.....	20
5 PARAMETRISEN MODULAARIRAKENTEEN SUUNNITELU	20
5.1 Saostimen rakenteen suunnittelu	21
5.1.1 Tehdyt muutokset referenssipiirustuksiin nähden	27
5.2 Hiekkurin rakenne	28
5.3 Suunnittelussa huomioitavat asiat	29
5.4 Suunnitteluun liittyvät päätelmät.....	30
6 DESIGN-TO-COST.....	31
6.1 Käsitteenä	31
6.2 Valmet Technologies Oy:ssä.....	32
6.3 Saostimen ja hiekkurin suunnittelussa	34
7 LOPPUTULOKSET	35
7.1 Kustannussäästöt	35
7.1.1 Massaerot	35
7.1.2 Suunnittelukustannukset	35
7.2 Suunnitteluprosessi.....	38

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Opinnäyteyö tehtiin toimeksiantona Valmet Technologies Oy:lle ja toteutettiin Valmetin Ulvilan toimipisteessä. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja kehittää SolidWorks-ohjelmalla modularisoitu ja parametrisoitu 3D-runkorakenne saostin- sekä hiekankeräyskuljettimelle Ulvilan toimipisteen tuotekansioon. Referensseinä käytettiin aikaisempia valmistuspiirustuksia ja palautteita käynnissä olevista projekteista.

Modularisoidun ja parametrisoidun rakenteen avulla pyritään lyhentämään mekaniikkasuunnitteluun kuluvaan aikaan. Mitä lyhyempi aika varsinaiseen mallintamiseen kuuluu, sitä enemmän aikaa voidaan käyttää ongelmakohtien ratkaisemiseen ja mallin kehittämiseen historian pohjalta. Modulaarinen malli ei oletettavasti muutu radikaalisti projektien välillä, joten modularisoituja rakenteita näin ollen voidaan osin kutsua myös standardoiduiksi rakenteiksi. Standardoinnin kautta laitteiden toimintavarmuus kasvaa ja epätoivottuja laiterikkoja esiintyy vähemmän.

Opinnäytetyössä sivutaan myös design-to-cost-käsitettä, joka kuuluu vahvasti kaikkien suunnitteluun. DtC:tä sovelletaan paljon erityisesti yritysten tuotekehityksen puolella ja työssä selvitettiin, miten design-to-cost -ajattelua on käytetty Valmetin tuotekehityksessä.

Työn suunnitteluosuus aloitettiin jo kesällä kesätöiden aikana saostinkuljettimen parametrisen mallin kehittämisen ohessa ja sen mallintamisessa käytettiin saostimen valmiita lohkoja. Saostin- ja hiekankeräyskuljettimen mallien perusteella on tarkoitus myös tehdä valmistuspiirustukset, joita käytetään tulevaisuuden projekteissa.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Valmet Technologies Oy

Toimeksiantajana työlle toimi Valmet Technologies Oy. Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmetin asiakkaille tarjottuihin palveluihin kuuluu muun muassa kunnossapidon ulkoistus tehtaiden ja voimalaitosten parannuksiin ja varaosiin. (Valmet www-sivut 2020a.)

Valmetilla on teollisuushistoriaa yli 200 vuoden ajalta. Vuonna 1946 useat Suomen valtion omistamat metallitehtaat yhdistyivät Valtion Metallitehtaiksi ja vuoden 1951 alkupuolella Valtion Metalli nimitettiin Valmet Oy:ksi. Historiansa aikana Valmetin tuotevalikoimaan on kuulunut mm. laivoja, lentokoneita, aseita, vetureita, traktoreita, laivanmoottoreita ja hissejä sekä paperikoneita. (Valmet www-sivut 2020b.)

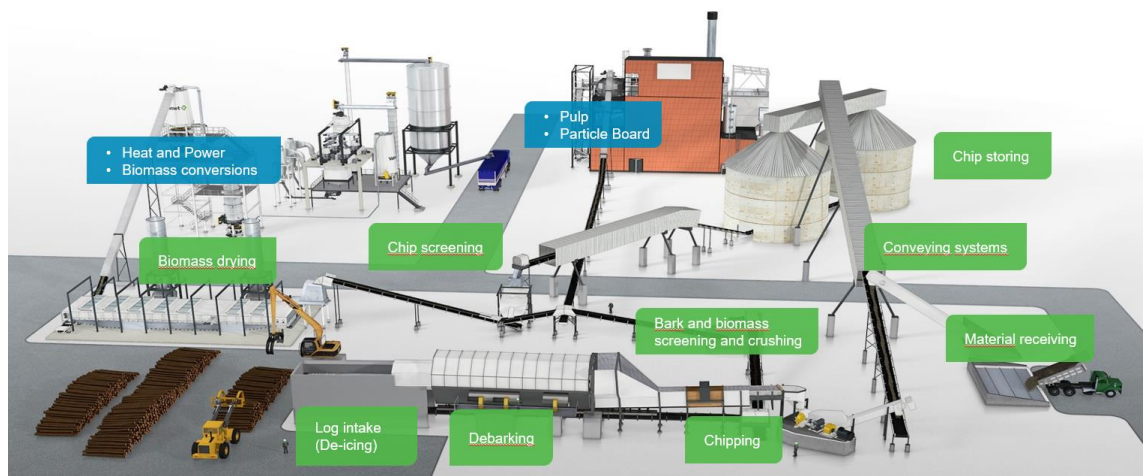
Vuonna 1999 paperi- ja kartonkikonevalmistaja Valmet ja kuituteknologiaan, kivi-murskaukseen sekä virtauksensääätöratkaisuihin erikoistunut Rauma Oy yhdistyivät Valmet-Rauma Oy:ksi, joka myöhemmin nimettiin uudelleen Metso Oy:ksi. Sulautumisen seurauksena syntyi globaali prosessiteollisuutta palveleva laitetoimittaja. Myöhemmin, vuonna 2013, Metso jakautui kahdeksi eri pörssiyhtiöksi, Metsoksi ja nykyiseksi Valmetiksi. Metson massa, paperi ja voimantuotanto -liiketoiminta siirtyi Valmet Oy:lle, kun taas kaivos ja maanrakennus sekä automaatio -liiketoiminnat jäivät osaksi Metso Oy:tä. Vuonna 2015 Valmet Oy osti Metson Prosessiautomaatiojärjestelmät-liiketoiminnan, jolloin automaatiosta tuli Valmetin neljäs liiketoimintalinja. (Valmet www-sivut 2020b.)



Kuva 1. Valmet Oy logo

Ulvilan toimipisteessä tuotetaan räätälöityä mekaniikka- ja laitossuunnittelua sellutehtaan laitteistoon. Laitteet, joita opinnäytetyössä käsitellään, ovat osana sellutehtaan puunkäsittelypuolta. Puunkäsittely tapahtuu tehtaan alkupäässä, jonka pääasiallista

lopputuotetta haketta, käytetään esimerkiksi sellunkeittämisessä. Sivutuotteina puunkäsittelystä saadaan puun kuorta, josta tuotetaan yleisesti energiaa.



Kuva 2. Puunkäsittelyn sijainti sellu- ja paperitehtaassa (Valmet Technologies Oy intra)

3 MODULAARISUUS JA PARAMETRISUUS LAITESUUNNITTELUSSA

3.1 Modulaarisuus

Puhuttaessa moduloinnista, tarkoitetaan sillä tuotteiden, kuten laitteiden jakamista omiin lohkoihinsa, moduuleihin. Moduuleille määritetään vakiorajapinnat, jotka sallivat moduulien keskinäisen yhdistettävyyden riippumatta niiden sisäisestä tai toiminnallisesta rakenteesta. Tämä mahdollistaa suuren ja monipuolisen standardoidun laitekannan sekä laitevariaatioiden paremman hallinnan. Ero varsinaiseen standardointiin on, että moduloinnilla ei pyritä pienentämään lopputuotevalikoimaa. Sen sijaan sen avulla voidaan saavuttaa monipuolinen laitekanta, joka saadaan vastaamaan asiakkaiden vaatimuksia ja jonka laitekohtaiset variaatiot voidaan rajata tärkeisiin ominaisuuksiin. Laitevariaatioina puunkäsittelylaitoksen laitteissa voidaan pitää eri pituisia syöttö- tai purkulinjastoja sekä erikokoisia kuorimarummun tai hakun halkaisijoita. Laitteiden moduloinnilla pyritään saavuttamaan niiden rakenteellista samankaltaisuutta niin fyysisen, kuin toiminnallisen rakenteen puolesta. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Modulaarisen rakenteen vaikutus näkyy positiivisesti laitekannan kehittämisessä esimerkiksi lyhyemmällä tuotekehitysajalla sekä nopeammalla muutoksien teolla, sillä näiden molempien vaikutukset koskevat vain osaa laitteiden lohkoista (Österholm & Tuokko 2001, 8). Yksittäisen moduulin sisällä tapahtuva muutos on toteutettavissa siten, ettei sillä ole vaikutusta muuhun kokoonpanoon. Näin ollen pienet muutokset ovat tehtävissä nopeasti ja ne voidaan toteuttaa aina tarpeen vaatiessa mahdollistaen jatkuvan ja sujuvan tuotekehityksen. Modulointi edesauttaa kehityksessä tapahtuvien mahdollisten epäonnistumisien ja niistä aiheutuvien taloudellisten ja teknisten riskien minimointiin. (Soronen 1999, 21.)

3.2 Parametrisuus

Parametrisuus 3D-mallinnuksessa on lähestymistapa, joka perustuu halutun rakenteen mallintamiseen käyttämällä piirteitä ja rajoitteita. Sen avulla voidaan automatisoida toistuvat muutokset tuotteen sisällä. Parametrisuus sopii vaativiinkin tapauksiin, joissa valmistuskriteerit ovat korkealla. Parametrisuus tulee vastaan varsinkin silloin, kun on tarpeen muuttaa vain hieman pääasiallista mallia useamman variaation saavuttamiseen. (Brunelli 2017.)

Opinnäytetyössä hyödynnettiin parametrisuunnittelua määrittämällä relaatioita eli suhteita mallin sisään sen piirteiden välille. Parametrisuunnittelulla saatiin helpotettua jo moduloidun rakenteen kolmiulotteista suunnittelua. Eri piirteitä voitiin yhdistää toisiin ja niille voitiin asettaa tarkkoja mittoja. Tyypillisin parametrinen riippuvuus, jota työssä käytettiin, oli kahden osan liitospintojen kohdistaminen toisiinsa. Tällaisessa tapauksessa osoitettiin relaatio kahden pinnan välille, jolloin osoitetut pinnat seurasivat toisiaan.

Konfiguraatioiden käyttäminen parametrisuunnittelussa on hyödyllinen keino muun muassa osien päämittojen muuttamisessa. Konfiguraatio toimii periaatteessa niin, että tukahdutetaan tietyt piirteet automaattisesti. Tällainen tukahdutus eli suppress-toiminto poistaa kyseisen osan variaation mallista.

Vaikka opinnäytetyössä ei käytetty SolidWorks'in Design Table -toimintoa, on sen mainitseminen kuitenkin tarpeellista. Sitä voidaan käyttää apukeinona osan konfiguraatioiden hallitsemiseen. Se on Excel-pohjainen taulukko, johon osoitetaan mittoja master designista eli päämallista, joita halutaan tarpeen mukaan muuttaa. Näin ollen samaan malliin saadaan useampi variaatio master designista ja sitä saadaan nopeasti vaihdettua. Hyvä esimerkki Design tablen käytöstä on ruuvi. Ruuveja esiintyy erikoisena, joten suppress- sekä konfiguraatiotoiminnoilla voidaan ruuvien kokoa vaihtaa automaattisesti koskematta mallin luonnoksen mittoihin. Se vaatii hieman enemmän aikaa ja vaivaa kuin suoraan varsinaisen mitan muuttaminen, mutta pitkässä juoksussa on aikaa säästävä keino.

4 PUUNKÄSITTELYLAITOKSEN TOIMINTA

4.1 Puun koostumus

Puun runko muodostuu yhteen liittyneistä kuiduista eli puusoluista, joiden välissä on sidosaineena ligniiniä. Kuidun pääainesosat ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. Kuitujen välitilaa sanotaan välilamelliksi, joka sellun keitossa liuotetaan keittoliuoksessa, jolloin kuidut irtoavat toisistaan. Sellun keittoa kutsutaan myös kemialliseksi kuidutukseksi. Massan tekoon voidaan myös käyttää mekaanista kuidutusta, jota on esimerkiksi hiertäminen ja hionta. Hiontaa näistä kahdesta käytetään nykyään harvemmin. Mekaanisessa menetelmässä kuidut revitään mekaanisesti erilleen toisistaan. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 18.)

4.2 Yleisesti

Puukentän toiminnan seurauksena syntyy haketta, jota käytetään raaka-aineena sellun sekä lastulevyjen (MDF, HDF, OSB) valmistukseen. Sellua taas käytetään raaka-aineena paperin ja kartongin valmistukseen. Sivutuotteena puunkäsittelyprosessista saadaan kuorta, purua ja tikkuja, joita käytetään erilaisissa prosesseissa tuottamaan energiaa. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

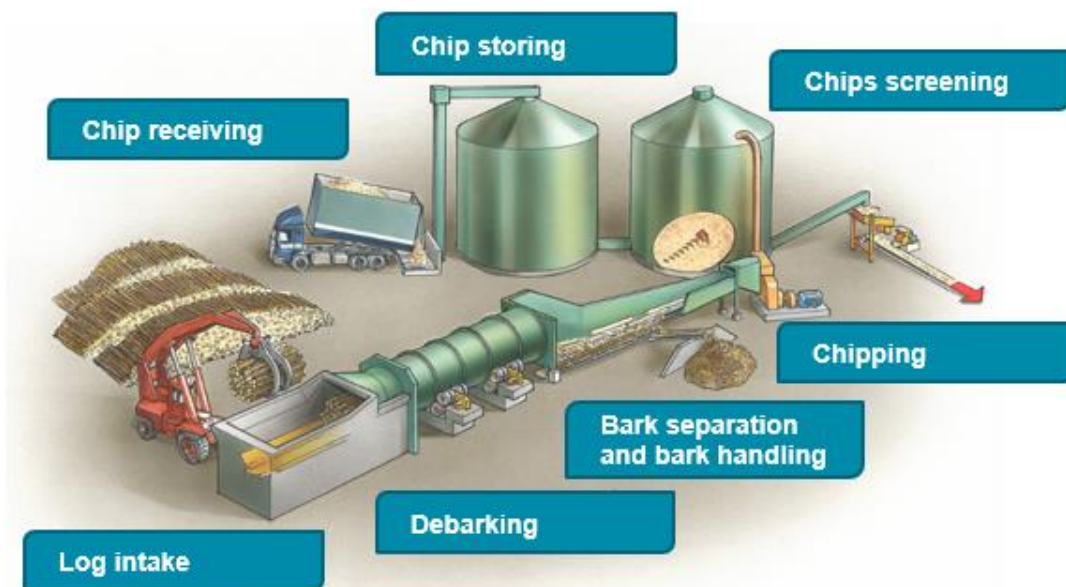


Kuva 3. Puunkäsittelyn tuotteita ja sivutuotteita (Valmet Technologies Oy intra 2020)

Puuaines voidaan tuoda autolla, junalla tai laivalla. Tärkeää on, että tehtaalle tuotu puuaines olisi tuoretta. Puunrungot pinotaan kentälle nippuihin niin sanotuiksi puskurivarastoiksi odottamaan tuotantoon nostamista. Puskurivarastoilla varmistetaan puunkäsittelylaitoksen tai tehtaan tasainen puun saanti. Sellu- ja paperitehtaat myös ostavat haketta oman tuotantonsa ulkopuolelta, tätä kutsutaan ostohakkeeksi. Ostohake tuodaan prosessiin omia kuljettimia pitkin yleensä ennen varastointia. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 26.)

Puunrungot siirretään nippunosturilla, etukuormaajalla tai trukilla kuorimoon johtavalle puunvastaanottokuljettimelle. Kuljetin siirtää runkoja eteenpäin kuorimarumpuun, jossa suurin osa puunrungon kuoresta irtoaa. Sellun valmistuksessa käytetään puun ruongosta hakettua hakelastua, joten kuori on irrotettava rungosta ennen haketusta. Irronnut kuori kuljetetaan kuorikuljettimia pitkin jatkokäsittelyyn. Rungot jatkavat kuorimarummusta eteenpäin hakunsyöttökuljettimen kautta hakkuun. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

Hakku hakettaa puunrungoista tarkan kokoista hakelastua. Haketetusta puuaineksesta erotellaan seulomalla hyväksytty hake ylisuuresta ja alimittaisesta hakkeesta ennen sen siirtymistä varastoitavaksi. Hyväksytty hake siirtyy kuljettimia pitkin varastoon ja hylätty jatkokäsittelyyn. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)



Kuva 4. Puunkäsittelylaitos, kuorimo (Valmet Technologies Oy intra 2020)

4.3 Puuaineksen syöttö-, sulatus- ja pesulinjasto

Puutavara lasketaan puunvastaanottokuljettimelle. Kuljettimesta on erilaisia versioita riippuen kuorimon maantieteellisestä sijainnista sekä asiakkaan tarpeesta. Olennaisena osana talviolosuhteissa on kuljettimeen saatavilla sulatuslinjasto, jossa puunrunkojen kuorikerros sulatetaan parempaa kuorittavuutta varten. Sulatus tapahtuu tehtaan prosessin lämmöllä lämmitetyllä vedellä tai höyryllä. Yleensä myös pesulinjastoa suositetaan ennen kuorintaa, jotta ylimääräinen kiviaines kuten hiekka saadaan prosessista pois. Kova kiviaines aiheuttaa metalliosien kulumista, joka johtaa niiden vaihtovälin lyhenemiseen. Ylimääräisten partikkelien joutuminen prosessin keittovaiheeseen voi johtaa koko erän hylkäämiseen. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

4.4 Kuorinta

Yleisin kuorintatapa tapahtuu pyörivän kuorimarummun sisällä. Rumpua voidaan kantatella ja pyörittää, niin kumisten pyörien kuin teräspyörienkin päällä tai hydrostaattisilla laakereilla ohuen öljykerroksen päällä riippuen asiakkaan tarpeesta. Kuorinta pe-

rustuu yksinkertaisimmillaan kitkaan, joka aiheutuu puunrunkojen toisiinsa törmäilemisestä rummun sisällä. Rumpua pyöritetään hitaasti, jolloin puunrungot iskevät toisiaan vasten aiheuttaen kuoren irtoamisen. Rummun vaipassa on tarkkaan suunnitellut kuoriaukot, joista kuori pääsee tippumaan alla olevalle kuorikuljettimelle. Aukot on suunniteltu toimivan myös eteenpäin työntävänä voimana, mutta pääasiallinen puunrunkoja siirtävä voima on painovoima, sillä rumpu on kallistettu puiden menosuuntaan. Kuorinta-aikaa saadaan säädeltyä rummun purkupäässä olevalla portilla. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

Puiden kuorittavuus riippuu jälsikerroksen leikkauskestävyydestä, joka puolestaan on riippuvainen puun kuivuudesta ja sen lämpötilasta. Jälsikerros sijaitsee puun kuorikerrosten ja varsinaisen puuosan välissä. Vastakaadetun puun jälsi on pehmeää, joten sen kuorintavastus on alhainen ja kuori irtoaa helposti. Puulajeja vertaillen paras kuorittavuus on männyllä, huonompi kuusella ja vaikeinta se on koivulla. Kuivasta puusta kuori irtoaa huonosti. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 28; 42.)

Kuorimisvaatimukset riippuvat paljolti siitä, mitä massaa tehdään ja millä menetelmällä sitä tullaan valmistamaan. Kuoripitoisuusvaatimuksella tarkoitetaan tiettyä prosenttiyksikköä, kuinka paljon kuorta saa esiintyä valmiissa puumassassa. Kuoripitoisuusvaatimusten alentamisella voidaan saavuttaa kustannussäästöjä, mutta puuhun jääneestä kuoresta voi olla myöhemmin monenlaista haittaa. Noin kolmannes kuoresta liukenee lämpimään veteen. Sen lisäksi kuori sisältää sekä värjääviä, että uuttuvia ainesosia. Näiden seurauksena kuorta sisältävä hake ei huomattavasti lisää saantoa eli jatkossa käytettävää puumassaa. Kuori aiheuttaa värillisiä pilkkuja massaan, vaikeuttaa vedenpoistoa sellu- ja paperirainassa sekä alentaa valmiin paperin repeämislujutta. Koivun kuori voi myös aiheuttaa pihkaongelmia paperin valmistuksessa. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 29-31.)

Vaihtoehtoisesti voidaan valita mekaaninen kuorinta kuorimarummun sijasta. Mekaaninen kuorinta tapahtuu myös osin toisiinsa iskeytyvien puiden välille syntyvän kitkan avulla. Suurimpana erona kuorimarumpuun on piikikkäät rullat, joiden päällä rungot pyörivät. Mekaaninen kuorinta sopii kovakuorisen puun kuorintaan, ja sen avulla voidaan jättää runkojen sulatus pois kylmissä olosuhteissa. (Valmet Technologies Oy intra 2015.)

4.4.1 Kuoren käsittely

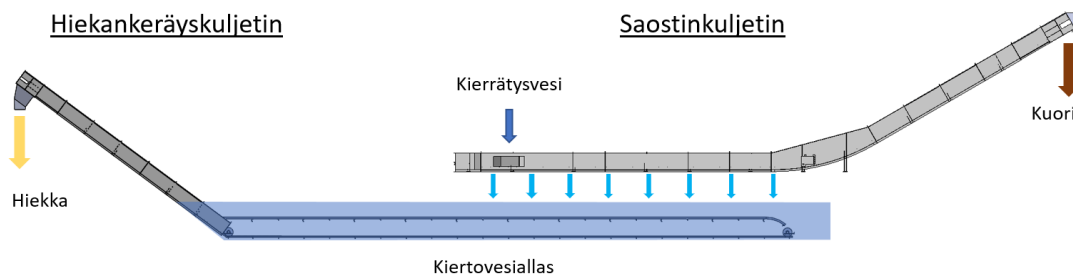
Kuorta voidaan erottaa vielä kuorinnan jälkeen erityiskuvioituilla rullilla varustetulla kuljettimella osana hakunsyöttökuljetinta. Hakunsyöttökuljettimelle on saatavilla myös kiviloukku, pesulinjasto ja magneettinen metallinilmaisim. Kiviloukku toimii pumpattavan veden nosteen avulla, jota pumpataan rullastossa olevaan suppiloon. Puut kulkevat vesipatsaan yli ja vettä tiheämmät tippuvat suppiloon. Pesulinjasto pesee vielä rungot irrottaen jäljelle jäänyttä kuorta ja likaa. Metallinilmaisimen avulla pyritään saamaan pois kaikki mahdollinen metalli, mitä puiden mukana voi kulkeutua. Kaikki puutavarasta poikkeava, kuten suuret kivet tai metallit on saatava pois ennen puun hakettamista, sillä se kuluttaa ja rikkoo laitteiden metalliosia sekä hakun teriä. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

4.4.2 Saostin- ja hiekankeräyskuljetin

Pesu- ja sulatusvesien mukana irronnut kuori ja kiviaines on eroteltava toisistaan. Vesi ohjataan lattiakanaaleja pitkin saostinkuljettimelle (ts. vedenerotuskuljetin), joka kerää kuoren talteen vedestä. Hiekan on tarkoitus sedimentoitua saostimen alla olevan kiertovesialtaan pohjalle, josta se kerätään hiekankeräyskuljettimella (ts. kiertovesialtaan puhdistuskuljetin). Saostin ja hiekkuri ovat molemmat ketjukolakuljettimia, joiden kolat laahaavat pohjaa pitkin kuljettaen kuorta ja kiintoainetta eteenpäin. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)

Saostinkuljettimen alkupäässä on reikälevypohjaisia lohkoja, josta vesi ja sen mukana kulkeutuva kiintoaines esimerkiksi hiekka pääsevät läpi kiertovesialtaaseen. Kolat kuljettavat hitaasti (0.25 m/s) vedestä erotettua kuorta saostimen purkauspäähän, josta se puretaan esim. ruuvikuljettimella jatkokäsittelyyn. Saostin on yleensä jonkin asteisessa kulmassa, mikä edistää kuoren erottelua vedestä. Jos reikälevyt jostain syystä tukkiutuvat kuoresta tai tikuista ja veden pinta saostimessa alkaa nousta, on kulmalohkoon sijoitettu ylivuotokotelo. Sen sisällä on uimurikytkin, joka antaa signaalin pysäyttää vettä pumpaavat pumput. Kun pumput eivät tuo lisää vettä tukkiutuneeseen kuljettimeen, annetaan saostimen pyöriä rauhassa itsekseen ja vedenpinnan laskea. Vedenpinnan laskiessa normaalille tasolle pumput käynnistyvät ja vesi alkaa jälleen virrata. (Valmet Technologies Oy intra 2014.)

Hiekka ja muu kiintoaine kerrostuu kiertovesialtaan pohjalle. Altaan pohjaa pitkin kulkee hiljaa (0.05 m/s) hiekankeräyskuljetin, joka kerää kiintoaineen siirtolavalle. Kuljettimen nopeuden on oltava hidas, että kiintoaine ehtii kerrostua altaan pohjalle. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)



Kuva 5. Kuoren, kiintoaineen ja veden kulku kuljettimissa

4.5 Hakku

Puut täytyy hakettaa, jotta sellunkeitto tapahtuisi riittävän nopeasti. Hakelastujen vaatimukset liittyvät suurimmaksi osaksi niiden geometriaan ja on tarkkaan määrättyjä. Hakelastulla tulee olla riittävä pinta-ala, jotta sellunkeitossa käytettävät kemikaalit imeytyisivät siihen helposti. Toisaalta, keittoliemeen liukenevat aineet liukenevat helpommin pienestä lastusta kuin isosta. Hakelastun kokoon ja laatuun vaikuttaa mm. hakun terien terävyys. Tämän takia teriä vaihdetaan ja hiotaan useasti viikossa. Kovia puita, kuten eukalyptusta, haketettaessa teriä joudutaan vaihtamaan erityisen tiheään tahtiin. Tämä voi olla jopa useamman kertaa päivässä. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 56-71.)

Puiden syöttöasento on erityisen tärkeä ottaa huomioon hakkeen laadusta puhuttaessa. Vaikka jokainen puu ei tule täysin optimaalisessa asennossa hakulle, on niiden syöttöasentoa varmistamaan keksitty erilaisia ohjureita hakun syöttökidan pohjaan. Ohjurit estävät puun pyörimisen ja sivuttaisenliikkeen, jotta puun keskilinja saataisiin pidettyä mahdollisimman hyvin hakkuun nähden paikallaan. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 71; Valmet Technologies Oy intra 2017a.)

Haketus tapahtuu suurihalkaisijaisen teräkiekon läpi, jota voidaan kannatella pystyssä tai vaakatasossa. Kiekkoon on kiinnitetty teriä, jotka ovat asennettu tiettyyn kulmaan

optimaalisen hakkeen tuottamiseksi. Terien lukumäärällä pyritään pitämään aina yksi terä leikkaamassa puuta, jotta puut eivät alkaisi pomppia. Leikkaava terä hakettaa puita vastaterää vasten, joka on kiinnitetty koneen runkoon. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 61-64.)

Hakun asentoon vaikuttaa sen syöttötapa. Pystysyöttöiseen hakkuun puut syötetään painovoiman avulla pystyssä olevan syöttösuisteen kautta. Vaakasyöttöiseen hakkuun vastaavasti puuaines syötetään vaakatasossa syöttökuljetinta pitkin. Vaakasyöttöinen hakku soveltuu eritoten pitkien puiden hakettamiseen, mutta vaatii siten pidemmän syöttökuljettimen. Haketta voidaan purkaa hakusta antamalla sen tippua hakun alla tai takana olevalle kuljettimelle. Haketta on myös aikaisemmin purettu puhaltamalla hakun yläpuolelle sen kehällä olevien ”puhallussiipien” avulla. Hakkeen purkamista ylös harvemmin enää käytetään, koska sen todettiin huonontavan hakkeen laatua. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 61; Vastamaa henkilökohtainen tiedonanto 17.11.2020.)

4.6 Hakkeen seulonta

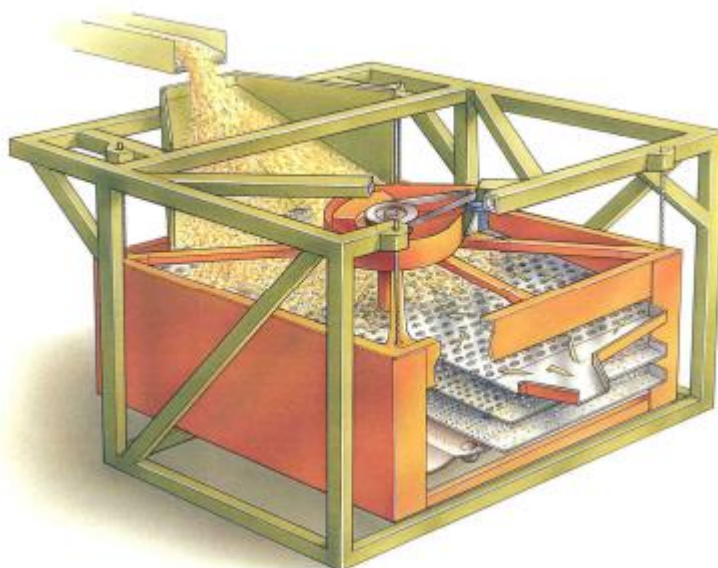
Hakulla saatu hake sisältää pienen määrän purua, ylisuuria ja -paksuja hakelastuja sekä tikkuja. Hakkeesta täytyy erotella hyväksytyt hake eli aksepti muista, jotta sellun keitto tapahtuisi mahdollisimman tehokkaasti. Ei ole kuitenkaan aivan tavatonta käyttää myös seulomatonta haketta, mutta sille on olemassa rajansa kuinka epätasaista käytettävä hake saa olla ennen kuin se alkaa vaikuttamaan lopputuotteeseen. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 76.)

Ennen varsinaista seulontaa hakevirrasta voidaan erotella ylipaksut hakelastut paksuusseulonnalla. Paksuusseulontaan käytetään kiekoseulaa, jossa kiekkojen välinen jako on säädetty hakekoon mukaan siten, että vain aksepti ja sitä pienemmät pääsevät läpi. Ylisuuri hake etenee uudelleenhaketuksen ns. tikkuhakulle, josta se palaa oikean kokoisena hakesyklonin kautta takaisin seulontaan ja siitä prosessiin. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 79; Havu 2014.)



Kuva 6. Paksuusseulonta (Havu 2014)

Tasoseulaa käytetään yleisesti akseptin erottelemiseen ylisuurista hakelastuista, tikkuista ja purusta. Sen mallissa on päällekkäin kolme tai neljä seulalevyä, jotka ovat pienessä kulmassa vaakatasoon nähden. Hake siirtyy eteenpäin ja seuloutuu pyörivän liikkeen avulla. Hake syötetään ylimmälle seulalevyille, josta se putoaa alemmalle levyille ja niin edelleen. Ylisuuret palaset ja tikut jäävät ylimmälle tasolle, aksepti jää keskimmaiselle tasolle ja puru putoaa alimmalle levyille. Seulonta suoritetaan yleisimmin keittämöön menevällä linjalla, jolloin aksepti saadaan kuljetettua suoraan sinne. (Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely 1989, 79; Havu 2014; Pietarinen 2015.)



Kuva 7. Tasoseula (Pietarinen 2015)

4.7 Hakkeen varastointi

Lopulta hake ja kuori varastoidaan. Varastointimahdollisuuksia ovat pyörövarasto, aumavarasto tai siilo. Haketta varastoitaessa voidaan käyttää kaikkia vaihtoehtoja, mutta kuorta vain siilossa tai aumavarastossa. Kuori ei sovellu hyvin pyörövarastoimiseen, sillä se ei ole yhtä juoksevaa kuin hake ja näin ollen sitä on vaikeampaa purkaa haravalla (Vahala henkilökohtainen tiedonanto 20.11.2020).

Pyörövaraston toimintaperiaate perustuu varaston syöttökuljettimen pään kääntymiseen. Syöttökuljetin on tornin päässä, joka liikkuu ympyrärataa muodostaen kuunsirppimäisen hakekasan. Kuunsirppimäinen muoto aiheutuu siitä, että hakekasaa puretaan samalla suurella, kasaa sivuavalla haravalla. Harava kulkee säteittäisesti edestakaisin hakekasan reunaan pitkin ja syöttää siten sen alla olevaa purkauskuljetinta. Hakekasan purkauskuljetin kääntyy kiskoilla muiden laitteiden mukana purkaen kasaa tornin alla olevaan purkuaukkoon, josta hake siirtyy jatkokäsittelyyn. (Valmet Technologies Oy intra 2020.)



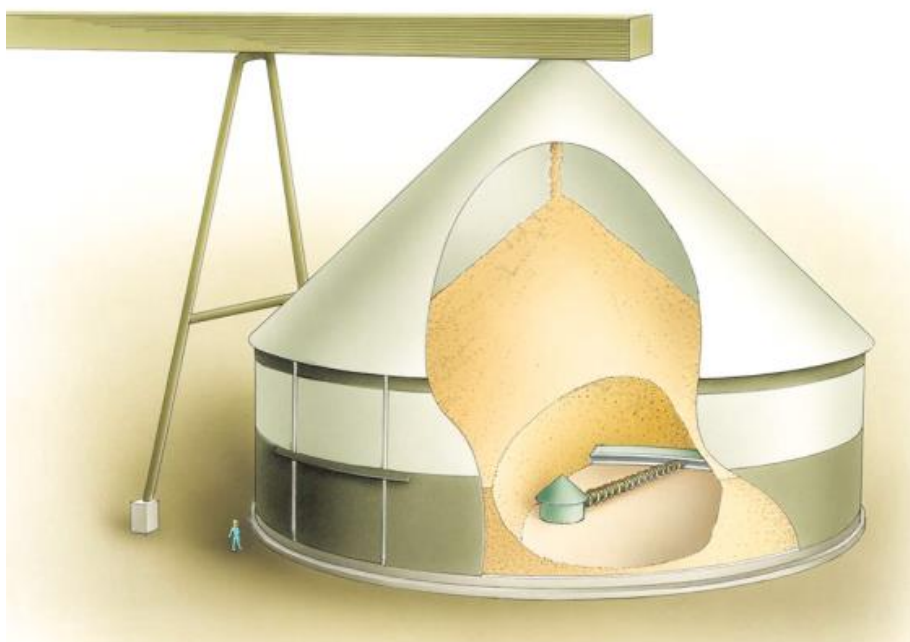
Kuva 8. Pyörövarasto (Valmet Technologies Oy intra 2020)

Aumavarasto voi olla joko katettu tai avonainen lineaarinen varasto. Siihen voidaan kasata haketta tai kuorta. Varastoitava puuainees syötetään jakokuljettimelle, joka kerää sen liikkumalla kiskoja pitkin edestakaisin kasan päällä. Kuljetin on lyhyempi kuin tarvittava kasa ja sen syöttösuuntaa vaihdetaan kasan suuntaisesti aina sen saavutettua maksimiasemansa. Näin aumavarastoa saadaan kasattua tasaisesti. Ruuvipurkaimia on kasan alla kummallakin puolella. Ne purkavat kasaa sen keskellä oleville purkauskuljettimille, joka vie puuaineen eteenpäin. (Vahala henkilökohtainen tiedonanto 20.11.2020.)



Kuva 9. Aumavarasto (Valmet Technologies Oy intra 2020)

Siiloon varastointi pitää hakkeen ja kuoren turvassa sääolosuhteilta ja siten saadaan helposti eriteltyä eri puulajit toisistaan. Toisin kuin avovarastossa on vaarana, siiloa syötettäessä puuainesta ei pääse seuloontumaan tuulen mukana ympäristöön. Siilon katossa on aukko, josta kuorta tai haketta syötetään sisään. Muodostuvan hake- ja kuorikasan alla on ruuvipurkain, joka purkaa kääntyen siilon pohjaa pitkin puuainesta jatkokäsittelyyn. (Valmet Technologies Oy intra 2020; Vahala henkilökohtainen tiedonanto 20.11.2020.)



Kuva 10. Siilovarasto (Valmet Technologies Oy intra 2020)

4.8 Lopputuotteet

Puunkäsittelylaitoksen päätuotteesta eli hakkeesta valmistetaan keittämällä sellua paperi- ja kartonkituotteiden raaka-aineeksi (Metsäteollisuus www-sivut 2019). Haketta voidaan käyttää myös esimerkiksi lastulevyjen tai vanerin valmistuksessa (Metsäteollisuus www-sivut 2006).

Sellun keittoon kelpaamaton kuori ja muu biomassa, kuten puru ja tikut, voidaan käyttää hyväksi energian tuotannossa. Energiaa voidaan tuottaa muun muassa biomassan kaasutuksella, jossa biomassaa poltetaan korkeassa lämpötilassa tuottaen lämpöä ja palavaa kaasua. Biomassan kaasutus on yleistymässä ja sillä pyritään korvaamaan saastuttava kivihiilen poltto osittain tai kokonaan. Kaasutus on ympäristöystävällisempää ja energiatehokkaampaa kuin materiaalin polttaminen kokonaan. Kaasutuksesta saatua lämpöä ja energiaa voidaan käyttää niin valtakunnalliseen sähköverkkoon, kaukolämpöön kuin myös paperitehtaan omaankin käyttöön tehden paperitehtaasta taloudellisemman. (Valmet www-sivut 2020c; Valmet www-sivut 2020d.)

Toinen tapa hyödyntää sellun tuotannossa tarpeetonta biomassaa on pyrolyysi. Pyrolyysillä tarkoitetaan orgaanisen materiaalin kuumentamista hapettomassa tai lähes hapettomassa ympäristössä. Ilman happea orgaaninen materiaali ei syty palamaan, mutta se alkaa hajota vapauttaen kaasuja. Syntyneet kaasut kerätään talteen ja ne kondensoidaan bio-öljyksi, jota voidaan käyttää korvaamaan nestemäisiä fossiilisia polttoaineita esimerkiksi lämmön tuottamisessa. (Valmet www-sivut 2020e.)

5 PARAMETRISEN MODULAARIRAKENTEEN SUUNNITELU

Tarkoitus oli tuottaa Valmetin tuotekansioon runkorakenteet saostin- ja hiekankeräyskujettimille, joita voidaan käyttää tulevilla projekteilla ja joita voidaan muokata helposti vastaamaan asiakkaan vaatimuksia. Ajatuksena oli myös, että rakenteet saataisiin osin standardoitua, jotta koko rakenteen projektikohtainen räätälöinti jäisi vähäiseksi. Kujettimet ovat olleet aikaisemmin pääosin projektikohtaisia ja räätälöityjä, mutta esimerkiksi leveys on standardoitu. Täysin standardoitua tuotetta ei edes saostimesta

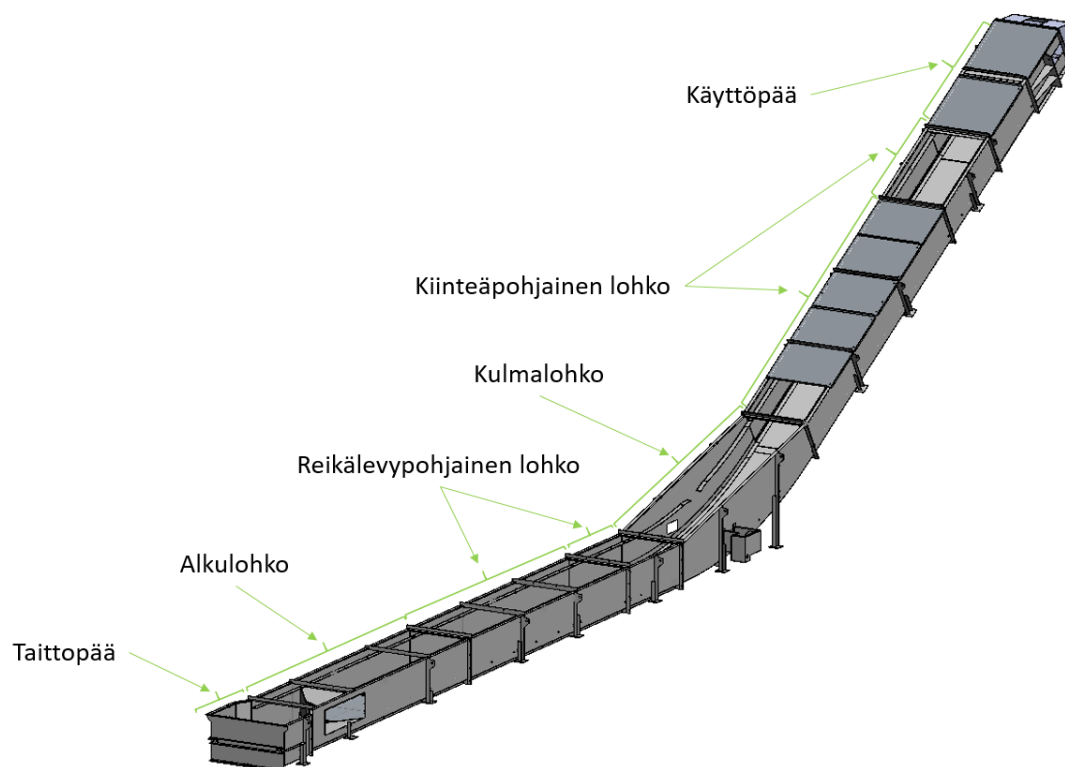
tai hiekkurista saada erinäisten projektikohtaisten muuttujien takia. Tehtaan tuotantokapasiteetti ja linjaston pituus ovat esimerkkejä tällaisista muuttujista.

Kolmiulotteisia mallien rakenteita alettiin työstämään aikaisempien valmistuspiirustusten ja käynnissä olevien projektien laitteiden kehittämisen pohjalta. Työ aloitettiin mallintamalla skeleton-runkorakenne saostinkuljettimelle. Tässä tapauksessa laitteen skeleton-runkorakenteella tarkoitetaan koko laitteen rakenteen mallintamista yhteen osaan. Skeleton-rakenteisiin ei mallinnettu yksityiskohtia, kuten kulmien pyöristyksiä tai reikiä, vaan ne pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena. Tätä skeleton-rakennetta voidaan käyttää myös kevyenä mallina esimerkiksi layout-malleissa.

Levyosat osoitettiin seuraamaan skeletonin piirteitä erilaisilla relaatioilla sekä matkomoilla myöhemmässä 3D-mallin kokoonpanovaiheessa. Tarkoituksena oli saada muodostettua valmis rakenne laitteesta kaikkine osineen ja valmistuspiirustuksineen, joita saadaan muokattua pelkästään skeletonin mittoja muuttamalla.

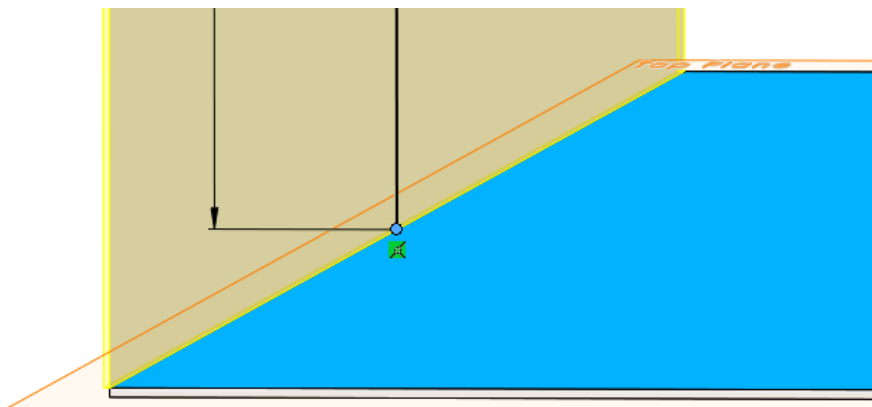
5.1 Saostimen rakenteen suunnittelu

Saostinkuljetin valikoitui modularisoitavaksi sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Se koostuu lohkoista, joihin kuuluu taittopää, alkulohko, reikälevylohkot, kulmalohko, umpipohjaiset lohkot sekä käyttöpää. Reikä- ja umpilohkot ovat lähes identtiset toisiinsa nähden ja niistä tehtiin sekä kuuden metrin lohkot, että kahden metrin lohkot. Suurin ero lohkojen välillä on niiden pohja. Reikälevylohkot löytyvät saostimen alusta kiertovesialtaan päältä, jossa vesi ja sen mukana kulkeutuva kiviaines ohjataan reikälevyjen läpi altaaseen ja kuoriaines saadaan kerättyä kolakuljettimella talteen. Umpipohjaiset lohkot sijoitetaan kulmalohkon jälkeen ja ne johtavat purkauskuljettimelle.



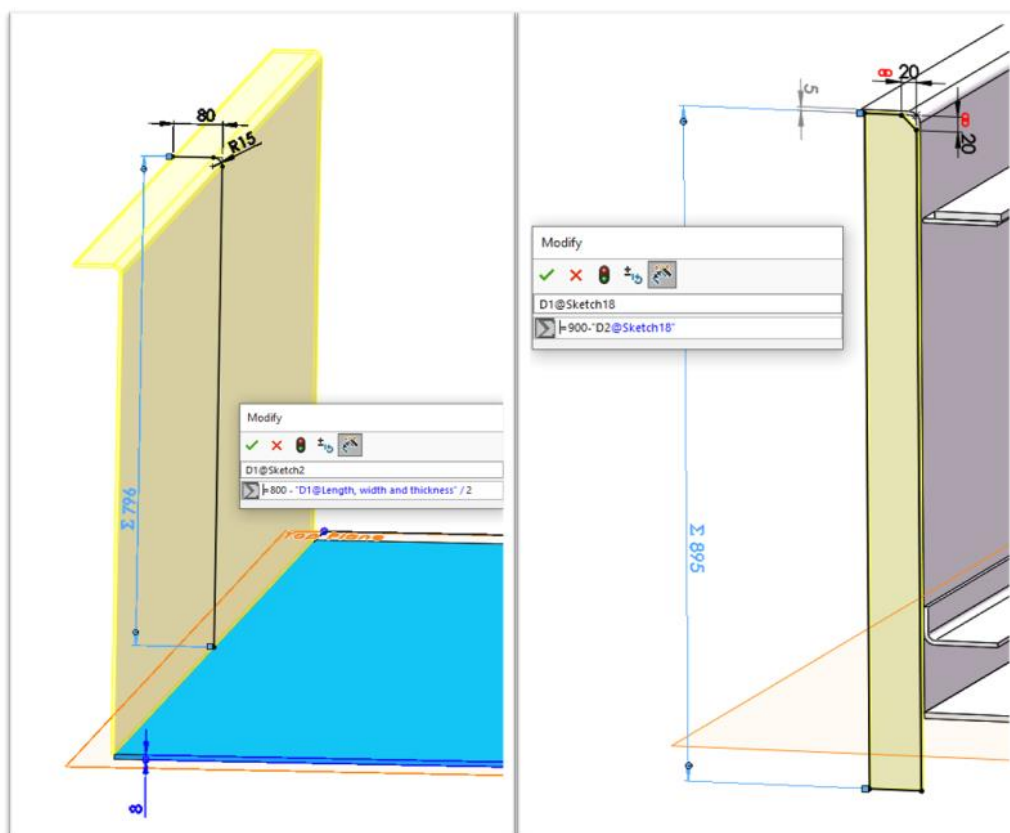
Kuva 11. Saostimen 3D-malli

Rakenne puhui myös parametrisoinnin puolesta. Parametrisointi toteutettiin relaatioita ja yhtälöitä käyttämällä. Nämä mahdollistivat rakenteen eri osien suhteellisen mitta-
muutoksen, kun vaihdettiin toiminnallisia mittoja tai päämittoja. Päämitoiksi luonne-
ditaan rakenteen ulkomittoja, kuten leveys, pituus ja levyn ainevahvuus. Toiminnalli-
sia mittoja ovat muun muassa rungon sisäleveys ja korkeus. Toiminnalliset mitat kul-
kevat tuotantokapasiteetin kanssa käsi kädessä. Relaatioiden avulla saatiin yhdistettyä
kaksi tai useampi piirre kiinni toisiinsa. Yhtälöiden (equations) avulla helpotettiin an-
nettujen numeeristen mittojen muutosta. Malleissa yhtälöitä käytettiin esimerkiksi pi-
tämään lohkojen korkeus vakiona (900mm), vaikka pohjan ainevahvuus muuttuikin.
Ensin tehtiin yhtälö lohkon seinälle, joka on osoitettu relaatiolla (coincident) riippu-
vaiseksi pohjasta. Coincident-relaatio pitää seinän alareunan paikallaan pohjaan osoi-
tetusta kulmasta.



Kuva 12. Coincident-relaation symboli (vihreä)

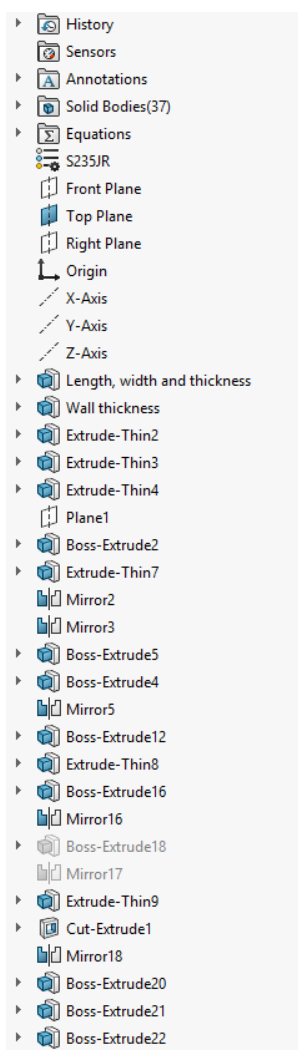
SolidWorks'issä yhtälö muodostetaan kirjoittamalla osan mittakenttään ensin yhtäsuuruusmerkki, jonka jälkeen voidaan vapaasti muodostaa tarvittava yhtälö esimerkiksi lisäämällä tai vähentämällä vakioarvosta jokin tietty mitta. Tässä tapauksessa yhtäsuuruusmerkin jälkeen kirjoitettiin seinän vakiokorkeus (800mm), josta osoitettiin hiirellä erotus puolet pohjan muuttuvasta numeerisesta ainevahvuudesta (8mm). Puolet siksi, koska pohja on pursotettu Top-tason keskeltä molempiin suuntiin.



Kuva 13. Vasemmalla yhtälön käyttöä seinän piirtämisessä ja oikealla yhtälö käyttöä rajapinnan sivulaipassa

Lohkon korkeus muodostuu seinän ainevahvuuden ja lohkon rajapinnan sivulaipan pituudesta. Koska korkeus haluttiin pitää vakiona, käytettiin sivulaipassa yhtälöä. Lohkon korkeudesta (900mm) osoitettiin vähentymään puolet seinämän ainevahvuudesta (5mm). Tämän jälkeen voitiin pohjan ainevahvuutta muuttaa mielivaltaisesti ja korkeus pysyi vakiona.

Päämitat erotettiin muista piirteistä nimeämällä ne. Piirrepuun ensimmäisen piirteen sketch'iin määritettiin saostimen pituus ja leveys pohjan pituuden ja leveyden avulla sekä pohjan paksuus pursotuksen avulla. Niin kuin edellä mainittiin, pursotuksen tasoksi valikoitui top-tason keskitaso.



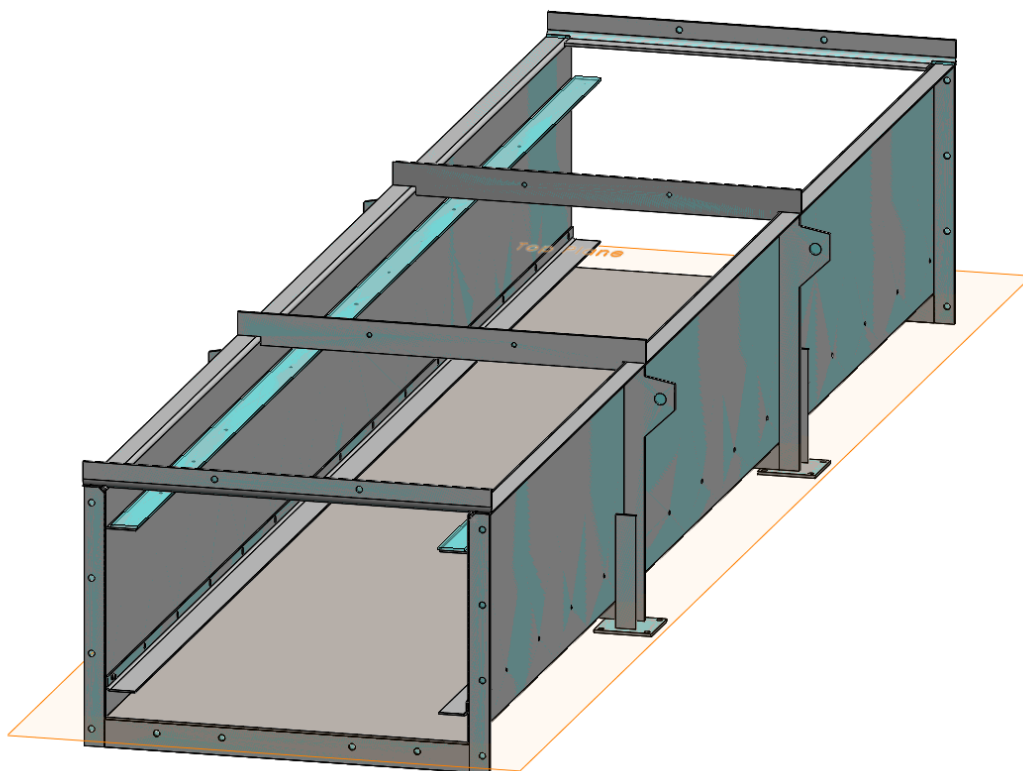
Kuva 14. Skeleton-rakenteen piirrepuu

Jokaisesta lohkosta tehtiin omat skeleton-rakenteet. Skeletonien ollessa valmiita mietittiin, minkälaisia levyosia lohkoissa käytetään. Lähtökohdat tähän olivat, että val-

miita teräsprofiileja tulisi mahdollisimman vähän. Tämä siksi, koska vanhojen piirustusten teräsprofiilit olivat rei'itettyjä kulmarautoja. Vaikka saostimen ja hiekkurin lohkojen suunnittelussa pyrittiin pidättäytymään teräsprofiilien käytöstä, voivat ne olla esimerkiksi rei'ittämättöminä kustannustehokkaampia kuin levyosista taivutetut osat. Ne voidaan ostaa valmiina eikä niitä tarvitse erikseen valmistuttaa. Profiilit korvattiin taivutetuilla polttoleikatuilla levyillä, joihin profiilin polton yhteydessä on poltettu reiät.

Taivutetun levyn käyttöä valmiin profiilin sijasta mietittiin myös standardien puolesta. Valmiiden profiilien standardit voivat vaihdella riippuen valmistusmaasta, kun taas erot levystandardeissa ovat niin pieniä, että ne käytännössä katoavat käytettyihin rakennustoleransseihin.

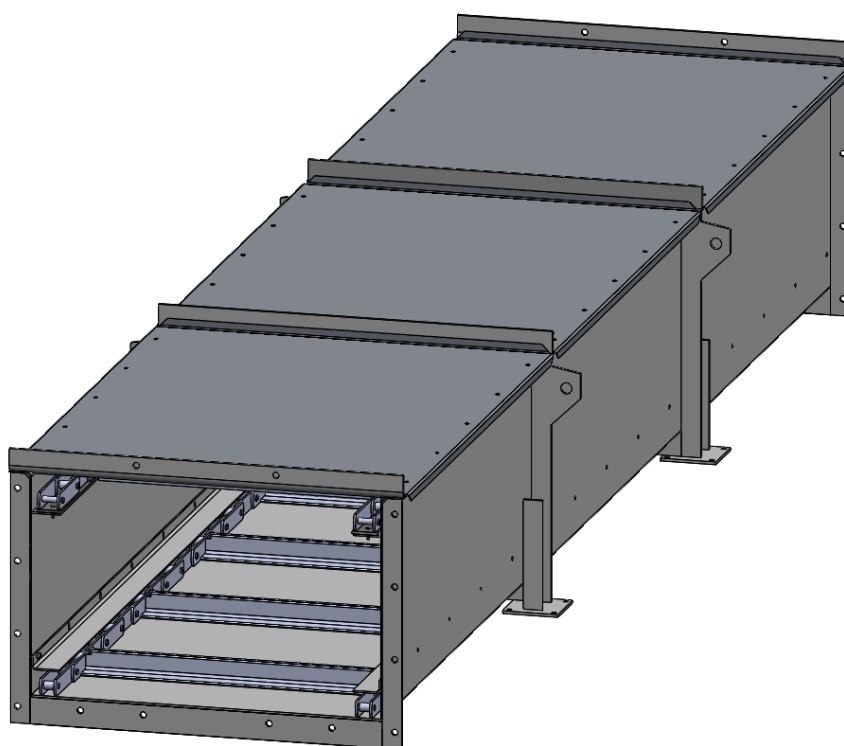
Skeletonin pohjalta avattiin uusi kokoonpano (assembly) ja skeletonin origo kohdistettiin kokoonpanon origoon. Skeleton muutettiin envelopeksi Envelope-komennolla, joka muuttaa osan pelkäksi referenssiksi ja sitä ei esimerkiksi sisällytetä kokoonpanon osaluetteloon tai lasketa mukaan kokonaisuudessaan (Brinkhuis, 2017).



Kuva 15. Skeletonrunko envelopena umpipohjaisessa lohkoissa (levyosat harmaalla)

Fyysiset levyosat mallinnettiin uusiin omiin osiinsa, jotka liitettiin osaksi kokoonpanoa. Skeletonin envelope-mallia pohjana käyttäen levyosien piirteiden ääriviivat liitettiin erilaisilla referensseillä kiinni skeletonin malliin, jolloin osa seuraa skeletonin mallin piirteitä. Reiät ja levyjen taivutukset tehtiin tarvittaviin osiin vasta tässä assembly-vaiheessa. Tähän kokoonpanoon liitettiin näkyviin myös kiinnikkeet kuten, pultit, mutterit ja aluslevyt. Kokoonpanon pohjalta tehtiin valmistuspiirustus.

Lähes valmiiden assembly-mallien loppupuolella mietittiin, mitä osia ei haluta rungon valmistuspiirustuksiin. Lopulta päädyttiin, että yläkiskon päälle kiinnitettävät Hardox-kulutuslevyt, kannot eikä alkulohkossa olevat veden tuloa ohjaavat levyt sisälly siihen. Näille osille tehtiin vielä uusi kokoonpano, jossa ne liitettiin osaksi laitteen levyosien kokoonpanoa. Uuden kokoonpanon luomisella haluttiin saada runkoa varten konepajalla hitsattavat osat erilleen muun muassa pultattavista kulutusosista. Näin ollen saadaan erillinen kokoonpanopiirustus, jota voidaan käyttää ohjeena irrotettaville osille.



Kuva 16. Valmis umpipohjainen lohko

Voidaan myös lisätä, että modulaarisuuden kannalta kulutuslevyjen valinta ns. jälkikäteen sekä niiden sisällyttäminen omaan kokoonpanoonsa on hyvä asia. Tällöin modulaarisen rakenteen valmistuspiirustuksia ei tarvitse muokata projektien välillä kulusosien takia.

5.1.1 Tehdyt muutokset referenssipiirustuksiin nähden

Jokaista lohkoa kehitettiin hieman, mutta suurimmat muutokset tehtiin alkulohkoon ja kulmalohkoon. Lohkojen rakenteita yritettiin parantaa historian perusteella ja samalla niistä yritettiin saada valmistusystävällisempiä sekä kevyempiä.

Alkulohkossa olevaa vedentuloa ja sen ohjaavan levyn rakennetta mietittiin paljon. Sen on oltava irrotettavissa pohjan reikälevyjen vaihtoa varten ja se ei saisi päästää vettä yli reunojensa, vaikka vesi tulisikin paineella kanaalista. Aikaisemmin veden ohjaus on toteutettu vain pelkällä ohjaavalla seinällä, mutta käynnissä olevan projektin perusteella, tarvitsisi se myös jonkinlaisen katon. Katto on myös oltava irrotettavissa kunnossapidollisista syistä ja sen olisi mahdollista pystyä nostamaan yhden ihmisen voimin. Tämä koitui todelliseksi haasteeksi. Ratkaisuksi esitettiin rakennetta, jossa seinät olisivat niin korkeat, että katto voitaisiin kiinnittää yläkiskojen kulutuslevyn ruuveihin. Seinien kiinnitys tapahtuisi vanhaan malliin eli ohjaavaan pohjaan hitsatuilla lapuilla, joissa on pulttia varten reikä keskellä ja sekä pohja, että seinä kiinnitettäisiin pulttiliitoksella toisiinsa. Ohjaavaa pohjaa muokattiin niin, että nyt se saadaan kiinnitettyä samoihin reikiin kuin alakiskonsuojat. Näin ollen modulaarisuus säilyy lohkojen kesken ja vain veden ohjaus sekä lyhyempi alakisko erottaa alkulohkon ja reikälevylohkon toisistaan.

Vedentuloa varten tehtiin aukko alkulohkon kylkeen. Tämä johti siihen, että jalkaa lyhennettiin, koska se oli aukon tiellä. Aikaisemmin vedentuloaukko on leikattu asennuspaikalla asennuksien yhteydessä, jotta se sopii vesikanaaliin. Nyt sen on tarkoitus olla tarpeeksi iso, jotta tarvittava vesimäärä saadaan johdettua sen läpi eikä se ole riipuvainen vesikanaalista. Täten aukkoa ei tarvitse aina muuttaa projektikohtaisesti.

Alkulohkosta sekä kulmalohkosta tehtiin kaksikäätiset mallit, koska ne muuttuvat perustuksien mukaan. Tämä toteutettiin niin, että kaikki osat mallinnettiin ensin skeletonnissa paikalleen, jonka jälkeen niistä tehtiin vasenkätinen ja oikeakätinen konfiguraatio. Konfiguraatio tehtiin myös mallin kokoonpanon puolelle, jotta se pystyttiin siirtämään valmistuspiirustukseen. Malli vaihtui konfiguraation mukaan, mutta jalkoja sekä toista seinää täytyi muokata käätisyyden vaihtamisen jälkeen manuaalisesti.

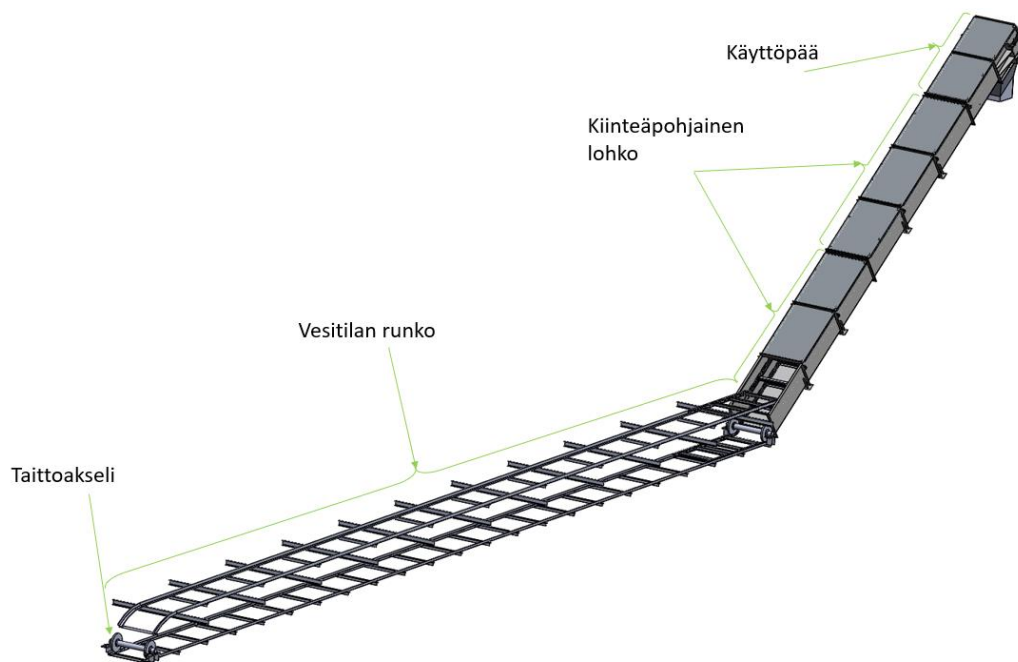
Kulmalohkon sivuprofiilia pyöristettiin. Siihen kiinni hitsatun ketjujen heilumista ehkäisevän painopyörästäön tilalle vaihdettiin kiinteät hitsattavat alaketjunsuojat, koska painopyörästäön liittyi kunnossapidollisia ongelmia. Pienempiä muutoksia tehtiin mm. käyttöpäähän, jossa sen leveyttä muokattiin, alaketjunsuojia pidennettiin pudotusaukkoon asti ja niiden päihin tehtiin kaavarit. Käyttöpään muutoksilla pyrittiin estämään suurien puunpalasien menemisen ketjun ja käyttöakselin pyörien väliin.

Umpipohjaisiin lohkoihin lisättiin myös ruuviliitoksella kiinnitettävät alaketjunsuojat ja niitä varten tehtiin reiät seiniin. Alaketjunsuojilla pyritään kontrolloimaan paremmin ketjujen liikettä.

Kaikkien lohkojen osalta pohjan jäykistäjiä karsittiin, mikä vaikutti lohkojen massaan. Myös lohkojen jalkoja kehitettiin siten, että nostokorvat yhdistettiin jalkoihin, jotta säästytään ylimääräisiltä nostokorvapäloilta sekä hitsisaumoilta.

5.2 Hiekkurin rakenne

Hiekkurin veden yläpuolinen runko on saostimen lailla koottu lohkoista ja sen rakenteessa käytettiin saostimen umpipohjaista lohkoa, joten suunnitteluprosessi ei poikennut saostimen suunnittelusta. Vesitilan runko on kiinnitetty perustuksiin palkeilla, joihin on kiinnitetty taivutetusta levystä tehdyt kiskot. Ketjut kulkevat kiskoja pitkin puhdistuksen allasta. Sen toiminnalliset mitat poikkeavat saostimen mitoista, joten ne muutettiin ennen valmistuspiirustusten tekoa.



Kuva 17. Hiekkurin 3D-malli

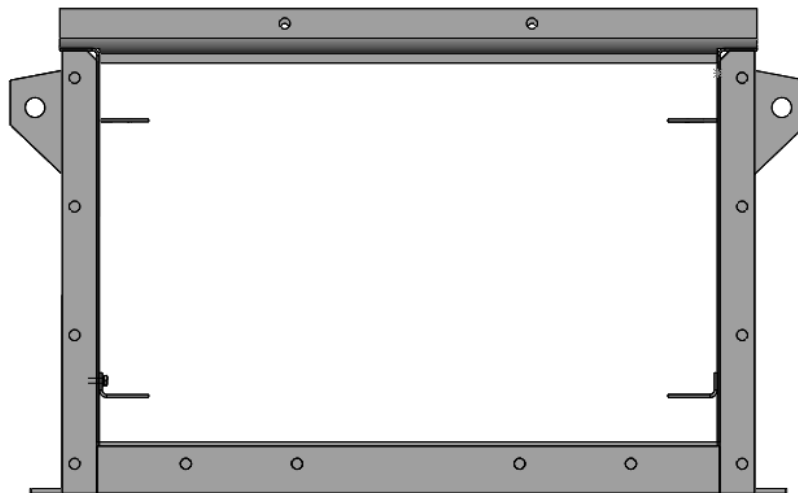
5.3 Suunnittelussa huomioitavat asiat

Ennen skeletonin aloittamista, on hyvä miettiä, mistä tasosta mallia aletaan tekemään. Loogisin vaihtoehto oli aloittaa lohkon pohjasta ja se tehtiin top-tasoon, joka on kuvanto suoraan ylhäältä päin. Seuraavaksi mallinnettiin seinä right-tasoon (sivukuvanto), jonka jälkeen sivulaippa front-tasoon (etukuvanto) ja niin edelleen. Skeletonit mallinnettiin vasen puoli ensin, jotta oikea puoli voitiin peilata kokonaan yhdellä peilauksella ja näin saatiin peilattua monta piirrettä kerralla.

Kun aloitettiin levyosien mallinnus skeletonin päälle, käytettiin myös peilauskomentoa. Levyysiin tehtiin reikiä, joten peilauksessa oli oltava erityisen tarkkana kätisyysien kanssa. SolidWorks osasi kääntää levyosan oikeankätiseksi peilauksen kautta, mutta se piti valita erikseen jokaiselle osalle peilausvalikosta. Toisen kätisestä osasta voitiin tehdä joko kokonaan uusi oma osansa tai se voitiin konfiguroida peilattuun osaan.

Modulaarisuuden kannalta lohkojen väliset rajapinnat ovat erityisen tärkeitä. Lohkojen päätylaipat olivat jo pitkälti samankaltaiset kaikissa lohkoissa. Myös lohkojen poh-

jien tasomaisuus on tärkeää, sillä kolakuljettimet kulkevat aivan pohjaa pitkin. Tasomaisuuden on toteuduttava myös palautuvien kuljettimien yläkiskojen suhteen. Jo silmin nähtävä ero voi vaikuttaa kolakuljettimen etenemiseen.



Kuva 18. Lohkojen vakio kiinnitysrajapinta

5.4 Suunnitteluun liittyvät päätelmät

Työn aikana huomattiin, että SolidWorksin kätevä toiminto ”convert entities” toimii hyvin niin kauan, kun skeleton mallin mitat ei muutu kovin radikaalisti. Toiminnon avulla saadaan kopioitua tarkasti haluttu profiili, jolloin sen pitäisi seurata referenssi-profiilia, mutta kaikissa tapauksissa näin ei ollut. Todettiin, että collinear-komentoa käyttämällä saatiin varmempi lopputulos profiilin seuraamiseen nähden. Convert’ia käytettiin vain profiilin nopeaan kopioimiseen.

Lohkojen parametrisuus saatiin toimimaan juuri kuten oli tarkoituskin, mutta huomattiin eräs asia. Jotta säästyttiin uusien osien tekemiseltä, käytettiin esimerkiksi umpi-pohjaisen lohkon molemmissa pituuksissa (6m ja 2m) samoja päätylaipan osia. Tämä johti siihen, että uudelleen käytetyt osat muuttuivat vain sen kokoonpanon mukaan, jonka skeletonin osia ne oli osoitettu seuraavan. Päätylaipan levyosa liitettiin seuraamaan kuusimetrisen lohkon skeletonia. Kun pohjan paksuutta muutettiin kahdeksasta millistä neljään kuusimetrisessä lohkossa, muuttui se myös kahden metrin lohkossa, vaikka sen skeletonia ei vielä muokattu. Tämä on hyvä ottaa huomioon jatkoa varten

relaatioita tehdessä. Tässä tapauksessa tällainen ei haittaa, sillä lohkojen pohjan ainevahvuus ei muutu lohkojen välillä.

6 DESIGN-TO-COST

Tässä osassa käydään läpi muutama tapaus Valmet Technologies Oy:n tuotekehitysprojekteista, joissa design-to-cost -ajattelua on käytetty. Tapausten perusteella on tarkoitus näyttää konkreettista aineistoa, millä tavoin DtC-ajattelu soveltuu laitesuunnitteluun ja miten sitä voidaan soveltaa suunnittelussa. DtC-ajattelua on sovellettu saostimen ja hiekkurin mallien suunnittelussa ja nämä asiat ovat myös eritelty alempana.

6.1 Käsitteenä

DTC on ensimmäisen kerran esitelty jo 80-luvulla ja se on ajattelutapa, jota käyttämällä pyritään vähentämään valmistuskustannuksia uudelleensuunnittelemalla tuotetta. Iso osa valmistuskustannuksista määräytyy jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, kun taas suunnittelu itsessään muodostaa vain pienen osan kokonaiskustannuksista. Saman kaltaisia asioita mietitään tavoitekustannuslaskennassa (target costing). Siinä tuotteiden suunnittelua ja kustannusrakennetta ohjaa markkinoiden hyväksymä hintataso. Design-to-cost-ajattelua soveltamalla pyritään vastaamaan kilpailua sekä haluttua kulusaon laadusta tinkimättä. Tähän päästään suunnittelemalla tuote alusta asti DtC-ajattelua käyttämällä tai uudelleen suunnittelemalla tuote vastaamaan tavoitteita. (Valmet Technologies Oy:n intra 2017b; Jääskeläinen, Hiidensalo & Puhakka 2016.)

Niin kuin todettu, Valmetin tuotekehityksessä sovelletaan design-to-cost'ia. Sen avulla pyritään keksimään innovatiivisia ratkaisuja kulusäästöihin. Tuotteen rakenteen ja siinä käytettävien materiaalien uudelleen suunnittelulla sekä eri prosessien menettelytapojen parantamisella tähdätään lopputuotteen laadun parantamiseen ja siihen kuuluvien kulujen karsimiseen. (Lagerlöf 2019.)

Eri näkökulmia design-to-cost'iin:

- Materiaalivalinnat
- Komponenttien ja materiaalien vähentäminen
- Tuotteen valmistettavuuden optimointia
- Kuljetuksen huomioiminen rakenteen suunnittelussa
- Optimoitu alihankintaverkosto
- Asennuksen ja käyttöönoton huomioiminen
- Kunnossapidon huomioiminen

(Lagerlöf 2019.)

Käyttöympäristö vaikuttaa helposti laitteen materiaalivalintaan. Jos laite ei esimerkiksi ole kosketuksissa veden kanssa, se voidaan rakentaa tavallisesta s235 teräksestä kalliin ruostumattoman teräksen sijasta. Jos laitteen rakenteeseen ei kohdistu suuria rasituksia tai siitä ei koidu onnettomuuden vaaraa, voidaan miettiä myös ainevahvuuksien pienentämistä. Ainevahvuuden pienentäminen vähentää helposti rakenteen kokonaismassaa, josta päästäänkin materiaalien ja komponenttien vähentämiseen. Tässä pätee sama kuin edellisessäkin eli jos rakenne kestää esimerkiksi ylimääräisten jäykistäjien poistoa, saadaan kokonaismassaa ja valmistettavia osia vähennettyä.

Iso osa työstä tapahtuu tuotetta valmistavalla konepajalla. Valmistajan, hankinnan ja suunnittelun välinen vuoropuhelu rakenteen valmistuksen rajoituksista tai laitteen rakenteellisista muutoksista on syytä ottaa huomioon. Jo pienikin rakenteellinen muutos voi johtaa valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden paranemiseen ja sitä kautta myös kulusäästöihin. (Valmet Technologies Oy:n intra 2017b.)

6.2 Valmet Technologies Oy:ssä

Kulusäästöt ovat aina osa yritysten agenda jatkuvan kilpailun kentällä ja niihin pyritään aina laadusta tinkimättä. Se voi tarkoittaa toimittajien kilpailutusta tai materiaalisäästöjä, mutta erityisesti se vaatii yhteistyötä yrityksen eri osastojen välillä sekä vuoropuhelua toimittajien kanssa. Esimerkkinä kolme vuonna 2014 toteutunutta tapausta, joiden avulla saavutettiin huomattavia kulusäästöjä. Suurimmat säästöt tavoitettiin erään laitteen materiaalivalintojen ja tuotannon täydellisestä uudelleen suunnittelusta,

josta koitui 70% halvempi ja 40% kevyempi rakenne. Myös hyväksi todettujen toimittajien valinnoilla ja tarkalla laadun seurannalla vaihdettaessa toimittajaa CCC-maihin (cost competitive countries) saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä. (Jantunen 2015.)

Laitteen uudelleen suunnittelu toteutettiin rakenteen yksinkertaistamisella. Ennen hitsattu rakenne saatiin vaihdettua pulttiliitoksilla kasattavaan ohutlevy rakenteeseen, jolloin laitteen massa saatiin karsittua ja läpimenoaikaa lyhennettyä, mikä johti kokonaiskustannusten vähenemiseen noin 70 prosentilla. Yhteistyön panostus toimittajien kanssa vaikutti positiivisesti projektin kokonaishintaan. Konkreettisesti tämä tarkoitti sitä, että toimittajien kanssa käytiin jatkuvaa vuoropuhelua palaverein ja raportein projektin edetessä sekä tuotettiin toimittajille parempaa ohjeistusta. (Jantunen 2015.)

Toinen tapaus on Valmetin sisällä myönnetystä ”Saving case of the year” -palkinnosta hydraulisen voimanlähteen tuotekehitykseen liittyen vuonna 2016. Kehitettävänä ongelmana toimi toimittajien vähyys. Käytettävissä oli vain kaksi laitetoimittajaa, joista vuonna 2008 suurempi osti pienemmän. Tämän ansiosta yritys pystyi hyödyntämään monopoli asemaansa ja piti hintansa suhteellisen korkeina. Asiaan tarvittiin ratkaisu ja sitä lähdettiin etsimään laitevaatimuksia muuttamalla. Lopputulokseen päästiin kaventamalla hydrauliiikan teknisten standardien kirjoa, spesifien brändinimien hylkäämisellä sekä yhteistyöllä tuotekehityksen ja toimittajien kanssa. Edellä mainittujen lisäksi, vaadittiin yhteistyötä myös myynnin ja suunnittelun välillä, koska hydraulikäytöt ovat usein suuria, kustomoituja ja hyvin laitespesifejä ratkaisuja. Konkreettisia muutoksia laitteen sisällä olivat paineen lisäys hydraulimoottoreissa, mikä mahdollisti pienempien pumppujen ja moottorien käyttöön sekä purkulaitteen uudelleen suunnittelu, joka avasi uusia toimittajavaihtoehtoja. Muutokset mahdollistivat toimittajavaihtoksen, joka johti yli 200 000 euron vuosittaiseen säästöön. (Valmet Technologies Oy intra 2016.)

6.3 Saostimen ja hiekkurin suunnittelussa

Saostimen ja hiekkurin suunnittelussa sovellettiin design-to-cost -ajattelua. Materiaaliksi valittiin maalattu s235 pohjan ja seinien ruostumattoman teräksen sijasta. Komponenttien vähennys tapahtui pääosin jäykistäjien vähentämisellä. Aikaisemmin saostimen reikälevylohkojen pohjassa oli käytetty valmista kulmarautaa sekä T-profiilia. Valmiit teräsprofiilit korvattiin leikatulla ja taivutetulla levyllä sekä niiden määrää vähennettiin. Suurimmat voimat runkoihin kohdistuvat kuljetuksessa ja sitä varten jalkojen kohdille lisättiin vahvikkeet poikittain, jotka estävät seinien kaatumista sisäänpäin nostojen aikana. Myös jalkojen kehityksen myötä niihin yhdistetyt nostokorvat vähensivät neljä hitsattavaa komponenttia lohkoa kohden.

Konepajalla työtunnit ovat aina halvempia kuin asennuspaikalla tehtävät työtunnit. Tämän lisäksi konepajalla voidaan olettaa olevan aina tarvittavat työkalut ja työluvat toisin kuin asennuspaikalla. Suunniteltuna voi asennuspaikallakin tehty työ olla edukasta. Esimerkiksi asennustoleranssien parantamiseksi voidaan joitain porauksia, hitsauksia tai leikkauksia laitteiden välisiä kiinnityksiä varten teettää myös asennuspaikalla. Hyvin suunniteltuna, siihen pystytään varaamaan kaikki tarpeellinen etukäteen ja näin ollen asennuksesta tulee sujuvampaa.

Saostimen osalta asennuspaikan työtä pyrittiin vähentämään mm. mallintamalla saostimen alkulohkoon veden tuloa varten tarpeeksi iso aukko, jotta tarvittava vesimäärä pääsee sen läpi vesikanaalin koosta riippumatta. Aikaisemmin se on leikattu asennuspaikalla lattiavesikanaaliin sopivaksi. Toisaalta saostimen vesikanaalin yhdistävään suppiloon kannattaa varata ylimääräistä, jos saostimen keskilinja poikkeakin jostain syystä suunnitellusta ja on näin kauempana kanaalista. Suppilo tulee vesikanaalin ja saostimen alkulohkon väliin ja se hitsataan saostimen kylkeen ohjaamaan vettä kanaalista. Suppilon asettaminen ja hitsaaminen tapahtuu asennuspaikalla, joten ylimääräistä materiaalia on helpompi leikata pois, kuin lisätä.

7 LOPPUTULOKSET

7.1 Kustannussäästöt

7.1.1 Massaerot

Kuvassa on vertailtu opinnäytetyön aikana saostimeen tehdyistä muutoksista koituneita massaeroja erään aikaisemman projektin lohkojen massoihin. On huomioitavaa reikäpohjaisen välirungon (reikälevypohjaisen lohkon) tapauksessa verrattavan lohkon pituus (5,2m) on lyhyempi kuin uuden rungon pituus (6m). Pituuserosta voidaan päätellä, että prosentuaalinen ero massoissa on vielä suurempi kuin taulukossa nähdään. Kulmarungon massa on lisätty painopyörän massa, sillä se hitsataan kiinni kulmarunkoon. Moduloidussa kulmalohkossa painopyörää ei ole, joten se on huomattavasti kevyempi rakenteellisesti kuin aikaisemmin. Massaa saatiin vähennettyä myös muokkaamalla lohkojen pohjissa olevia jäykistäjiä tai poistamalla ne rakenteesta kokonaan. Valmistettavuuden parannusta haettiin teräsprofiilien korvaamisella taivutetulla levyllä.

Pohjan ainevahvuus 8mm ja seinien ainevahvuus 5mm				
Referenssi [kg]		Uusi [kg]		Ero %
Alkurunko L=6000	1286	Alkurunko L=6000	913	29,0
Välirunko L=5200 (reik.)	1132	Välirunko L=6000 (reik.)	993	12,3
Välirunko L=2000 (reik.)	402	Välirunko L=2000 (reik.)	376	6,5
Kulmarunko	2166	Kulmarunko	1307	39,7
Taittopään runko	411	Taittopään runko	389	5,4
Käyttöpään runko	739	Käyttöpään runko	633	14,3
Välirunko L=6000 (kiint.)	1290	Välirunko L=6000 (kiint.)	1233	4,4
YHT [kg]	7426		5844	21,3

Kuva 19. Massaerot

7.1.2 Suunnittelukustannukset

Kuten aikaisemmin on todettu, toimiva parametrinen malli vähentää huomattavasti suunnitteluun kuluvaa aikaa. SolidWorksin mallista tehdyt piirustukset seuraavat mallin mittojen perässä ja ne päivittyvät automaattisesti, mikä itsessään jo vähentää kuormitusta detail -suunnittelussa. Piirustuksessa voi olla mittamuutosten jälkeen jotain pientä korjattavaa, mutta laitekohtaisia piirustuksia ei tarvitse aina aloittaa alusta. Tämä johtaa parhaassa tapauksessa siihen, että vain projektikohtaiset piirustukset on

tuotettava. Jos modulaariset lohkot standardoidaan, voidaan samoja piirustuksia käyttää muokkaamatta useammassa projektissa. Kaikki tämä säästää paljon aikaa mekaanisesta suunnittelusta, mikä tarkoittaa vähemmän laskutettavia tunteja. Modulaarisen rakenteen voidaan kuvitella myös helpottavan hinnoittelua. Hinnoittelu voi tapahtua jopa osa osalta ja mitä useampaa osaa voidaan käyttää aikaisemman projektin perusteella, sitä tarkempi hinta-arvio pystytään antamaan.

Suunnittelukustannusten laskeminen toteutettiin vertaamalla viimeisimmän valmiin projektin saostimen ja hiekkurin piirustusmääriä uuden, modulaarisen rakenteen vaatimiin piirustusmääriin perustuvaan arvioon. Se aloitettiin hakemalla projektin saostimen piirustusluettelo referenssiksi. Piirustusluettelon pohjalta laskettiin saostimeen tarvittavien piirustusten kokonaismäärä (59 kpl) ja arvioitiin siihen uudelleen käytettyjen piirustusten lukumäärä olevan noin puolet (31 kpl). Sen jälkeen mietittiin, mitä piirustuksia tarvitaan uuden saostimen rakenteen kokoonpanossa. Laskuissa otettiin huomioon opinnäytetyössä modularisoitujen lohkojen piirustukset sekä muut kokoonpanoon vaadittavat piirustukset. Verratessa lukuja huomattiin, että uuden rakenteen kokoonpanoon tarvittiin 5% eli kolme piirustusta vähemmän kuin aikaisemmin. Ero selittyy kulmalohkon poistetun painopyörän piirustusten puuttumisesta (2 kpl) ja nostokorvien yhdistämisestä jalkoihin (1 kpl). (Mäenpää henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020.)

Saostimen uuden rakenteen perusteella mietittiin, kuinka monta piirustusta voitaisiin tulevaisuudessa käyttää valmiina projektien välillä. Todettiin, että vakioitavia piirustuksia kokonaismäärästä (56) on 48 kappaletta eli 81%, joten projektikohtaiseksi jäisi vain 6 piirustusta ilman pääkokoonpanon piirustuksia. (Mäenpää henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020.)

	Referenssi		Uusi rakenne
Piirustusten lukumäärä	59		56
Lukumäärien ero (%)		5	
Vakiopiirustusten lkm	31		48
Projektikohtaisten piirustusten lkm	28		6
Projektikohtaisten piirustusten ero (%)		79	
Pääkokoonpanon painotus		10	
Piirustusten lkm pääkp:n painotus mukaanlukien	38		16
Piirustusten lukumäärän ero (%)		58	

Kuva 20. Lasku piirustusten lukumäärästä

Suunnittelusta koituvat aikasäästöt ja sen kautta kulusäästöt, saavutetaan vähentämällä projektikohtaisia piirustuksia. Modulaarisen rakenteen myötä projektikohtaisten piirustusten määrä väheni 79%. Sen laskemiseen ei kuitenkaan ole huomioitu pääkokoonpanon piirustuksia eikä sen kuormittavuutta, joten tämän prosentin käyttäminen vääristäisi lopputulosta. Pääkokoonpanosta tulisi ne kaksi piirustusta, jotka puuttuvat uuden rakenteen projektikohtaisten piirustusten ja vakiopiirustusten summasta ($48+6=54$). Pääkokoonpanon arvioitiin vievän yhteensä kymmenen kertaa enemmän aikaa kuin normaali piirustus, joten sitä painotettiin kymmenellä. Lopputulokseksi painotuksen jälkeen saatiin, että saostimen modulaarisen rungon avulla voitaisiin saavuttaa jopa 58%:n aikasäästö detail -suunnittelusta. Samaa 58% säästöä käytettiin myös hiekkurin kustannuksen laskemisessa. (Mäenpää henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020.)

Oletetaan suunnitteluosuuden jakautuvan niin, että yksi kolmasosa ajasta käytetään perustusten sekä laitemitoituksen parissa ja loppu kaksi kolmasosaa käytetään detail -suunnitteluun. Arvioitu modulaarisen rakenteen avulla puolittunut aika tarkoittaisi siis sitä, että saostimen osalta kokonaissuunnittelukustannuksista säästöä kertyisi jopa 33%. Tarkempi euromääräinen lasku on vain toimeksiantajalle, joten sitä ei jul-

kaista. Se toteutettiin etsimällä neljästä eri projektista niiden toteutuneet suunnittelukustannukset saostimen ja hiekkurin osalta. Suunnittelukustannuksista laskettiin keskiarvohinnat kummallekin laitteelle ja lopullinen projektikohtainen suunnittelusta koituva säästö saatiin kertomalla keskiarvot 0.33:lla. Tämän lisäksi vielä oletettiin, että vuodessa myytäisiin kaksi kuorimoa ja lopullinen euromääräinen hinta kerrottiin kahdella, jolloin saatiin arvioitu vuotuinen säästö. (Mäenpää henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020.)

7.2 Suunnitteluprosessi

Muita mahdollisia moduloitavia ja parametrisoitavia tuotteita olisivat muut ketjukuljettimet, hihnakuljettimet sekä ruuvikuljettimet. Monimutkaisempia laitteita varten, joissa on enemmän ratkaisevia muuttujia, voidaan käyttää aikaisemmin mainittua Design Table -toimintoa. Tämä kuitenkin vaatisi yksityiskohtaista mitoitusta ja arvoja pitäisi kirjoittaa yksitellen ylös Excel-pohjaan. Sen tekeminen vaatisi paljon aikaa, mutta säästäisi vastaavasti aikaa valmiina ollessaan. Sen käyttöä voisi myös miettiä yksittäisten laitteiden parametrisoinnissa, joista on useampi variaatio.

Parametrisuudessa on oltava tarkkana ja mietittävä heti alusta asti, mitkä arvot ovat ratkaisevia. Laitteen fyysisistä päämitoista on hyvä aloittaa, mutta toiminnallisia mittoja ei sovi unohtaa. Toiminnalliset mitat kuitenkin määräytyvät tuotantolaitoksen kapasiteetin mukaan ja näin ollen muuttuvat projektista toiseen.

Toivottua tuotekehitystä laitteisiin saatiin suoritettua niin lohkojen kilojen karsimisella, kuin parametrisen modulaarirakenteen mallintamisella. Suurin hyöty toimeksiantajalle varmasti koituu valmiista kolmiulotteisista malleista. Tarkempi vaikutus suunnittelukustannuksiin on todettavissa vasta tulevien projektien myötä. Oppimista oppinäytetyön aikana tapahtui paljon pelkästään SolidWorksin käytön puolesta ja valtavasti sellu- ja paperitehtaan puunkäsittelypuolen toiminnasta.

LÄHTEET

Brinkhuis, P. 2017. How to use SOLIDWORKS Envelopes. Viitattu 15.10.2020. <https://cadbooster.com/using-envelopes-as-reference-models/>

Brunelli, M. 2017. Parametric vs. Direct Modeling: Which side are you on? Viitattu 17.11.2020. <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on>

Havu, A. 2014. Disc Scalper and Disc Screen presentation 2014. Valmet Technologies Oy intra PowerPoint. Viitattu 30.10.2020.

Jantunen, M. 2015. Procurement savings cases of the year. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 6.11.2020.

Jääskeläinen, A., Hiidensalo, A., & Puhakka, V. 2016. Uudistettu Design-to-Cost-ajattelu projektimaiseen valmistukseen. *Stoori*, (2/2016), 24-26. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201608084400>

Lagerlöf, A. 2019. Exploring design-to-cost opportunities in the marine environment. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 19.11.2020.

METLAS KY 1989. Puusta paperiin M-201 Puunkäsittely. Myllykoski: Anson Oy

Metsäteollisuus www-sivut. 2019. Vaurautemme lähde: Sellu ja sen jatkojalosteet. Viitattu 16.11.2020. <https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/tuotteet/vaurautemme-lahde/>

Metsäteollisuus www-sivut. 2006. Uusiutuvat, kierrätettävät ja uudelleen käytettävät: Paperi ja puutuotteet. Viitattu 16.11.2020. <https://www.metsateollisuus.fi/tiedotteet/uusiutuvat-kierratettavat-ja-uudelleen-kaytettavat-paperi-ja-puutuotteet/>

Mäenpää, E. 2020. Tuoteinsinööri, Valmet Technologies Oy. Ulvila. Haastattelu 26.11.2020.

Pietarinen, J. 2015. Hakkeen tasoseulonta. Valmet Technologies Oy intra PowerPoint. Viitattu 5.11.2020.

Soronen O. 1999. Massaräätälöinti asiakasmyönteisessä tuotannossa. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus

Vahala, M. 2020. Tuoteinsinööri, Valmet Technologies Oy. Ulvila. Haastattelu 20.11.2020.

Valmet Oyj. 2014. Water handling in woodhandling presentation. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 24.11.2020.

Valmet Oyj. 2015. EasyBarker Brochure 2015. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 29.10.2020.

Valmet Oyj. 2016. Savings through collaboration. 2016. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 6.11.2020.

Valmet Oyj. 2017a. Camura Chippers presentation 2017. Valmet Technologies Oy intra PowerPoint. Viitattu 3.11.2020.

Valmet Oyj. 2017b. What is design-to-cost. Valmet Technologies Oy intra. Viitattu 6.11.2020.

Valmet Oyj. 2020. Valmet Woodhandling General PowerPoint 2020. Valmet Technologies Oy intra PowerPoint. Viitattu 14.9.2020.

Valmet Oyj www-sivut. 2020a. Viitattu 14.9.2020. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet Oyj www-sivut. 2020b. Viitattu 14.9.2020. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>

Valmet Oyj www-sivut. 2020c. Viitattu 16.11.2020. <https://www.valmet.com/energyproduction/gasification/>

Valmet Oyj www-sivut. 2020d. Viitattu 16.11.2020. <https://www.valmet.com/fi/media/artikkelit/all-articles/savukaasupesurilla-lammityskulut-kuriin/>

Valmet Oyj www-sivut. 2020e. Viitattu 24.11.2020. [Bio oil \(valmet.com\)](https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/bio-oil/)

Vastamaa, T. 2020. Tuoteinsinööri, Valmet Technologies Oy. Ulvila. Haastattelu 17.11.2020.

Österholm J. & Tuokko R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy