

Mikko Rantamo

Soodakattilan ilma-aukkojen valusuuttimien parametrinen 3D-mallinnus

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energiatekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mikko Rantamo
Työn nimi	Soodakattilan ilma-aukkojen valusuuttimien parametrinen 3D-mallinnus
Toimeksiantaja	Andritz Oy
Vuosi	2021
Sivut	49 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Tarhonen, Ari Heinola

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä käsitellään Andritz Oy:lle tehtyä opinnäytetyötä, jonka tarkoituksena oli tuottaa Autodesk Inventor -ohjelmistolla soodakattiloiden ilma-aukkojen valusuuttimien mallinnukseen soveltuva parametrisoitu 3D-malli ja sen käyttöohje. Työn suorittamiseen vaadittavat tiedot hankittiin keräämällä tietoa Andritzin aiemmista ilma-aukkojen malleista, haastattelemalla henkilöstöä sekä perehtymällä Andritz Oy:n suunnitteluohjeisiin ja tietokantoihin.

3D-mallinnuksen tavoitteena oli nopeuttaa ja yhtenäistää Andritzin soodakattiloissa käyttämien ilma-aukkojen ja niihin oleellisesti liittyvien valusuuttimien mallinnusprosessia. Mallinnuksen lähtökohtana oli luoda muutamalla päämitalla toimiva 3D-malli, jolla voitaisiin nopeasti ja tehokkaasti mallintaa uusia valusuuttimellisiä ilma-aukkojen kokoonpanoja. Samalla malleista muodostuisi yhtenäinen tuotesarja. Mallinnuksen kelpoisuutta ja kehityskohteita arvioitiin yhteistyössä Andritz Oy:n soodakattiloiden ilma-aukkojen toteutukseen liittyvän henkilöstön kanssa.

Ilma-aukkojen ja valusuuttimien geometrioissa esiintyy niin paljon vaihtelua, että malleja oli tarpeen tuottaa kaksi kappaletta. Pienempien aukkojen malli sisältää mahdollisuuden tuottaa 3D-malleja primääri-ilma-aukoille ja pienille sekundääri/tertiäritasojen ilma-aukoille. Suurempien aukkojen mallissa putkiohituksen tyyli vaihtuu yksitasotaivutuksesta monitasotaivutukseksi, jollaisia käytetään ainoastaan suuremmissa sekundääri- ja tertiäritason aukoissa. Malleissa hyödynnettiin Autodesk Inventorin iLogic-ominaisuutta, jolla integroitiin suunnittelusääntöjä malliin sekä mahdollistettiin useiden erilaisten geometrioiden luominen yhdessä osatiedostossa.

Malleista muodostui toimivat kokonaisuudet, joita ohjataan vain kourallisella parametreja. Mallit mahdollistavat ilma-aukkokokonaisuuksien mallintamisen murto-osassa siitä ajasta, joka kuluisi, jos mallinnus aloitettaisiin tyhjästä. Opinnäytetyön osana tehdyn käyttöohjeen avulla mallien käytöstä on pyritty tekemään niin yksinkertaista, että mallien käyttöön riittää Autodesk Inventorin perusteiden hallinta. Mallien toimintaa on testattu jo käytännössä ja niillä on mallinnettu ilma-aukkokokonaisuuksia putkiko'uille, joita Andritz Oy ei ole aiemmin soodakattiloissaan käyttänyt.

Asiasanat: 3D-mallinnus, soodakattilat, Autodesk Inventor, iLogic

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mikko Rantamo
Thesis title	Parametric 3D-modeling of cast air nozzles for recovery boilers
Commissioned by	Andritz Oy
Time	May 2021
Pages	49 pages
Supervisor	Kalle Tarhonen, Ari Heinola

ABSTRACT

The goal of this thesis was to produce a parametric 3D-model of cast air nozzle for recovery boilers using Autodesk Inventor, along with a user manual for the model. Information needed to complete the assignment was gathered by collecting information about existing cast nozzle models and air openings, interviewing key personnel, and getting acquainted with the commissioner's design rulesets and databases.

The aim of the 3D-modeling project was to unify and speed up cast nozzle design process, by creating a 3D-model that uses only a few key parameters to model new air opening assemblies. Results could then be used to create a uniform product line. The design was reviewed during and after modeling process to assess eligibility and possible development targets by the employees responsible for recovery boiler product development.

Recovery boiler air opening geometry and construction vary, so it was necessary to create two separate models. The first one would be used to create small secondary/tertiary openings and primary openings, and the second one would be used to create larger secondary/tertiary openings, where different type of tube opening is used. Autodesk Inventor feature called iLogic was used to integrate design rules into the models, and to combine several different geometric designs into one part file.

The result of this thesis is two fully functional 3D-models, that are being operated by only a handful of parameters. These models make it possible to model new air openings and cast nozzles in fraction of the time it would take if modeling were started from scratch. A user manual that was created as a part of this assignment allows users with only basic knowledge of Autodesk Inventor to operate these models. Models are already in use and have been used to create complete air opening assemblies for tube sizes previously unseen in commissioning company's recovery boilers.

Keywords: 3D-modeling, recovery boilers, Autodesk Inventor, iLogic

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ANDRITZ OY:N SOODAKATTILAT.....	6
2.1	Soodakattilan ilma-aukot	8
2.2	Ilma-aukkoja suojaava valukappale.....	11
2.3	Ilma-aukkojen valukappaleiden kiinnitysosat.....	14
3	PARAMETRINEN 3D-MALLINNUS.....	16
3.1	Skeleton-mallinnus	19
3.2	Autodesk Inventor iLogic	21
4	ILMA-AUKKOJEN 3D-MALLINNUS.....	22
4.1	Mallinnusprosessi ja valitut menetelmät	24
4.2	Putkiohitusten mallinnus	25
4.2.1	Yksitasotaivutukset	27
4.2.2	Monitasotaivutukset.....	32
4.3	Valukappaleen mallinnus.....	35
4.4	Kiinnitysosien mallinnus.....	39
4.5	Lopulliset mallit ja niiden käyttö	41
5	3D-MALLIEN KÄYTTÖOHJE.....	43
5.1	Pienten aukkojen parametrimalli.....	43
5.2	Suurten aukkojen parametrimalli	44
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
	LÄHTEET.....	47

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan päämittojen avulla ohjattavaa parametrista soodakattilan ilma-aukkojen 3D-mallia, joka on luotu Autodesk Inventor -ohjelmistolla. Mallissa on hyödynnetty Inventorin iLogic-ominaisuutta, jolla voidaan luoda malliin VB.net-koodiin pohjautuvia sääntöjä. Opinnäytetyössä on pyritty keräämään soodakattilan ilma-aukkoihin liittyvää tietoa haastattelemalla Andritz Oy:n soodakattilaosaston henkilöstöä ja perehtymällä Andritz Oy:n sisäisiin suunnitteluaineistoihin sekä hyödyntämällä alan kirjallisuutta. Työ on tehty Andritz Oy:lle ja sen tarkoituksena on tuottaa Andritz Oy:n käyttöön kyseinen 3D-malli ja sen käyttöä helpottava käyttöohje.

3D-mallinnus on ottanut valtavia harppauksia viimeisten vuosikymmenien aikana. Valmistusta varten laadittavat 2D-kuvat on yhä useammin tehty 3D-mallien pohjalta. Samoin myös erilaisten kappaleiden valmistus tehdään usein 2D-kuvien sijasta suoraan 3D-mallien pohjalta hyödyntäen automaattisten CNC-koneiden kykyä tulkita sille syötettyä CAD-mallia. Myös Andritz Oy:ssä on yleistynyt tapa tuottaa 2D-kuvia 3D-mallien avulla ja yhä useammin valmistavat alihankkijat kysyvät 3D-mallia valmistusprosessinsa avuksi.

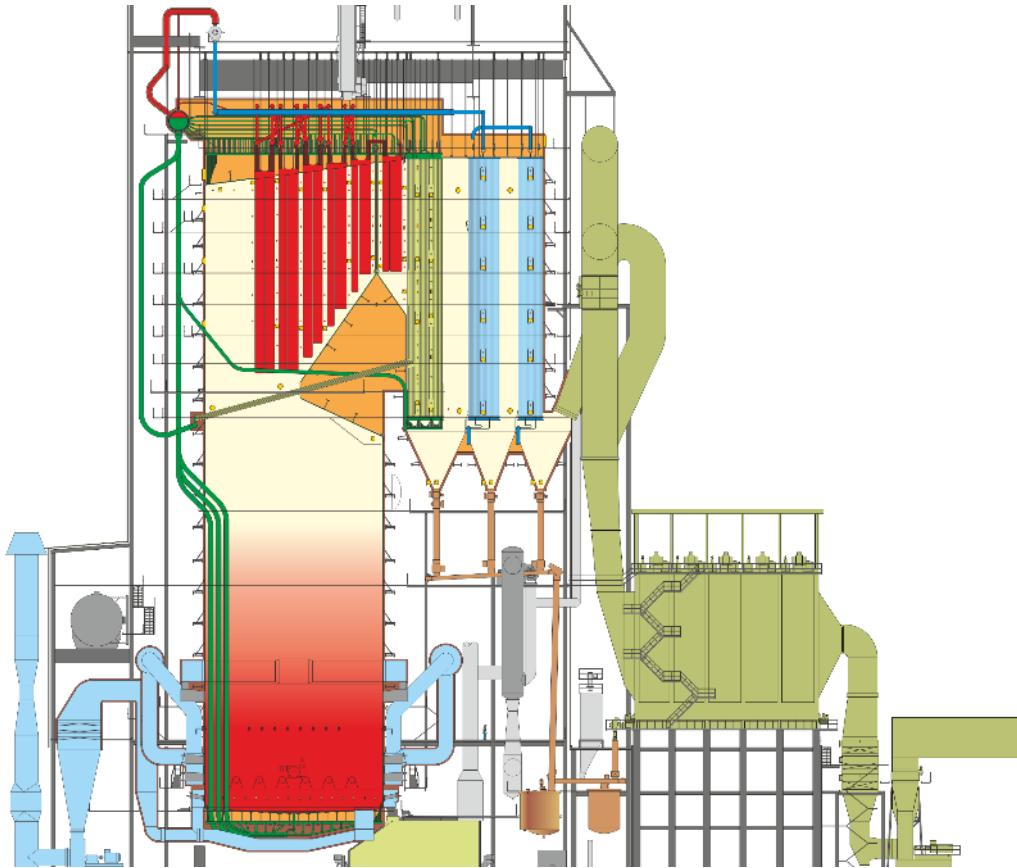
Andritz Oy on osa Andritz-konsernia, joka on yksi maailman merkittävimmistä soodakattiloiden valmistajista, ja joka on toimittanut yli sata soodakattilalaitosta ympäri maailmaa. Yksi esimerkki 3D-mallinnuksen käytöstä on soodakattiloiden ilma-aukkoja suojaavien valukappaleiden mallinnus. Soodakattiloiden ilma-aukot muodostetaan taivuttamalla kattilan seinän muodostavia putkia ulos seinälinjalta. Näin muodostunut aukko tiivistetään usein erityisellä valukappaleella. Kun aukko tehdään taivuttamalla useampaa putkea, on putkitäivutuksen muodostavien putkien keskinäistä etäisyyttä hyvin vaikea tulkita 2D-kuvista. Samoin putkitäivutukseen tarkasti osuvan valukappaleen tarkka hahmotus vaatii vähintään useita leikkauksia ja tarkentavia detaljeja, jotta kuvaa lukevalle henkilölle muodostuu riittävän selkeä kuva kappaleen geometriasta. Tämä ongelma ratkeaa täysin tarkastelemalla malleja 3D-muodossa, jolloin katselija voi halutessaan tutkia putkia ja valukappaletta jokaisesta suunnasta. 3D-malli sisältää kaiken mittainformaation, eikä jätä tulkinnanvaraa valmistavalle taholle. 3D-mallien käyttö myös mahdollistaa useiden eri valmistajien

käyttämisen ilman vaaraa geometrian muuttumisesta erilaisten tulkintojen vuoksi.

Andritz Oy:n toimittamat uudet kattilat pyritään valmistamaan käyttäen standardoituja osia, mutta esimerkiksi ilmajärjestelmien komponentit joudutaan usein muokkaamaan vastaamaan asiakkaan toiveita ja polttoainetta. Kun huomioidaan myös huoltokohteiden tarpeet, muodostuu erilaisia ilma-aukkoja joutsatoja. Kun ilma-aukkojen koko tai seinäputkien halkaisija, jako tai taivutus säde muuttuvat, joudutaan myös valusuutin ja sen kiinnitysosat mallintamaan uusiksi. Soodakattiloiden toimitusaikataulun nopeudesta johtuen, erityisesti Service-toiminnoissa, erilaisten mallien valmistelu olisi hyvä tehdä etukäteen tai mallien suunnitteluohjeiden tulisi olla niin täsmälliset, että uuden mallin laatminen valmistuisi ilman useita tarkastelukierroksia. Tällä työllä pyritään vastaamaan tähän haasteeseen.

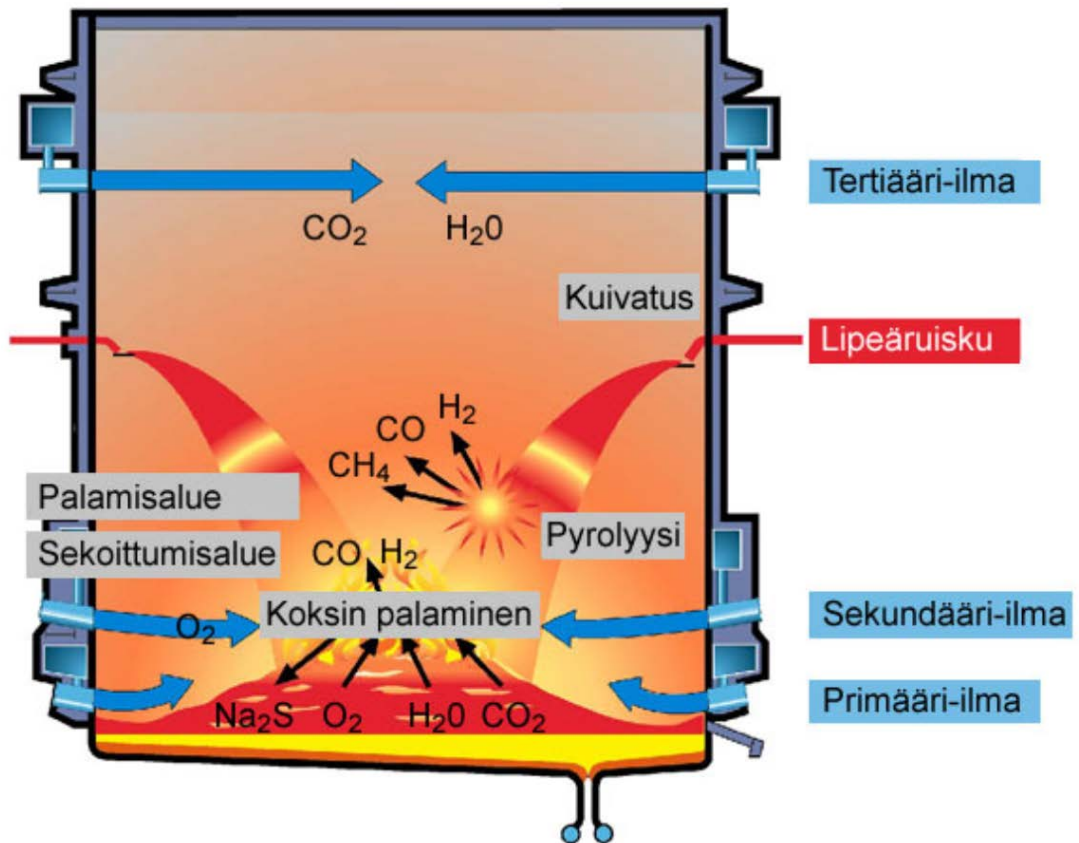
2 ANDRITZ OY:N SOODAKATTILAT

Soodakattilat ovat luonnonkiertoisia höyrykattiloita, joissa poltetaan kemiallisen sellun valmistuksessa syntynyttä mustalipeää. Soodakattilan päätarkoituksena on palauttaa keittoprosessissa käytetyt kemikaalit käyttökelpoiseen muotoon ja muuttaa lipeään liunneen orgaanisen materiaalin sisältämä energia korkeapaineiseksi höyryksi. Suurin osa höyrystä menee sähköntuotantoon, mutta osa hyödynnetään suoraan sellutehtaan prosesseissa. Nykyiset sellutehtaat ja soodakattilat ovat niin energiatehokkaita, että sähköä syntyy jopa yli oman tarpeen ja ylijäämä sähköä voidaan myydä merkittäviä määriä. Kuvassa 1 on esitetty nykyaikaisen soodakattilan poikkileikkaus.



Kuva 1. Nykyaikaisen soodakattilan poikkileikkaus (Andritz 2020)

Andritz Oy on yksi maailman merkittävimmistä soodakattiloiden valmistajista. Andritz Oy osti Ahlström-konsernin kattilatoiminnot vuonna 2001 ja vaikka kattiloiden kapasiteetti on kasvanut tästä ajasta moninkertaiseksi, on Andritzin soodakattiloissa edelleen käytössä samoja perusrakenteita. Sooda- ja voimakattiloiden valmistus on eriytetty Andritz Oy:n toiminnoissa kahdeksi eri osaluueksi. Soodakattiloiden eroavaisuudet tavallisista voimakattiloista johtuvat soodakattiloiden tulipesäprosessin vaatimuksista ja palamistuotteiden ominaisuuksista. Soodakattilan palamisprosessissa pyritään palauttamaan mustaliipeän sisältämät epäorgaaniset ainesosat, natrium ja rikki, takaisin käyttökelpoiseen muotoon. Jotta haluttu pelkistymisreaktio voidaan saavuttaa, tulee tulipesän alaosa olla riittävän vähähappinen. Samalla tulisi kuitenkin varmistua riittävästä ilmaylimäärästä kattilan yläosissa, jotta orgaanisen aineksen palamisreaktiosta muodostuu täydellinen. Kuvassa 2 on nähtävissä tulipesäprosessin päätoiminnot ja mustaliipeäpisanan palamisen vaiheet.



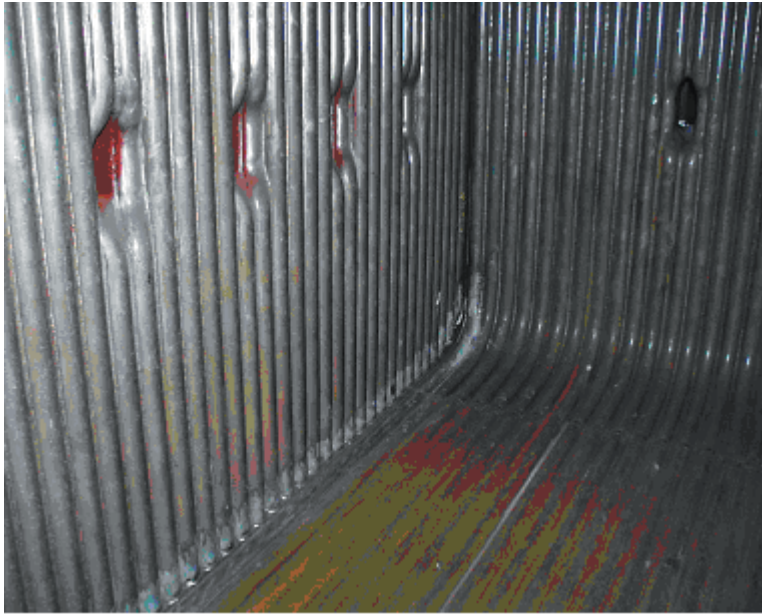
Kuva 2. Mustalipeäpisan käyttäytyminen tulipesässä (KnowPulp 2021)

Palamisreaktiossa muodostunut sula sisältää pääasiassa natriumsulfidia, natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia. Muodostunut sula on hyvin reaktiivista ja aiheuttaa merkittävän korroosioriskin. Toinen merkittävä ero voimakattiloihin on savukaasujen mukana kulkeutuvan materiaalin aiheuttama kattilan tukkeutuminen. (KnowPulp 2021.) Polttoprosessin vaatimukset, materiaalien rajatut kestävyysominaisuudet ja tukkeutumisen aiheuttamat haasteet muodostavat soodakattiloista todella haastavan ja alati kehittyvän kokonaisuuden.

2.1 Soodakattilan ilma-aukot

Soodakattilan ilmajärjestelmiä on kehitetty niin kauan kuin soodakattiloita on valmistettu, ja kehitystyö jatkuu edelleen. Nykyisillä järjestelmillä kattiloiden ympäristölle haitallisten typen oksidien päästöt, ns. NO_x -päästöt, on saatu jo hyvin pieniksi, mutta haasteita on vielä esimerkiksi kattilan likaantumisen hallinnassa. (Vakkilainen 2005.) Kattiloiden modernisoinnissa on ilmajärjestelmän uusinta yksi merkittävimmistä kohteista (Andritz Oy 2021a).

Modernin soodakattilan seinät ovat lähes poikkeuksetta ns. membrane-seiniä, jotka muodostuvat vierekkäin kulkevista putkista, joiden väli on tiivistetty hitsaamalla evä putkien keskilinjalle. Seinäputkien koko on tyypillisesti noin 45–76 mm ja putkien väliin jäävän evän leveys 10–18 mm. Tyypillinen seinärakenne on nähtävissä kuvassa 3 esitetystä tulipesän alaosaan, jossa näkyvillä on myös primääri-ilma-aukkoja.



Kuva 3. Tyypillinen modernin soodakattilan seinärakenne (Vakkilainen 2005)

Seiniä on tehty myös ns. tangentiaalisina, jolloin putket hitsataan suoraan kiinni toisiinsa, mutta tällaisten seinien käytöstä on pääsääntöisesti luovuttu. Vakkilaisen (2005) mukaan ”tangentiaalisen seinän ongelmakohtina nähdään hitsisaumojen tarkistettavuus ja seinän korjaustöiden hankaluus”.

Soodakattilan seinät eivät voi olla täysin umpinaiset, sillä kattilan sisälle on tuotava vähintään polttoainetta ja palamisilmaa. Käytännössä kattilan seinään vaaditaan aukkoja myös käynnistys- ja kuormapolttimille, tarkastus- ja huolto-
luukuille, nuohoimille, sulakouruille sekä erilaisille mittalaitteille ja antureille. Kattilan seinien aukot muodostetaan taivuttamalla seinäputkia ulos seinälinjalta. Taivutettujen putkien lukumäärä riippuu aukolta vaadittavasta koosta ja näiden putkien väli tiivistetään joko evittämällä, käyttämällä erityistä tulenkestävää massaa tai näiden yhdistelmällä.

Suurin osa soodakattilan ilma-aukoista sijaitsee hyvin lähellä kattilan pohjaa, jossa olosuhteet ovat materiaalien kestävyyskannalta hyvin haasteelliset.

Palamislämpötila primääri-ilman tasolla on tyypillisesti noin 1000°C (Vakkilainen 2005). Kun tähän lisätään tulipesän alaosassa vaikuttavat pelkistyneet palamiskaasut ja sulan aiheuttama korroosioriski, päädytään erittäin haastaviin olosuhteisiin materiaalien kestokyvyn kannalta. Kaikkein haavoittuvimmat osat kattilan seinässä ovat ne kohdat, joissa seinäputkissa virtaavan veden jäähdytysvaikutus on pienimmillään ja tulipesän lämpösäteily pääsee vaikuttamaan suoraan kohteeseen. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi seinäputkien väliset eväalueet tulipesäalueella. Seinäputkiin taivutetut aukot aiheuttavat usein eväalueiden kasvamisen taiteiden alueella, jolloin evien jäähdytys heikkenee entisestään. Kattiloiden suunnittelussa eväalueisiin kiinnitetäänkin erityistä huomiota. Eväalueiden käytönaikaista lämpötilaa voidaan arvioida tietokone-malleilla, jotka laskevat lämpösäteilyn ja vesikierron yhteisvaikutusta. Saa-duista tuloksista voidaan suunnittelijalle määritellä eväalueiden leveyden ylä-raja.

Andritz Oy:n kattiloissa ilma-aukkojen tiivistys tehdään pääsääntöisesti evittämällä. Aiemmissa kehitysvaiheissa tertiäriaukon tiivistyksessä on käytetty tulenkestävää massaa. Evitetyissä ilma-aukoissa putkiseinän ja ilmarekisterin yhdistää erityinen valukappale, kun taas massatuissa aukoissa ilma ohjataan putkiseinään hitsatun peltikauluksen avulla. Massa-aukkojen heikkoutena voidaan pitää massakerroksen rapautumista ja massaa tukevan peltikauluksen korroosioriskiä sekä peltikauluksen hitsisauman säröilyä. Ilma-aukkojen peltikaulus hitsataan tyypillisesti suoraan seinäputkeen, jolloin hitsisauman mahdollinen säröily ulottuu suoraan putkiseinään ja täten sisältää vaaran tuhoisasta vesivuodosta kattilaan. Peltikauluksen vaihtaminen on myös huomattavasti työläämpää kuin pulttikiinnitteisen valukappaleen. (Andritz Oy 2021a.)

Jos ilma-aukko tiivistetään evittämällä, tulee putkitaivutusta suunniteltaessa pyrkiä minimoimaan muodostuneiden eväalueiden koko. Eväalueiden puhkipalaminen on todellinen uhka, ja eväalueiden koolla ja sijainnilla on ratkaiseva vaikutus evitysten kestoan. Kaikkein kriittisimpiä ovat tulipesän alueella sijaitsevat kohdat, joissa tulipesän lämpösäteily pääsee vaikuttamaan evään jokaiselta suunnalta. Suunnittelua helpottaa huomattavasti, jos ilma-aukkoa pystyy tarkastelemaan 3D-muodossa. Varsinkin suuremmissa aukoissa, joissa taivutettuja putkia on useita, on eväleveyksien hahmottaminen pelkkien 2D-kuvien avulla hyvin hankalaa ja tarkan kuvan saamiseksi vaaditaan useita kuvantoja

ja leikkauksia. Osin tämän syyn takia Andritz Oy on siirtynyt ilma-aukkojen putkitaivutusten mallintamisessa täysin 3D-malleihin, joiden pohjalta laaditaan 2D-valmistuskuvat.

2.2 Ilma-aukkoja suojaava valukappale

Soodakattilan primääri- ja sekundääri-ilman aukot ovat tyypillisesti lipeäruiskujen alapuolella. Primääri-ilmalla pyritään vaikuttamaan muodostuneen sulakeon muotoon ja sekundääri-ilmalla sulakeon korkeuteen. Molemmissa aukkoissa ilman virtausnopeus on melko pieni, joten seinille roiskuva sula pyrkii tukkeamaan aukot herkästi. Tämä ongelma on pääosin ratkaistu mekaanisilla puhdistusrasseilla, joiden tehtävänä on poistaa aukkojen reunoille kertyneet kerrostumat. Ennen valusuuttimien käytön yleistymistä tyypillinen ratkaisu ilmarekisterin yhdistämiseksi tiiviisti putkiseinään oli eräänlaisen peltikauluksen hitsaaminen putkiaukkoon. Ilmavirran vaihtelut ja tulipesästä roiskuva sula aiheuttivat kuitenkin suuria lämpötilavaihteluja putkiseinän ja kauluspellin liitokseen, joka johti hitsisaumojen säröilyyn. Ongelma on pyritty ratkaisemaan kuvassa 4 näkyvällä erityisellä valukappaleella, joka tiivistää ilmarekisterin ja putkiseinän liitoksen ilman hitsisaumoja.



Kuva 4. Tyypillisiä soodakattilan sekundääri/tertiäriaukon valukappaleita

Valusuuttimet ovat alttiina äärimmäiselle lämmölle sekä sulan ja palokaasujen aiheuttamalle korroosiolle, ja ovat näin kulutusosia, jotka voidaan tarvittaessa vaihtaa huoltoseisakeissa.

Valukappaleet muodostuvat niin sanotusta laipasta ja kauluksesta. Laippaosan etureunaan on muodostettu putkiohituksen sisimmäisten putkien muoto. Muodon tulee mukaila putkien geometriaa hyvin tarkasti, jotta valusuuttimen ja putkien välisestä liitoksesta tulee tiivis ja valusuutin jää asennettaessa oikeaan asentoon. Kaulusosaksi kutsutaan valusuuttimen putkimaista osaa, joka työnnytty putkiohituksen sisään ja jatkuu seinälinjan taakse. Kaulusosan pituus määräytyy valusuuttimen kiinnitystavan ja ilmarekisterin liitynnän perusteella. Liityntä, jossa ilmarekisterin pää työnnetään valukappaleen sisälle, vaatii usein pidemmän kauluksen valukappaleeseen. Primääriaukon valukappaleen puhalluskulma on tyypillisesti 10–45 astetta alas vaakalinjalta, jolloin ilma ohjautuu kohti sulakekoa ja vähentää sulan tunkeutumista ilmarekisteriin (Vakkilainen 2005). Sekundääri ja tertiääriaukoissa käytettävä valukappale on symmetrinen ja ohjaa ilmaa suoraan kohti vastakkaista seinää. Kuvassa 5 on esitetty Andritz Oy:n kattiloille tyypillinen primäärisuutin, jonka puhalluskulma on 10 astetta alle keskilinjan.



Kuva 5. Primääri-ilma-aukon valusuutin

Käytännössä putkiohituksen valmistaminen sellaiseen tarkkuuteen, että valusuutin sopisi täydellisesti paikoilleen vaatii valukappaleen sovittamista paikoilleen valmistusvaiheessa. Tämä tarkoittaa, että valukappaleet, tai niitä esittävä malli, tulisi olla valmistettuna ennen putkiohitusten valmistusta. Koska valukappaleiden toimitusaika on niin pitkä, on joissain tapauksissa valusuuttimesta tehty etukäteen 3D-mallin perusteella koneistettu tai 3D-tulostettu korvaava malli, jonka avulla on voitu nopeuttaa ohitusten valmistuksen aloitusta. Tämä on kuitenkin ylimääräinen työvaihe, jonka kustannukset ovat vältettävissä. Kaikki tämä johtaa kuitenkin siihen, että valukappaleiden suunnittelutyön tulisi olla nopeaa ja tehokasta, jotta valukappaleiden valmistus voidaan aloittaa jo projektin aikaisessa vaiheessa. Lisäksi mallien hallintaan on kiinnitettävä huomiota, jotta jo olemassa olevia malleja pystytään hyödyntämään tehokkaasti, eikä päällekkäisiä malleja pääse syntymään.

Valukappaleita suunnitellessa on otettava huomioon valuprosessin vaatimukset ja pyrittävä välttämään koneistusta vaativia piirteitä. Jopa yksittäisen kierereiän koneistus saattaa tuplata yksittäisen valukappaleen kustannukset, kun se joudutaan lähettämään alihankkijalle koneistettavaksi (Andritz Oy 2021a). Suunnittelijalta lähtevät valmistuskuvat asettavat tavoitteen, johon valimot pyrkivät, mutta muottia varten tehtävässä mallissa on huomioitava myös materiaaliikohtaiset kutistumat sekä muotin irtoavuuteen vaikuttavat tekijät, kuten päästöt. ValuAtlaksen määritelmän mukaan ”päästöllä eli hellityksellä tarkoitetaan kaltevuutta, joka mallin pinnoilla tulee olla, jotta ne voitaisiin irrottaa muotista sitä vahingoittamatta” (Niemi 2010).

Tätä työtä laadittaessa nostettiin esiin myös ajatus mallien muokkaamisesta suoraan valukelpoiseksi, mutta vastaan tuli tarvittavan tietotaidon puute, eikä valuyrityksiltä saadun tiedon pohjalta tällä olisi vaikutusta lopullisiin kustannuksiin. Aiemmin Andritz Oy:n ilmasuuttimien valukappaleiden valmistuskuvat tai tuotemalli on lähetetty valujen suunnitteluun erikoistuneelle yritykselle, joka on suorittanut varsinaisen valumallisuunnittelun, ottaen huomioon vaadittavat päästöt ja materiaaliominaisuudet. Tämän jälkeen kuvat on lähetetty edelleen valut tekevälle yritykselle. Nykyään Andritz Oy:n käyttämät valuyritykset tekevät itse valumallin vaatimat muutokset niille lähetettyihin 3D-malleihin. (Andritz Oy 2021a.)

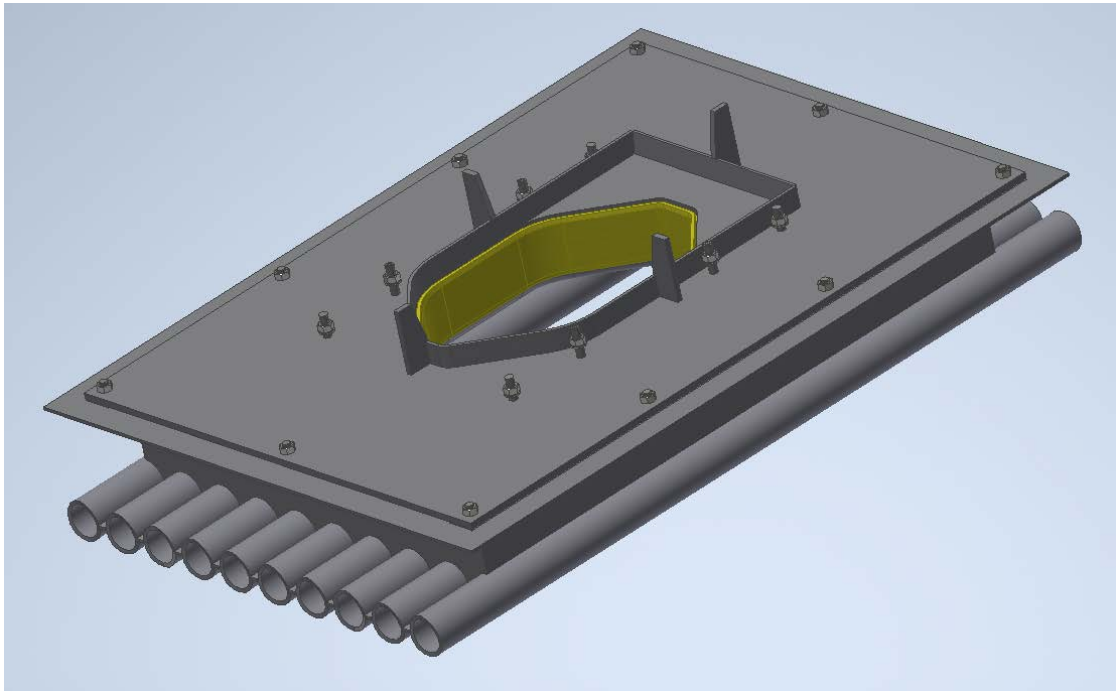
2.3 Ilma-aukkojen valukappaleiden kiinnitysosat

Ilma-aukkoja suojaavan valukappaleen kiinnitys putkiseinään tapahtuu yleensä kiristämällä kappale putkiseinään hitsatun kehikon avulla neljällä pultilla tiiviisti putkiaukkoon. Polttoilma ilma-aukolle tuodaan ilmakehikosta erkanavan, niin sanotun ilmarekisterin kautta ja kun ilmarekisteri liitetään putkiseinään pulttiliitoksella, muodostuu ilma-aukon kiinnitysosista kuvan x mukainen tiivis, umpinainen kotelo.



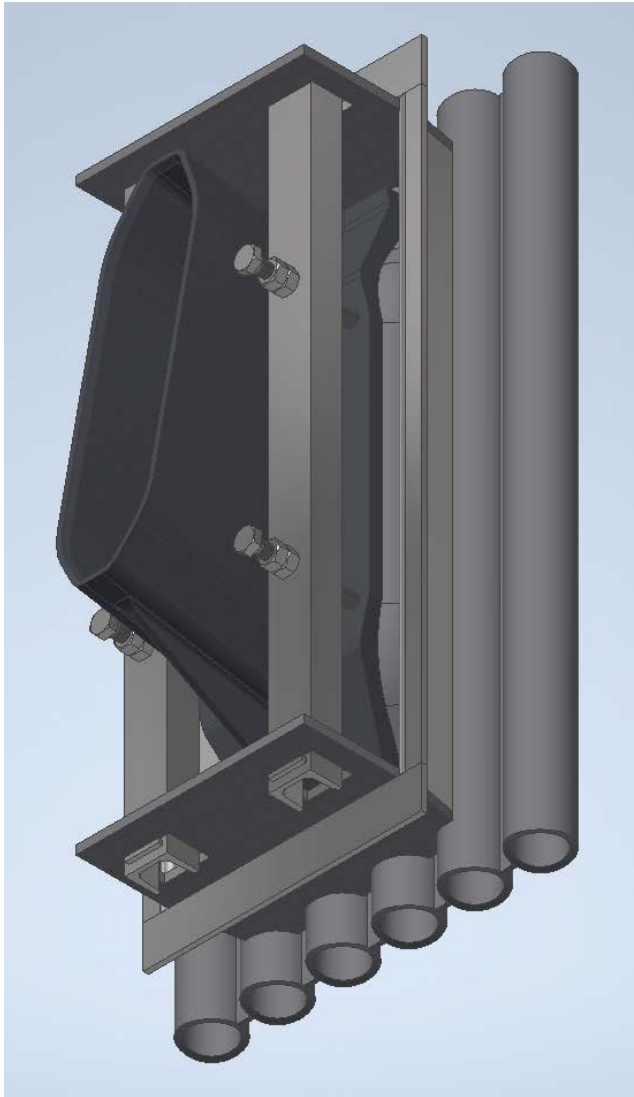
Kuva 6. Sekundääri-ilma-aukon kokoonpano

Umpinaisia, tiiviitä kotelaita käytetään pääsääntöisesti sekundääri- ja tertiääri-ilman aukoissa. Konstruktioissa, joissa ilmarekisteri kulkee varsinaisen ilmakanavan läpi, jää rekisterin pää ilmakanavan sisään. Tällöin ilmarekisterin ja valusuuttimen liityntäpintaan ei päästä helposti käsiksi. Läpikanavaratkaisuissa kiinnityskotelon kanteen on usein lisätty kuvassa 7 esitetyn kaltaisia ohjureita, joiden tarkoituksena on ohjata ilmarekisterin pää tarkasti valusuutinta vasten, ja näin tiivistää ilmarekisterin ja valusuuttimen liitos. Valusuuttimen vaihto tapahtuu vetämällä rekisteri ulos kanavasta, jonka jälkeen päästään käsiksi kiinnityskotelon kannessa oleviin pultteihin.



Kuva 7. Lämpikanava-mallisen sekundääri-ilma-aukon kokoonpano

Primääri-ilma-aukoissa ilman virtausnopeus on tyypillisesti pienempi kuin muissa aukoissa. Tämä yhdistettynä sulakeon läheisyyteen tekee primääri-aukosta herkimmän tukkeutumaan. Tukkeutumista on pyritty estämään suunntaamalla ilmavirtausta alaspäin kohti kekoa. Primääriaukon valukappaleen kaulus on usein myös muiden tasojen suuttimia pidempi, jottei kanavaan tunkeutunut sula pääsisi vaikuttamaan ilmarekisterin toimintaan. Ilmakanavan liityntä primääritasolla on Andritz Oy:n kattiloissa toteutettu työntämällä ilmarekisterin pää valukappaleen sisään. Tällöin kiinnitysosien ei tarvitse muodostaa tiivistä koteloa aukon ympärille. Valukappale kiristetään seinään pulteilla, jotka tukeutuvat valun sivuitse kulkeviin palkkeihin kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Primääri-ilma-aukon kokoonpano

3 PARAMETRINEN 3D-MALLINNUS

Parametrisella 3D-mallinnuksella tarkoitetaan käytännössä sitä, että kohteeseen kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa missä tahansa vaiheessa mallinnusta siten, että kohteen geometria muuttuu vastaavasti (Hietikko 2007, 23). Parametrisessa mallinuksessa geometria sidotaan mittoihin tai ominaisuuksiin, joille määritellään arvo, eli parametri. Samalla muotoutuu mallinnushistoriaa kuvaavaa piirrepuu. Parametri on tyypillisesti numero tai mitta, mutta se voi olla myös määre, esimerkiksi "kyllä" tai "ei". Autodesk Inventor luo automaattisesti parametrilistan malliin määritellyistä mitoista ja lukumääristä, mutta käyttäjä voi luoda myös omia parametrejaan käyttäjäparametrit-valikkoon. Kuvassa 9 näkyvän parametriluettelon käyttäjäparametrit muodostuvat mittatiedoista ja pudotusvalikoihin määritetyistä arvoista. Alla olevan kuvan parametrit

ovat pienemmän esimerkkimallin käyttäjäparametrit, joista neljää tarvitaan mallin tavanomaiseen käyttöön. Loput ovat valinnaisia hienosäätöparametrejä, tai iLogicilla ohjattuja, erikseen luotuja apuparametreja.

Parameter Name	Consumed by	Unit/Type	Equation	Nominal Value	Driving Rule
Model Parameters					
Reference Parameters					
User Parameters					
P_OD	d278, d233, d2...	mm	63,5 mm	63,500000	
Opening_W	d124, d104, d85	mm	90 mm	90,000000	Opening Width
P_Pitch	d243, d255, d2...	mm	78 mm	78,000000	
P_Straight_H	d46, d59	mm	289 mm	289,000000	Size
WT_Front	d278, d124, d1...	mm	6 mm	6,000000	
WT_Front_C	d278, d124, d1...	mm	2,0 mm	2,000000	
Bend_R	d147, d136, d1...	mm	95 mm	95,000000	Bend Radius
P_A	d104, d103	deg	55 deg	55,000000	First Bend Angle
Panel_H	d248, d181, d88	mm	800 mm	800,000000	Panel Height
Bend_L	d270	mm	50 mm	50,000000	Bend Length
WT_Side		mm	15,0 mm	15,000000	
WT_Rear		mm	8 mm	8,000000	
IsPrimary		True/False	True		
Primary_A		deg	10 deg	10,000000	Primary/Secondary
Size		ul	375 ul	375,000000	
L_tot		mm	300 mm	300,000000	Primary/Secondary
SBend	d175	mm	117 mm	117,000000	Second bend
SBend_L	d177	mm	0 mm	0,000000	Second bend
SBend_Add	d159	mm	87,8724018429921 mm	87,872402	Second bend
P_WT	d138, d119, d1...	mm	7 mm	7,000000	
Area_corr		mm	0,0 mm	0,000000	
Area		l	0,0114867053407031 l	0,011487	Size
Areamm		mm	114,867053407031 mm	114,867053	Size

Kuva 9. Käyttäjäparametrit Autodesk Inventorin parametriluettelossa

Suuremmissa 3D-malleissa automaattisesti luotuja parametreja on usein satoja tai tuhansia, jolloin mallin muutoksia ei ole mielekäästä tehdä suoraan mittaparametrilistasta. Kun puhutaan parametriseesta mallista, tarkoitetaan yleensä mallia, jota hallitaan muuttamalla tiettyjä pääparametreja. Tällöin tulee määritellä, mitkä ovat mallia ohjaavat parametrit ja mitkä vain erikseen määritellyt mittoja, sekä sitoa mittoja ja muotoja näihin ohjaaviin parametreihin siten, että malli muotoutuu halutun mukaisesti.

Vaihtoehtona parametriselle mallinnukselle on suoramallinnus, jossa mallia muotoillaan vapaasti muovailuvahan tavoin. Tällöin ei myöskään muodostu mallinnushistoriaa kuvaavaa piirrepuuta. Suoramallinnuksessa kappaletta venytellään tai paineillaan, kunnes haluttu muoto saavutetaan. Kappaleita voidaan mallintaa myös pintamallinnuksena vapaamuotoisella mallinnuksella, jossa pintoja muodostetaan liikuttelemalla 2D-tason geometriapistettä.

Andritz Oy:n soodakattiloiden suunnittelussa on käytetty jo pitkään Excel-taulukoiden avulla ohjattuja parametrimalleja, joissa kappaleiden geometriaa on ohjattu pääosin taulukoihin määriteltyjen arvojen avulla. Malleja ohjaavista Excel-tiedostoista tulee kuitenkin hyvin nopeasti erittäin monimutkaisia, ja eri parametrien riippuvuussuhteiden selvittäminen solujen välisistä kaavoista voi olla todella työlästä. Tällaiset mallit toimivat kohtuullisesti yhden käyttäjän hallitessa mallia ja sitä ohjaavaa Excel-tiedostoa. Excel-malleilla ei kuitenkaan voida suoraan ohjata mallin piirrepuuta ja näin valikoida mukaan kulloiseenkin konfiguraatioon kuuluvia piirteitä ja osia, vaan tämä joudutaan tekemään manuaalisesti tai käyttäen apuna Autodesk Inventorin "View"- ja "Level of detail"-ominaisuuksia. Edellä mainituilla ominaisuuksilla voidaan määritellä näytettävät mallin osat ja hallita kokoonpanojen osien näytettävää määrää.

Autodesk Inventor mahdollistaa yksinkertaisten matemaattisten funktioiden käytön mittaparametreina. Näin voidaan helposti luoda geometrioita, jotka ovat riippuvaisia yhdestä tai useammasta määräävästä mitasta. Vastaavia assosiaatioita voidaan luoda myös geometrinen sääntöjen avulla. Suurimpana haasteena funktioiden ja riippuvuussuhteiden avulla ohjatuissa malleissa on mallin koossa pysyminen. Mallin käyttäytymisen ennustaminen on usein hyvin hankalaa tai jopa mahdotonta ja suurta harkintaa on käytettävä määriteltäessä pisteitä, joihin sidoksia luodaan.

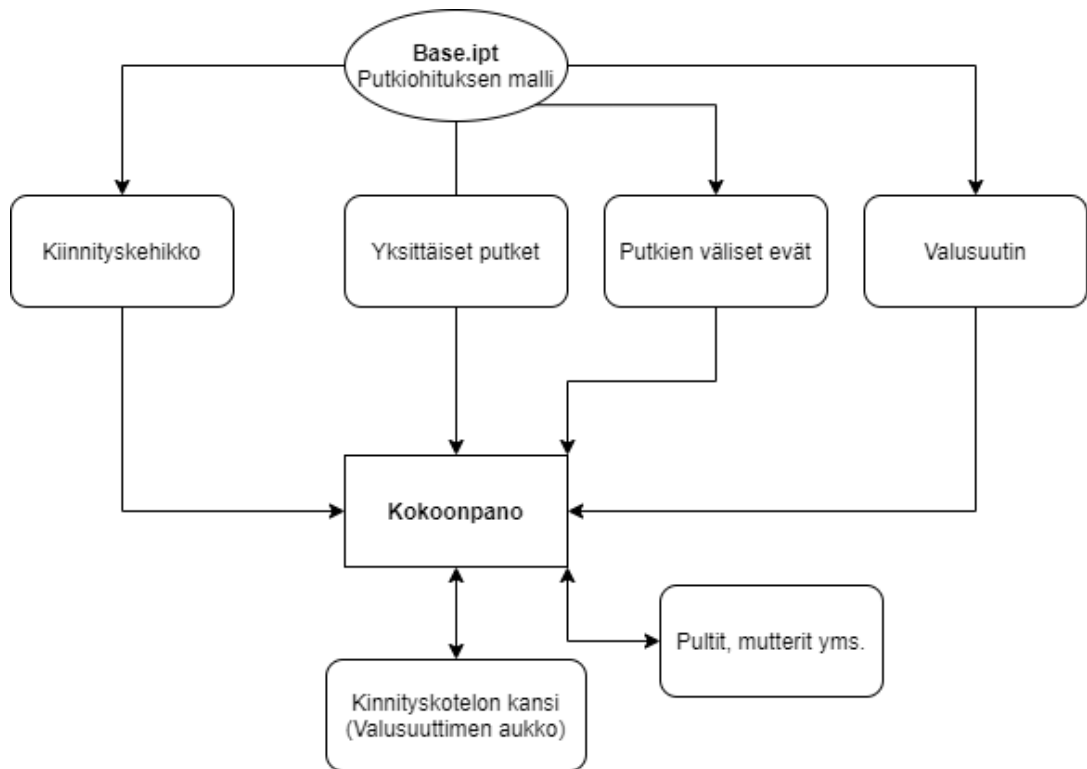
Tilanteessa, jossa kappaleen geometria muuttuu siten, että sidoksen kohteena oleva elementti muuttuu tai katoaa, tapahtuu usein ns. mallin räjähtäminen. Räjähtäessään malli muuttuu hallitsemattomasti ja lopputulos on usein täysin käyttökelvoton. Oikeiden sidospisteiden löytäminen vaatii usein yritys- ja erehdysmenetelmän käyttöä ja on siksi hyvin aikaa vievää. Lopputuloksena tulisi kuitenkin syntyä malli, jonka käyttö jatkossa on nopeaa ja yksinkertaista.

Onkin monesti perusteltua miettiä, tuleeko mallille tarpeeksi käyttöä kattamaan parametrisoinnista aiheutuneet kustannukset. Andritz Oy:n soodakattiloiden kohdalla tilanne on selvä: kattiloiden ja Service-toimintojen toimitusaikataulut on pyritty minimoimaan ja kaikki työ, joka voidaan tehdä etukäteen auttaa pysymään aikataulussa ja on täten perusteltavissa.

3.1 Skeleton-mallinnus

Tässä työssä käsiteltävä malli on tehty osittain ns. skeleton-tekniikalla, jossa kokoonpanossa esiintyvien osien sijainti määritetään yhdessä osatiedostossa. Lisäksi osia on tehty top-down-tyylillä, jossa kokoonpanoon lisätään osia, joiden referenssinä käytetään jo tehtyjä osia. Esimerkiksi putkiohituksen putket on tehty valmiiksi solideiksi jo skeleton-rungon muodostavassa Base.ipt-tiedostossa. Näistä valmiista solideista on sittemmin tehty omat ipt-tiedostonsa, jotka on viety kokoonpanoon. Tällöin putket sijoittuvat luotettavasti oikealle paikalleen kokoonpanossa, vaikka putkien geometria muuttuisikin. Skeleton mallinnuksen etuna onkin luotujen osien kiinnittäytyminen oikealle paikalleen kokoonpanossa. Tällöin mallia on helpompi hallita, eikä malli hajoa eri osien piirteiden muuttuessa tai vaihtuessa.

Top-down-mallinnuksessa eri osien mallinnus aloitetaan kokoonpanosta, jonka peruskomponentti toimii referenssipisteenä muille kokoonpanoon liitettävälle osille. Toisinaan skeleton-mallinnus yhdistetään top-down-mallinnukseen, sillä molemmissa on yksi runko-osa, joka määrittää muiden osien sijainnin kokoonpanossa. (Autodesk 2021.) Ilma-aukkojen 3D-mallissa mm. valukappaleen kiinnityskotelon kansi on luotu top-down-menetelmällä olemassa olevaan kokoonpanoon. Mallin kokonaisuutta on pyritty hahmottamaan kuvassa 10, jossa nuolilla kuvataan osien riippuvuuksia toisistaan.



Kuva 10. Ilma-aukkojen 3D-mallien osien keskinäiset suhteet


Malleja voi tehdä myös bottom-up-periaatteella, jossa lähtökohtana on yksi valmis osa, johon muut itsenäisesti mallinnetut osat liitetään. Tällöin kokoonpano voidaan luoda määrittelemällä osien sijainnit asettamalla rajoitteita osien geometrioiden välille. (Autodesk 2021.) On kuitenkin huomioitava, että jos mallia muokataan siten, että rajoitteeksi asetettu geometria muuttuu tai poistuu, myös sidokset osien välillä katkeavat ja osien keskinäinen suhde ei ole enää määritelty.

Ilma-aukkojen 3D-malleissa kaikki malleja ohjaavat parametrit on luotu skeletoin-rungon muodostavaan Base.ipt-tiedostoon, jolloin mallin ohjaus onnistuu yhdestä paikasta. Parametrit on mahdollista linkittää muihinkin tiedostoihin, jolloin niitä voidaan hyödyntää uusien osien luonnissa. Kun kaikki ohjausparametrit luodaan "User parameters"-valikon alle, on luotuihin osiin helppo linkittää vain kyseiset parametrit. Näin linkitettyjen parametrien määrä vähenee oleellisesti ja työskentely niiden parissa on huomattavasti tehokkaampaa.

3.2 Autodesk Inventor iLogic

Autodesk Inventor tarjoaa mahdollisuuden ohjata mallia VB.net-pohjaisen koodin avulla käyttäen Inventor -ohjelmiston iLogic editoria. iLogic-koodilla voidaan luoda sääntöjä ja makron tapaisia toimintoja osatiedostoihin, kokoonpanoihin ja piirustuksiin. Säännöillä voidaan helposti poistaa käytöstä tai ottaa käyttöön tiettyjä mallin osia ja piirteitä erilaisten ehtojen perusteella. iLogicin avulla on esimerkiksi helppo luoda erilaisia versioita samasta osasta käyttäen ohjaavana määreenä tiettyä mitta tai parametria. iLogicilla voidaan myös suorittaa hieman monimutkaisempia matemaattisia laskutoimintoja, kuin mitä voitaisiin kirjoittaa suoraan parametrikenttään.

Tämän opinnäytetyön yhtenä osana tehdyt 3D-mallit hyödyntävät iLogic-ominaisuutta useassa eri vaiheessa. Malleja ohjataan pääsääntöisesti putkiseinän mitoituksen ja vaadittavan pinta-alan perusteella. Kyseisiä parametreja on hyödynnetty iLogic-koodissa luomaan suunnittelusääntöihin perustuvia ehtoja sekä valitsemaan piirrepuusta kyseisten parametrien vaatimukset täyttävät piirteet. Esimerkiksi ilma-aukkojen pinta-alaa vastaavat aukon leveydet, jotka on taulukoitu Andritz Oy:n suunnittelusäännöissä, voitiin siirtää malliin kirjoittamalla kuvassa 11 näkyvä yksinkertainen ehtolause, joka muuttaa aukon leveyttä tietyn rajakoon ylittyessä.



```

If Size >110 And Size <= 225 And P_OD < 76 Then
    Opening_W = 70
ElseIf Size > 150 And Size <= 225 And P_OD > 76 Then
    Opening_W = 70
ElseIf Size>225 And Size<=375 Then
    Opening_W = 90
ElseIf Size>375 And Size<=450 Then
    Opening_W = 120
ElseIf Size>450 And Size<=900 Then
    Opening_W = 150
ElseIf Size>900 And Size<=1800
    Opening_W = 240
ElseIf Size <= 110 And P_OD < 76 Then
    Opening_W = 50
    ElseIf Size <= 150 And P_OD > 76 Then
    Opening_W = 50
End If

```

Kuva 11. Esimerkki yksinkertaisesta iLogic-säännöstä

Vaikka iLogic perustuu VB.NET-koodaukseen, ei iLogic-koodiin tarvitse lisätä jokaista määrettä, vaan ehtolauseet voidaan kirjoittaa yksinkertaisimmassa muodossaan. Tämä helpottaa iLogic-editorin käyttöä henkilöillä, joille VB.NET-koodaus ei ole tuttua. Kun käytetään yksinkertaisia ehtolausekkeita, koodin toiminta on niin selkeää, että sen lukeminen ja muokkaaminen on todella helppoa, vaikkei henkilöllä olisikaan aiempaa kokemusta koodauksesta.

Yksi mallien haastavimmista pulmista oli löytää ratkaisu, jolla valusuuttimen aukon pinta-ala toteutuisi tarkasti vastaamaan syötettyä arvoa. Jos tiedetään putkiaukon ylä- ja alaosan muodostamien ”kolmioiden” pinta-ala ja aukon leveys, voidaan pinta-alaa ohjata kolmioiden väliin jäävän suorakulmaisen alueen korkeutta muuttamalla. Kolmioiden pinta-alat kuitenkin muuttuvat aukon leveyden muutosten sekä putkien taivutussäteen tai -kulmien muuttuessa. Ongelman voisi helposti ratkaista pursottamalla kolmion alueelle 1 mm paksuisen lätkän ja käyttämällä kyseisen solidin tilavuutta pinta-alan laskennassa. Autodesk Inventor ei kuitenkaan tue suoralta kädeltä tilavuuden laskentaa osatiedostoihin, joissa on useampi kuin yksi solidi. Lopulta ongelma ratkesi Autodeskin keskustelupalstalle linkitetyn ”SolidFunctions”-nimisen iLogic säännön avulla. Kyseinen sääntö etsii piirrepuusta jokaisen solidin ja laskee näille vastaavat fysikaaliset ominaisuudet, kuin mitä olisi saatavilla yhden solidin tapauksessa. Kyseinen koodi on jo huomattavasti monimutkaisempaa, ja se edustaakin hyvin iLogicin tarjoamia mahdollisuuksia henkilöille, jotka hallitsevat VB.NET-koodauksen ja Inventorin ohjelmarakenteen. iLogic tarjoaa tällaisille henkilöille todella monipuolisia mahdollisuuksia mallien automaatioon ja käyttöliittymän muokkaukseen.

4 ILMA-AUKKOJEN 3D-MALLINNUS

Soodakattilan ilma-aukkojen 3D-mallien tarkoitus on toimia pohjana valmistuksessa käytettävien 2D-kuvien tuotannolle, tuottaa valukappaleiden valmistuksessa käytettävä step-muotoinen 3D-malli sekä auttaa suunnittelijoita hahmottamaan mallinnetun tuotteen lopulliset geometriat. 3D-mallista on erittäin helppo selvittää putkien keskinäiset välykset ja tarkastaa valusuuttimen ja kiinnitysosien istuvuus putkiseinään. Ilma-aukkoon sijoitettavan valusuuttimen valmistuksessa voidaan käyttää apuna 3D-mallista johdettua step-tiedostoa,

joka sisältää kaiken malliin sisältyvän mittainformaation. Näin valmistavalle taholle ei jätetä tulkinnanvaraa ja eri yrityksiltä tilattujen valujen tulisi vastata toisiaan.

Ilma-aukkojen ulkomitat olisi hyvä olla tiedossa putkiseinän layoutia suunniteltaessa, jotta ilma-aukoille varattu tila on varmasti riittävä. Lisäksi valusuuttimen ja sen kiinnitysosien mitat ohjaavat ilmarekisterin geometriaa. Nämä seikat yhdessä siirtävät ilma-aukkojen suunnittelun projektin alkupäähän, ja mitä nopeammin ilma-aukkojen mitat ovat tiedossa, sitä nopeammin päästään etenemään mitoista riippuvaisten osien suunnittelussa. Tässä työssä esiteltyjen mallien tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa ilma-aukkojen ja siihen liittyvien osien suunnitteluprosessia.

Soodakattiloiden ilma-aukkojen mallintamisen lähtökohtana on valmistuspiirustusten tarve ilma-aukolle, jonka pinta-ala määräytyy prosessilaskennan mukaisesti. Pinta-alan lisäksi tarvitsee putkiseinästä tietää putken ulkohalkaisija, putkijako sekä putken taivutussäde. Lähtökohtaisesti uusien kattiloiden suunnittelussa seinäputkien mitat pysyvät samoina, mutta pinta-ala muuttuu kattilan kapasiteettia ja asiakkaan polttoainetta vastaavaksi. Andritz Oy toimittaa kuitenkin huolto- ja modernisointipalveluita myös muiden valmistajien kattiloihin, jolloin myös putkiseinän mitoitus voi vaihdella. Lisäksi uusien kattiloiden koon jatkuva kasvu aiheuttaa painetta kasvattaa käytettyä putkikokoa. Näin muodostuu varsin mittava määrä erilaisia putkiaukkoja, valusuuttimia ja niiden kiinnitysosia, joiden hallinnointi on osoittautunut haasteelliseksi (Andritz Oy 2021a; Andritz Oy 2021b).

Ilma-aukkojen perusrakenne pysyy pääsääntöisesti samana, vaikka seinäputkien mitoitus muuttuisi. Tämä mahdollistaa niin sanottujen parametrusten mallien käytön, jolloin vältetään toistamasta koko mallinnusprosessia jokaisen variaation kohdalla. Parametriseen malliin voidaan syöttää tarvittavat lähtötiedot ja geometrysten ja matemaattisten sääntöjen avulla muodostetaan näitä vastaava 3D-malli. Tämä nopeuttaa huomattavasti uusien mallien valmistusta ja kun mallien perusgeometria toteutetaan samojen sääntöjen perusteella, muodostuu lopputuloksista yhtenäinen tuotesarja. Samalla mallien hallinnointi helpottuu.

4.1 Mallinnusprosessi ja valitut menetelmät

Mallinnusta suunnitellessa oli tavoitteena valmistaa ilma-aukkojen 3D-malli, jota ohjattaisiin vain muutaman päämitan ja ominaisuusarvon avulla. Ideana oli luoda parametrinen malli, joka muodostaisi mallikokonaisuuden ainoastaan projektien alkuvaiheessa saatavilla olevien lähtötietojen avulla. Pääparametrit on lisätty malleihin käyttäjäparametreiksi (Kuva 9, s.17), jotta ne lokeroituisivat omaan sarakkeeseensa ja muodostaisivat näin mallin käyttöliittymän. Tärkeimmät parametrit ovat putkiseinän määrittävät mitat (mm. putken ulkohalkaisija, taivutussäde ja putkijako) sekä ilma-aukon koko ja kiinnitysosien tyyppi (primääri/sekundääri). Lähestulkoon kaikki muut ilma-aukon, valusuuttimen ja kiinnitysosien mitat voidaan johtaa suunnittelusääntöjen ja geometrinen sääntöjen avulla.

Suunnittelusääntöjen integrointi malliin on lähtökohtaisesti melko työlästä ja siihen vaaditaan usein erilaisten taulukoiden ja riippuvuussuhteiden luontia. Nämä voidaan tehdä esimerkiksi erillisen Excel-taulukon avulla, tai iLogictyyppisten työkalujen avulla. Malleissa päädyttiin käyttämään Autodesk Inventorin iLogic-ominaisuutta, koska tällöin säännöt tehdään suoraa mallissa käytetyillä parametreilla ja kun jotain tiettyä mallin mitta halutaan muuttaa, voidaan siihen vaikuttava sääntö selvittää hyvin nopeasti. Samalla saataisiin arvokasta tietoa iLogicin soveltuvuudesta tämänkaltaisiin mallinnusprojekteihin.

Mallinnusprosessi aloitetaan lähtötietojen keräämisellä, joiden pohjalta lähdetään muodostamaan putkiohitusta. Kun putkiohituksen geometria on luotu, lisätään siihen valusuutin ja sen kiinnitysosat ja luodaan lopulta näistä kokoonpanotiedosto esittämään lopullista konfiguraatiota. Valmistusta varten laadittavat 2D-kuvat tehdään tyypillisesti kokoonpanosta, jolloin voidaan helposti esittää kyseisen kappaleen sijainti kokonaisuudessa.

Malleja suunnitellessa oli tarpeen pohtia, millaisia lopullisten mallien tulisi olla. Andritz Oy:n ilma-aukkojen kehityksestä vastaavan tiimin kanssa käytyjen keskustelujen perusteella päädyttiin valitsemaan jokaiselle aukkotyypille esimerkkimalli jo valmistetuista aukoista. Mallinnuksen edetessä tarkasteltiin aika

ajoin esiin tulleita huomioita ja mallia muokattiin näiden havaintojen perusteella.

Keskustelujen tuloksena päädyttiin lisäämään valusuuttimiin jo aiemmin laaditun kehitysehdotuksen mukainen muutos putken ja valusuuttimen liityntäpintaan sekä sovittiin muutamia uusia suunnittelusääntöjä, jotka tulevat yhtenäistämään tuotesarjaa. Malleihin lisättiin myös muutamia pieniä yksityiskohtia, jotka muun muassa helpottavat huoltotöitä. Lopulliset tuotokset käytiin vielä läpi ilma-aukoista vastaavan henkilöstön kanssa, jonka jälkeen mallit jaettiin Andritz Oy:n verkkolevylle sisäiseen käyttöön.

Mallinnuksen alettua oli hyvin nopeasti selvää, että malleja olisi tehtävä vähintään kaksi. Yksitasoisten putkiohituksien geometria erosi liian merkittäväällä tavalla monitasoisista ohituksista. Harkinnassa oli myös primääri-ilma-aukkojen erottaminen omaksi malliksi, mutta koska primääriaukoissa itse putkiohitus ei eroa sekundääri/tertiäriaukoista, päädyttiin mallit pitämään yhdessä. Primääri-ilma-aukon toteuttaminen omana mallinaan olisi todennäköisesti nopeuttanut mallinnustyötä, mutta lopputuloksena olisi ollut useampi malli hallinnoitavaksi.

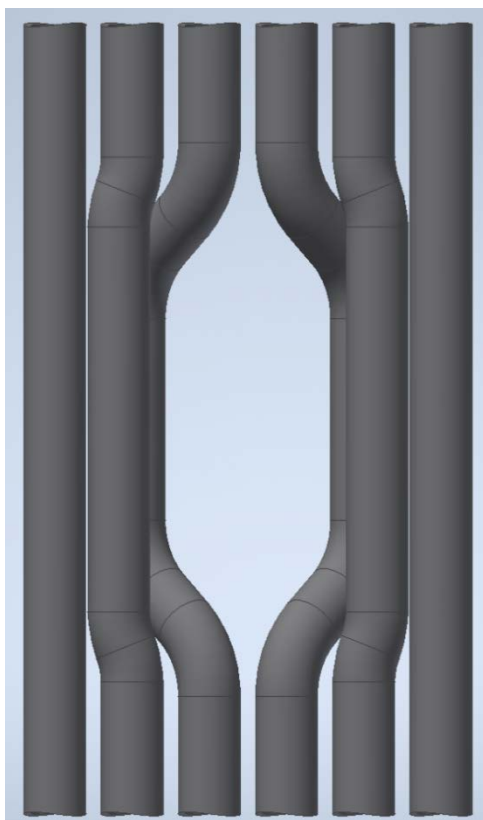
4.2 Putkiohitusten mallinnus

Soodakattilan ilma-aukkojen putkiohituksen mallinnus luo pohjan valusuuttimen ja sen kiinnitysosien mallinnukselle. Putkiohituksen muodostamiseksi täytyy olla tiedossa kattilan seinän mitoitus ja haluttu ilma-aukon pinta-ala. Lisäksi merkittäviä tekijöitä on putkiohituksen tyyppi, joka riippuu paljolti ilma-aukon koosta: suuret ilma-aukot vaativat useampia taivutettavia putkia, jottei ilma-aukon leveys/korkeussuhde tai kokonaiskorkeus muodostuisi liian suureksi. Usein suunnittelusäännöissä on määritelty tavoiteltava leveys/korkeussuhde tai aukkojen leveys on porrastettu pinta-alaperusteisesti.

Putkiohituksen suunnittelu aloitetaan keräämällä putkiseinän tiedot sekä haluttu ilma-aukon koko ja tyyppi. Andritz Oy:n soodakattiloissa primääri-ilman valusuutin ja kiinnitysosat eroavat huomattavasti sekundääri- ja tertiäriaukko-

jen mallista, mutta itse putkiohituksen suunnitteluun sijoitustasolla ei ole vaikutusta. Andritzilla on olemassa yleisimpiä putkiseiniä varten taulukot, jotka määrittelevät putkiohituksen leveysportaat sekä koon, jonka jälkeen siirrytään monitaso-ohitukseen. Taulukoimattomissa seinäkonfiguraatioissa voidaan leveysportastus usein toteuttaa käyttäen samaa porraskokoa ja/tai leveys/korkeussuhdetta kuin lähimmässä taulukoidussa putkikoossa.

Vakkilaisen mukaan ilma-aukon muodolla ei ole järin suurta merkitystä palamisilman tunkeutumiskyvylle, vaan ilmapirta muotoutuu pyöreäksi lähes heti kattilaan virratessaan (Vakkilainen 2005). Leveys/korkeussuhteen kasvattaminen kasvattaa myös ilmarekisterin säätölaitteen säätöpellin pituutta, jolloin rekisterin kokonaispituus kasvaa ja säätölaitteen tilavuusvaatimus sekä paino kasvavat. Leveys/korkeussuhdetta ei kuitenkaan voida pienentää loputtomasti, sillä vastaan tulee raja kohdassa, jossa taivutusten väliin jäävä pystysuora osuus saavuttaa pienimmän sallitun arvonsa.



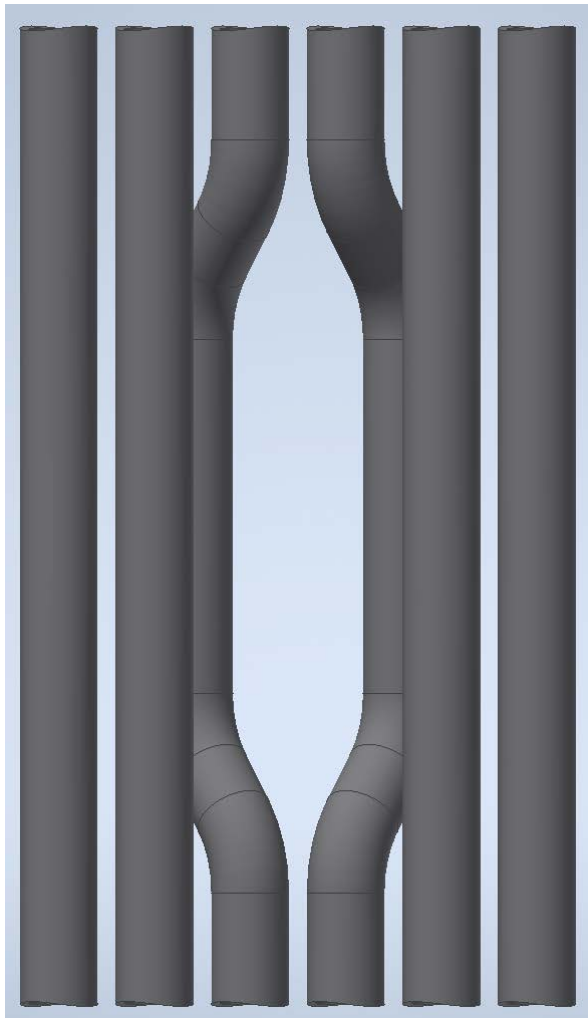
Kuva 12 Esimerkki yksitasoisesta putkiohituksesta

Jos kyseessä ei ole kuvan 12 laitimmaisissa taivutetuissa putkissa esiintyvä ns. patenttimutka, joka muodostuu kahdesta peräkkäisestä taivutuksesta, tarvitaan valmistusteknisistä syistä kahden perättäisen taivutukseen väliin suora, josta esimerkki näkyy kyseisen kuvan sisemmissä putkissa.

Kahden perättäisen taivutuksen väliin tarvittavan suoran pituus on tyypillisesti 50–120 mm ja pituus määräytyy valmistusteknisten syiden perusteella. Vaadittavaan pituuteen vaikuttaa mm. putken halkaisija, sen seinämän paksuus ja taivutussäde.

4.2.1 Yksitasotaivutukset

Jos ilma-aukon pinta-ala on hyvin pieni tai leveys/korkeussuhteesta halutaan suuri, kannattaa ilma-aukon taivutus tehdä taivuttamalla kaksi putkea ulospäin seinälinjalta kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13. Yksitasoinen putkiohitus kahdella taivutetulla putkella

Näin avautuva aukko kasvaa maksimissaan taivuttamattomien putkien muodostaman aukon levyiseksi. On kuitenkin huomioitava, että näin taivuttaessa taivutetut putket työntyvät lähes suoraan ulospäin kattilasta ja lähestyttäessä maksimileveyttä taakse työntyneet putket ovat melko kaukana seinälinjalta.

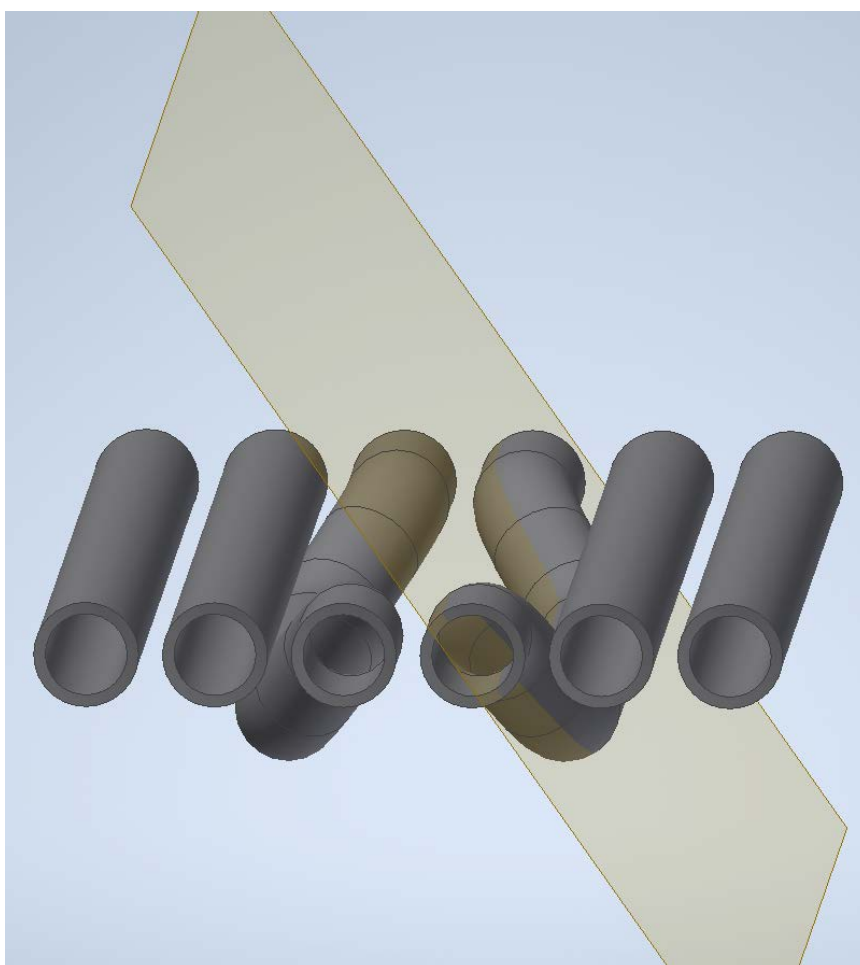
Tällöin suoran ja taivutetun putken väliin jää suuri eväalue, joka jää alttiiksi puhkipalamiselle. Usein tällaista yksitasotaivutusta käytetäänkin siten, että taakse taivutettua putkea taivutetaan taaksepäin vain sen verran, että etäisyys taivutetun putken ja suoran putken välillä jää pienemmäksi kuin suoran seinän eväalueen leveys.

Yksitasotaivutuksella toteutetun aukon leveyttä voidaan kasvattaa suurentamalla aukeamiskulmaa. Tämä vaatii kuitenkin tielle jäävän viereisen putken taivuttamista pois edestä. Viereinen putki voidaan siirtää esimerkiksi seinätasossa kiinni kolmanteen putkeen kuvan 12 mukaisesti. Andritz Oy on aiemmin valmistanut aukkoja myös siten, että myös toinen putki taivutettaisiin taakse ensimmäisen kaltaisesti. Tällöin kuitenkin muodostuu varsin suuri evitettävä alue, jonka takia tästä käytännöstä on sittemmin luovuttu.

Vaikka pienemmissä monitasotaivutuksissa taivutetaan vastaava määrä putkia, on yhdessä tasossa taivutetussa aukossa vähemmän taivutettavia mutkia ja ohituksen valmistus ja evitys on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa. Yksitasotaivutuksella ei kuitenkaan ole kannattavaa tehdä kovin suuria aukkoja, sillä aukon leveys/korkeussuhde kasvaa nopeasti, samoin kuin aukon kokonaiskorkeus. Aukon korkeuden kasvaessa layout suunnittelu vaikeutuu ja ilmarekisterin koko ja paino kasvavat.

Yksitasotaivutuksen mallintaminen aloitetaan keräämällä putkiseinän ja ilma-aukon perustiedot. Nämä tiedot on hyvä viedä erillisiksi käyttäjäparametreiksi, jotta niihin voidaan helposti viitata mallinnuksen eri vaiheissa. Tämän jälkeen voidaan aloittaa mallinnus hahmottelemalla putkien keskilinjat, jonka jälkeen putket muodostetaan vetämällä putkihalkaisijaa vastaavat ympyrät keskilinjojen läpi "Sweep"-toiminnolla. Yksitasotaivutuksessa taivutettujen putkien keskilinjat voidaan piirtää 2D-sketseinä avautumiskulman mukaiselle tasolle.

Jotta malli saataisiin noudattamaan suunnittelusäännöissä määritettyjä leveysportaita, tulee ensin määrittää kulma, jossa putki työntyy ulospäin seinälinjalta, eli niin sanottu avautumiskulma. Tämä kulma määräytyy seinäputken halkaisijan ja putkijaon perusteella. Kulma haetaan siten, että taivutettu putki kulkee mahdollisimman läheltä viereistä putkea, kuitenkin osumatta tähän putkeen. Sopiva välys on tyypillisesti alle 2 mm. Kulman arvosta kannattaa luoda parametri, jotta kulmaa on helppo muuttaa ja sitä on nopea käyttää mallinnuksen edetessä. Kyseinen avautumiskulman mukainen taso on näkyvillä kuvassa 14. Taso on sidottu leikkaamaan taivutetun putken alkuperäinen keskilinja.



Kuva 14. Avautumiskulman määrittävä taso

Kun taivutetun putken keskilinjaa mukaileva taso on saatu aikaiseksi, piirretään siihen taivutetun putken keskilinjan muoto. Muodostuvan aukon leveys määräytyy alkuperäisen keskilinjan ja taivutusten jälkeisen keskilinjan välisen etäisyyden ja taivutustason kulman mukaisesti. Kun tiedossa on haluttu valusuuttimen aukon leveys, voidaan taivutetun putken uuden keskilinjan ja alkuperäisen keskilinjan etäisyyden määrittävä mitta korvata funktiolla, joka laskee

vaadittavan etäisyyden. Tämän kappaleen kuvissa esiintyvissä malleissa funktio on tehty suoraan parametrikenttään seuraavanlaisella kaavalla

$$\left(\frac{W}{2} + S + T - \frac{(P-D)}{2}\right) / \cos a \quad (1)$$

jossa

- W = haluttu valusuuttimen aukon leveys
- S = putken ja valusuuttimen välinen välyys
- T = valusuuttimen etureunan seinämänpaksuus
- P = putkijako
- D = putken ulkohalkaisija
- a = avautumiskulma

Yllä olevassa kaavassa (1) esitetyt mitat on kirjattu parametrikenttään kyseisiä mittoja vastaavina parametreina. Näin toteutettuna taakse taivutettu putki muodostaa aina juuri oikean levyisen aukon, joka ottaa huomioon valusuuttimen seinämänpaksuuden sekä valusuuttimen ja putken väliin jäävän välyksen. Kun hyödynnetään yleisiä suunnittelusääntöjä, tällainen kaava mahdollistaa putkiohituksen ohjaamisen vain muutamalla parametrilla.

Yksitasotaivutusten enimmäiskoon rajoituksena on sallitun leveys/korkeussuhteen tai aukon kokonaiskorkeuden ylittyminen. Yksinkertaisin ratkaisu tähän on viereisen putken taivuttaminen kuvan 12 mukaisesti (kts. sivu 27), jolloin avauskulmaa voidaan suurentaa. Mallintamisen kannalta tässä kohtaa tulee vaihe, joka vaatii joko iLogicin tai Excelin käyttöä; viereisen putken tulee tehdä haluttu sivuttaissiirtymä, kun pinta-alaparametri ylittää asetetun rajan. Tässä työssä esitellyissä malleissa siirtymäkohdan geometriamuutos on toteutettu iLogic-säännön avulla.

```

If Opening_W <120 Then
  SBend = 1.5*P_Pitch
  SBend_A = 0
  SBend_Add = d158 - 5
ElseIf Opening_W >= 120 And Opening_W<240 And P_OD <= 63.5 And P_Pitch <= 78 Then
  SBend = 1.5 * P_Pitch + (P_Pitch - P_OD -1) 'Tangentiaalinen siirto
  SBend_L=0
  SBend_A = 0
  SBend_Add = -15
ElseIf Opening_W >= 120 And Opening_W<240 And P_OD > 63.5 And P_Pitch <= 92 Then
  SBend = 1.5 * P_Pitch + (P_Pitch - P_OD -1) 'Tangentiaalinen siirto
  SBend_L=0
  SBend_A = 0
  SBend_Add = -15
ElseIf Opening_W >= 120 And Opening_W<240 And P_Pitch > 92 And P_OD < 78 Then
  SBend = 1.5 * P_Pitch + (P_Pitch - P_OD -1) 'Tangentiaalinen siirto
  SBend_L=0
  SBend_A = 0
  SBend_Add = -30
ElseIf Opening_W >= 120 And Opening_W<240 And P_Pitch = 92 And P_OD < 76 Then
  SBend = 1.5 * P_Pitch + (P_Pitch - P_OD -1) 'Tangentiaalinen siirto
  SBend_L=0
  SBend_A = 0
  SBend_Add = -30
ElseIf Opening_W >= 240 Then 'Siirto kulmassa, ei suositella käytettäväksi
  SBend = 2.5*P_Pitch+P_OD/2
  SBend_A = 55
  SBend_L = 230
  SBend_Add=60
  P_A=25
End If

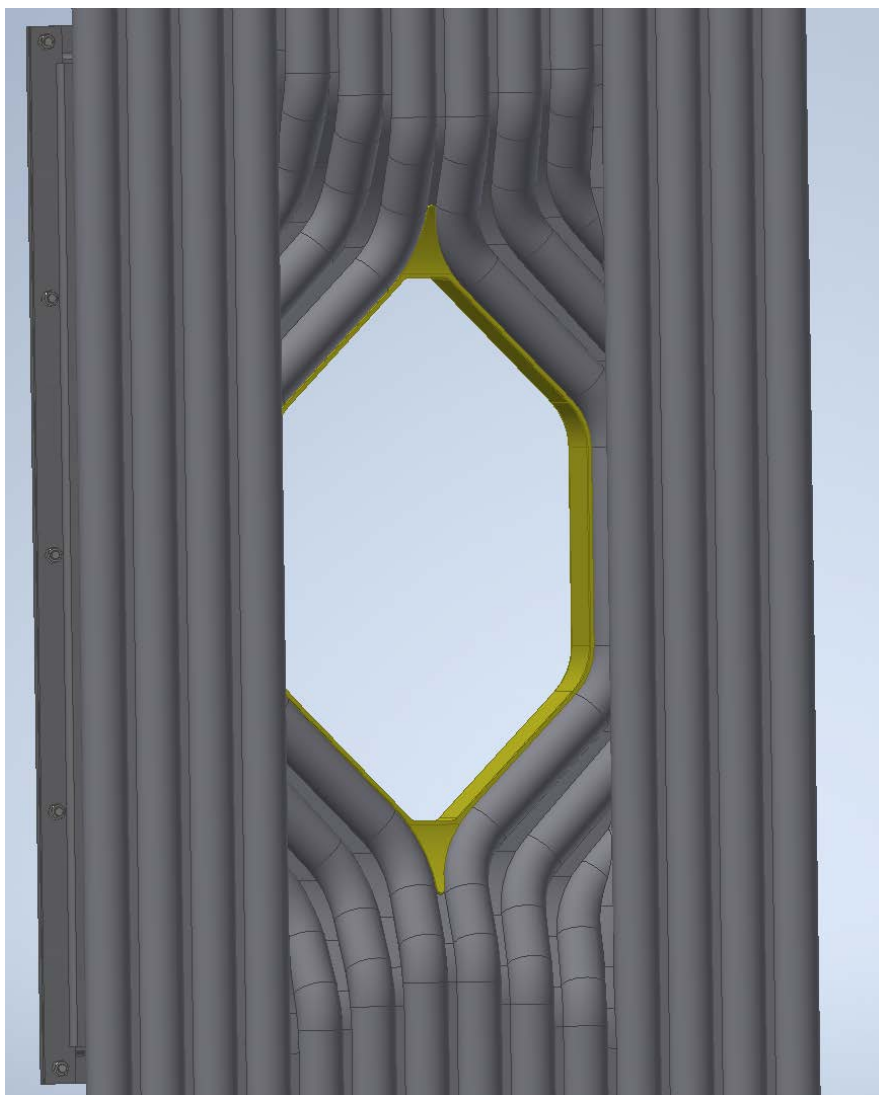
```

Kuva 15. iLogic sääntö, jolla ohjataan putkiohituksen toista putkiparia.

Yksinkertaistettuna kuvassa 15 esiintyvä koodi muuttaa 2-putken keskilinjan mittoja siten, että tietyn koon ylittyessä 2-putken keskialue siirtyy kolmannen putken viereen sekä vaihtaa aukeamiskulman vastaamaan uutta geometriaa. Kun toisen putkiparin mutkat ovat geometrisesti sidottu muotoonsa, piirtyvät ne suorana viivana silloin, kun keskialue on samassa linjassa muun putken kanssa, mutta palautuvat oikeaan muotoonsa etäisyyden kasvaessa. Samalla sääntöön on lisätty mahdollisuus toteuttaa toisen putkiparin taivutus ulos seinälinjalta, jolloin putkiaukon leveyttä voitaisiin kasvattaa vielä entisestään. Kyseinen taivutus ei ole enää käytössä Andritz Oy:n uusissa kattiloissa, mutta tällaiseen taivutukseen voidaan joskus joutua suunnittelemaan valusuutin Service-toimintoja varten.

4.2.2 Monitasotaivutukset

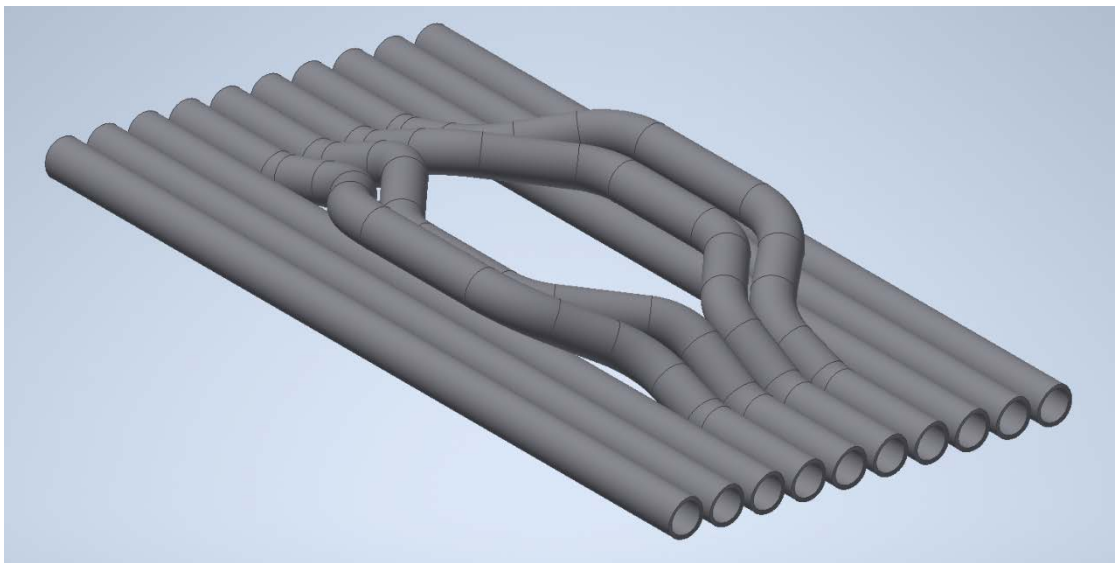
Soodakattiloiden sekundääri- ja tertiääri-ilman aukoilta vaadittu pinta-ala on usein niin suuri, ettei ilma-aukkoa voida järkevästi toteuttaa taivuttamalla seinäputkia vain yhteen suuntaan. Kun seinäputkia taivutetaan siten, että ensimmäinen taitos siirtää putkea ulos seinälinjalta ja toinen taivutus kääntää putkea sivulle, voidaan puhua monitasotaivutuksista.



Kuva 16. Tyypillinen monitasotaivutuksellinen soodakattilan ilma-aukko

Tällaisia kuvassa 16 esiintyviä taivutuksia pyritään käyttämään myös muissa suurissa aukoissa, kuten huoltoluukuissa ja poltinaukoissa, silloin kun taivutuksissa muodostuneet eväalueet halutaan pitää pieninä. Monitasotaivutuksissa tulee kiinnittää erityisen suurta huomiota syntyneiden eväalueiden koon ja eväalueiden minimointi tulisikin ottaa huomioon jo suunnittelun alkuvaiheissa.

Monitasotaivutus voidaan tehdä usealla eri tavalla, mutta kun kyseessä on tulipesän alaosassa sijaitseva evitetty aukko, on Andritz Oy:ssä päädytty kuvan 16 mukaiseen ratkaisuun, jossa ensimmäinen taivutus on suoraan ulos seinälinjalta ja seuraavat taivutukset ohjaavat putken suorien seinäputkien taakse. Andritz on käyttänyt tämän tyyppisiä aukkoja hyvällä menestyksellä. Jo valmistetuissa kattiloissa seinälinjan taakse siirtyvät putket on käännetty samaan seinälinjan suuntaiseen tasoon. Suuremmilla putkiko'illa voi kuitenkin olla tarpeen kääntää uloimpia putkia ulospäin seinälinjalta, jotta syntyneet eväalueet voidaan pitää mahdollisimman pieninä.



Kuva 17. Monitasotaivutteen putkiohitus, jossa eväalueita on pyritty minimoimaan

Esimerkki 76,2 mm halkaisijalla ja 92 mm putkijaolla tehdystä taivutuksesta, jossa putket on taivutettu putkiseinän taakse omille tasoilleen, on nähtävillä kuvassa 17. Tällainen aukko voi olla hieman hankalampi valmistaa ja mallia suunnitellessa tulee varmistua siitä, että putket mahtuvat kiinnitysosien muodostaman kotelon sisälle. Taivutuksessa syntyneiden eväalueiden kokoon vaikuttaa olennaisesti myös taivutuskulmat ja taivutussäde. Taivutussäde määräytyy usein valmistusteknisin perustein, mutta taivutuskulmien alustava valinta jää monesti suunnittelijan vastuulle.

Monitasotaivutuksen mallinnus tehdään hyvin pitkälti samalla kaavalla, kuin yksitasoisten taivutusten. Mallinnus aloitetaan hahmottelemalla putkien keskilinjat, jonka jälkeen putket voidaan mallintaa vetämällä putkihalkaisijaa vas-

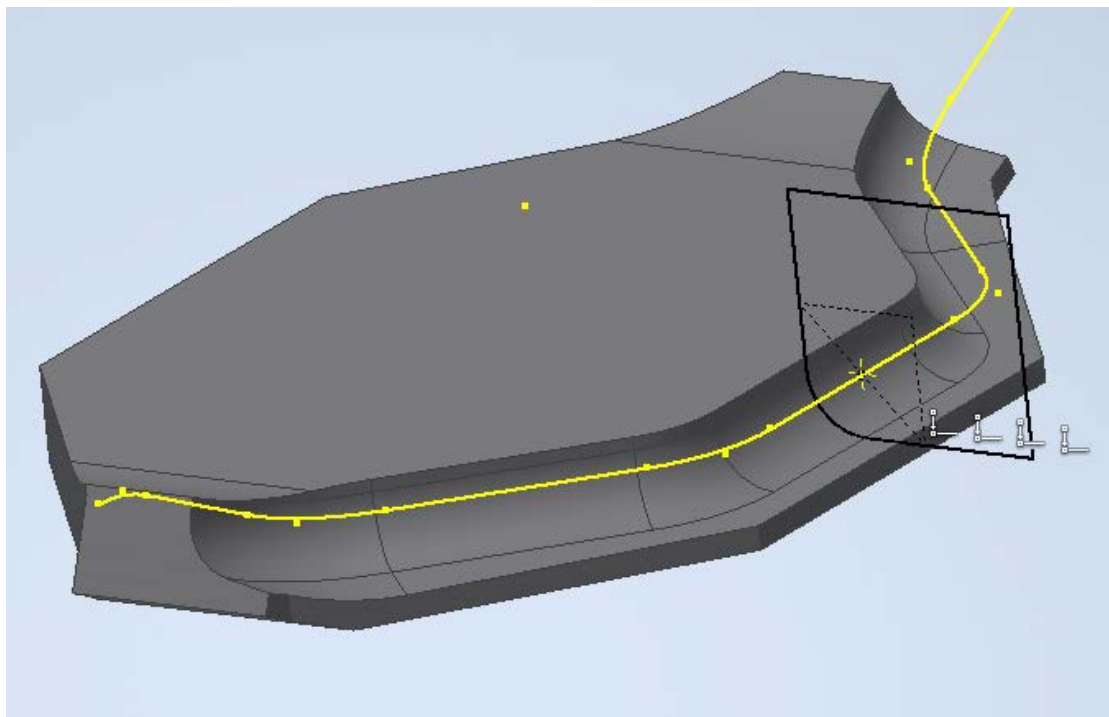
taava ympyrä keskilinjaa pitkin ”Sweep”-toiminnon avulla. Yksitasoisista ohi-
tuksista poiketen taivutettujen putkien keskilinjat joudutaan piirtämään 3D-
sketseinä, joka luo mallintamiseen omat haasteensa. Jos mallista halutaan
tehdä parametriohjattu, tulee putkien keskilinoja piirtäessä pyrkiä käyttämään
mahdollisimman vähän mittoja. Mittoja voidaan korvata geometrisilla rajoit-
teilla, mutta on erityisen tärkeää sitoa geometriat siten, että ne kestävät räjähtämättä malliin tehtävät muutokset. Oikeiden sidospisteiden löytäminen osoit-
tautui aikaa vieväksi, sillä mallin räjäyttävän ominaisuuden korjaamisen jäl-
keen on toimivuudesta varmistuttava käymällä läpi käytännössä kaikki mah-
dolliset variaatiot, jotka ovat voineet kärsiä muutoksesta.

Huomiota on kiinnitettävä myös putkiohituksessa syntyneiden eväalueiden
hallintaan. Malliin on sisällytettävä mahdollisuus siirtää taivutettuja putkia lä-
hestulkoon jokaiseen suuntaan, jotta mallin hienosäätö kävisi mahdollisimman
jouhevasti. Sivuttais- ja korkeussiirrot voidaan mitoittaa etukäteen, antaen siir-
ron arvoksi 0 mm. Samoin vaaka- ja pystysuuntaisille tasoille voidaan asettaa
0-asteiset kulmat. Tällöin mittoja voidaan nopeasti muuttaa tilanteen niin vaa-
tiessa, ilman että joudutaan tekemään muutoksia sketseihin tai piirteisiin, jol-
loin vaarana olisi mallin räjähtäminen.

Monitasotaivutuksia voidaan tehdä taivuttamalla seinäputkien taakse yksi
putki tai useampia putkia per puoli. Koska yhden putken taivutus voidaan
tehdä myös yksitasoisena, tarkoittaa tämä käytännössä vähintään kahden put-
ken taivuttamista. Kun aukon koko kasvaa yli sallitun korkeuden tai leveys/kor-
keussuhteen, tulee eteen seuraavan putkiparin taivutus. Jotta taivutettujen
putkien määrää voidaan kasvattaa aukon pinta-alan perusteella, tarvitaan
avuksi iLogic-sääntöä tai Excel-taulukkoa. Tässä työssä esitellyssä mallissa
ongelma on ratkaistu iLogic säännöllä, jolla tietyn koon jälkeen vaimennetaan
piirrepuusta sisimmäisin suora putki, jonka tilalle palautetaan käyttöön taivu-
tettu versio. Kolmas taivutettu putki kulkee siis koko ajan mallissa mukana,
mutta se tuodaan näkyville vasta aukon pinta-alan kasvaessa yli määrätyn ra-
jan. Tällainen, piirteitä vaimentava ehtolauseke olisi hyvin vaikea toteuttaa il-
man iLogic-ominaisuutta.

4.3 Valukappaleen mallinnus

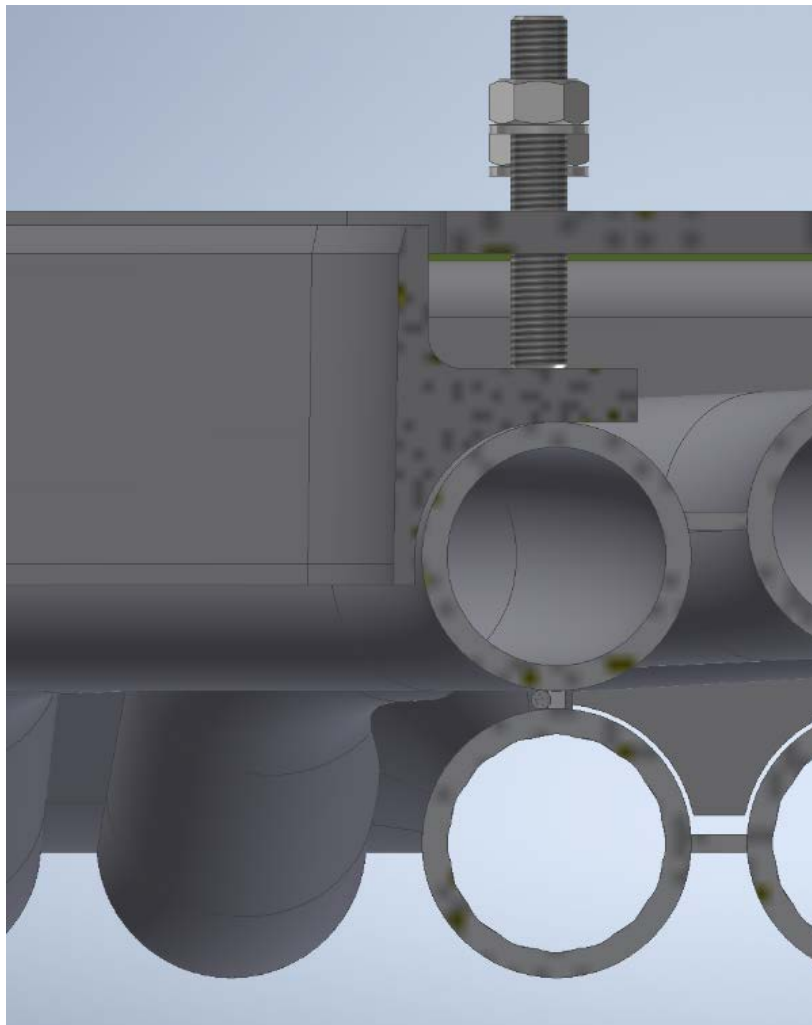
Valukappaleen mallinnus voidaan aloittaa, kun putkitaivutus on saatu alustavasti mallinnettua. Valusuutinta mallintaessa voi olla tarpeen vielä muokata ohitusta, jotta valusuutin saadaan istumaan syntyneeseen aukkoon. Valukappaleen mallinnus aloitetaan linkittämällä sisimpien putkien keskilinjat ja mallia ohjaavat käyttäjäparametrit uuteen osatiedostoon, eli ".ipt"-tiedostoon. Keskilinjojen avulla luodaan rajat valusuuttimen laipalle, samalla kiinnitetään laipan geometria putkiohituksen geometriaan, jolloin valusuutin mukautuu putkiohituksessa tapahtuviin muutoksiin. Kun valusuuttimen laippa on muodostettu, voidaan siitä poistaa putkille ja välyksille varattu tila vetämällä putken keskilinjaa pitkin ympyrää, jonka halkaisija on putken ja valusuuttimen väliin toivotun välyksen verran putken halkaisijaa suurempi.



Kuva 18. Valusuuttimen mallinnuksen alkuvaihe

Kuvassa 18 on näkyvillä laipan alkuperäinen muoto sekä vedetyn ympyrän ympärille lisätty alue. Alue on tarpeen lisätä, jotta muodon reunat eivät kaa-reudu ja näin kasvata etureunan leveyttä. Kun alue seuraa putken keskilinjaa, muodostuu laippaan muoto, johon putkiohituksen sisin putki istuu täydellisesti.

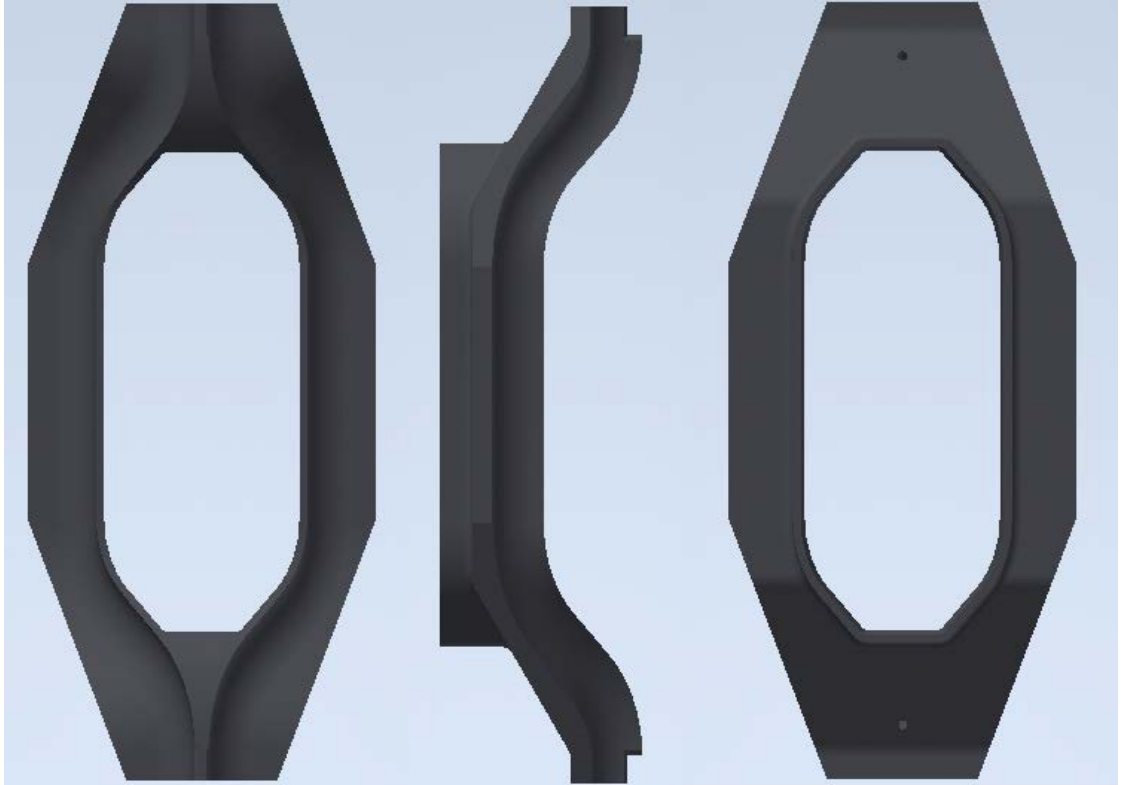
Andritz Oy:n aiemmissa valusuuttimissa "Sweep"-ominaisuudella vedetty ympyrä ei ole kulkenut putken keskilinjalla, vaan putken keskipisteen ja vedetyn ympyrän keskipisteen välillä on ollut lievä siirtymä, eli ns. offset. Andritzilla on ollut keskustelua jo aiemmin kyseisen offsetin poistamisesta, ja nyt uuden mallin myötä kyseinen muutos päätettiin toteuttaa. Tämä aiheuttaa putken ja valusuuttimen kosketuskohdan siirtymisen putken sivulta putken taakse kuvan 19 mukaisesti. Asennusvaiheessa putken ja valusuuttimen väli tiivistetään tulenkestävällä massalla.



Kuva 19. Valusuuttimen ja ohitusputken kosketuspinta poikkileikkauksessa

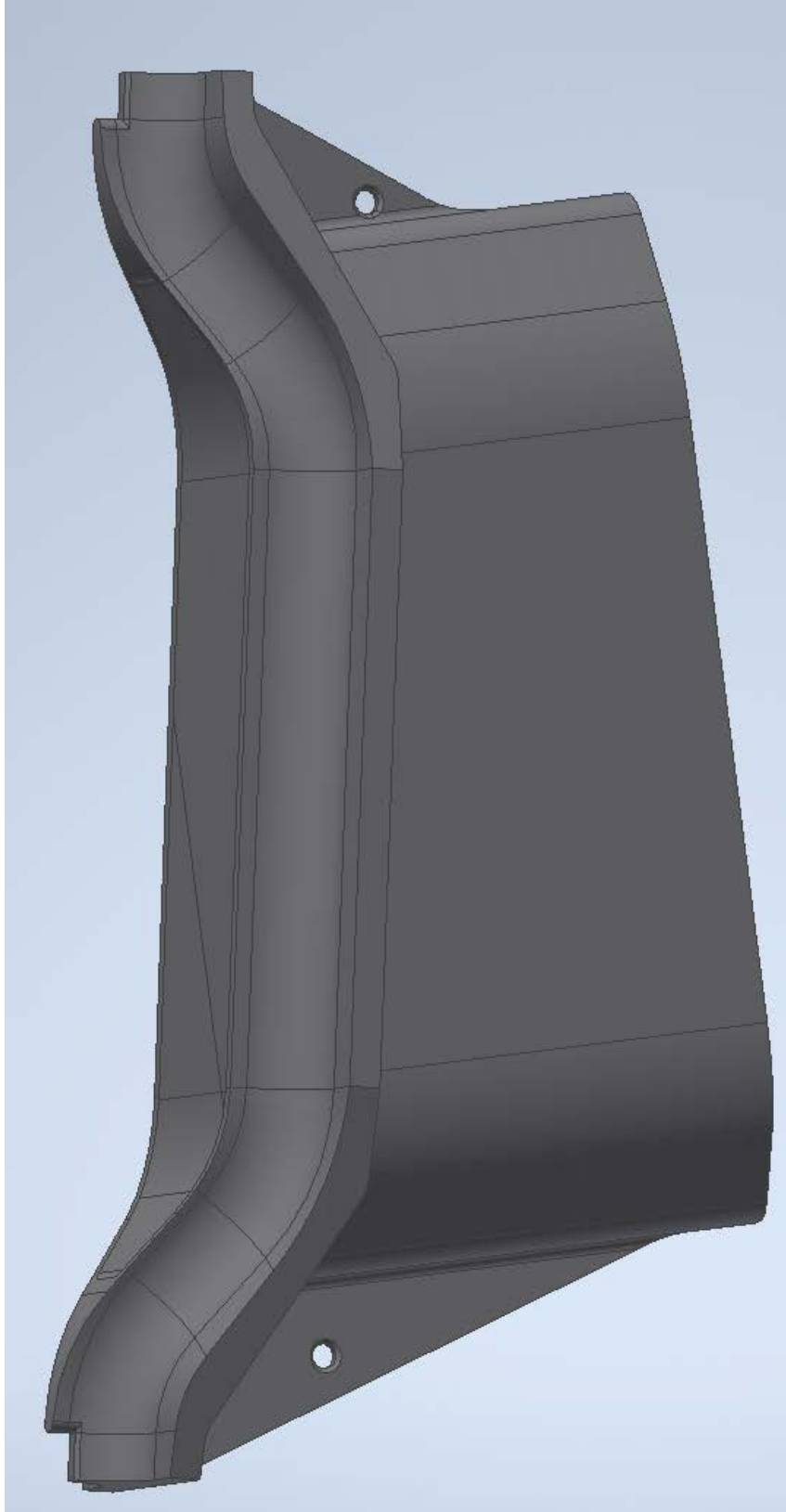
Valusuuttimen läpi kulkeva aukko piirretään ja leikataan valusuuttimen etureunaan käyttäen apuna putkimuodon luomaa geometriaa. Syntyneen aukon muotoa apuna käyttäen pursotetaan suuttimen takapuolelle hieman aukkoa suurempi suuttimen kaulus, johon puhkaistaan aukon muotoinen läpireikä. Näin muodostuu valusuuttimen perusgeometriat. Tämän jälkeen viimeistellään valusuutin lisäämällä tarvittavat viisteet, pyöritykset, tukirivat ja detaljit.

Kuvassa 20 näkyy valmis tyypillinen sekundääri/tertiäärisuutin useammasta suunnasta.



Kuva 20. Tyypillinen sekundääri/tertiääriaukon valusuutin kolmelta suunnalta kuvattuna

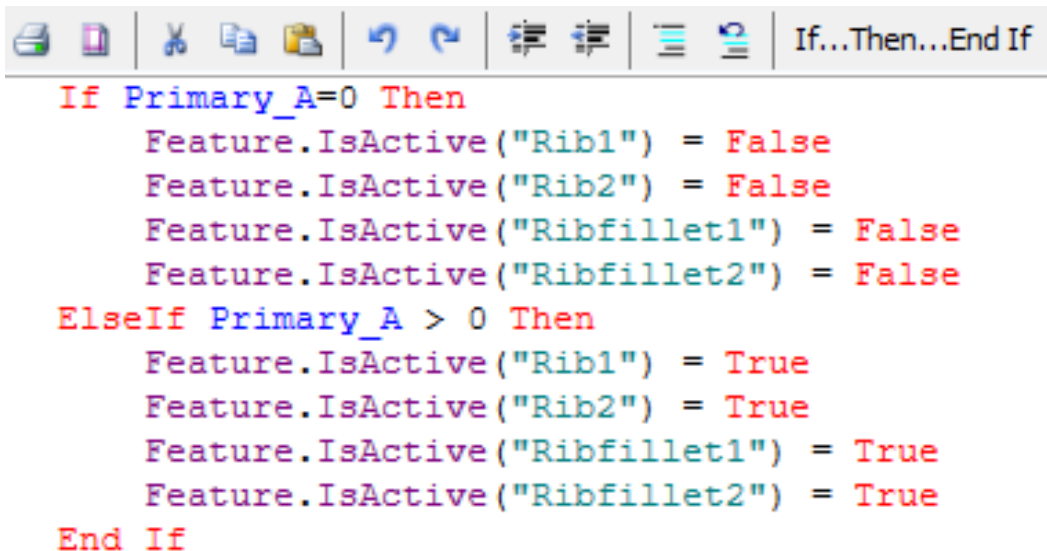
Primääriaukon valusuuttimessa ilma puhalletaan kattilaan 10-asteen kulmassa, kun taas tertiääri- ja sekundäärisuuttimet ovat symmetrisiä ja käyvät aukkoon kummin päin tahansa. Primääriaukon suutin on huomattavasti pidempi kuin sekundääri/tertiääriaukon suutin, joten siihen on suunniteltu erityiset tukirivat tukemaan kaulusta. Kuvassa 21 näkyvään primäärisuuttimeen on lisätty uutena ominaisuutena reiät nostosakkeleille.



Kuva 21. Tyypillinen primääri-ilma-aukon valusuutin

Jos 3D-mallilla tulee pystyä suunnittelemaan molemman tyypin aukot, joudutaan piirrepuuta ohjaamaan iLogicin avulla. iLogicin avulla on hyvin yksinkertaista vaimentaa osia piirrepuusta määrättyjen parametrien arvojen perusteella. Kuvassa 22 näkyvällä iLogic-koodilla vaimennetaan tukiripojen ja niiden

pyöristysten piirteet riippuen siitä, onko kyseessä primääri- vai sekundääri/tertiääri-tyyppinen suutin. Määräävänä parametrina on käytetty aukon puhalluskulmaa, joka ylemmissä aukoissa on tyypillisesti 0-astetta.



```

If Primary_A=0 Then
    Feature.IsActive("Rib1") = False
    Feature.IsActive("Rib2") = False
    Feature.IsActive("Ribfillet1") = False
    Feature.IsActive("Ribfillet2") = False
ElseIf Primary_A > 0 Then
    Feature.IsActive("Rib1") = True
    Feature.IsActive("Rib2") = True
    Feature.IsActive("Ribfillet1") = True
    Feature.IsActive("Ribfillet2") = True
End If

```

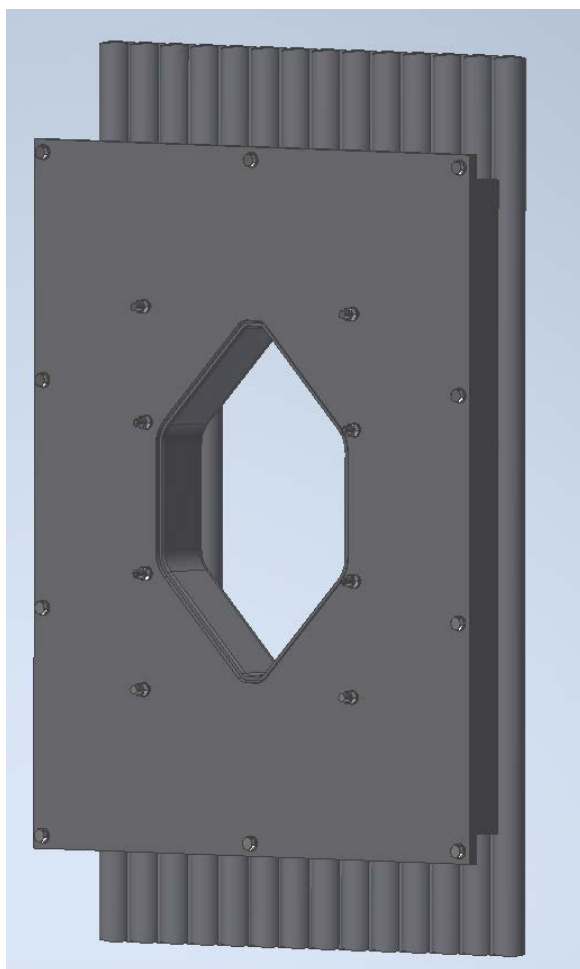
Kuva 22. Valusuuttimen piirteitä ohjaava iLogic-koodi

Keskusteluissa Andritz Oy:n ilma-aukoista vastaavien henkilöiden kanssa nousi usein esiin valusuuttimien paino ja sen vaikutus kyseisen osan vaihtotyöhön. Tyypillinen valusuutin painaa 20–40 kg (Andritz Oy 2021b) ja on asennettu hyvin ahtaaseen tilaan. Kansallisissa työturvallisuussäännöissä on usein rajattu käsin nostettavien kappaleiden sallituksi enimmäispainoksi 25 kg, jonka vuoksi tätä painavampiin valusuuttimiin on mallinnettu reiät nostokorvakkeille. (Andritz Oy 2021a.) Koska Autodesk Inventor laskee kappaleiden painon sille asetetun materiaalin perusteella, voidaan iLogic säännöillä vaimentaa piirrepuusta reiät kappaleen massan perusteella. Massa voidaan viedä myös lisätiedoksi 2D-kuviin sekä kirjata kohokirjoituksena valusuuttimen kylkeen, jolloin vaihtotyötä suorittava henkilö osaa varautua painavan kappaleen irtoamiseen.

4.4 Kiinnitysosien mallinnus

Kiinnitysosien mallinnus voidaan aloittaa, kun putkiohitus ja valusuutin on saatu mallinnetuksi. Kuvassa 23 on näkyvillä sekundääri/tertiääritasoisille tyypillinen umpinaisen kotelon muodostava kiinnitysratkaisu. Kiinnitysosien mallinnus on varsin suoraviivainen prosessi; ensin pursotetaan haluttu päätyosien

muoto kotelon ylä- ja alareunan tasolle, jonka jälkeen lisätään pursottamalla sivukappaleet. Kotelon ylä- ja alareunan tasot kannattaa määritellä jo putkiohituksen mallinnuksen yhteydessä, jolloin kyseiset tasot saadaan sidottua luotettavasti putkiohituksen geometriaan. Samalla saadaan siirrettyä mallia ohjaavat käyttäjäparametrit kiinnitysosien osatiedostoon. Sekundääri/tertiääriaukkojen kiinnitysosiin kuuluu myös pulttikiinnitteinen kansi, johon mallinnetaan valusuuttimen aukon ulkoreunoja mukaileva aukko. Lopuksi lisätään Inventorin komponenttikirjastosta tarvittavat kiinnityspultit ja mutterit.



Kuva 23. Tyypillinen tertiääri-ilma-aukon kokoonpano

Pienempien aukkojen mallissa päätyosien muoto on määritelty jo mallin runkona toimivassa base.ipt-tiedostossa, kun taas suurempien aukkojen mallissa runkotiedostossa on määritelty ainoastaan päätyosan sijainti. Eroavuus johtuu primääriaukon poikkeavista kiinnitysosista. Andritz Oy käyttää primääri-ilman aukoissa muista poikkeavaa kiinnitystapaa. Primääriaukko ei muodosta umpinaista koteloa, vaan primäärisuutin kiristetään kahdella suuttimen yli kulke-

valla palkilla sivulla 16 sijaitsevan kuvan 8 mukaisesti. Vaikka primäärisuuttimen kiinnitysosat ovatkin hyvin erilaiset, on niiden mallinnus kuitenkin varsin samankaltainen prosessi kuin sekundääri- ja tertiääriaukkojen kohdalla.

Kiinnitysosien tyyppin vaihtuessa mallilta vaaditaan melko suurta muutosta. Yleensä tällaisissa tapauksissa tehdään molemmille versioille omat osatiedostonsa, mutta nyt muutos päätettiin toteuttaa iLogicin avulla siten, että kiinnitysosien kehikot ovat mallinnettuna samaan osatiedostoon. Kehikon osatiedostoon on tehty kaksi eri versiota kehikosta, joista toinen on vaimennettuna piirrepuusta kiinnitystyyppin määräävän parametrin mukaisesti. Vain yhden tiedoston käyttämisen haasteena oli geometrinen sääntöjen kiinnityspisteiden löytämisen siten, että tyyppin vaihtamisen jälkeen malli kykenisi vielä palaamaan lähtöpisteeseensä. Jos sketsissä esiintyvä viiva on sidottu sellaiseen viivaan tai pisteeseen, joka häviää mallin muuttuessa, ei sidos korjaannu viivan tai pisteen palautuessa.

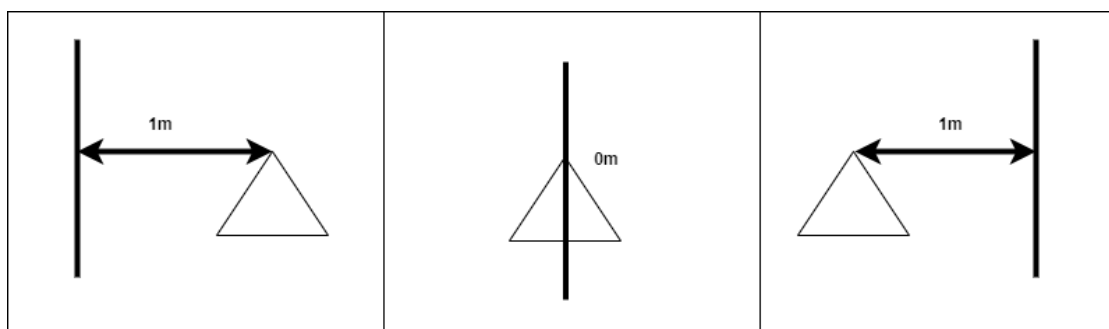
4.5 Lopulliset mallit ja niiden käyttö

Lopullinen malli muodostuu kokoonpanosta, joka sisältää putkiohituksen, valusuuttimen, kiinnitysosat ja evitykset. Kokoonpanossa on omat iLogic sääntönsä, jotka rajaavat pois käyttämättömät osat. Mallien käyttö tapahtuu sivun 17 kuvassa 9 näkyviä base.ipt-tiedoston käyttäjäparametreja muuttamalla. Käyttäjä asettelee putkiseinän ja ilma-aukon tiedot käyttäjäparametreihin, joista osasta löytyy jo valmiit pudotusvalikot, mahdollisine vaihtoehtoineen. iLogic säännöt muokkaavat mittaparametreja ja piirrepuun osia parametrien mukaisesti. Kun muutokset päivitetään kokoonpanoon, tulisi lopputuloksena olla syötettyjä parametreja vastaava ilma-aukon 3D-malli. Optimaalisessa tilanteessa malli olisi täysin valmis valmistuskuvien laatimista varten, mutta useimmiten mallit vaativat vielä hieman hienosäätöä.

Kun mallinnetaan putkiaukkoa Andritz Oy:n yleisemmin käytössä oleviin putkiseinän mittoihin, mallin lopputuloksen voi odottaa olevan hyvinkin lähellä valmista tuotetta, mutta kun siirrytään putkiseinässä harvinaisempiin kokoihin, täytyy käyttäjän paneutua tarkemmin mallin toimintaan ja iLogic-sääntöihin. On hyvin todennäköistä, että tietyt, kiinteiksi asetetut kulmien arvot tai kiinteät

pituusmitat eivät tuota järkevää tulosta silloin, kun poiketaan merkittävästi niistä seinäputkien arvoista, joilla malli on alun perin suunniteltu. Jotta lopullisesta 3D-mallista muotoutuu varmasti käyttökelpoinen, tulee mallien käyttäjän hallita vähintään Autodesk Inventorin käytön perusteet sekä kyetä tarkastuksessaan havaitsemaan mallin mahdolliset virheet.

Yksi merkillepantava asia on Inventorin ominaisuus olla välittämättä mihin suuntaan jokin tietty mitta osoittaa, tai mihin suuntaan jokin viiva on alun perin osoittanut. Esimerkkinä tästä kuvassa 24 hahmoteltu tilanne, jossa vasemmanpuoleisessa kuvassa mitta määrittää viivan etäisyyden vasemmalle, keskimmaisessä kuvassa mitta on saanut arvon 0 ja oikeassa kuvassa mitta on palautettu alkuperäiseen arvoonsa, mutta viivan suunta on vaihtunut.



Kuva 24. Esimerkki yleisestä parametrisoidun mallin räjähtämiseen johtavasta mitoitustavasta

Kuten kuvista huomaa, molemmat ratkaisut toteuttavat mittaparametrin vaatimuksen, mutta lopputulos on täysin erilainen. Tämänkaltaiset muutokset ovat hyvin yleisiä ja voivat aiheuttaa malliin huomaamattomia muutoksia, tai aiheuttaa mallin räjähtämisen. Monessa tapauksessa mitta saattaa palautua oikeaan suuntaan hyvin pitkäänkin, ennen kääntymistään väärälle puolelle. Usein tällaiselle satunnaiselta vaikuttavalle käytökselle ei löydy mitään selittävää tekijää, ja mallin uudelleen lataaminen saattaa tuottaa toisenlaisen ratkaisun. Jo tämän vuoksi mallit tulee tarkastaa hyvin huolellisesti ennen lopullista hyväksyntää. Joskus mallit voivat myös räjähtää hyvinkin rajusti esimerkiksi ohjelmistoversion päivittyessä. Monimutkaisten mallien parissa toimiessa onkin varauduttava toimiviksikin oletettujen mallien räjähdysiksiin.

5 3D-MALLIEN KÄYTTÖOHJE

Yhtenä osana tätä opinnäytetyötä oli käyttöohjeiden laatiminen tehdyille 3D-malleille. Käyttöohjeiden tarkoituksena on opastaa mallien käyttöön tilanteessa, jossa mallin käyttäjä muuttuu. Näin pyritään varmistamaan, että mallin käytettävyys ei ole sidoksissa yhteen henkilöön. Toisen henkilön tekemä vähänkään monimutkaisempi 3D-malli vaatii usein varsin perusteellisen perehtymisen, ennen kuin malliin pystyy tekemään muutoksia. Joskus on jopa nopeampaa tehdä kokonaan uusi malli, kuin ruveta tulkitsemaan toisen suunnittelijan ratkaisuja.

iLogic-valusuutinmallien käyttöohje

Sisällys

Mihin mallit on tarkoitettu?	1
Käyttöohje:.....	2
1. Parametrien valinta	2
2. Käyttö	5
3. Hienosäätö	6
4. Huomioitavaa.....	6
Kehityskohteet.....	7

Kuva 25. 3D-mallien käyttöohjeen sisällysluettelo.

Kuten kuvasta 25 selviää, käyttöohjeessa kuvataan mallien käyttötarkoitus, pääparametrit toimintoihin, mallinnuksen vaiheet, mahdolliset ongelmatilanteet ratkaisuihin sekä mallin kehityskohteet. Käyttöohjeella pyritään luomaan mallin käyttökynnys niin matalaksi, ettei mallin käyttöä harkitseva henkilö jätä mallia käyttämättä näennäisen monimutkaisuuden vuoksi.

5.1 Pienten aukkojen parametrimalli

Opinnäytetyön osana tehtyyn 3D-mallien käyttöohjeeseen on kirjattu ohjeet, kuinka pienten, yksitasotaivutteisten aukkojen mallinnusprosessin tulisi edetä. Ohjeessa on esitelty mallia ohjaavat pääparametrit, niiden vaikutukset malliin sekä niiden määräytymisperusteet. Osa parametreista on määritelty mallikohdaisissa iLogic-säännöissä ja osa on suoraan syötettyjä lähtötietoja. Jotta mal-

lin käyttöönotto olisi uudelle käyttäjälle mahdollisimman sujuvaa, on käyttöohjeeseen pyritty kuvaamaan yksityiskohtaisesti mahdollisia ongelmatilanteita ja niiden ratkaisuja sekä mallin viimeistelyyn liittyviä toimenpiteitä.

Primääri-ilma-aukkoa suojaavan valukappaleen ja sen kiinnitysosien poikkeavan rakenteen takia pienten aukkojen 3D-malli on rakenteeltaan huomattavasti monimutkaisempi kuin suurten aukkojen malli. Mallien monimutkaistuksessa myös mahdollisuus mallin virhetoimintoihin lisääntyy. Käyttöohjeessa tämä on pyritty ottamaan huomioon esittämällä tyypillisimmät virhetilanteet ja niiden sujuvimmaksiksi havaitut ratkaisut.

5.2 Suurten aukkojen parametrimalli

Suurten aukkojen parametrinen 3D-malli on yksinkertaisempi kuin pienten aukkojen vastaava, mutta putkitaivutuksen vaihtuessa monitasoiseksi, nousee putkiaukon hienosäätö suurempaan rooliin. Yksitasotaivutuksessa muodostuneet eväalueet jäävät tyypillisesti melko pieniksi, kun taas monitasotaivutuksissa eväalueiden saaminen hyväksyttäviin rajoihin voi osoittautua todella haastavaksi. Suurten aukkojen parametrimallin käyttöohjeessa onkin esitetty yksityiskohtaisesti hyväksi havaitut keinot, joilla eväalueisiin pystytään vaikuttamaan. Lisäksi käyttöohjeessa on esitelty mallinnusprosessin kulku sekä mallia ohjaavat pääparametrit ja niiden vaikutukset sekä määräytymisperusteet.

Suurien aukkojen monitasotaivutuksissa muodostuu useita erikoisen muotoisia eväalueita, jotka eivät välttämättä muodostu oikein mallin parametrien muuttuessa. Tällöin mallin käyttäjä joutuu todennäköisesti mallintamaan evät uudelleen tai vähintään päivittämään evien muodostumiseen vaikuttavat piirteet. Käyttöohjeeseen on koottu useimmiten esiin tulleet ongelmat eväalueiden mallinnuksessa sekä eväalueiden mallintamista helpottavia ratkaisuja.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Soodakattilan ilma-aukkojen mallinnus on huomattavasti monimutkaisempi kokonaisuus, kuin miltä se voi ensisilmäykseltä vaikuttaa. Hyvinkin pienillä ja mi-

tättömiltä vaikuttavilla yksityiskohdilla voi olla todella merkittävä vaikutus lopullisen tuotoksen toimintaan ja kestävyYTEEN. Soodakattiloiden ilma-aukot ovat vuosikymmeniä kestäneen suunnittelutyön tuloksia ja monien suunnitteluratkaisujen perusteet ovat ehtineet jo unohtumaan, tai ratkaisuista vastuussa olevat suunnittelijat eivät ole enää tavoitettavissa. Tämän työn tarkoituksena oli valmistella 3D-malli, joka ei pelkästään nopeuttaisi suunnittelutyötä, vaan myös yhtenäistäisi ilma-aukkojen suunnitteluprosessin. iLogic-säännöillä ja geometrisillä sidoksilla luotaisiin kokonaisuus, joka sisältäisi suunnittelusäännöt ja tekniset ratkaisut, joista tähän saakka on valittu lopulliseen tuotteeseen vain sekalainen kokoelma.

Mielestäni onnistuin tavoitteessa vähintäänkin kohtuullisesti, työn tuloksena syntyneet 3D-mallit mahdollistavat kokonaisten ilma-aukkojen kokoonpanon mallintamisen murto-osassa siitä ajasta, joka työhön muuten kuluisi. Malleja voidaan ohjata muutamalla pääparametrilla, mutta ne antavat silti mahdollisuuden tarpeen vaatiessa muokata jokaista yksittäistä piirrettä. Vaikka mallit ovatkin kohtuu monimutkaisia, on niiden käyttö pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi. Työn ohessa tehdyn käyttöohjeen avulla malleja pitäisi pystyä hyödyntämään, kunhan käyttäjä hallitsee perustiedot Autodesk Inventorin käytöstä.

Laaditut 3D-mallit joutuivat jo tulikokeeseen hyödyntäessäni niitä ilma-aukkojen mallinnuksessa seinärakenteelle, jossa käytettiin putkikokoa ja -jakoa, jota Andritz Oy ei ole aiemmin uusissa kattiloissa käyttänyt. Samalla kuitenkin päädyin kehittämään täysin uudenlaista kiinnitysratkaisua sekundääriaukoille, joka tarkoittaa sitä, että toteutuessaan tämä uusi ratkaisu tulisi sisällyttää jo tehtyihin malleihin tai sille täytyisi laatia täysin oma mallinsa. Soodakattiloiden kehitystyössä tulee kuitenkin olla maltillinen. Toimivien ratkaisujen muuttamiselle tulee olla iso kynnyks, jotta virheiltä vältyttäisiin. Näin ollen voisin kuvitella ilma-aukkojen pysyvän vielä pitkään nyt mallinnettujen kaltaisina ja työn palvelevan suunnittelijoita vielä useita vuosia, etenkin jos 3D-malleja jaksetaan kehittää ja pitää ajan tasalla. Samalla valusuuttimien mallisarjat yhtenäistyvät ja mallien hallinta helpottuu.

Keskustellessani Andritz Oy:n henkilöstön kanssa iLogicin käytöstä, heräsi monella mielenkiintoa kyseistä ominaisuutta kohtaan. Ominaisuudesta oli

kuultu, mutta kukaan ei ollut sitä vielä varsinaisesti hyödyntänyt malleissaan. Tästäkin näkökulmasta mallit ovat Andritzille varmasti käyttökelpoinen resurssi, sillä malleilla on helppo tutustuttaa Inventoriin perehtymättömätkin suunnittelijat iLogicin käyttöön. Malleissa on ratkaistu monia tämänkaltaiselle mallinnukselle tyypillisiä ongelmia, joten malleihin tutustumalla voi löytää vaihteoisia ratkaisuja oman työnsä avuksi.

Oma VB.NET-koodaustaitoni vaatii vielä kehittämistä, mutta iLogic on onneksi hyvin anteeksiantavainen, eikä vaadi jokaisen muuttujan tarkkaa määrittelyä. Opin kuitenkin paljon VB.NET-koodin käytöstä ja sen soveltamisesta iLogic-käyttöön; monessa tilanteessa tiesin voivani toteuttaa jonkin toiminnon iLogicin avulla, mutta toimivan koodin kirjoittaminen vaati usein perinpohjaista opiskelua. Suurimmaksi osaksi käyttämäni koodi on todella alkeellista, mutta toisaalta kulloisenkin koodin toiminta avautuu koodia tuntemattomallekin henkilölle hyvin nopeasti, jolloin muutosten tekeminen sääntöihin on helppoa.

Onko tämänkaltainen parametrinen mallintaminen kuitenkin siihen käytetyn ajan arvoista? Vastaus riippuu oleellisesti mallinnuksen kohteesta ja mallin käyttöasteesta sekä mallinnuksen nopeudella saavutetuista eduista. Tämänkaltaisen parametrisen mallinnuksen nopeus kasvaa, kun mallilta vaadittavien variaatioiden määrä vähenee. Jos eri mallipohjien määrää ei koe ongelmalliseksi, olisi todennäköisesti kannattavampaa jakaa kokonaisuus pienemmiksi paloiksi, jolloin yhteen malliin käytetty aika vähenisi dramaattisesti. Laajemmat kokonaisuudet vaativat täydellisesti toimiakseen todella paljon pienten yksityiskohtien hiomista. Onkin usein harkittava erittäin tarkkaan kuinka tarkkoja tai valmiita mallien tulee olla täyttääkseen tarkoituksensa, ja olisiko kannattavampaa parametrisoida vain osa kokonaisuudesta ja jättää yksityiskohtien ratkaisu pätevien suunnittelijoiden harteille.

LÄHTEET

Andritz Oy. 2021a. Soodakattilaosaston henkilöstön haastattelut.

Andritz Oy. 2021b. Yrityksen sisäiset tietojärjestelmät.

KnowPulp. 2021. KnowPulp – Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Pro-
ledge Oy. Taitotalo. Päivitetty 4/2021. Saatavissa: <https://www.knowpulp.com>
[Viitattu 29.4.2021].

Hietikko, E. 2007. Autodesk Inventor 2007. 1. Painos. Jyväskylä: Gummerus
Kirjapaino Oy.

Autodesk. 2021. Top-down, bottom-up, middle-out design. WWW-dokumentti.
Saatavissa: [https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-ex-
plore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Inventor-Help/files/GUID-
63FA128E-63E2-4176-8653-327BD80D8A43-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Inventor-Help/files/GUID-63FA128E-63E2-4176-8653-327BD80D8A43-htm.html) [Viitattu 29.4.2021].

Vakkilainen, E. 2005. Kraft recovery boilers – Principles and practice. E-kirja.
Helsinki: Suomen Soodakattilayhdistys r.y.

Niemi P. 2010. ValuAtlas - Päästö (hellitys). Internet-tietopankki. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valunsuunnittelu_08.pdf [Viitattu
29.4.2021].