



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KIERTO- JA HÖNKÄPUTKISTON PARAMETRINEN MALLINNUSTYÖKALU

TEKIJÄ: Ari Lipsanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Ari Lipsanen			
Työn nimi Kierto- ja hönkäputkien parametrinen mallinnustyökalu			
Päiväys	6.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	37
Ohjaajat Sami Ipatti lehtori; Simo Mäkinen projekti-insinööri; Antti Hakkarainen projekti-insinööri Sweco Industry Oy; Petteri Nykänen vanhempi suunnittelija Sweco Industry Oy			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Industry Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyössä laadittiin toimeksiantajan Sweco Industry Oy:n Varkauden yksikön tarpeisiin soveltuva mallinnustyökalu. Mallinnustyökalulla voidaan laatia 3D-malli kierto- ja hönkäputkille, jotka on aiemmin tehty käsin 2D-mallina. Kyseisen työvaiheen kehittäminen on tärkeää erityisesti Sweco Industry Oy:n Varkauden yksikölle, sillä kyseinen yksikkö on paljolti tekemisissä kierto- ja hönkäputkien kanssa.</p> <p>Kierto- ja hönkäputkia suunnitellaan sellutehtaan kemikaalikierron osana toimivien haihduttamojen tarpeisiin, joissa ne ovat liitoksissa itse haihdutinyksiköihin. Kiertoputkissa kiertää mustalipeä ja hönkäputkissa vesihöyry. Putket voivat olla kooltaan suuria ja kalliita. Putkien mitat, yhteen ja instrumentit voivat muuttua useamman keran projektin edetessä, joten työkalu laadittiin helpottamaan suunnittelu- ja muutosprosessia.</p> <p>Putkien piirtäminen 2D-malliksi on työlästä ja aikaa vievää, kun taas automatisoidulla ja parametriaa hyödyntävällä 3D-mallilla on mahdollista päästä samoihin lopputuloksiin nopeammin ja vähemmällä vaivalla. 3D-mallilla tehty putki pystytään viedä laitoissuunnitteluohjelmistoon, jossa putkisto nähdään konkreettisesti ja huomataan mahdolliset törmäykset muiden putkien kanssa. Tässä opinnäytetyössä etsittiin erilaisia tapoja, joilla suunnittelu-työ voidaan tehdä tehokkaammin ja laadukkaammin sekä hyödynnettiin näitä eri tapoja työstettävään mallinnustyökaluun.</p> <p>Mallinnustyökalu tehtiin Autodesk Inventor-ohjelmistolla laatimalla kierto- ja hönkäputkien osista putkikokonaisuuksia. Eri osiin ja kokoonpanoihin linkitettiin Microsoft Office Excel-lomake. Lomakkeeseen laadittiin käyttöliittymä, jolla muokattiin putkien parametrisia mittoja ja ominaisuuksia, jonka avulla Autodesk Inventor rakensi putken näiden annettujen arvojen perusteella.</p> <p>Mallinnustyökaluun kehitettiin lisäksi älykästä ohjausta lisäämällä siihen Autodesk Inventorin iLogic-editorilla sääntöjä ohjelmistorajapintaa hyödyntämällä. Tämä mahdollisti erilaisten osien vaihtamisen lomakkeen kautta ilman, että tarvittiin laatia erillisiä kokoonpanoja eri putkityypeille. Kokoonpanoon pystyi myös ohjelmoimaan erilaisia ikkunoita, joilla saadaan kätevämmän tietoa putkesta, kuten putken ja sen osien painon, materiaalin ja putken kokonaispituuden. Valmis putki viedään step-mallina laitossuunnittelutyökaluun, jossa putki voidaan asettaa oikealle paikalleen ja havainnoida mittojen oikeellisuuden sekä mahdolliset törmäykset muiden laitoksen putkien kanssa. Autodesk Inventorilla laadittu 3D-malli edesauttaa myös työkuviin tekemistä, koska putkista saadaan helposti eri kuvannot halutuilta puolilta. Työkuviin lisätään mitat, osaluettelo, levityskuvat ja muut putkien valmistuksen kannalta olennaiset tiedot.</p>			
Avainsanat selluntuotanto, haihduttamo, parametrinen mallinnus, kiertoputki, hönkäputki, haihdutinyksikkö, iLogic, 3D-mallinnus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Ari Lipsanen			
Title of Thesis Parametric Modeling Tool for Circulation and Vapor Ducts			
Date	6 May 2020	Pages/Appendices	37
Supervisor(s) Lecturer Sami Ipatti; Project Engineer Simo Mäkinen; Senior Designer Petteri Nykänen Sweco Industry Ltd; Project Engineer Antti Hakkarainen Sweco Industry Ltd			
Client Organisation /Partners Sweco Industry Ltd			
<p>Abstract</p> <p>In this thesis a suitable tool was created for the needs of the client Sweco Industry Ltd Varkaus unit. The tool can be used in order to create a 3D model for rotating and projectile tubes which were previously made by hand as a 2D model. The development of this work phase is important especially for Sweco Industry Ltd's Varkaus unit, as this unit is largely involved with circulating and projectile pipes.</p> <p>Circulation and vapor ducts are designed for the needs of evaporators which function as a part of pulp mill's chemical cycle and they are connected to the actual evaporator units. Black liquor circulates in the circulation tubes and water vapor circulates in the vapor ducts. Circulation and vapor ducts can be large and expensive. Dimensions, connections and instruments of the pipes can change several times as the project progresses, so this tool was also created to ease the design and modification process.</p> <p>Drawing pipes into a 2D model is tedious and time consuming, while an automated and parametric 3D model makes it possible to achieve the same results faster and with less effort. The pipe made with 3D model can be exported to a plant design software, where the pipeline can be seen concretely and possible collisions with other pipes can be noticed. In this thesis, different methods were sought to make design work more efficient and higher in quality, and these methods were utilized in the creating of the tool in this thesis.</p> <p>The modeling tool was created with Autodesk Inventor software by creating pipe assemblies from sections of the circulation and vapor ducts. Microsoft Office Excel spread sheet was linked to the various sections and configurations. An interface was created for the form to modify the parametric dimensions and properties of the pipes allowing Autodesk Inventor to build the pipe based on these given values.</p> <p>In addition, intelligent control was developed for the modeling tool by adding Autodesk Inventor's iLogic editor to the rules using the software interface. This allowed different parts to be exchanged through the form without needs to create separate assemblies for different pipe types. Various windows could also be programmed into the assembly to provide more convenient information about the pipe, such as the weight, length and material of the pipe and its components. The finished pipe was exported as a step model to the plant design tool, where the pipe can be placed in its right place and the correct dimensions of the pipes as well as possible collisions with other pipes in the plant could be observed. The 3D model created with Autodesk Inventor also helps making drawings and getting different views of the pipes from the sides desired. Dimensions, part lists, flat patterns and other relevant information in manufacturing of the pipes were added to the drawings.</p>			
<p>Keywords pulp production, evaporation, parametric modeling, circulation, vapor ducts, evaporator unit, iLogic, 3D- modeling</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	OPINNÄYTETYÖN TILAAJA JA TYÖN LÄHTÖKOHDAT	7
3	KIERTO- JA HÖNKÄPUTKET HAIHDUTTAMOSSA	8
3.1	Sellun valmistus lyhyesti	8
3.1.1	Kemikaalikierto	8
3.1.2	Haihduuttamo	9
3.1.3	Haihduuttamon kierto- ja hönkäputket	11
3.2	Kierto- ja hönkäputkien ominaisuudet	12
4	KIERTO- JA HÖNKÄPUTKIEN SUUNNITTELU	14
4.1	Ohjelmistot	14
4.1.1	Autodesk AutoCAD	14
4.1.2	Autodesk Inventor	14
4.1.3	Aveva PDMS-laitossuunnittelutyökalu	16
4.1.4	Aveva E3D-laitossuunnittelutyökalu	16
4.2	Kierto- ja hönkäputkien 2D-suunnittelu	17
4.3	Kierto- ja hönkäputkien 3D- suunnittelu	18
5	KIERTO- JA HÖNKÄPUTKIEN AUTOMATISOITU PARAMETRINEN MALLINNUS	19
5.1	Putken osien mallintaminen	20
5.2	Kierto- ja hönkäputken lomakeohjattu parametria	24
6	OHJELMOINTIRAJAPINNAN HYÖDYNTÄMINEN PUTKIEN LAADINNASSA	27
6.1	iLogic-käyttöliittymä	27
6.2	Kaavojen laatiminen iLogic-editoriin	28
7	PUTKEN TYÖKUVIEN LAATIMINEN JA MALLIN VIENTI LAITOSSUUNNITTELUOHJELMISTOON	32
7.1	Putkien tekniset piirustukset	32
7.2	Step-mallin vienti E3D-laitossuunnitteluohjelmistoon	33
8	YHTEENVETO	35
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	37

LYHENTEET JA KÄSITTEET

2D	Kaksiulotteinen suunnittelu.
3D	Kolmiulotteinen suunnittelu.
AutoDesk Inventor	Tietokoneohjattu suunnittelutyökalu 3D- mekaaniikkasuunnitteluun, dokumentointiin ja tuotesimulointiin.
AutoDesk AutoCAD	Ominaisimmillaan viivapiirtoon perustuva työkalu 2D- tai 3D- suunnitteluun.
Aveva E3D	Avevan uusi 3D-Laitossuunnitteluohjelmisto.
Aveva PDMS	Avevan vanhempi 3D-Laitossuunnitteluohjelmisto.
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
iLogic	Autodesk Inventorin ohjelmointityökalu
Parametrinen malli	Riippuvuussuhteiden rakentamista algoritmia ohjaavien parametrien välille suunnittelumallissa.
RIP- toiminto	Saumanluonti työkalu Autodesk Inventorissa.
Contour Roll- toiminto	Levy metallin luonti pyöräyttämällä työkalu Autodesk Inventorissa.
Sheet Metal Defaults	Levy metallin vakioarvot Autodesk Inventorissa.
Sketsi	Luonnos Autodesk Inventor ohjelmassa.
Sweep- toiminto	Toiminto Autodesk Inventorissa, jossa määritetään polku, jota pitkin pursotus tapahtuu.
Thicken- toiminto	Toiminto Autodesk Inventorissa, jolla määritetään seinämän paksuus.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella toimeksiantajan tarpeisin soveltuvaa työkalua, jolla laaditaan 3D-malli haihduttamon kierto- ja hönkäputkille, jotka liittyvät haihdutinyksikköihin. Haihduttamo toimii kiinteänä osana sellutehtaan kemikaalikiertoa.

Opinnäytetyö on kehittämistyö, jolla kehitetään työkalu suunnittelun laadun parantamiseksi toimeksiantajalle. Opinnäytetyö on tarkoitettu valikoidun lukijakunnan tarpeisiin, koska haihduttamojen kierto- ja hönkäputkia suunnittelevia tahoja on käytännössä vain melko harvoja.

Työ suunniteltiin kattamaan kolme tärkeintä haihduttamon haihdutinyksikköön liittyvää putkityyppiä eli imu- ja paineputket, joita kutsutaan kiertoputkiksi sekä hönkäputket. Työn toteuttaminen aloitettiin Autodesk Inventor-ohjelmistolla, josta on mahdollista siirtää valmiin putken malli ns. step-mallina PDMS- tai E3D-laitossuunnittelun työkaluun. Laitossuunnitteluohjelmistoissa putki näkyy lähinnä tilavarauksena, joissa voidaan varmistua siitä, ettei aiheudu törmäyksiä muiden laitteiden, teräsrakenteiden tai putkien kanssa.

Työssä kartoitettiin tarkemmin sitä, millaisista osista putki koostuu. Tämän jälkeen osat laadittiin erillisinä osina työkansioon, joista koottiin putkikokonaisuus ja linkitettiin parametrit Microsoft Office Excel-tilaukseen, josta voidaan muuttaa putkelle eri arvoja. Arvoina syötettiin muun muassa putken pituus, halkaisija ja seinämän vahvuus, jotka muuttavat 3D-mallia AutoDesk Inventor-ohjelmassa. Erillisinä lisävarusteina lisättiin putkien suunnitteluun muun muassa eristys, vahvikkeet ja yhteydet sekä niiden määrien lisääminen ja paikoittaminen. Kyseiset ominaisuudet ovat kuitenkin helposti laiteavaruudessa pois päältä, mikäli niitä ei tarvitse.

Työkalu laadittiin selkeäksi ja muokattavaksi, mikäli esimerkiksi erilaisissa projekteissa tarvitaan erikoisempia instrumentteja liitettäväksi putkeen. Putket koostuvat pienemmistä osista, joista tulisi saada helposti ja nopeasti tuotettua laadukkaat työkalut.

Toisessa kappaleessa esitellään tarkemmin toimeksiantajaa sekä tarvetta työlle. Kolmannessa kappaleessa käydään läpi lyhyesti kierto- ja hönkäputkien käyttöympäristöä eli sellutehdasta sekä sen kemikaalikierron toimintaa. Neljännessä kappaleessa kuvaillaan tarkemmin kierto- ja hönkäputkien suunnitteluprosessia, ja vertaillaan käytettyjä eri työtapoja eli 2D- ja 3D-suunnittelua sekä suunnittelussa käytettyjä ohjelmistoja. Viides kappale käsittelee automatisoidun parametrin mallinnuksen hyödyntämistä suunnittelussa, mallinnuksen vaiheita sekä käytettäviä ohjelmistoja. Kuudennessa kappaleessa tuodaan esiin tarkemmin ohjelmointirajapinnan hyödyntämistä kierto- ja hönkäputkien laatisemassa. Seitsemännessä kappaleessa eritellään tarkemmin kierto- ja hönkäputken työkalujen laatisemista ja vientiä E3D-laitossuunnitteluohjelmistoon. Kahdeksannessa kappaleessa käydään puolestaan yhteenvedonomaaisesti läpi tämän työn osiot, ja yhdeksännessä eli viimeisessä kappaleessa arvioidaan työn lopputuloksia, mallinnustyökalun toimivuutta sekä kehittämistarpeita tulevaisuutta ajatellen.

2 OPINNÄYTETYÖN TILAAJA JA TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Sweco Industry Oy (myöhemmin Sweco) ja työn suorituspaikana oli Swecon Varkauden toimipaikka. Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka tarjoaa laadukkaita suunnittelu- ja konsultointipalveluita kaiken kokoisiin hankkeisiin. Sweco valmistaa rakennuksia, infrastruktuuria sekä energia- ja vesihuollon ratkaisuja. Sweco on kansainvälinen yritys ja se toimii Ruotsissa, Norjassa, Suomessa, Tanskassa, Virossa, Liettuassa, Bulgariassa, Tšekin tasavallassa, Saksassa, Belgiassa, Alankomaissa, Isossa-Britanniassa, Puolassa, Turkissa ja Kiinassa. Swecolla on yhteensä 17 000 työntekijää, joista 2 500 työskentelee Suomessa. Sweco toteuttaa vuosittain kymmeniä tuhansia projekteja projekteja 70 maassa ympäri maailmaa. Sweco on Euroopan johtava suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys, jonka liikevaihto on 1,9 miljardia euroa ja se on listattu Tukholman pörssiin (Nasdaq). (Sweco AB 2020.)

Sweco tarvitsi erityisen työkalun suunnittelun kehitykseen ja laadun parantamiseen. Sweco tarvitsi erityisesti sellaisen työkalun, jolla voidaan laatia 3D-malli kierto- ja hönkäputkille, jotka on aiemmin tehty suunniteltu 2D-mallinnuksella. Kyseisen työvaiheen kehittäminen on tärkeään erityisesti Swecon Varkauden yksikölle, joka tekee suunnittelutyötä sellutehtaiden haihduttamolaitoksille, joiden yksi kriittinen osa-alue on kierto- ja hönkäputkistot. Kierto- ja hönkäputkistoja suunnitellaan säännöllisesti asiakkaille.

Yleisesti alalla vallitsee jatkuva tarve työtapojen tehostamiselle, virtaviivaistamiselle ja nopeuttamiselle resurssien säästämiseksi ja kilpailukyvyyn takaamiseksi. Jokainen nopeutettu työtapo, -vaihe tai -menetelmä auttaa osaltaan pääsemään yhä lähemmäksi tavoitetta. Työtapojen tehostaminen ei kuitenkaan saa merkitä laadusta tinkimistä, joten määrän ja laadun samanaikainen tehostaminen onkin haasteellista.

2D-mallinnuksessa virheiden mahdollisuus on merkittävä ongelma kierto- ja hönkäputkien osalta siksi, että ne ovat haihduttamon putkistossa kaikkein vaativimmat putket, ja haihduttamon putkistosuunnittelu aloitetaan juuri näistä kyseisistä putkista. Tämän jälkeen suunnitellaan loput niihin liittyvät putket ja laitteet. Koska lähtötiedot ovat yleensä vajavaiset suunnittelun aloitusvaiheessa, muutoksia ehtii tulla useita ennen kuin lähtötiedot ovat niin sanotusti lukittu. Kokonaisuutena arvioiden muutosten hallinta, mallin sekä työkuvioiden ylläpitäminen ja päivittäminen ovat nykyisillä menetelmillä hankalaa ja äärimmäisen työlästä. Koska kaikki tämä tehdään kokonaisuudessaan käsityönä, on virheiden mahdollisuus todella suuri. Lisäksi tiukat aikataulut eivät mahdollista riittävän laajaa suunnittelun tarkastelua jokaisen tehdyn muutoksen jälkeen. (Nykänen 2020-04-20.)

Putkien piirtäminen 2D-malleiksi on työlästä ja aikaa vievää, kun taas automatisoidulla ja parametriaa hyödyntävällä 3D-mallilla on mahdollista päästä samoihin lopputuloksiin nopeammin ja vähemmällä työllä, mikä puolestaan nopeuttaa ja tehostaa työskentelyä sekä vapauttaa työntekijöiden resursseja muihin työtehtäviin. 3D-mallilla tehty putki voidaan myös viedä laitoissuunnitteluohjelmistoon, jossa putkisto nähdään konkreettisesti ja huomataan myös mahdolliset törmäykset muiden putkien kanssa.

3 KIERTO- JA HÖNKÄPUTKET HAIHDUTTAMOSSA

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin suunnittelun kohdetta ja sen toimintaympäristöä eli lyhyesti ja yleisluonteisesti teorian tasolla sitä, miten sellutehdas ja sen kemikaalikierto toimivat ja kuinka suunniteltavat kierto- ja hönkäputket liittyvät siihen. Jotta voidaan ymmärtää tarkemmin kierto- ja hönkäputkien suunnitteluprosessia, tulee käydä läpi hieman teoriaa siitä, mihin tarkoitukseen ja millaiseen käyttöön kyseisiä putkia suunnitellaan.

3.1 Sellun valmistus lyhyesti

Paperia valmistetaan selluloosasta. Selluloosa irroitetaan puuhakkeesta keittämällä. Selluloosan keittämisestä syntyy massaa, joka pestään. Pesemällä massasta saadaan poistettua muun muassa keittämässä käytetyt kemikaalit.

Kemikaalikierron avulla kemikaalit saadaan kerätyksi talteen ja uudelleen käytettäväksi. Keittämisen tehtävänä on poistaa kuituja sitovaa ligniiniä kemikaalien ja lämmön avulla siten, että puuhake kuituntuu. (KnowPulp 2020.)

3.1.1 Kemikaalikierto

Puuhaketta keitetään siten, että kuituja sitova ligniini saadaan erilleen keitosta. Keittämässä käytetään valkolipeää. Sellun keittämisen sivutuotteena syntyy selluloosaa sisältävää ruskeaa massaa sekä laihaa mustalipeää. Mustalipeällä tarkoitetaan sellunkeittoprosessissa syntyvää sivuvirtaa, joka poltetaan soodakattilassa keitossa käytettävien kemikaalien rikin ja natriumin talteen ottamiseksi hyödynnettävässä muodossa sekä polton yhteydessä syntyvän lämmön talteenottamiseksi. Laihamustalipeää, jonka kuiva-ainepitoisuus 15-18 prosenttia, käytetään usein keiton nesteen ja puun välisen suhteen säätöön. Vahvaa mustalipeää tuotetaan ja poltetaan maailmassa noin 200 miljoonaa tonnia. (KnowPulp 2020.) Tarkemmin kuvailtuna mustalipeää voidaan myös kuvailla puuhakkeen sulfaattikeiton sivutuotteena syntyväksi liuokseksi, joka sisältää vettä. Kuiva-aineita ovat muun muassa orgaaniset aineet, kuten ligniini ja selluloosa. (Adams, T. N. Kraft 1997.)

Mustalipeän polttamisesta syntyy lämpöenergiaa, joka hyötykäytetään tehtaan omiin tarpeisiin. Mustalipeää syntyy suuria määriä, ja se voidaan kierrättää uudelleen kemikaalien talteenoton ja regeneroinnin myötä. Sellutehtaassa poltetaan mustalipeää, jotta saadaan talteen mustalipeän sisältämät keittokemikaalit ja puusta liunneen orgaanisen aineen lämpöenergia. Kemikaalikierto perustuu siihen, että talteen otettuja kemikaaleja kierrätetään uudelleen. Jotta mustalipeää voidaan polttaa tehokkaasti, siitä tulee ensiksi poistaa vettä haihduttamalla, ennen kuin se voidaan syöttää soodakattilaan. (KnowPulp 2020.)

Sellutehtaasta tuleva heikko mustalipeä koostuu tyypillisesti 15 prosentista kuiva-aineita ja 85 prosentista vettä. Suurimman osan vedestä tulee haihtua, jotta kuiva-aineet palavat riittävästi soodakattilassa. Poltetusta mustalipeästä kuiva-aineiden pitoisuus vaihtelee 65 ja 85 prosentin välillä.

Haihtuessaan tälle kyseiselle kuiva-aineiden pitoisuudelle lipeä vapauttaa haihtuvia aineita, kuten rikkiyhdisteitä ja metanolia. Nämä haihtuvat aineet tulee erottaa lauhdeaineista sekä kaasuista, ja hävittää ympäristön mukaisella tavalla. (Clay, D. T. 2014.)

Mustalipeästä haihtuu höyryä haihdutuksen seurauksena, joka käytetään hyväksi seuraavan yksikön haihdutusprosessissa. Tämä kyseinen höyry kulkee hönkäputkea pitkin seuraavaan haihduttamoon, ja tämä prosessi jatkuu aina seuraavaan haihdutinyksikköön. Primäärihöyryksi kutsutaan tuotua höyryä, jota käytetään ainoastaan ensimmäisessä yksikössä.

Sellutehtaiden vanhinta yleisesti käytössä olevaa haihdutintekniikkaa ovat nousevan kalvon haihduttimet (Long Tube Vertical). Lipeää syötetään haihduttimen pohjasta sisään, jolloin kiehuessa vapautuu höyryä, joka puolestaan vetää lipeän kiihtyvällä vauhdilla putkea pitkin ylös ja muodostaa putken sisäpinnalle lipeäkalvon. Lämpöä luovuttava höyry lauhtuu putken ulkopinnalla, joten haihduttimen vaipan järjestely on normaalin pystyputkisen lauhduttimen mukainen. (KnowPulp 2020.)

Mustalipeä ja vesihöyry on olennaisia kierto- ja hönkäputkiin liittyen, koska kierto-putkissa eli imu- ja paineputkessa kiertää mustalipeää ja hönkäputkea pitkin kulkee vesihöyryä.

Oheinen kuva havainnollistaa mustalipeän erottamisprosessia käytännössä. Pesemätöntä massaa syntyy sellunkeitossa ja mustalipeä erotetaan massasta pesemällä ja suodattamalla.



KUVA 1. Mustalipeän erottamisprosessi (KnowPulp 2020.)

3.1.2 Haihduttamo

Haihduttamoissa on yleisimmin noin kuudesta kahdeksaan haihdutinyksikköä, joissa mustalipeän väkevöityminen tapahtuu portaittain. Haihtumiseen tarvitaan lämpöenergiaa, joka saadaan höyrystä (kts. kuva 3).

Haihduksen tehtävänä on ensisijaisesti poistaa mustalipeästä sekä siihen sekoitettavista lisävirroista vettä. Mustalipeä erotetaan sellusta ruskean massan pesussa sen keittämisen jälkeen. Pesuliipeä tulee haihduttamolle noin 15-16 prosentin kuiva-ainepitoisuudessa. Haihdutettava vesimäärä on enimmillään kahdeksasta kymmeneen kuutiota, jolloin saavutetaan polttoliipeän kuiva-ainepitoisuudet. Haihduttamon tehokas toiminta edellyttää, että polttoliipeän kuiva-ainepitoisuudet ovat korkeat, ja että toissijainen lauhde tulee ulos haihduttamolta mahdollisimman puhtaana. Haihduttamalla tulee myös huolehtia, että sellun keitossa syntyvät sivutuotteet, kuten metanoli, tärpätti ja suopa, otetaan talteen. (KnowPulp 2020.)

Haihduksissa mustalipeän kuiva-ainepitoisuus saadaan noin 60 prosenttiin, jonka jälkeen lipeä väkevöitetään konsentraattoreissa. Kun lipeän kuiva-ainepitoisuus on 80-85 prosenttia on se valmista siirrettäväksi soodakattilaan polttamista varten.

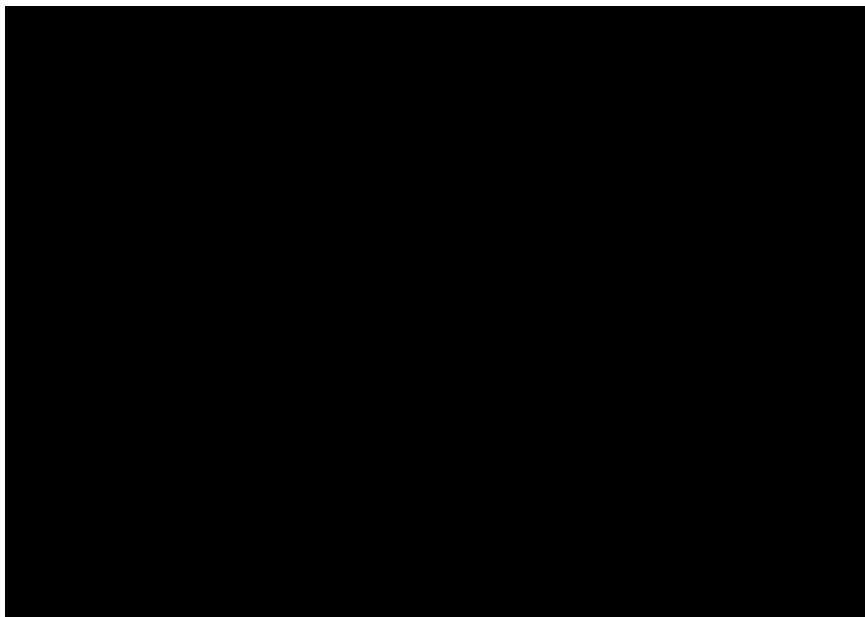
Lipeästä erotetaan suopaa yleisimmin siten, että järjestetään pesu- ja syöttölipeäsäiliöihin sopivan pituiset viiveajat, jotta suopa erkaantuu lipeästä. Suopaa on erotettava lipeästä kahdessa vaiheessa, koska muutoin suopaa jää lipeän sekaan pesuliipeän suovan liukoisuuden ollessa korkea, ja syöttölipeässä erottaminen ei muutoin tapahdu riittävän tehokkaasti. Suopaa erotetaan kuiva-ainepitoisuudeltaan 25–35 prosentin suuruisesta välilipeästä. (KnowPulp 2020.)

Haihdutinyksikkö toimii siten, että jokainen haihdutinyksikkö on varustettu kiertopumpulla, joka siirtää paineputkea pitkin lipeää yksikön yläosassa olevaan lipeänjakelujärjestelmään. Jakelujärjestelmän avulla lipeä puolestaan leviää yhtäläisesti jokaisen lamellin yläreunaan, josta se virtaa alaspäin yksikön alaosaan kunkin lamellin ulkopinnoilla. Haihdutinyksikön alapäässä oleva imuputki vie lipeän takaisin pumpulle ja kierto jatkuu uudelleen.

Kiertävä höyry kondensoituu lamellien sisällä ja siirtää lauhduslämpönsä nesteeseen, joka virtaa lamellien ulkopinnalla. Muut haihdutuslaitoksen sivutuotteet ovat lämmin vesi ja metanoli.

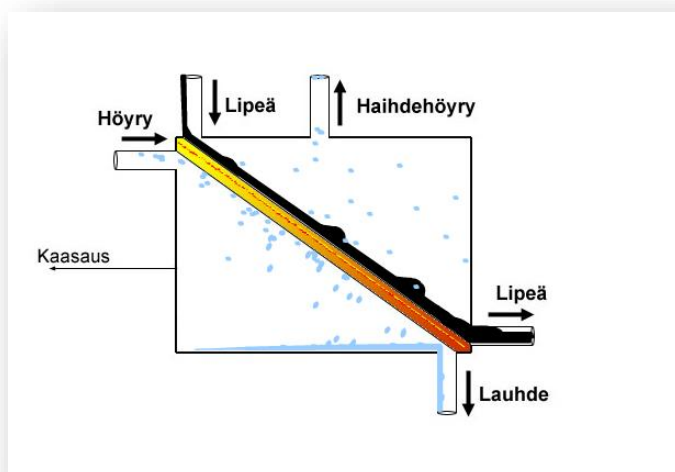
Kuumetessaan lipeä alkaa kiehua ja kiehuessaan lipeä tuottaa höyryä, jota kutsutaan toissijaiseksi höyryksi. Toissijainen höyry nousee ylöspäin haihdutinyksikössä ja se virtaa paine-eron vuoksi yksiköstä ulos hönkäputkessa, joka sijaitsee yksikön yläosassa. Höyry virtaa hönkäputkesta seuraavaan yksikköön toimien siellä lämmön lähteenä. Tämä toistuu useassa haihduttimessa ja näin vesi poistetaan lipeästä ja kuiva-ainepitoisuutta lisätään.

Seuraavan kuvan kohdassa 1. on havaittavissa hönkäputki (vesihöyry), kohdassa 2. paineputki (mustalipeä) sekä kohdassa 3. imuputki (mustalipeä) sekä havainnollistetaan nuolten avulla virtaus-suuntia.



KUVA 2. Haihduttamo ja sen sisältämät putket.

Haihduttamon toimintaperiaatetta sekä höyryn ja lipeän kiertoa voidaan puolestaa seuraavalla kuvalla.



KUVA 3. Haihduttamon toiminta. (KnowPulp 2020.)

3.1.3 Haihduttamon kierto- ja hönkäputket

Opinnäytetyön keskiössä olevat kierto- ja hönkäputket liittyvät aiemmissa kappaleissa kuvaillun selutehtaan haihduttamon toimintaan.

Hönkä- ja kiertoputkien materiaalina käytetään pääsääntöisesti ruostumatonta terästä (EN 1.4301). Alkupään haihdutinyksiköiden kiertoputket ovat duplex-terästä (EN 1.4462) johtuen virtaavan aineen koostumuksesta ja korkeammasta, noin 160 asteen lämpötilasta.

Mustalipeälle ei saa käyttää haponkestävää terästä. (Jaakkola 2008.) Toisaalla KnowPulpin opetusmateriaalissa todetaan kuitenkin mustalipeäputkiston olevan muiden mustalipeälaitteiden tavoin yleensä haponkestävää terästä. (KnowPulp 2020.)

Seuraavassa kuvassa on havaittavissa kuusi haihdutinta, sekä niihin kytköksissä olevia kierto- ja hönkäputkia luonnollisessa koossaan ja toimintaympäristössään.



KUVA 4. Haihduttamo sekä kierto- ja hönkäputket luonnollisessa toimintaympäristössään. (KnowPulp 2020.)

3.2 Kierto- ja hönkäputkien ominaisuudet

Kierto- ja hönkäputket voivat olla kooltaan hyvin suuria ja erittäin painavia, sillä suurimmat putket painavat jopa useita tuhansia kiloja. Kierto- ja hönkäputket voivat olla halkaisijaltaan yli DN700, ja tämän suuruisia tai tästä suurempia ei ole mahdollista valmistaa valmiista vakioputkikomponenteista, vaan putkien osat täytyy valmistaa erikseen levyateriaaleista. Hönkäputken halkaisija voi olla yli kolme metriä ja pituudet yli 10 metriä, joten niistä on tehtävä niiden koon vuoksi erilliset työkuvat. Työkuvat koostuvat erilaisista osista, jotka puolestaan muodostavat putken kokonaisuudessaan.

Suurikokoiset kierto- ja hönkäputket ovat hyvin kalliita ja suunnittelun kustannukset ovat sen sijaan vähäisiä putkien hintaan nähden. Tämän vuoksi putkien suunnitteluun on hyvä käyttää aikaa, jotta suunnitellusta putkesta tulee varmasti halutunlainen ja, että turhilta lisäkustannuksilta vältyttäisiin mahdollisten suunnitteluvirheiden vuoksi.

Kierto- ja hönkäputkien suunnittelu aloitetaan suurelta osin hyödyntämällä aiemmissa projekteissa saatuja tietoja ja oppeja. Valmiita ohjeita suunnitteluun ei juurikaan ole, ellei mukaan lasketa tilaajalta saatua vanhaa ohjeistusta, jota hyödynnetään kuitenkin melko vähäisessä määrin. (Nykänen 2020-04-20.)

Kierto- ja hönkäputkien suunnittelu aloitetaan yleisellä tasolla siten, että tilaaja on etukäteen määrittänyt tietyt suunnitteluarvot, joita ovat putken halkaisija, materiaali, lämpötila sekä paine- ja laiteyh-teiden maksimikuormat. (Nykänen 2020-04-20.)

Kyseisten suunnitteluarvojen perusteella lujuuslaskija määrittää putken seinämän vahvuuden, vahvi-kerenkaiden koon ja maksimivälin. Suunnittelupaine määrää myös putkissa käytettävien lohko-käyrien lohkojen määrän kolmeen tai viiteen. Lämpölaajeneminen ja yhteiden maksimikuormitus asettaa raja-arvot putken kannakoinnille ja suunnittelija hakee yhteistyössä lujuuslaskijan kanssa toimivat ratkaisut kannaketyypeille ja kannakointipaikoille, jotta päästäisiin lopputulokseen, jossa putkeen ei kohdistu liikaa kuormaa, mutta toisaalta se ei myöskään kuormita liikaa laitteita. Suurien yksiköltä toiseen menevien hönkäputkien reitti määräytyy yksinkertaisesti yksikössä olevien yhteiden mukaan. (Nykänen 2020-04-20.)

Pienemmät kuvalliset hönkälinjat vaativat suunnittelijalta yleensä enemmän suunnittelutyötä, sillä niissä on monesti erilaisia ajovaihtoehtoja. Erilaiset ajovaihtoehdot tarkoittavat useampia automaatiiventtiileitä, jotka vaativat luoksepääsyn. Tämä puolestaan johtaa monimutkaisiin putken reitityk-siin. (Nykänen 2020-04-20.)

Joissakin tapauksissa lujuuslaskenta ja vaikeat reitit tekevät yhdessä vakiokomponenttien käytön mahdottomaksi, jolloin tarvitaan vahvempia osia (esim. T-kappale). Hönkälinjojen ominaisuutena on lisäksi se, että niihin muodostuu kondenssia eli höyry tiivistyy vedeksi, mikä tekee suunnittelusta haastavamman. Kondenssin välttämiseksi linjat tulee suunnitella siten, että ne ovat kaadolla niin, vesi pääsee valumaan esteettä. Kondenssin kertyminen putkistoon tulee siis estää, eikä niihin saa jäädä minkäänlaisia pusseja, joihin on vesi kertyisi. (Nykänen 2020-04-20.)

Suunnittelijalta vaaditaan putken korkeista lämpötiloista johtuvien haastavien olosuhteiden vuoksi kokemusta myös kannakoinninsuunnittelusta, joka tulee lujuuslaskennan myös tarkastaa putkenjän-nitysanalyysiä tehdessä. Myös tässäkin vaiheessa edellytetään suunnittelijalta ja lujuuslaskijalta yh-teistyötä. (Nykänen 2020-04-20.)

Pienistä linjoista (alle DN700) suurin osa on jo yleensä kokonsa puolesta poissa työkuvallisista lin-joista, mutta toisaalta uusien laitosten koot ovat kasvaneet koko ajan, mikä merkitsee myös sitä, että samalla linjakoot ovat kasvaneet. Pienemmät linjat (alle DN700) voidaan yleensä valmistaa va-kioputkikomponenteista, joista voidaan ajaa laitossuunnitteluohjelmasta suoraan putkistoisometriku-vat, eikä niistä näin ollen tarvitse tehdä käsin erillisiä työkuvia. (Nykänen 2020-04-20.)

4 KIERTO- JA HÖNKÄPUTKIEN SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin suunnittelussa käytettäviä tapoja ja ohjelmistoja. Suunnitteluvaiheet havainnollistetaan käytännönläheisin kuvin ja esimerkein. Kappaleessa käydään läpi aiemmin putkien suunnittelussa käytetyn työtavan eli 2D-suunnittelun sekä uudella työkalulla käytetyn 3D-suunnittelun piirteitä yleisluontoisesti.

4.1 Ohjelmistot

Seuraavaksi esitellään kierto- ja hönkäputkien suunnittelussa käytettäviä yleisimpiä ohjelmistoja, eli Autodesk AutoCAD-, Autodesk Inventor- ja Aveva PDMS-laitossuunnittelutyökaluohjelmistoja. Tämän opinnäytetyön laatimisen aikana päätoimisena laitosuunnittelutyökaluna toimi Aveva PMDS-laitossuunnitteluohjelmisto, mutta kesken opinnäytetyön laatimisprosessin rinnakkaiseksi laitosuunnittelutyökaluksi tuli myös Avevan uudempi Aveva E3D-laitossuunnitteluohjelmisto, joka esitellään jäljempänä.

4.1.1 Autodesk AutoCAD

Autodesk AutoCAD on hyvin tunnettu piirto-ohjelma, joka levisi nopeasti 1990-luvun alkupuolella mekaniikkasuunnittelijoiden käyttöön. Alkuvaiheessa suunnitteluohjelmistoilla matkittiin piirustuslaudankäyttöä, ja kyseessä oli enemmänkin tietokoneavusteinen piirtäminen kuin suunnittelu. Piirtäminen tehtiin kaksiulotteisesti ja projektiot piirrettiin erillisesti ilman, että niillä oli kytkentää toisiinsa. Osat voitiin siirtää kokoonpanoihin kopioimalla, mutta tuolloin katkesi samalla yhteys niiden välillä. Tuolloin muutokset ja osapiirrokset oli tehtävä kaikkiin muihinkin kokoonpanopiirroksiin, joissa kyseistä osaa oli käytetty. (Hietikko 2007 s. 14.)

AutoCADilla tehtyä tiedostoa voidaan hyödyntää myös Autodesk Inventorissa siten, että tiedosto avataan Autodesk Inventorissa ja samalla määritetään se, millä tavalla AutoCADilla laadittua geometriaa hyödynnetään. Esimerkiksi 2D-piirrokset ovat hyödynnettävissä sketseissä tai piirrustusten blokkeina, ja AutoCADilla tehtyjä 3D-tilavuusmalleja voidaan muuttaa osatiedostoiksi. (Hietikko 2007 s. 293.)

2D-piirtämisessä käytetään tietokoneavusteista CAD-suunnitteluohjelmistoa ohjelmistojen muun muassa laatimiseen pohjapiirroksiin, rakennuslupapiirroksiin, rakennuksen tarkastussuunnitelmiin ja maisemasuunnitteluun. 2D-piirtämiseen tarkoitettua CAD-ohjelmistoa voidaan käyttää suunnitelmien piirtämiseen nopeammin ja tarkemmin ilman, että käytetään stensiilejä tai teknisiä piirustusvälineitä. CAD-ohjelmiston avulla on myös mahdollista dokumentoida ja merkitä piirustuksia tekstillä, mitoilla ja taulukoilla. (Autodesk 2020.)

4.1.2 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor on ohjelmisto, joka tarjoaa suunnitteluratkaisuja 3D-mekaaniseen tuotesuunnitteluun ja tekniseen suunnitteluun. Inventor-ohjelmistolla on mahdollista integroida 2D- ja 3D-tiedot

yhdeksi suunnitteluympäristöksi siten, että laaditaan virtuaaliesitys lopputuotteesta, jonka avulla voidaan vahvistaa tuotteen muoto, sopivuus ja toiminta ennen kuin sitä aletaan rakentaa. Autodesk Inventorissa on tehokkaat parametriset sekä suorat muokkaus- ja vapaamuotoiset mallityökalut sekä CAD-käännösominaisuudet. (Autodesk 2020.)

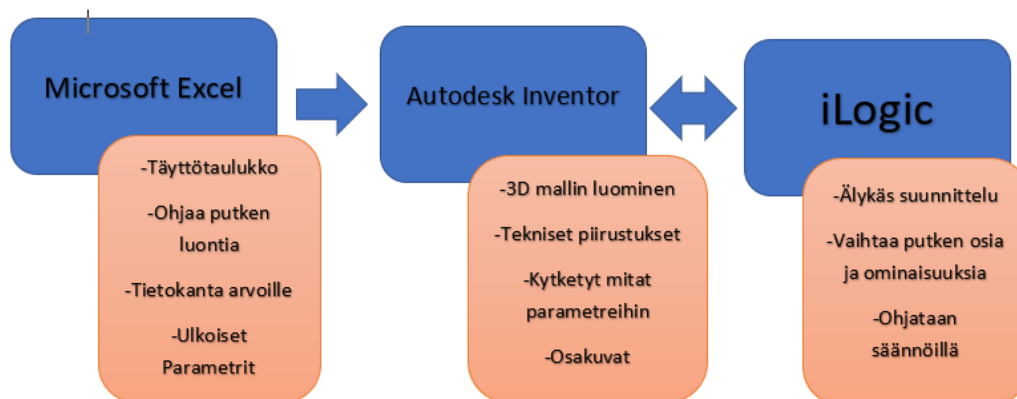
Autodesk Inventorissa käytetään piirremallinnusta, joka tarkoittaa yksinkertaisuudessaan sitä, että kohteen malli rakennetaan piirteistä. Ensiksi tehdään peruspiirre, johon on mahdollista lisätä uusia piirteitä siten, että kohteesta saadaan lopuksi tarkka malli. Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi pur-sotus, reikä ja pyöräytys. Piirteet näkyvät sekä itse mallissa, että rakennepuussa, josta niitä voidaan muokata helposti. (Hietikko 2007, s. 23.) Rakennepuusta on havainnollistava esimerkki kappaleessa 5.1.

Autodesk Inventorin pääelementtejä ovat ominaisuuspohjainen parametrinen mallinnustekniikka. Ominaisuuspohjaisesta parametrisesta mallinnusmenetelmästä on vakiinnuttanut asemansa mallinnustekniikkana. Parametrinen modifiointi automatisoi suunnittelu- ja tarkistusmenettelyt suunnittelu-muuttujien käytön avulla. Parametrinen tarkoittaa sitä, että mallin geometrisiä määritelmiä, kuten mittoja, voidaan muuttaa milloin tahansa suunnitteluprosessin aikana. (Shih 2020, kappale 1–7.)

Yksi Autodesk Inventorin keskeisistä ominaisuuksista on myös kokoonpanokeskeisen paradigman käyttö. Paradigman käyttäminen antaa ohjelmiston käyttäjälle mahdollisuuden keskittyä suunnitteluun riippumatta niihin liittyvistä parametreista tai rajoituksista. (Shih 2020, kappale 1–7.)

Autodesk Inventorissa on merkittävä määrä työkaluja ohutlevyistä mallinnettavien kappaleiden valmistamista varten. Ohutlevymallinnuksen suurin etu on siinä, että mallinnettu kappale voidaan levittää. Tuolloin ohutlevyn leikkaus suorasta levystä onnistuu parhaiten ja se voidaan siirtää sähköisessä muodossa leikkauskoneeseen. (Hietikko 2007, s. 211.)

Autodesk Inventoriin voi sisällyttää ulkoisia lähteitä tiedolle, jota luetaan. Tällaisia ovat muun muassa Microsoft Office Excel, jota tässä työssä käytetään ulkoisen putkikonfiguraattorin laatimiseen. Inventorissa on myös mukana iLogic ohjelmointipohjainen sääntöeditori, joka soveltuu hyvin putken muokkaamiseen (kts. tarkemmin kuvio 1).



KUVIO 1. Ohjelmistokaavio. (Ari Lipsanen 2020.)

4.1.3 Aveva PDMS-laitossuunnittelutyökalu

Aveva PDMS (Plant Design Management System) on teknologisesti edistyksellinen ja tehokas tehtaissa ja laitoksissa käytettävä 3D CAD-mallinnusohjelma, joka tarjoaa 3D-tehdassuunnitteluratkaisuja energia- ja prosessiteollisuudelle. Aveva PDMS:n avulla voidaan tuottaa 3D-suunnittelussa nopeasti tarkkoja piirroksia. Kyseessä on myös täysin interaktiivinen ja värisävyinen 3D-tehdassuunnittelu-ympäristö. Törmäyksen ja eheyden konfiguroitavat tarkistussäännöt auttavat suunnittelijaa saamaan mallin oikein ensimmäisellä kerralla, ja mahdollistavat siten suunnittelun tehokkaan yleisen laadunvarmistuksen. Konfiguroitava tilanhallintatoiminto tarjoaa visuaalisen korostuksen ja selkeän raportin PDMS-objektien suunnittelusta valmiusasteesta. Konfiguroitava automaattinen laaja valikoima raportteja ja piirroksia on mahdollista saada suoraan PDMS-tietokannasta. Suunnittelija pystyy valitsemaan ja sijoittamaan parametriset komponentit laajasta luettelosta. (Citrixready 2020.)

Aveva PDMS:n etuna on myös sen joustavuus, sillä se voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi pilvessä. Aveva PDMS voidaan myös räätälöidä käyttäjän tarpeisiin, jonka vuoksi käytettävissä hyvinkin erikoisissa ja erityyppisissä toimintaympäristöissä. (Citrixready 2020.)

Aveva PDMS tarjoaa suunnitteluprojektille korkeaa laatua, sillä sääntöpohjaiset toiminnot sekä tehokkaat tarkistustyökalut poistavat suunnitteluvirheet. Lisäksi tarkat materiaalitiedot vähentävät viiveitä. Käytössä on yksi projektitietokanta, joten 3D-suunnittelun yhdenmukaisuudesta 2D-piirustusten ja raporttien välillä voidaan varmistua. (Citrixready 2020.)

Aveva PDMS:n etuna on myös suunnittelutehokkuus, sillä suunnittelutiedot on mahdollista jakaa useamman suunnittelijan kesken, mikä puolestaan vähentää työtunteja. Käytännössä sadat suunnittelijat voivat työskennellä samanaikaisesti projektissa. Samanaikainen työskentely mahdollistaa osallisuuden suunnittelun virheettömyyden sekä projektin nopean toteutuksen. Myöhässä tehtävät suunnittelumuutokset voidaan myös tämän vuoksi hoitaa nopeasti. Aveva PDMS korostaa muutokset automaattisesti, joten tehdyt muutokset on helpompi tunnistaa. (Citrixready 2020.)

4.1.4 Aveva E3D-laitossuunnittelutyökalu

Aveva Everything3D- eli Aveva E3D-laitossuunnittelutyökalu on ominaisuuksiltaan paljolti samankaltainen, kuin Aveva PDMS- laitossuunnittelutyökalu, sillä Aveva E3D- ja Aveva PDMS-laitossuunnitteluohjelmistot toimivat esimerkiksi samalla tietokannalla ja hierarkialla. Aveva E3D- laitossuunnittelutyökalu on kuitenkin edistyneempi ja uudempi versio Aveva PDMS-laitossuunnitteluohjelmistosta. Aveva E3D-laitossuunnittelutyökalu ei kuitenkaan ainakaan vielä korvaa täysin Aveva PDMS-laitossuunnittelutyökalua, vaan näitä kahta Avevan laitossuunnitteluohjelmistoa käytetään toistaiseksi rinnakkain siirtymävaiheen ajan. Koska näiden kahden ohjelmiston ominaisuudet ovat keskenään hyvin samanlaisia, pysyvät työskentelytavatkin samanlaisina. (AVEVA Group 2020.)

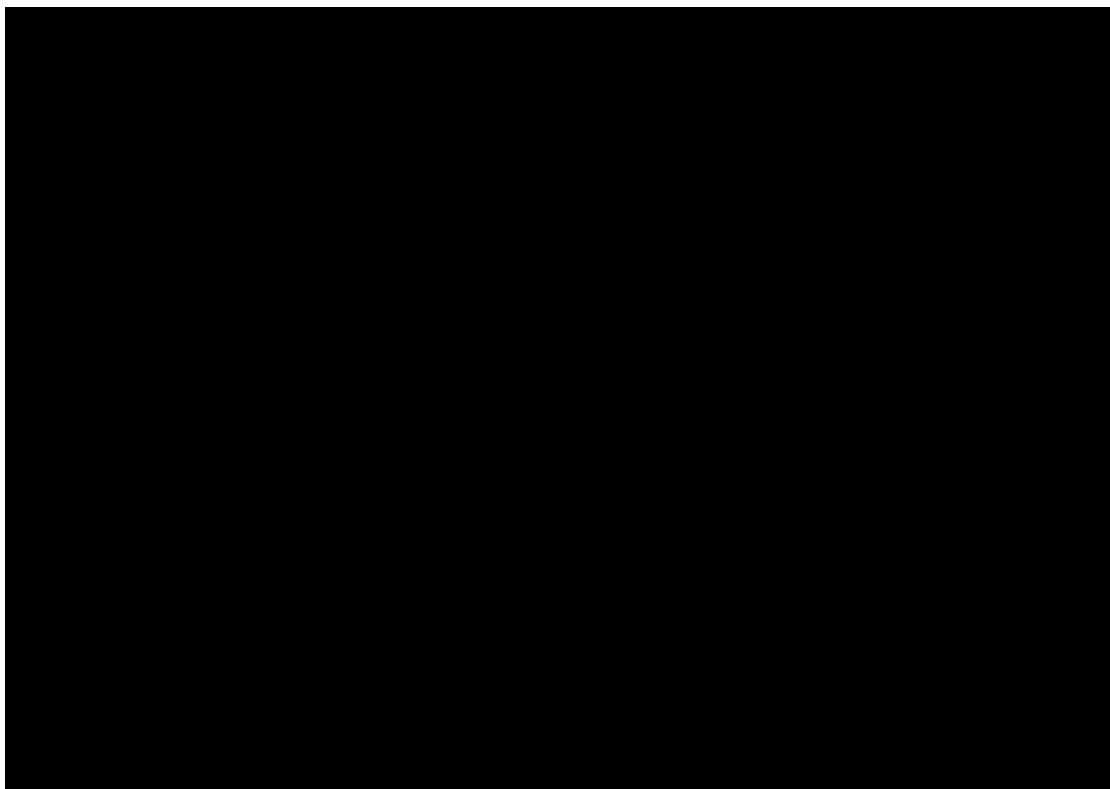
Aveva E3D-laitossuunnittelytyökalussa on 3D-suunnittelujärjestelmä sekä useita erilaisia moduuleja. Kierto- ja hönkäputkien mallinnuksen kannalta olennaisin Aveva E3D-laitossuunnittelytyökalun tarjoama moduuli on design-moduuli. Suunnittelussa käytettäviä moduuleja ovat myös draft-moduuli, jonka avulla laadittiin 3D-mallista laitoksen layout-kuvia. Isodraft-moduulilla tuotetaan putkien isometrejä. (AVEVA Group 2020.)

4.2 Kierto- ja hönkäputkien 2D-suunnittelu

Kierto- ja hönkäputkien 2D-suunnittelulla tarkoitetaan tietokoneavusteista piirtämistä, jossa suunnitelmapiirrustukset tuotetaan tietokoneella. Ennen 2D-piirtämistä käytössä oli käsin tehtävät tekniset piirustukset. 2D-mallinnuksessa käytetään X- ja Y-koordinaatteja. 2D-suunnittelua toteutetaan Autodesk AutoCAD-ohjelmistolla. (Hietikko 2007, s. 14.)

Swecolla suunnittelu 2D-mallinnuksella voidaan aloittaa siinä vaiheessa, kun tiedossa tilaajalta saadut ohjeet sekä erityisesti suunniteltavan haihuttamon putken alku- ja loppupisteet. Tämän jälkeen voidaan piirtää kulloinkin käytettävällä suunnitteluohjelmistolla annetun ohjeistuksen mukainen suunnitelma.

2D-suunnittelu vaatii erityisesti kykyä hahmottaa suunniteltava kohde eri perspektiiveistä, mikä puolestaan vaatii suunnittelijalta enemmän hahmottamisen osaamista. 2D-suunnittelu on työnä melko hidasta, ja mitä monimutkaisempi tilaajan antama ohjeistus on kyseessä, sitä enemmän suunnittelytyötä vaaditaan. Oheisessa kuvassa esimerkki AutoCAD:lla tehdystä 2D-piirustuksesta.



KUVA 5. Esimerkki 2D-mallinnuksella toteutetusta valmiista paineputken suunnitelmasta. (Sweco 2019.)

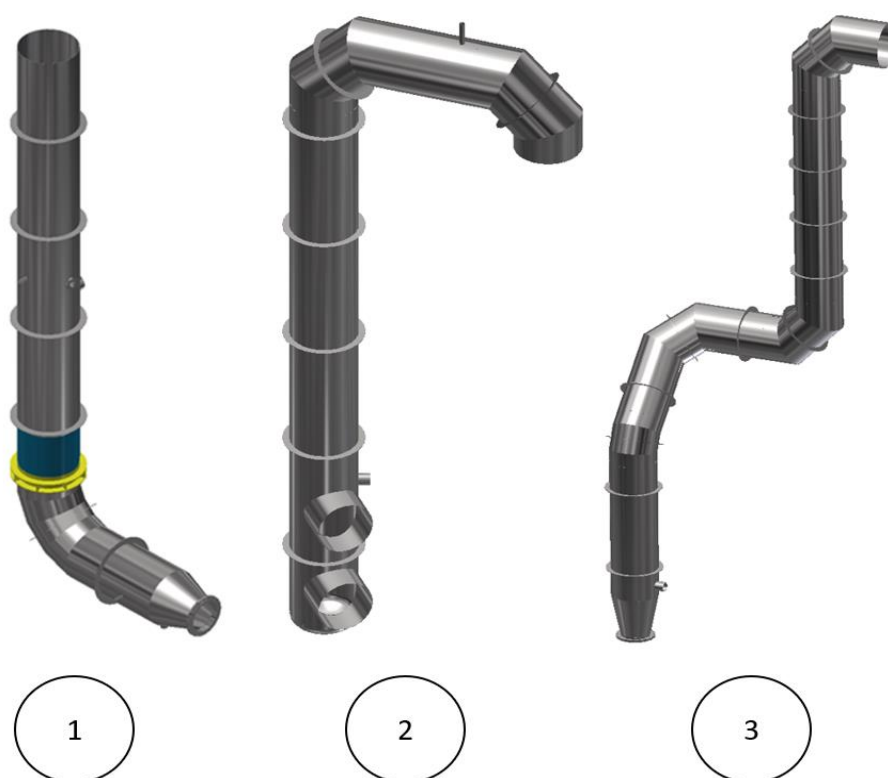
2D-suunnittelun yleisin ongelma on se, että kuvat, materiaalistat, painojen määritykset ja muu tehdään käsin. Työmäärä voi muodostua erittäin suureksi silloin, kun jokin valmistuskuvassa päivittyy. Tuolloin työkuva ja materiaalista täytyy muuttaa ja painot tulee laskea uudelleen. Tämä puolestaan lisää virheiden mahdollisuutta merkittävästi.

4.3 Kierto- ja hönkäputkien 3D- suunnittelu

3D-suunnittelu on aiemmassa kappaleessa selostetun 2D-suunnittelun tavoin tietokoneella tehtävää suunnittelua, mutta 2D-suunnittelusta poiketen tilauksen mukainen putki laaditaan kolmiulotteisesti tarkastelemalla. Erona 2D-suunnitteluun on myös se, että käytössä on myös X- ja Y-koordinaattien lisäksi Z-koordinaatti, jolloin suunnittelun yhteydessä havainnoida myös kohteen syvyyttä.

Swecolla on käytössä putkia suunnitellessa Autodesk Inventor-ohjelmisto. Suunnittelu aloitetaan samoin kuin 2D-suunnittelussa tilaajan antaman ohjeistuksen perusteella. Suunniteltavat putket koostuvat osista, jotka ovat liitettyinä toisiinsa. Putki laaditaan alku- ja loppupisteen väliin yhdistämällä näitä osia.

3D-suunnittelun etuna on se, että putkea voi pyöritellä kolmiulotteisesti ja havainnoida putkea eri kuvakulmista. Lisäksi eri osista on mahdollista laatia levityskuva eli Flat Pattern, jolloin on helppoa laatia työkuva taivutetusta ohutlevystä. Ohessa on kuva Autodesk Inventorilla tehdystä kierto- ja hönkäputkista.



KUVA 6. Esimerkki 3D-mallinnuksella toteutetuista imuputkesta (kohta 1), hönkäputkesta (kohta 2) ja paineputkesta (kohta 3), jotka ovat työntekijän toimesta suunniteltuja. (Ari Lipsanen 2020.)

5 KIERTO- JA HÖNKÄPUTKIEN AUTOMATISOITU PARAMETRINEN MALLINNUS

Parametrisella piirremallinnusjärjestelmällä eli 3D-CAD-ohjelmalla tarkoitetaan 3D-mallinnukseen soveltuvaa tietokoneavusteista suunnitteluohjelmistoa, jossa kohde mallinetaan kolmiulotteisen geometrian avulla. 3D-malli antaa mahdollisuuden analysoida eri kohteiden suhtautumista toisiinsa nähdessä esimerkiksi törmäysten välttämiseksi. Kolmiulotteista suunnittelua voidaan käyttää kaksiulotteista suunnittelua tehokkaammin esimerkiksi tutkittaessa mekaanisen laitteen toimintaa. Kolmiulotteisten kappaleiden avulla voidaan jäljittää mahdolliset virheet kokoonpanossa, jotka saattaisivat aiheuttaa osien yhteensopimattomuutta fyysisessä kokoonpanossa. (Hietikko 2007, 23.)

Parametrisuudella tarkoitetaan sitä, että missä tahansa mallinnuksen vaiheessa voidaan muuttaa kohteen mittoja sillä tavoin, että geometria kohteessa muuttuu tehtyjä muutoksia vastaavalla tavalla. (Hietikko 2007, 23.)

Piirremallinnuksella tarkoitetaan yksinkertaisuudessaan sitä, että kohteen malli rakennetaan piirteistä. Aluksi tehdään peruspiirre, johon lisätään uusia piirteitä sillä tavoin, että lopuksi saadaan aikaan kohteen tarkka malli. Piirteet tulevat näkyviin itse malliin sekä niin sanottuun piirrepuuhun. (Hietikko 2007, 23.)

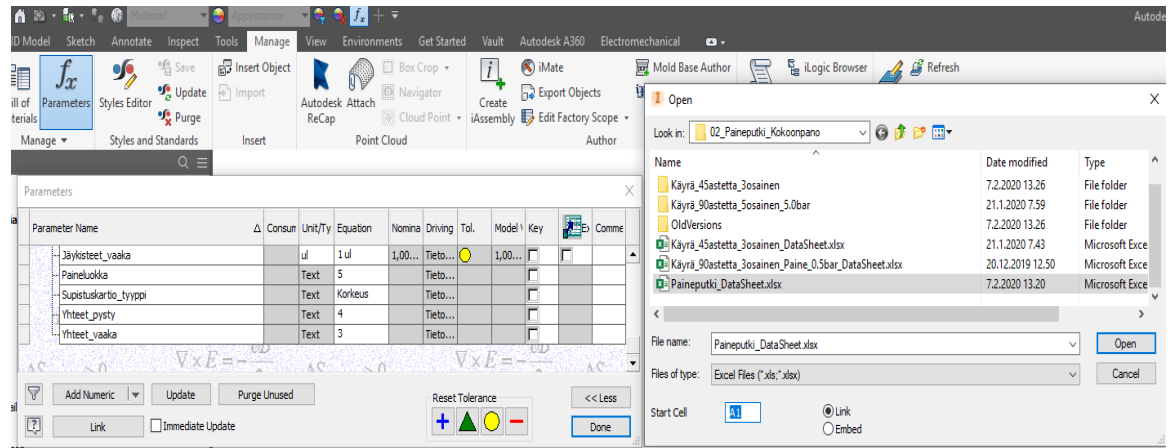
Mallin eri mittojen välille voidaan muodostaa parametrisessä mallinnuksessa erilaisia relaatioita esimerkiksi sillä tavoin, että mallin mitoista kaksi ovat yhtä suuria aina, ja muuttaessa toista mittaa vastaavasti toinenkin muuttuu. Lisäksi on mahdollista rakentaa erilaisia matemaattisia yhteyksiä erilaisten mittojen välille. (Hietikko 2007, 25.)

Tänä päivänä parametrisellä piirremallinnuksella tehdään jopa yli 90 prosenttia eli suurin osa kaikesta mekaniikkasuunnittelusta. Syynä tähän on se, että nykyaikainen tuotesuunnitteluprosessiin voi sisältyä suuria määriä erilaisia muutoksia, jotka on helpompi huomioida silloin, kun parametrissa mallinnusta käytetään. (Hietikko 2007, 25–27.)

Mallinnukseen yleisimpiä kuuluvia erilaisia mallityyppejä ovat osan lisäksi kokoonpano sekä piirustus. Mallityypeistä osa kuvastaa yksittäistä fyysisen kohteen osaa, joka voi olla valmistettava osa tai standardikomponentti. Kokoonpano muodostuu yhteen liitetyistä osista ja osakokoonpanoista. Piirustuksessa esitetään tarpeellinen määräprojektioita sekä yksityiskohtia osista ja kokoonpanoista. Parametrisuus näkyy osien, kokoonpanojen ja piirustusten välillä siten, että yhteen kohteeseen tehdyt muutokset päivittyvät kaikkiin muihin kohteisiin automaattisesti. (Hietikko 2007, 25–27.)

Kappaleita laadittaessa Autodesk Inventor tallentaa kaikki annetut mitat Parameters-osioon, jonka kautta käyttäjä voi muokata mittoja ilman, että hänen täytyisi mennä sketsitasolle. Parametrisessa mallinnuksessa kierto- ja hönkäputket laaditaan osakokonaisuuksina, mutta putken eri osille laaditaan parametrinen linkki Microsoft Office Excel-lomakkeeseen (kts. kuva 7), josta putkea pystyy

muokkaamaan yksinkertaisella tavalla halutunlaiseksi. Autodesk Inventor hakee linkitetystä lomakkeesta annetusta sarakkeesta lähtien numero- ja tekstiarvot ja vie ne työn parametreihin. Tällä tavoin muodostettuun parametriseen malliin lisätään vielä Autodesk Inventorin aliohjelma iLogic, jolla vaihdetaan putken osia ja instrumentteja perustuen erilaisiin sääntöihin.



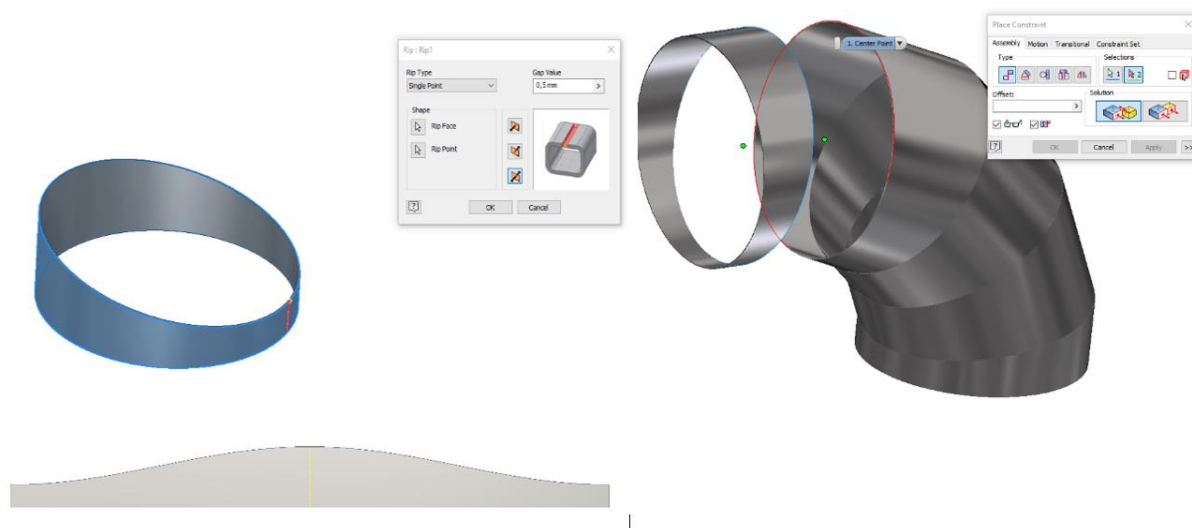
KUVA 7. Ulkoisen parametrin liittäminen. (Ari Lipsanen 2020.)

5.1 Putken osien mallintaminen

Mallinnus aloitetaan Autodesk Inventorissa siten, että putkelle laaditaan yleisimmät käytetyt osat, eli suorat ja käyrät osuudet, joista putki pääosin koostuu. Kierto- ja hönkäputkissa käyrät koostuvat joko kolme- tai viisilohkoisista käyristä.

Sketseissä käytetään yksiselitteisiä mittoja, kuten putken ulkohalkaisija ja seinämänpaksuus, eikä esimerkiksi ulkohalkaisija ja sisähalkaisija. Näin on helpompi käyttää Microsoft Office Excel-ohjattuja parametrejä ilman ylimääräisiä laskutoimituksia.

Putken kaikki osat laaditaan sheet metal.ipt-osina Autodesk Inventorissa. Putken suorat osuudet (kts. kuva 8) tehdään käyttämällä hyväksi Contour Roll-toiminnolla, jossa sketseissä laaditaan putkelle halkaisija ja putken pituus. Samalla määritellään myös akseli ja asteluku sekä se, kuinka pitkälti ja minkä ympärille pyöräytys laaditaan. Putken seinämän paksuus määritellään Sheet Metal Defaults-toiminnolla, jolla voidaan myös määrittellä putken materiaali. Rip-toiminnolla laaditaan putkelle sauma antamalla lähtö- ja loppupiste, jonka väliin sauma muodostuu ja sauman leveyden koko. Sauma laaditaan, jotta putkesta voidaan tehdä tarvittaessa levityskuva.



KUVA 10. Levityskuva ja yhdistäminen. (Ari Lipsanen 2020.)

Kun putken eri elementit on mallinnettu ja tallennettu, osista laaditaan kokoonpano, jossa osat liitetään toisiinsa. Tässä vaiheessa on tärkeää asettaa putki alkamaan nolapistestä eli origosta, kuten imuputkessa haihduttamoon kiinnittyvästä putken päästä, jotta mallin paikoittaminen laitossuunnitteluohjelmistossa olisi käytännöllisempää.

Putken eri osat liitetään toisiinsa Constrain-toiminnolla hyödyntäen liitettävien pintojen samankeski-syyttä ja kulmatoimintoa. Putkessa oleville käännoille ja instrumenttien paikoitukselle annetaan kulma esimerkiksi X- ja Y-tason mukaan.

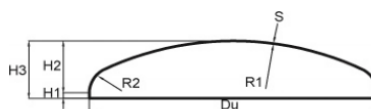
Hönkäputkeen on eroavaisuutena laadittu erilaisia putken päätyprofileita (kts. kuva 11), koska putki ei aina pääty käyrään. Nämä päätyprofiilit (kts. kuva 12) on mallinnettu hyödyntäen Autodesk Inventorin Revolve-toimintoa, jolla pursotus pyöräytetään akselin ympärille sekä Shell-toimintoa, jolla Autodesk Inventor poistaa ylimääräisen materiaalin kappaleesta ja jättää määritetyn seinämävahvuuden kappaleeseen.

Kappaleessa on pohjaan mallinnettu poistoputki, josta putken voi tyhjentää vedestä painetestauksen jälkeen.



KLÖPPER SS 2634
(klöpperform pääty)

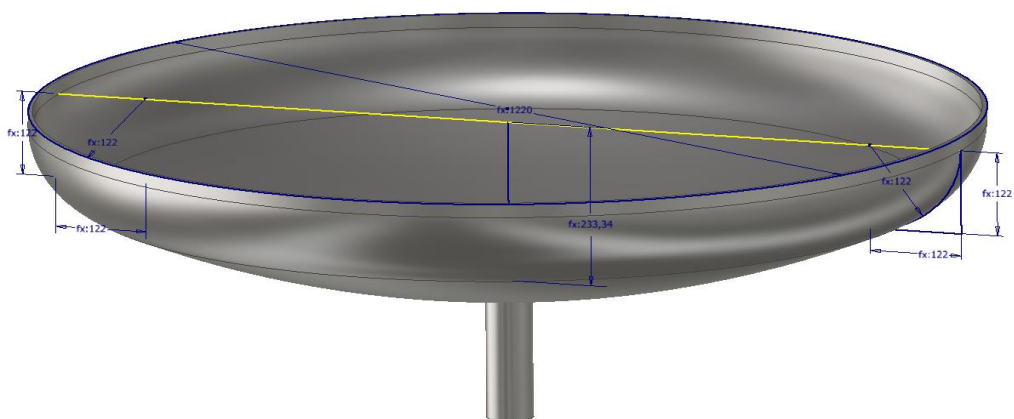
DIN 28011



Sivu 1/2

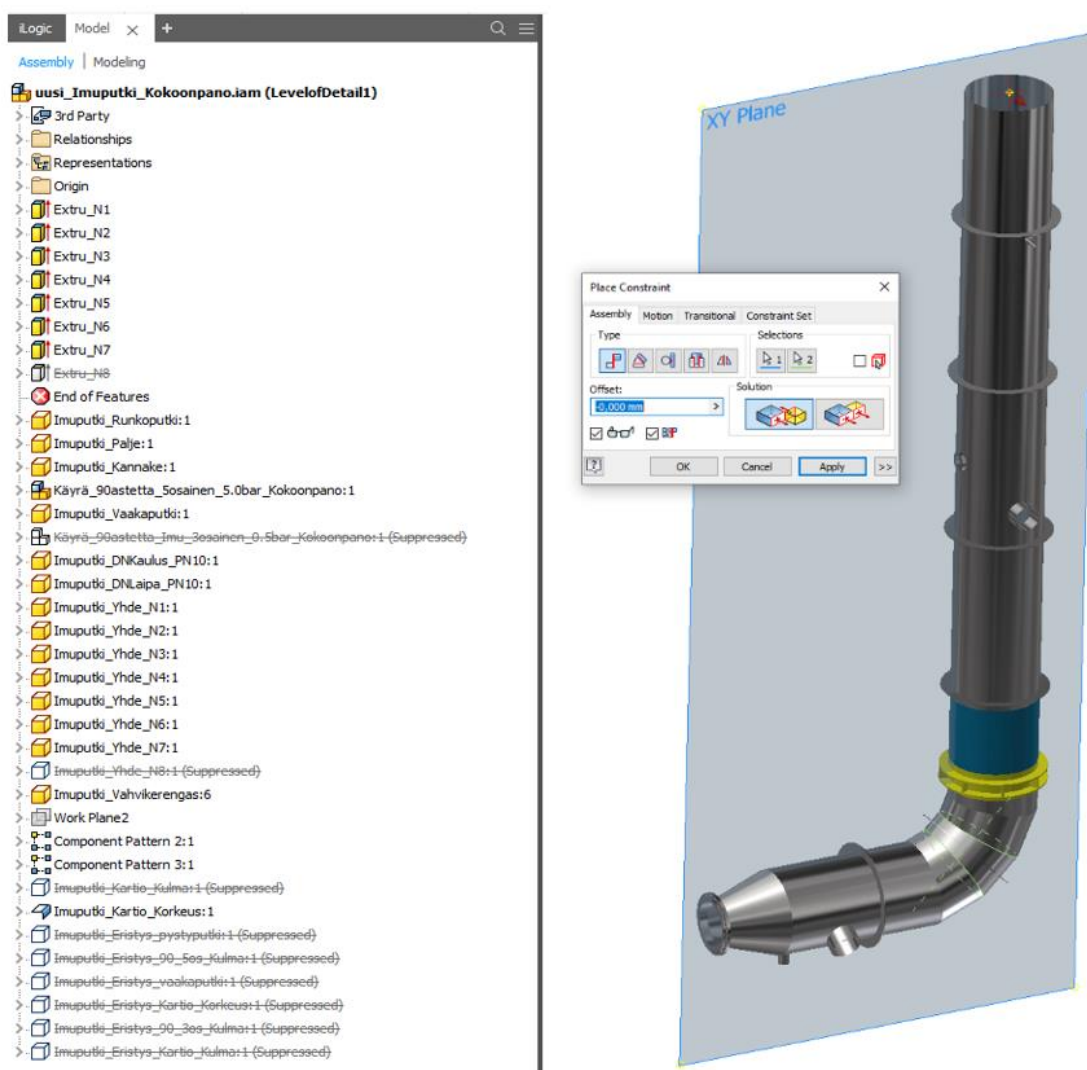
$$\begin{aligned} R1 &= Du \\ R2 &= 0,1 Du \\ H2 &= 0,1935 Du - 0,455 s \\ H3 &= H1 + H2 \\ V &= 0,1 (Du - 2s)^2 \end{aligned}$$

KUVA 11. Päätymalli. (Päätytuote 2020.)



KUVA 12. Päädyn laatiminen. (Ari Lipsanen 2020.)

Kuvassa 13 alempana on havaittavissa rakennepuu, joka muodostaa imuputken. Rakennepuun yläosassa on 3rd Party-sarake, jota klikkaamalla päästään Microsoft Office Excel-taulukon parametri- seen muokkauslomakkeeseen.



KUVA 13. Rakennepuu. (Ari Lipsanen 2020.)

5.2 Kierto- ja hönkäputken lomakeohjattu parametria

Kun malli parametrisoidaan ulkoisesti ohjattavaksi, niin tuolloin laaditaan aluksi Microsoft Office Excel- tiedosto lomakkeeksi tallennetun kokoonpanon kansioon, johon listataan putkelle kriittisimmät mitat ja niille annetaan nimi. Nimeäminen kannattaa tehdä lyhyesti, mutta kuitenkin niin, että ymmärretään se, mikä mitta on kyseessä.

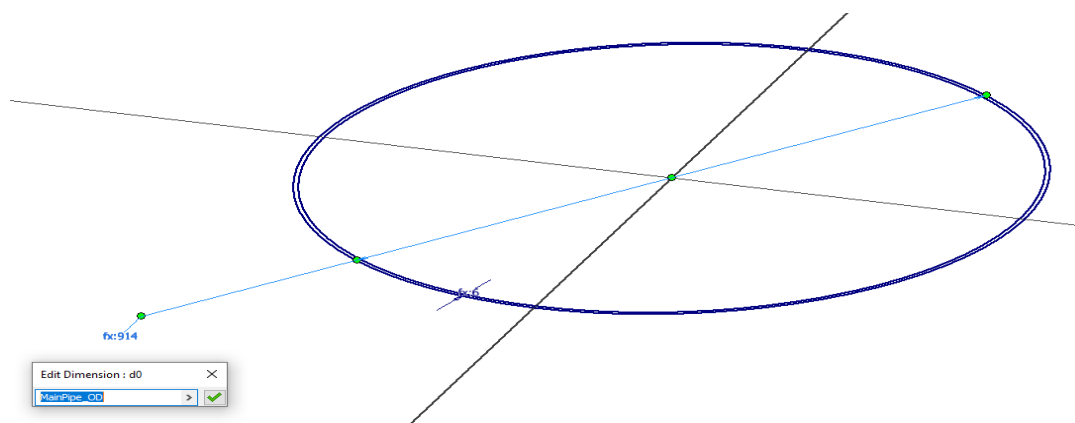
Kuvassa 14 on esimerkki laaditusta Microsoft Office Excel-lomakkeesta. Tiedostosta on havaittavissa, että putken runkoputken halkaisijan nimeksi on annettu MainPipe_OD ja sille on annettu mitaksi 914 mm.

	A	B	C	D	E
1		CIRCULATION PIPE 5.0 BAR/SUCTION SIDE			
2					
3		MAIN DIMENSIONS			
4	MainPipe_OD		914 mm		Runkoputken halkaisija
5	MainPipe_WT		6 mm		Runkoputken seinämänvahvuus
6	MainPipe_Length		6912 mm		Runkoputken pituus
7	HorizontalPipe_Length		1509 mm		Vaakaputken pituus
8	HorizontalPipe_Angle		0 deg		Vaakaputken kulma
9	BellowsLength		730 mm		Palkeen korkeus
10	SupportRing_Length		300 mm		Kannakerenkaan korkeus
11	SupportRing_WT		20 mm		Kannakerenkaan vahvuus
12	SupportRing_Stiff_Whole_Width		160 mm		Kannakerenkaiden jäykisteiden kokonaisleveys
13	SupportRing_Stiff_Thick		20 mm		Kannakerenkaan jäykisteen paksuus
14	SupportRing_Stiff_Size		1114 mm		Kannakerenkaan jäykisteen koko
15	Reducer_Size		508 mm		Supistuskartion koko
16	Reducer_WT		6 mm		Supistuskartion vahvuus
17	Reducer_Angle		14 deg		Supistuskartion kulma

KUVA 14. Ulkoiset parametrit. (Ari Lipsanen 2020.)

Edellä mainituin tavoin laadittu Microsoft Office Excel-lomake linkitetään Autodesk Inventorista parameters-toiminnolla kuhunkin laadittuun osaan ja kokoonpanoon, joiden halutaan olevan muunneltavissa Microsoft Office Excelin kautta.

Tämän jälkeen muokataan laadittujen osien rautalankamallin eli sketsien mitat antamalla kyseisille mitoille nimi, joka vastaa Microsoft Office Excel-lomakkeessa olevaa mitta-ää. Kun esimerkiksi putken ulkohalkaisijan mitalle annetaan nimeksi MainPipe_OD, se hakee laaditusta Microsoft Office Excel-lomakkeesta sille arvon 914 mm (kts. kuvat 14 yllä ja 15 alla).



KUVA 15. Parametrien nimeäminen. (Ari Lipsanen 2020.)

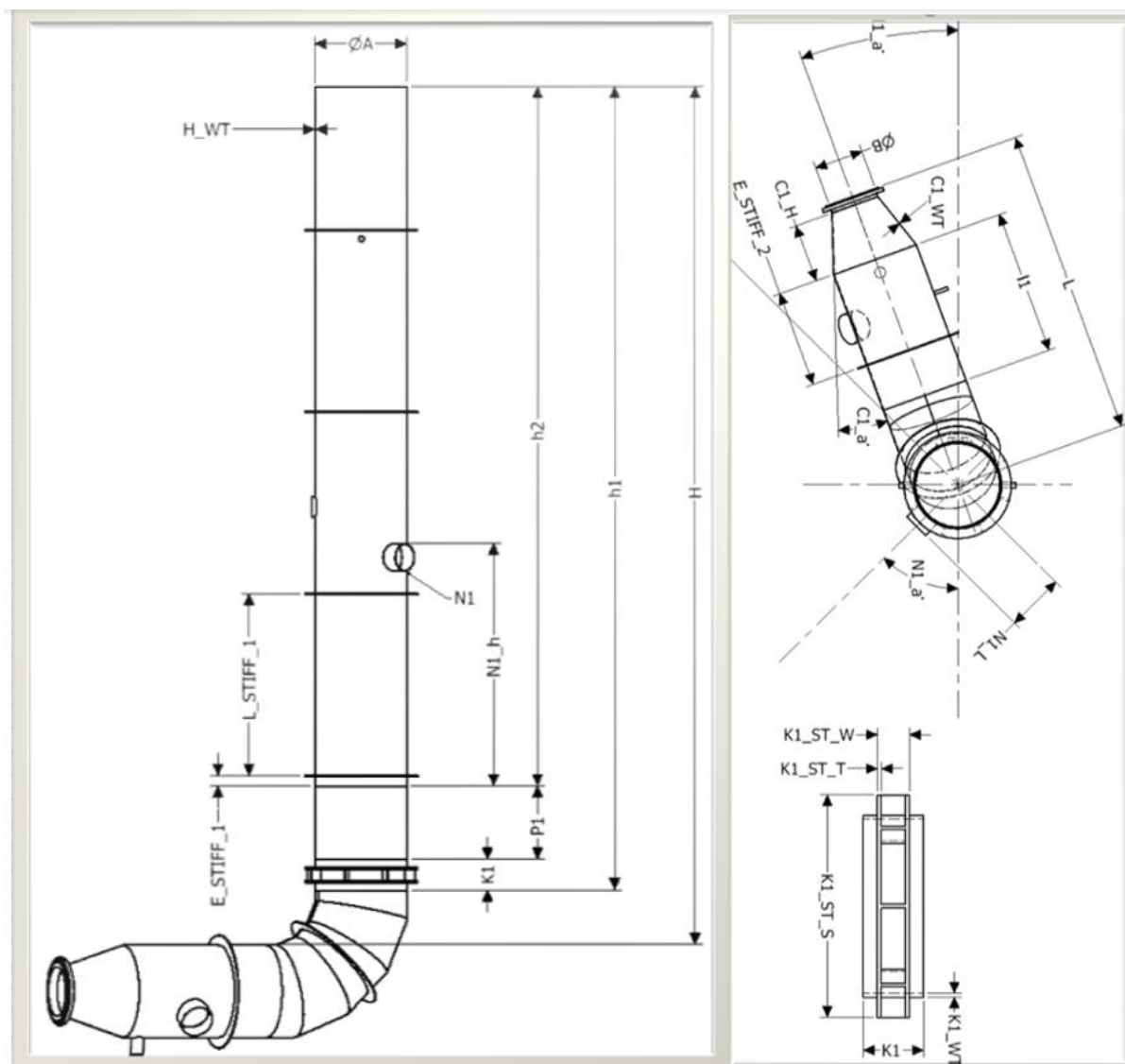
Kun muunnettavissa olevat mitat on muokattu antaen niille nimi, niin Microsoft Office Excelissä voidaan laatia käyttöliittymä, jossa ohjataan putken parametriaa. Käyttöliittymä kysyy putkelle tarpeellisia mittoja, kuten pituuksia ja paikoituksia sekä jäykisteiden ja yhteiden määriä. Käyttöliittymästä on tehty mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta sen käyttö olisi mahdollisimman sujuvaa. Esimerkiksi Swecon eri projekteissa on annettu putkille erilaiset määritelmät erikokoisten putkien seinämävahvuuksille, joten lomake hakee taulukosta If- ja Match-funktioita hyödyntäen automaattisesti oikean seinämävahvuuden tietyille putken koolle ja paineluokalle. Kuvassa 16 on havainnollistava esimerkki imuputkelle laaditusta käyttöliittymästä. Tiedosto täytyy aina muutosten jälkeen tallentaa ja Autodesk Inventorin Local Update-painikkeesta kokonaisuus on lisäksi päivitettävä, jotta uudet arvot tulevat voimaan.

IMUPUTKI											
Paineluokka		Mitat	Yksikkö								
Paineluokka		5,0	Bar								
Imuputki:		Mitat	Yksikkö	Tunnus	Supistuskartio		Mitat	Yksikkö	Tunnus		
Putken koko (inlet)		DN900		ØA	Määritätkö kulman/korkeuden?		Korkeus				
Putken koko (outlet)		DN500		ØB	Supistuskartion vahvuus		6	mm	C1_WT		
Pystyputken kokonais pituus		7942	mm	h1	Supistuskartion Korkeus		610	mm	CL_H		
Pystyputken seinämävahvuus		6	mm	H_WT	Supistuskartion kulma		18,41	astetta	C1_a'		
Kannakerenkaan korkeus		300	mm	K1	Supistuskartion Korkeus		614,93	mm	CL_H		
Kannakerenkaan vahvuus		20	mm	K1_WT	Supistuskartion kulma		14	astetta	C1_a'		
Kannakerenkaiden jäykisteiden kokonaisleveys		160	mm	K1_ST_W							
Kannakerenkaan jäykisteen paksuus		20	mm	K1_ST_T							
Kannakerenkaan jäykisteen koko		1114	mm	K1_ST_S							
Palkeen korkeus		730	mm	P1							
Vaakaputken pituus		1509	mm	h							
Vaakaputken kulma		0	astetta	l_a'							
Pystyputken jäykisteet:		Mitat	Yksikkö	Tunnus	Vaakaputken jäykisteet:		Mitat	Yksikkö	Tunnus		
Pystyputken jäykisteiden määrä		4	kpl		Vaakaputken jäykisteiden määrä		1	kpl			
Pystyputken jäykisteiden aloitus korko		100	mm	_STIFF_1	Vaakaputken jäykisteiden aloitus korko		1009	mm	_STIFF_2		
Pystyputken jäykisteiden jako		1800	mm	_STIFF_1	Vaakaputken jäykisteiden jako		1500	mm	_STIFF_2		
Pystyputken Yhteet:		Mitat	Yksikkö	Tunnus	Vaakaputken Yhteet:		Mitat	Yksikkö	Tunnus		
Pystyputken yhteiden määrä		4	kpl		Vaakaputken yhteiden määrä		3	kpl			
N1											
Yhteen N1 koko		273	mm	N1	N5						
Yhteen N1 pituus		607	mm	N1_L	Yhteen N5 koko		114,3	mm	N5		
Yhteen N1 seinämä		4	mm	N1_WT	Yhteen N5 pituus		607	mm	N5_L		
Yhteen N1 korko		2262	mm	N1_h	Yhteen N5 seinämä		2	mm	N5_WT		
Yhteen N1 suunta		90	astetta	N1_a'	Yhteen N5 korko		147	mm	N5_h		
Yhteen N1 suunta					Yhteen N5 suunta		0	astetta	N5_a'		
N2											
Yhteen N2 koko		204	mm	N2	N6						
Yhteen N2 pituus		490	mm	N2_L	Yhteen N6 koko		323,9	mm	N6		
Yhteen N2 seinämä		50	mm	N2_WT	Yhteen N6 pituus		597	mm	N6_L		
Yhteen N2 korko		2762	mm	N2_h	Yhteen N6 seinämä		1	mm	N6_WT		
Yhteen N2 suunta		180	astetta	N2_a'	Yhteen N6 korko		589	mm	N6_h		
Yhteen N2 suunta					Yhteen N6 suunta		60	astetta	N6_a'		
N3											
Yhteen N3 koko		60,3	mm	N3	N7						
Yhteen N3 pituus		607	mm	N3_L	Yhteen N7 koko		33,7	mm	N7		
Yhteen N3 seinämä		1,6	mm	N3_WT	Yhteen N7 pituus		607	mm	N7_L		
Yhteen N3 korko		2862	mm	N3_h	Yhteen N7 seinämä		1,6	mm	N7_WT		
Yhteen N3 suunta		270	astetta	N3_a'	Yhteen N7 korko		539	mm	N7_h		
Yhteen N3 suunta					Yhteen N7 suunta		270	astetta	N7_a'		
N4											
Yhteen N4 koko		60,3	mm	N4	N8						
Yhteen N4 pituus		607	mm	N4_L	Yhteen N8 koko		250	mm	N8		
Yhteen N4 seinämä		1,6	mm	N4_WT	Yhteen N8 pituus		800	mm	N8_L		
Yhteen N4 korko		5412	mm	N4_h	Yhteen N8 seinämä		4	mm	N8_WT		
Yhteen N4 suunta		90	astetta	N4_a'	Yhteen N8 korko		1200	mm	N8_h		
Yhteen N4 suunta					Yhteen N8 suunta		180	astetta	N8_a'		
Eristys:		Mitat	Yksikkö	Tunnus							
Eristys On/Ei		Ei									
Eristyksen koko		110	mm								

KUVA 16. Parametrilomake. (Ari Lipsanen 2020.)

Käyttöliittymässä on määritetty tunnus eri mitoille ja näille tunnuksille on laadittu ohjekuva, jossa tunnus havainnollistaa sitä, mihin annettu mitta vaikuttaa. Tällaiset ohjeet helpottavat putken suunnittelua varsinkin, jos työkalu ei ole vielä entuudestaan tuttu.

Kuvassa 17 on havaittavissa imuputken ohjekuva, joka helpottaa ymmärtämään sitä, miten annetut arvot muokkaavat putkea.



KUVA 17. Ohjekuva. (Ari Lipsanen 2020.)

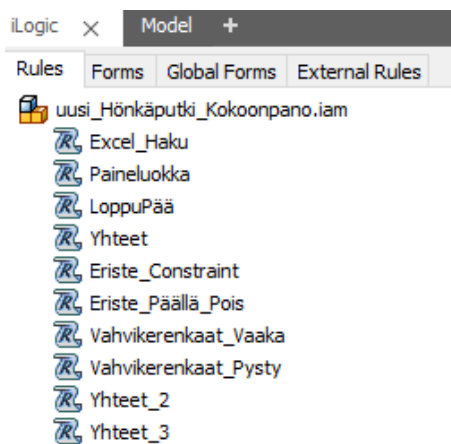
6 OHJELMOINTIRAJAPINNAN HYÖDYNTÄMINEN PUTKIEN LAADINNASSA

Älykkyyden lisääminen Inventor-ohjelmistosuunnitteluun on välttämätöntä, kun yritetään nopeuttaa suunnittelun työnkulkua. Inventor-mallien ei tarvitse olla passiivisia, vaan niillä voi olla niin sanottua älyä. Tätä älyä laaditaan ohjelmoimalla kappaleisiin sääntöjä.

Autodesk Inventorissa on mahdollista tehdä sääntöjä osiin, kokoonpanoihin ja piirustuksiin ohjelmointirajapinnassa. Mahdollisuutena tähän on joko Tools-välilehdeltä löytyvä VBA-editori, joka käyttää Visual Basic ohjelmointikieltä, tai sitten Manage-välilehdeltä löytyvä iLogic-editori, joka käyttää uudempaa VB.net-ohjelmointikieltä. Nämä kielet eivät ole sataprosenttisesti keskenään toimivia, vaikka ne ovatkin hyvin samankaltaisia. iLogic on tehty näistä käyttäjäystävällisemmäksi sääntöjen laatimista varten, koska niillä voidaan hakea säännöt editorin valmiista listasta ja täydentää niitä halutunlaiseksi sekä laatia tällä tavoin ohjelmia, jotka muokkaavat parametreja tai rakennepuun eri ominaisuuksia. Tässä työssä käytettiin iLogic-työkalua.

6.1 iLogic-käyttöliittymä

iLogic-työkalulla laaditaan erilaisia sääntöjä, joille annetaan aluksi nimi, jonka jälkeen iLogic-editori aukeaa. Kaikki koodit on mahdollista sisällyttää yhteen sääntöön, mutta silloin koodin muokkaaminen tai virheen jäljitys ei ole niin käytännöllistä. Muokkaamista ja virheiden paikannusta varten onkin järkevämpää laatia useita sääntöjä. iLogic ajaa säännöt ylhäältä alaspäin, joten on tärkeää asettaa säännöt ajettavaksi oikeassa järjestyksessä, jottei säännöt riko kokonaisuutta (kts. kuva 18).



KUVA 18. Esimerkki laadituista hönkäputken säännöistä iLogicissa. (Ari Lipsanen 2020.)

iLogic-editori mahdollistaa valmiiksi laadittujen komentojen haun vasemmassa laidassa sijaitsevasta, niin sanotuista snippets-toiminnoista, jotka kertovat sen, miten mikäkin koodi toimii ja täydennetään. Editori tuo halutun snippets-toiminnon koodikenttään, kun sitä kaksoisklikataan. Mallin ominaisuudet ja parametrit on myös mahdollista tuoda koodikenttään, ilman että niitä tarvitsee kirjoittaa käsin ja tällä säästytään mahdollisilta virheilä.

iLogic koodin laatimista helpottaa koodikentässä olevat värit, jotka ohjaavat sitä, mitä eri värit koodissa edustavat.

Värien merkitys voidaan selittää seuraavasti:

Punainen: Ehtolauseet ja operaatiot

Sininen: Parametrit, jotka voivat olla joko numeroita tai tekstiä

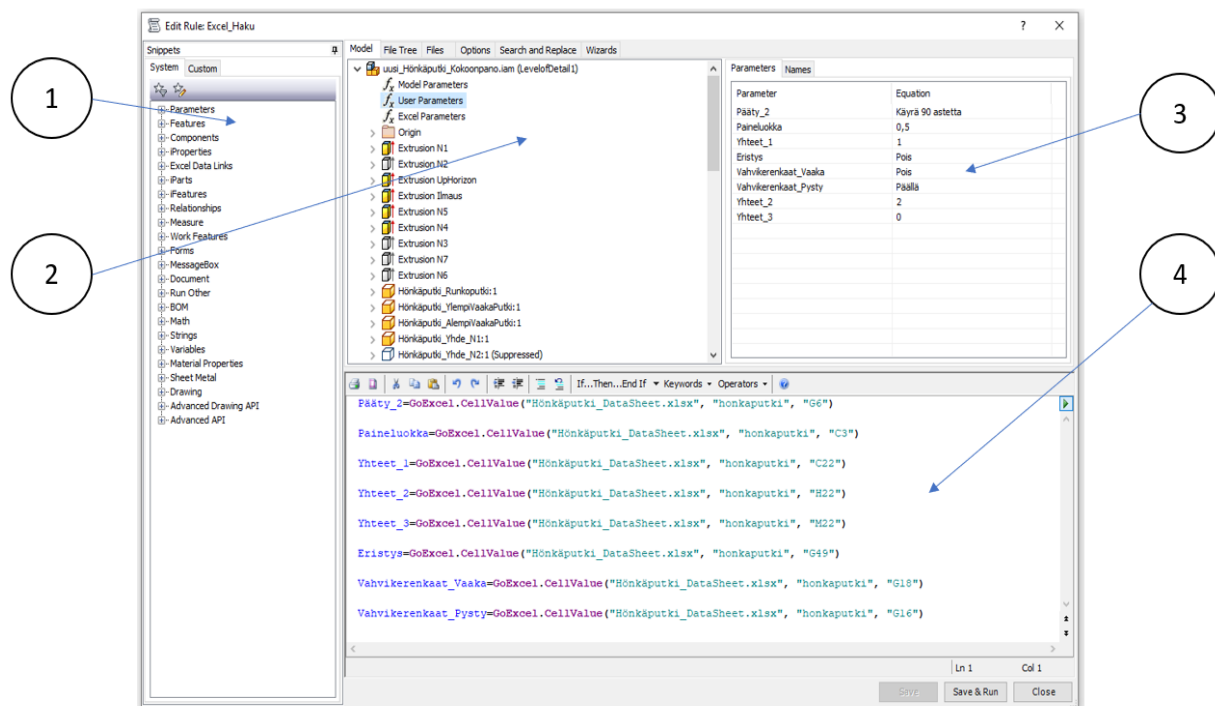
Purppura: Toiminnot eli funktiot, jotka ajavat koodin

Syaani: Merkkijono, jossa heittomerkit edustavat merkkijonon alkua ja loppua

Musta: Arvot

Harmaa: Kommentit, laitetaan (') merkin sisään

Oheisessa kuvassa 19 on havaittavissa iLogic-editori, joka on jaoteltu neljään eri osioon seuraavasti: kohta 1. käytettävät komentosarjat (snippets), kohta 2. malli ja sen ominaisuudet, kohta 3. parametrit ja kohta 4. koodikenttä.



KUVA 19. Esimerkki iLogic-editorista. (Ari Lipsanen 2020.)

6.2 Kaavojen laatiminen iLogic-editoriin

Kierto- ja honkäputkien suunnittelussa käytettiin eniten If-lausekkeita, joilla voidaan laatia komentoja, jotka vaihtavat putken osia annetun parametrin mukaan. Tämä mahdollistaa sen, että yhteen putkikokonaisuuteen voidaan sisällyttää useita eri osamahdollisuuksia, jotka voitiin häivyttää, mikäli ne eivät olleet tarpeellisia. Tällöin kierto- ja honkäputkien mallinnuksessa ei tarvittu kuin kolme erilaista kokonaisuutta ja säästyttiin esimerkiksi siltä, ettei eri paineluokille tarvinnut tehdä ylimääräisiä kokoonpanoja.

iLogic pystyy parametrian tavoin hakemaan parametriarvoja Microsoft Office Excelistä. Parametreihin täytyy ensin laatia user parameters-kohtaan parametrille nimi, jonka jälkeen iLogicin lausekkeen voi laatia hakemaan sille arvo Microsoft Office Excel-lomakkeesta.

Seuraavaksi esitellään esimerkkejä muutamista tässä työssä käytetyistä kaavoista ja ehtolauseista.

```
Paineluokka=GoExcel.CellValue("Imuputki_DataSheet.xlsx", "IMUPUTKI", "C3")
```

KUVA 20. Esimerkki ulkoisesta tiedonhausta. (Ari Lipsanen 2020.)

Kuvan 20 iLogic-lausekkeessa Inventor hakee paineluokan määritetystä dokumentista "Imuputki_Datasheet.xlsx" välilehdeltä "IMUPUTKI", ja Microsoft Office Excelin sarakkeesta "C3"

```
If Jäykisteet_vaaka = 0 Then
Component.IsActive("Component Pattern 2:1") = False
ElseIf Jäykisteet_vaaka > 0 Then
Component.IsActive("Component Pattern 2:1") = True
End If
```

KUVA 21. Esimerkki ehtolauseesta. (Ari Lipsanen 2020.)

Kuvan 21 If-lausekkeella sääntö tarkistaa annetun arvon parametrille Jäykisteet_vaaka (vaakaputken jäykisteiden määrä). Jos parametrina on annettu 0, niin tuolloin iLogic poistaa jäykiste-komponentin käytöstä, ja jos taas jäykisteitä on enemmän kuin 0, niin komponentti aktivoituu kokoonpanoon.

```

If Paineluokka = "0,5" Then
Component.IsActive("Käyrä_90astetta_5osainen_5.0bar_Kokoonpano:1") = False
Component.IsActive("Käyrä_90astetta_Imu_3osainen_0.5bar_Kokoonpano:1") = True

Constraint.IsActive("Flush:29") = True
Constraint.IsActive("Mate:34") = True
Constraint.IsActive("Angle:5") = True
Constraint.IsActive("Mate:33") = True
Constraint.IsActive("Mate:32") = True

Constraint.IsActive("Mate:41") = False
Constraint.IsActive("Mate:42") = False
'Constraint.IsActive("Mate:34") = True

ElseIf Paineluokka = "5" Then
Component.IsActive("Käyrä_90astetta_5osainen_5.0bar_Kokoonpano:1") = True
Component.IsActive("Käyrä_90astetta_Imu_3osainen_0.5bar_Kokoonpano:1") = False

Constraint.IsActive("Flush:29") = False
Constraint.IsActive("Mate:34") = False
Constraint.IsActive("Angle:5") = False
Constraint.IsActive("Mate:33") = False
Constraint.IsActive("Mate:32") = False

Constraint.IsActive("Mate:41") = True
Constraint.IsActive("Mate:42") = True
'Constraint.IsActive("Mate:34") = False
End If

```

KUVA 22. Esimerkki paineluokan määrittämisestä. (Ari Lipsanen 2020.)

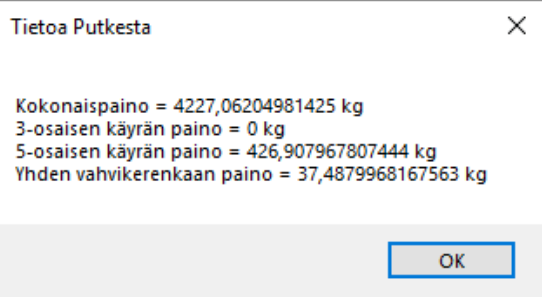
Kuvassa 22 iLogic-sääntö hakee paineluokan määritetystä parametrasta, eli joko 0,5 bar tai 5,0 bar. Putkessa käyrien malli muuttuu kolme- tai viisiosaisen välillä riippuen siitä, kumpi parametri Excel-makkeesta valitaan. Sääntö ajetaan ja putki muuttuu halutunlaiseksi aktivoimalla oikeantyyppisen putkikäyrän ja häivyttämällä väärän.

```

ThisApplication.CommandManager.ControlDefinitions.Item("AppUpdateMassPropertiesCmd").Execute
PutkenMassa = iProperties.Mass
KolmosKäyrä= iProperties.Mass("Käyrä_90astetta_3osainen_0.5bar_Kokoonpano:2")
ViitosKäyrä= iProperties.Mass("Käyrä_90astetta_5osainen_5.0bar_Kokoonpano_Hönkä:2")
Vahvikerengas= iProperties.Mass("Hönkäputki_Vahvikerengas:7")

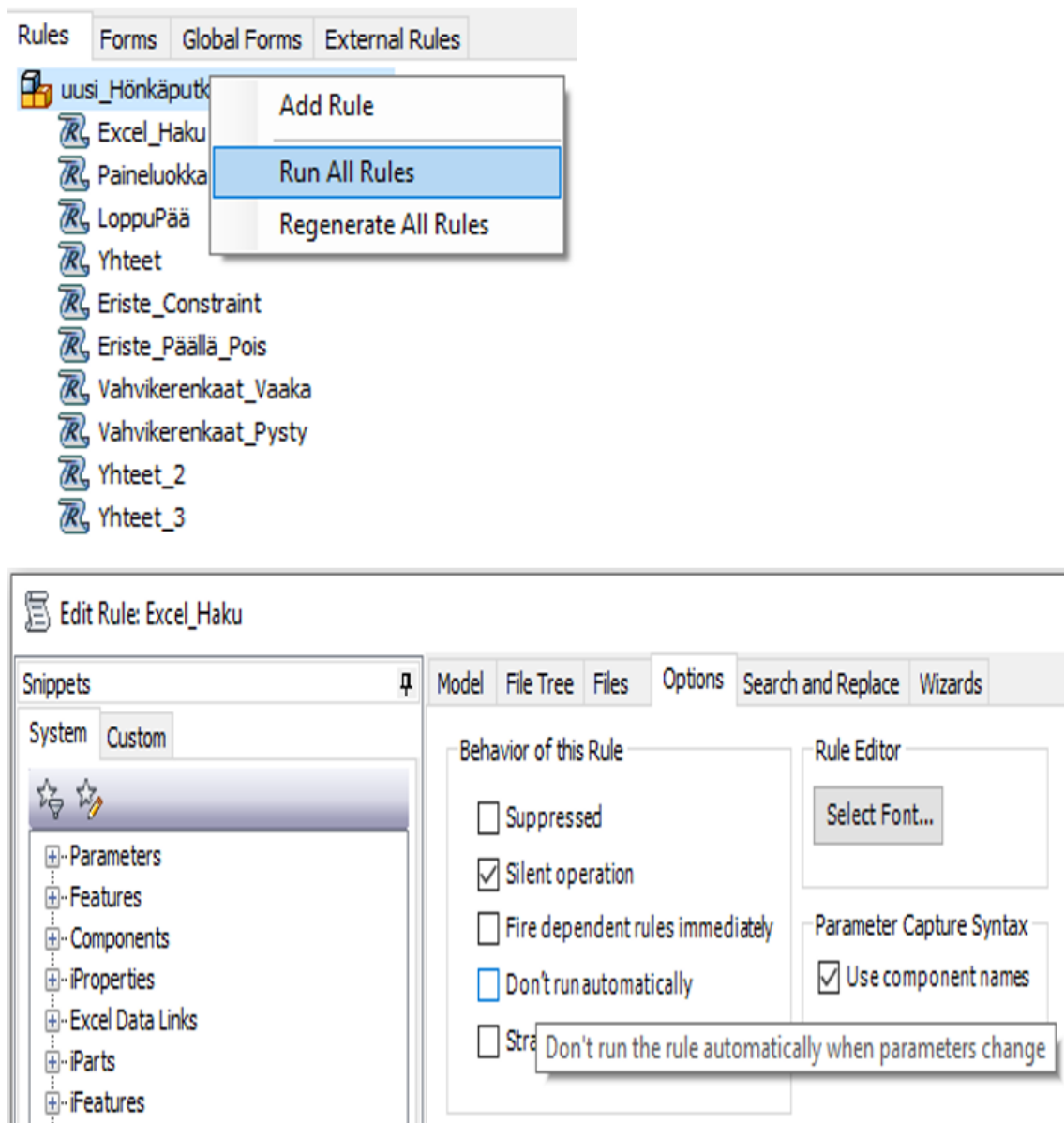
MessageBox.Show("Kokonaispaino = " & PutkenMassa & " kg"
& vbNewLine & "3-osaisen käyrän paino = " & KolmosKäyrä & " kg"
& vbNewLine & "5-osaisen käyrän paino = " & ViitosKäyrä & " kg"
& vbNewLine & "Yhden vahvikerengkaan paino = " & Vahvikerengas & " kg", "Tietoa Putkesta")

```



KUVA 23. Esimerkki viestikentästä. (Ari Lipsanen 2020.)

iLogic pystyy myös laatimaan viestikenttiä, joilla voidaan ilmoittaa tietoa putkikokonaisuudesta. Kuvassa 23 laadittiin koodilla sääntö, jossa päivitetään putken massatiedot ja laaditaan nimi iPropertiesissä olevalle kokonaismassalle tai tiettyjen osien massoille. Tämän jälkeen MessageBox.show-komennolla laaditaan viestikenttä siitä, mitä halutaan näyttää. Tällä säästetään aikaa, eikä eri osien tai kokonaisuuksien tietoja tarvitse etsiä monesta paikasta erikseen.



KUVA 24. Sääntöjen ajaminen. (Ari Lipsanen 2020.)

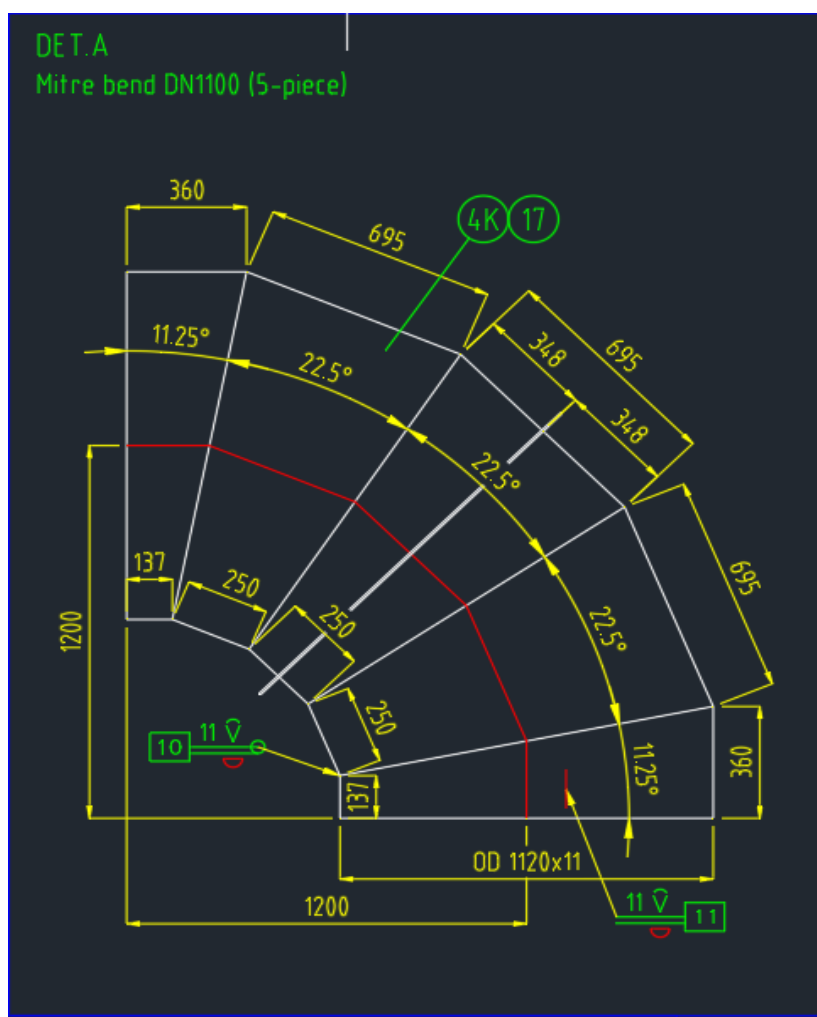
iLogic-säännöt voidaan määrittää ajamaan automaattisesti silloin, kun parametrit vaihtuvat, tai sitten ajaa manuaalisesti valitsemalla kokoonpanon säännöt ja valitsemalla Run All Rules (kts. kuva 24). Työssä ilmeni enemmän virheitä silloin, jos sääntöjen annettiin ajaa automaattisesti. Tämän vuoksi työssä ajetaan säännöt aina muutosten jälkeen manuaalisesti.

7 PUTKEN TYÖKUVIEN LAATIMINEN JA MALLIN VIEN TI LAITOSSUUNNITTELUOHJELMISTOON

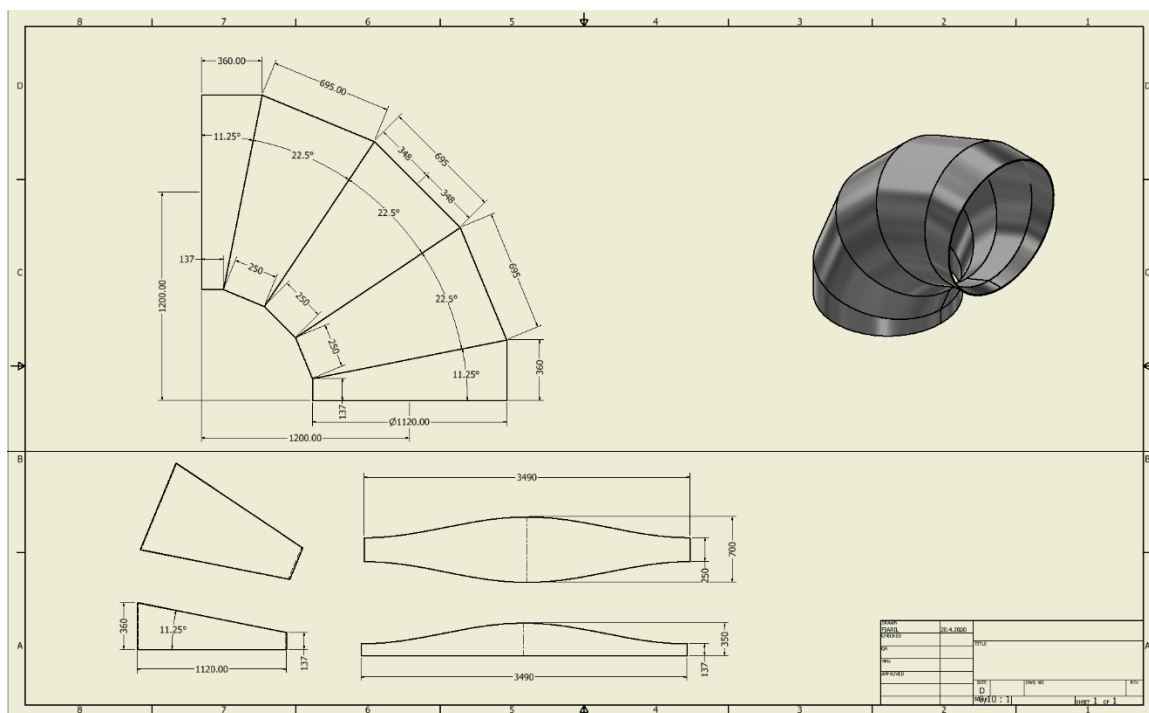
Tässä kappaleessa kerrotaan tarkemmin putken teknisten piirustusten laatimisesta sekä mallin vien-
nistä Aveva E3D-ohjelmaan. Työkuvien tekemisen etuna Autodesk Inventorilla on AutoCAD:lla tehtä-
viin kuviin verrattuna se, että putkesta ja putken osista saadaan helposti kuvannot halutuilta puolilta
ilman erillistä piirtämistä. Etuna on myös, että työkuvaan saadaan 3D-kuvia havainnollistamaan put-
kea tai putken osaa.

7.1 Putkien tekniset piirustukset

Parametrisesti laaditusta kokoonpanosta voidaan tarvittaessa tehdä myös työkuva Autodesk Inven-
torilla. Tämän kuva perustuu laadittuun parametriseseen malliin, josta otetaan kuvannot muutamista
eri suunnista, jotta saadaan kaikki mitat selkeästi esille, jotta kuvaa on helppo lukea. Autodesk In-
ventorissa on mahdollista tehdä mitoitus automaattisesti, mutta koska se osoittautui epäkäytännöl-
liseksi, mitoitus tehtiin käsin. Jos parametreja muutetaan, saattoi osa mitoista hävitä tai rikkoutua,
joten ne täytyi korjata jälkeinpäin. Koska putkien mitat voivat muuttua suunnittelun aikana useasti,
on tärkeää, että mitat voidaan päivittää helposti työkuvaan (kts. alemmat kuvat 25 ja 26).



KUVA 25. Autodesk AutoCADilla laadittu työkuva lohkokäyrästä. (Sweco 2019.)

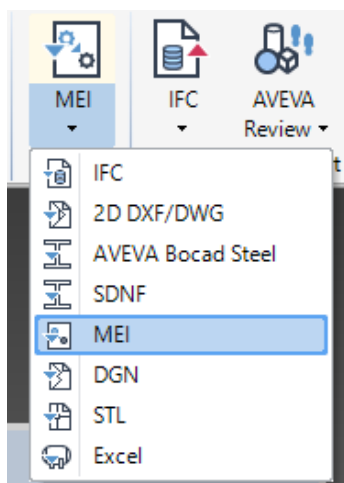


KUVA 26. Autodesk Inventorilla laadittu työkuva lohkokäyrästä. (Ari Lipsanen 2020.)

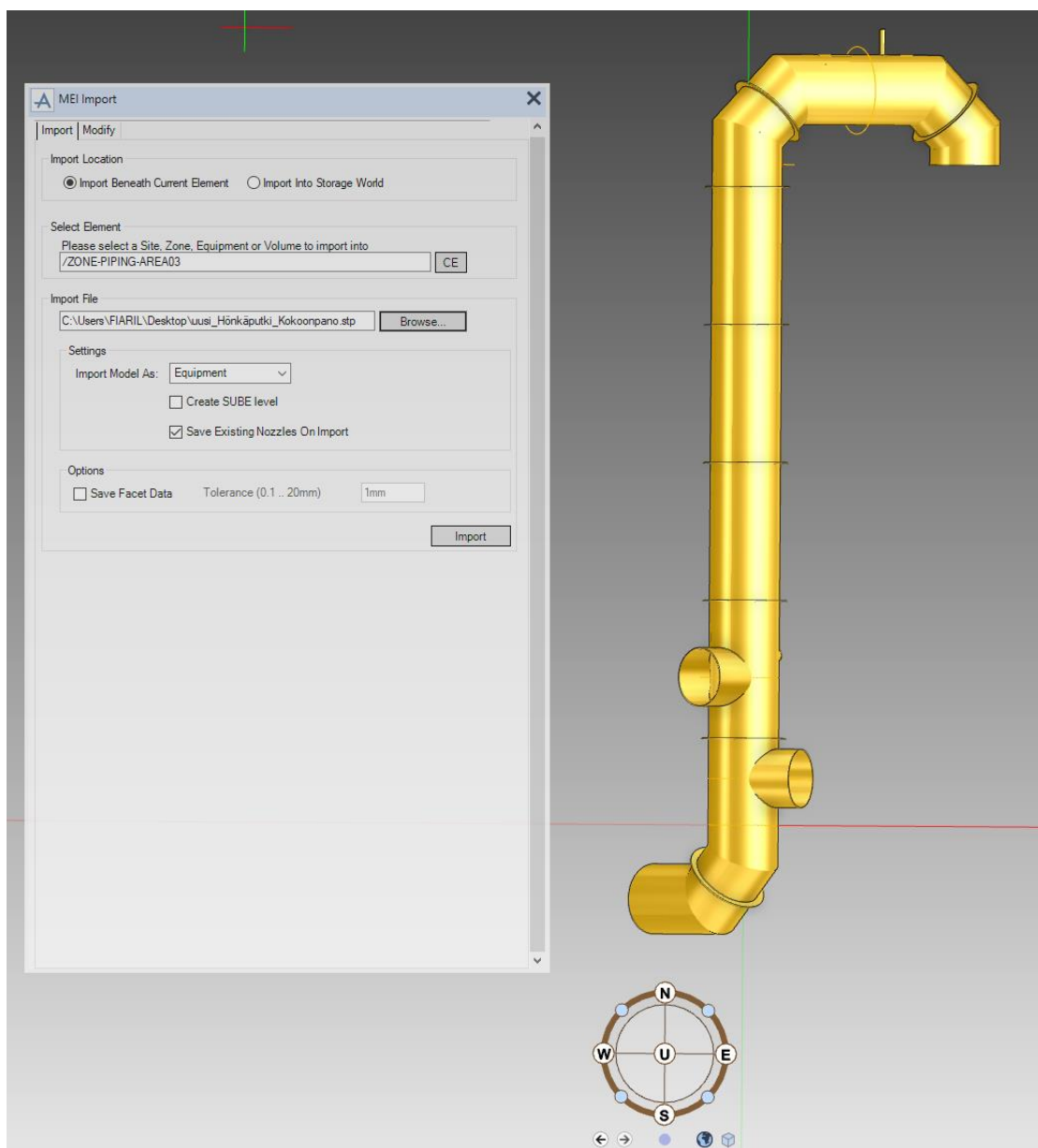
7.2 Step-mallin vieni E3D-laitossuunnitteluohjelmistoon

Kun putki on suunniteltu ja valmis vietäväksi laitossuunnitteluohjelmistoon, se viedään Autodesk Inventorissa Cad-formaatissa Step-malliksi päätteellä .stp, jotta E3D lukee sitä. Putki on mahdollista tallentaa ja viedä E3D-ohjelmistoon myös IFC-muodossa, mutta tuolloin putki muodostuu yhdestä elementistä, kun taas .STP tiedostona putken osat ovat erillisiä. Putki tuodaan E3D-ohjelmistoon valitsemalla tuotavista tiedostotyypeistä MEI (Mechanical Equipment Interface) (kts. kuva 27).

Putkea tuodessa on tärkeää valita myös alue, paikka ja laitteet, jonka kirjastoon putki tulee. Kuvassa 28 on havaittavissa E3D-ohjelmaan tuotu hönkäputki, joka on laadittu parametrisella mallilla. Tämä putki voidaan paikoittaa origosta oikealle paikalleen ja voidaan havainnoida sitä, miltä putki näyttäisi oikealla paikallaan laitoksessa



KUVA 27. Eri tiedostotyyppien tuonti E3D-ohjelmaan (Ari Lipsanen 2020.)



KUVA 28. Autodesk Inventorilla tehty putki E3D-ohjelmassa (Ari Lipsanen 2020.)

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää työkalu Swecon tarpeisiin. Työssä laadittiin 3D-malli kierto- ja hönkäputkille, jotka on aiemmin tehty suunniteltu 2D-mallinnuksella. Kehitettävän työkalun avulla kierto- ja hönkäputket suunnitellaan parametrissa mallinnusta hyödyntäen, joka nopeuttaa suunnitteluprosessia, vähentää suunnittelun virheitä sekä nostaa laatua ja hyödyttää siten Swecoa jatkossa vastaavia kierto- ja hönkäputkia suunniteltaessa.

Kierto- ja hönkäputket suunnitellaan Swecolla sellu- ja paperiteollisuuden yritysten tarpeisiin. Ne ovat kiinteä osa sellutehtaan haihduttamoa, joka puolestaan on tärkeä osa tehtaan suljettua kemikaalikiertoa. Kiertoputkissa eli imu- ja paineputkessa kiertää mustalipeää ja hönkäputkea pitkin kulkee vesihöyryä. Kierto- ja hönkäputket voivat olla hyvin suuria ja painavia, eikä niitä ole mahdollista saada kauppatavarana, vaan ne suunnitellaan projektikohtaisesti. Putkista tehdään niiden koon vuoksi erilliset työkuvat, jotka koostuvat erilaisista osista, jotka puolestaan muodostavat putken kokonaisuudessaan.

2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun välillä suurin eroavaisuus on siinä, että mitä laajempi ja haastavampi suunnittelukohde on kyseessä, sitä enemmän suunnittelun haasteita ja kustannuksia siitä aiheutuu. 2D-suunnittelu on yleisesti ottaen työläämpää ja se vie enemmän aikaa. 3D-suunnittelulla puolestaan voidaan saattaa suunnitteluprosessi nopeammin loppuun ja pystytään reagoimaan muutoksiin nopeammin vähemmällä työllä.

Tässä työssä käytettiin putkien suunnittelussa Autodesk Inventor-ohjelmistoa. Suunnittelu aloitettiin samoin kuin 2D-suunnittelussa tilaajan määrittelemien suunnitteluarvojen perusteella. Muutoin suunnittelu poikkesi 2D-suunnittelusta siten, että putkea voidaan pyöritellä kolmiulotteisesti ja havainnoida eri kuvakulmista. Lisäksi eri osista on mahdollista laatia levityskuva, jolloin on helppoa laatia työkuva levitetystä ohutlevystä. Kolmiulotteista suunnittelua voidaan käyttää kaksiulotteista suunnittelua tehokkaammin esimerkiksi tutkittaessa mekaanisen laitteen toimintaa. Kolmiulotteisten kappaleiden avulla voidaan jäljittää mahdolliset virheet kokoonpanossa, jotka saattaisivat aiheuttaa osien yhteensopimattomuutta fyysisessä kokoonpanossa.

Parametrisella piirremallinnusjärjestelmällä kohde mallinnetaan kolmiulotteisen geometrian avulla. Kappaleita laatiessa Autodesk Inventor tallentaa kaikki annetut mitat Parameters-osioon, jonka mittoja voidaan muokata ilman tarvetta mennä sketsitasolle. Parametrisessa mallinnuksessa kierto- ja hönkäputket laaditaan osakokonaisuuksina, mutta putken eri osille laaditaan parametrinen linkki Microsoft Office Excel-lomakkeeseen, josta putkea pystytään muokkaamaan yksinkertaisella tavalla halutunlaiseksi. Autodesk Inventor hakee linkitetystä lomakkeesta annetusta sarakkeesta numero- ja tekstiarvot vieden ne työn parametreihin. Tällä tavoin muodostettuun parametrisen malliin lisätään vielä Autodesk Inventorin aliohjelma iLogic, jolla vaihdetaan putken osia ja instrumentteja perustuen erilaisiin sääntöihin. Suunniteltu valmis putki on mahdollista viedä laitossuunnitteluohjelmistoon, jossa se voidaan paikoittaa oikealle paikalleen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli tehostaa aiemmin käsin tehtyä kierto- ja hönkäputkien 2D-mallinnusratkaisua muodostamalla 3D-mallinnustyökalu hyödyntäen suunnittelussa parametrissa automatisointia ja ohjelmistopohjaista suunnittelua iLogic-työkalulla sekä lisätä osien vaihtoa ja tiedon hakua. Työkalun laatimisprosessiin kului aikaa yli kaksi kuukautta ja se valmistui ripeällä aikataululla. Työkalu saatiin toimivaksi alussa asetettujen ehtojen mukaisesti ja sitä pystytään kehittämään näistä saavutetuista lähtökohdista yhä monipuolisemmaksi. Jokaiselle kolmelle eri putkelle laadittiin automatisoitu parametrin pohjainen työkalu, jota ohjataan Microsoft Office Excel-tiedoston lomakkeesta käsin. Työkaluun on lisätty erilaisia mahdollisuuksia putkien laatimiseen eri osakokoonpanoista. Työkalua on kuitenkin pyritty tekemään niin, että sitä voidaan laajentaa kierto- ja hönkäputkien suunnittelusta myös sellaisiin projekteihin, jotka vaativat sellaisia putkityyppejä, joiden suunnittelua tämänhetkinen työkalu ei vielä mahdollista.

Microsoft Office Excel-tiedoston lomakkeesta, josta putkea muokataan, tehtiin mahdollisimman selkeäkäyttöinen. Vaikka mahdollisia mittoja ja instrumentteja voidaankin lisätä melko paljon, tässä on vaarana se, että mitä monimutkaisemmaksi putkikokoonpano muokkautuu vuosien saatossa, niin samoin myös lomake tulee kasvamaan yhä monimutkaisemmaksi, mikä saattaa vaikeuttaa sen käytettävyyttä. Prosentuaalista työn laadun tai nopeuden tehostamista on vielä tässä vaiheessa hankalaa arvioida, koska sitä kuinka kauan eri putkien mallinnuksiin on kulunut aikaa käsin 2D-mallinnuksella tehtäessä, ei ole kirjattu. Selvää kuitenkin on, että mallinnustyökalu mahdollistaa nopeamman ja tehokkaamman työskentelyn sekä vähentää suunnitteluvirheitä. Työkalu saadaan pian otettua käyttöön, jolloin myös sen testaus käytännössä aloitetaan. Tuolloin saadaan arvokasta palautetta sekä kehitysideoita jatkoa varten mallinnustyökalun käyttäjiltä.

Työkalun kehitystarpeina voitaisiin todeta, että lomakkeesta on mahdollista säätää ohjeiden kautta vielä yksinkertaisempi eri ohjekuvien avulla. Yhtenä ideana olisi testata Autodesk Inventorin omaa Form-editoria, jolla pystytään laatimaan Autodesk Inventorin sisäinen lomake eri parametrien muokkaukseen. Ongelmana Form-editorissa kuitenkin on se, että jos putkien muokausmahdollisuudet kasvavat hyvinkin laajoiksi, niin tuolloin myös Form-editorin kaavat kasvavat ja virheiden esiintyminen on yleisempää ja tätä on helpompi hallita Microsoft Office Excel-lomakkeessa. Toisaalta kehittämällä mallinnustyökalua osa kerrallaan laajentamalla ja sen toimintaa samalla ylläpitäen, nämäkin ongelmat saataisiin selätettyä.

On mahdollista, että tulevaisuudessa suurien työkuvallisten putkien suunnittelu automatisoituu yhä pidemmälle. Tuolloin putkelle määritetään alku- ja loppukohta, putkeen liittyvät yhteen sekä instrumentit ja listasta putken paine- ja materiaalitiedot, ja putki kokonaisuudessaan rakentuu 3D-malliksi ilman mittojen erillistä syöttämistä. Tämä vaatii enemmän älyllistä ohjelmointia tai ohjelmien kehittämistä, jotta kyseisen kaltainen suunnittelu olisi ylipäätään mahdollista. Tärkeintä kuitenkin on, että automatisoitua mallintamista pyritään hyödyntämään mahdollisimmin tehokkaasti, eikä tyydytä vanhoihin tapoihin, koska ellei työtä tehdä tehokkaasti ja suunnittelua kehitettäen, niin varmasti joku muu yritys markkinoilla tulee näin tekemään.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ADAMS, T.N. 1997. Kraft Recovery Boilers. Atlanta, Georgia, USA: Tappi Press.

AUTODESK 2020. Overview [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-3-29] Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/products/inventor/overview>

AUTODESK 2020. Features [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-3-29] Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/products/inventor/features>

AUTODESK 2020. 2D CAD Drawing and Drafting [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-4-11] Saatavissa: <https://www.autodesk.com/solutions/2d-cad-drafting-drawing>

AVEVA GROUP PLC AND ITS SUBSIDIARIES 2020. Aveva E3D Design [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-5-1] Saatavissa: <https://sw.aveva.com/engineer-procure-construct/engineering-and-design/aveva-e3d-design>

CITRIXREADY 2020. Aveva PDMS Versions [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-4-10] Saatavissa: <https://citrixready.citrix.com/aveva-solutions-ltd/aveva-pdms-version-12-1-sp4.html>

CLAY, D. T. Evaporation Principles and Black Liquor Properties. Peachtree Corners, Georgia, Yhdysvallat. Tappi Press. 2014. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-2-16] Saatavissa: <http://www.tappi.org/content/events/08kros/manuscripts/3-1.pdf>

HIETIKKO, Esa 2007. Autodesk Inventor. Helsinki. Gummerus Kirjapaino Oy.

KNOWPULP – Sellunvalmistuksen oppimisympäristö 2020. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-3-9] Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/>

NYKÄNEN, Petteri 2020-04-20. [sähköpostiviesti] RE: Opinnäytetyö tietoa. Kierto- ja hönkäputkisto. Vastaanottaja Ari Lipsanen. [Luettavissa 2020-04-20.] Saatavissa: Sweco.

PÄÄTYTUOTE 2020. Standardimuodot [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-4-13] Saatavissa: <https://paatytuote.com/fi/sailionpaadyt/standardimuodot/>

SHIH, Randy H. 2019. SDC Publication. Parametric modeling with Autodesk Inventor 2020. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-4-13] Saatavissa: <https://books.google.fi/books?id=aM2cDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=inventor&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwjbotPX-OLoAhWUz-MQBHev9A0oQ6AEIZjAG#v=onepage&q=inventor&f=false>

SWECO AB 2020. Tietoa Swecosta [verkkoaineisto]. [Viitattu 2020-2-29] Saatavissa: <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>